

Министерство образования Российской Федерации
Уральский государственный профессионально-педагогический
университет
Инженерно-педагогический институт

Б. С. Чуркин, Э. Б. Гофман,
С. Г. Майзель, А. В. Афонаскин, В. М. Миляев,
А. Б. Чуркин, А. А. Филиппенков

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебник

Под редакцией Б. С. ЧУРКИНА

*Рекомендован Учебно-методическим объединением
высших и средних профессиональных учебных
заведений по профессионально-педагогическому
образованию в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений*

Skan by karpinskiy1 aka Fish

Екатеринбург:
2000

ББК 34.61.я7
УДК 621.74 (075)
Т 38

Технология литейного производства: Учеб. /Б.С.Чуркин, Э.Б.Гофман, С.Г.Майзель, А.В.Афонаскин, В.М.Миляев, А.Б.Чуркин, А.А.Филиппенков; Под ред. Б. С. Чуркина. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. 662 с.

В учебнике изложены основы технологии изготовления отливок в разовых песчано-глинистых формах.

Учебник предназначен студентам профессионально-педагогических, металлургических и машиностроительных вузов, обучающимся по литейным специальностям и специализациям, а также инженерно-техническим работникам литейного производства.

Рецензенты: заслуженный металлург Российской Федерации, членкор. Российской академии естественных наук, канд. техн. наук Л. С. Дрейзин;
кафедра литейного производства и упрочняющих технологий Уральского государственного технического университета (УГТУ-УПИ)

ISBN 5-8050-0037-7

© Уральский государственный
профессионально-педагогический
университет, 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Глава 1. Технические требования к деталям и литым заготовкам. Основные сведения о качестве отливок	20
1.1. Элементы литейной формы	21
1.2. Основные сведения о качестве отливок	22
1.2.1. Классификационные показатели качества	24
1.2.2. Показатели технологичности отливок и экономного использования металла	31
1.2.3. Показатели назначения	36
1.2.4. Показатели качества поверхности	38
1.2.5. Специальные показатели качества	40
1.3. Технологичность литых деталей	41
1.3.1. Требования к конструкции литых деталей, обусловленные закономерностями формирова- ния отливок	41
1.3.2. Технологичность литых деталей, связанная с процессами формообразования	57
Контрольные вопросы и задания	64
Глава 2. Конструирование литейной формы. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок	65
2.1. Выбор оптимального положения отливки в форме при заливке и рациональной поверхности разъема формы и модели	65
2.2. Построение чертежа литой заготовки	73
2.3. Конструирование стержней	88
2.3.1. Классификация стержней	88
2.3.2. Способы крепления и фиксации стержней в форме	92
2.3.3. Вентиляция и армирование стержней	98
2.3.4. Определение количества стержней. Организация их стыков и взаимной фиксации	102
2.4. Построение чертежа элементов литейной формы	106
2.5. Определение размеров литейных форм. Выбор опок	107
2.6. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок	112
2.7. Технологическая документация	117
Контрольные вопросы и задания	119
Глава 3. Конструирование и расчет литейных систем	120
3.1. Расчет оптимальной продолжительности заливки	121
3.2. Классификация литейных систем	125

3.3.	Типы разливочных ковшей и технология заливки форм . . .	137
3.4.	Выбор уровня и места подвода сплава к полости формы . . .	142
3.5.	Расчет литниковых систем при литье из поворотных ковшей	145
3.6.	Расчет литниковых систем при заливке из стопорных ковшей.	150
3.6.1.	Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей без торможения струи	153
3.6.2.	Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей с торможением струи	155
3.7.	Расчет литниковых систем при подводе сплава на нескольких уровнях при литье из поворотных ковшей . . .	158
3.8.	Расчет вертикально-щелевых литниковых систем.	160
3.8.1.	Порядок расчета вертикально-щелевой литниковой системы	161
3.9.	Конструирование литниковых систем	162
3.9.1.	Конструирование литниковых чаш и воронок	162
3.9.2.	Конструкция стояков.	166
3.9.3.	Конструкции шлакоуловителей и коллекторов	167
3.9.4.	Конструкции питателей	170
3.9.5.	Применение фильтровальных сеток	171
3.9.6.	Особенности конструкций литниковых систем для отливок из ковкого чугуна	172
3.9.7.	Особенности конструкций ступенчатых систем	174
3.9.8.	Особенности литниковых систем для отливок из цветных сплавов	178
3.10.	Специальные конструкции литниковых систем	179
3.10.1.	Тормозящая литниковая система В. И. Фундатора	179
3.10.2.	Дроссельные литниковые системы	180
3.10.3.	Дождевые литниковые системы	183
3.10.4.	Другие разновидности специальных конструкций литниковых систем	184
3.11.	Примеры расчета литниковых систем	184
	Контрольные вопросы и задания.	190
Глава 4.	Организация питания отливки	196
4.1.	Обеспечение направленного затвердевания отливки	196
4.1.1.	Анализ конфигурации отливки. Определение узлов питания.	196
4.1.2.	Построение технологических напусков	198
4.1.3.	Расчет и конструирование внутренних и наружных холодильников.	201

4.2. Виды прибылей. Определение количества прибылей	209
4.2.1. Классификация прибылей	209
4.2.2. Определение протяженности зон действия прибылей	213
4.2.3. Определение количества прибылей	215
4.3. Расчет прибылей	216
4.3.1. Метод Й. Пржибыла	217
4.3.2. Метод В. А. Денисова	220
4.3.3. Упрощенный метод УЗТМ	225
4.3.4. Расчет боковых прибылей и питающих элементов в литниковых системах	226
4.4. Специальные конструкции прибылей	231
4.4.1. Применение теплоизоляции и обогрева прибылей	231
4.4.2. Прибыли, работающие под высоким газовым давлением	235
4.4.3. Легкоотделяемые прибыли	236
Контрольные вопросы и задания	238
Глава 5. Формовочные материалы и смеси	242
5.1. Классификация формовочных материалов	242
5.2. Наполнители формовочных смесей	242
5.2.1. Требования к наполнителям формовочных смесей	242
5.2.2. Формовочные пески	243
5.2.3. Высокоогнеупорные наполнители	255
5.2.4. Подготовка наполнителей	257
5.3. Связующие материалы	257
5.3.1. Требования к связующим материалам	257
5.3.2. Классификация связующих	258
5.3.3. Роль воды в формовочных смесях	260
5.3.4. Формовочные глины	261
5.3.5. Жидкое стекло	268
5.3.6. Фосфаты	274
5.3.7. Масла	275
5.3.8. Полисахариды	277
5.3.9. Лигносulfонаты	278
5.3.10. Синтетические смолы	279
5.3.11. Сравнительная характеристика связующих материалов	289
5.4. Специальные добавки	291
5.4.1. Добавки для улучшения технологических и физико-механических свойств смесей	291
5.4.2. Отвердители	292
5.5. Свойства исходных материалов, формовочных и стержневых смесей	293

5.5.1. Основные процессы в формовочных и стержневых смесях	294
5.5.2. Требования к формовочным смесям	308
5.5.3. Свойства материалов	310
5.5.4. Общие свойства формовочных и стержневых смесей	317
5.5.5. Технологические свойства смесей	319
5.5.6. Рабочие свойства смесей	329
5.5.7. Реологические свойства смесей	344
5.6. Формовочные и стержневые смеси	351
5.6.1. Формовочные смеси для заливки форм по-сырому	352
5.6.2. Смеси, упрочняемые тепловой сушкой	357
5.6.3. Смеси для изготовления форм и стержней в горячей оснастке	366
5.6.4. Холоднотвердеющие формовочные и стержневые смеси	372
5.6.5. Смеси для специальных технологических процессов	390
5.6.6. Регенерация формовочных смесей и песков	392
5.6.7. Выбор рациональных составов смесей	396
5.7. Противопригарные краски и покрытия	403
Контрольные вопросы и задания	409
Глава 6. Газовый режим литейной формы	413
6.1. Кинетика газообразования при нагреве форм и стержней	413
6.2. Пропускная способность форм и стержней	418
6.3. Закономерности изменения давления газов в полости и стенках формы при заливке ее сплавом и затвердевании отливки	427
6.4. Объемные газовые раковины	430
Контрольные вопросы и задания	436
Глава 7. Изготовление форм и стержней	438
7.1. Сущность процесса формовки	438
7.1.1. Классификация формовочных процессов	438
7.1.2. Структура формовочной смеси	439
7.2. Характеристика способов уплотнения форм и стержней	443
7.2.1. Уплотнение трамбованием	443
7.2.2. Формовка в почве	445
7.2.3. Формовка в опоках	449
7.2.4. Уплотнение форм на машинах	464
7.3. Уплотнение форм прессованием	468
7.3.1. Уравнение прессования	485
7.3.2. Текучие смеси для уплотнения прессованием	488
7.3.3. Область применения прессования	491

7.4. Динамические методы уплотнения форм	492
7.4.1. Уплотнение встряхиванием	493
7.4.2. Гравитационное уплотнение	496
7.4.3. Вибропрессовое и прессово-ударное уплотнение ...	498
7.4.4. Скоростное прессование	500
7.4.5. Импульсное уплотнение	501
7.4.6. Пескодудное уплотнение	503
7.4.7. Уплотнение пескоструйкой	507
7.5. Контроль и регулирование степени уплотнения смесей при изготовлении форм и стержней	509
7.6. Способы извлечения моделей из полуформ	513
7.7. Изготовление стержней	518
7.7.1. Классификация технологических процессов	518
7.7.2. Особенности технологии изготовления стержней при единичном и мелкосерийном производстве.	519
7.7.3. Уплотнение стержневой смеси	521
7.7.4. Технология ручного изготовления стержней	525
7.7.5. Изготовление стержней из химически твердеющих смесей с отверждением в оснастке	532
7.8. Модельно-литейная оснастка	554
7.8.1. Классификация опок и их конструкции. Опреде- ление типоразмеров опок	555
7.8.2. Модельные плиты, их классификация, конструктивные элементы плит. Монтаж моделей на плитах	559
7.8.3. Конструктивные особенности плит для машинной формовки и автоматических литейных линий	563
7.9. Модельный комплект, его состав и назначение	563
7.9.1. Материалы для изготовления модельного комплекта. Техническое обоснование выбора материала	567
7.9.2. Конструирование деревянных и металлических моделей	568
7.9.3. Конструирование стержневых ящиков	571
7.9.4. Технология изготовления моделей и стержневых ящиков	574
7.10. Вентилизация литейной формы	578
7.11. Сушка форм и стержней	580
7.11.1. Физические основы процесса сушки	580
7.11.2. Назначение тепловой сушки форм и стержней ...	584
7.11.3. Режимы сушки	585
7.11.4. Влагоперенос при сушке форм и стержней	591
7.11.5. Тепловой расчет процесса сушки	593
Контрольные вопросы	602

Глава 8. Охлаждение отливок. Финишные операции	604
8.1. Расчет продолжительности охлаждения отливок. Методы интенсификации охлаждения отливок	604
8.2. Выбивка отливок из форм	606
8.3. Технологический процесс очистки отливок	609
8.3.1. Удаление стержней	610
8.3.2. Удаление литников и прибылей	614
8.3.3. Зачистка отливок	617
8.3.4. Очистка поверхности отливок	619
8.4. Грунтовка и окраска отливок	629
8.5. Термическая обработка отливок	630
Контрольные вопросы	632
Глава 9. Дефекты отливок	633
9.1. Классификация дефектов	633
9.2. Диагностика дефектов	640
9.3. Механизм образования дефектов. Методы их предупреждения и исправления	642
9.3.1. Пороки несоответствия размерам	643
9.3.2. Пороки поверхности отливок	644
9.3.3. Нарушение сплошности стенок отливки	646
9.3.4. Пороки структуры и неоднородности химического состава	649
Контрольные вопросы	658
Литература	659

Введение

Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения. Массовая доля литых заготовок в машиностроительных изделиях составляет 30–90 % и имеет тенденцию к увеличению.

В 1980 г. в СССР в литейном производстве было занято 600 тыс. человек. Кроме того, еще около 400 тыс. человек непосредственно обеспечивали работу литейных цехов. До 1980 г. производство отливок в СССР непрерывно увеличивалось, достигнув наивысшего в мире показателя – 27 млн т отливок в год. С 1980 г. выпуск литья начал снижаться. Аналогичная тенденция имеет место и за рубежом.

Снижение производства отливок в промышленно развитых странах связано со структурными изменениями, которые начали появляться в начале 80-х гг. В связи с внедрением непрерывной разливки и другими качественными изменениями в металлургии резко снизился спрос на тяжелые металлургические отливки (изложницы, поддоны, трубы и т.п.), что привело к сокращению объема производства отливок. При этом непрерывно увеличивается выпуск отливок для автомобильного, сельскохозяйственного и тракторного машиностроения, а также для авиации, ракетостроения и специальной техники. В настоящее время доля выпуска отливок для этих отраслей составляет 75 %.

Литейное производство оказывает большое влияние на качественные показатели и надежность современных машин и оборудования. Этот факт можно наглядно проиллюстрировать, перечислив, например, литые детали современного автомобиля: блок цилиндров, головку блока, поршни, коленвалы, распредвалы, поршневые кольца, крышки коробки передач, детали подвески, амортизаторы, ступицы колес, тормозные барабаны и т.д.

Развитие техники предъявляет свои требования к качеству литых заготовок. Современные отливки должны иметь высокие и регламентированные механические свойства, физические и химические характеристики, а также высокую точность при минимальных толщине стенок и массе.

Важнейшей проблемой является повышение экологической чистоты литейной технологии, которую можно решить путем комплексной механизации и автоматизации производства, основанного на использовании прогрессивных технологических процессов.

По данным немецкой Ассоциации литейного производства (FPI)

начавшийся в 80-х гг. спад производства отливок должен смениться значительным его ростом в начале 90-х гг. Этот прогноз сбылся раньше. Уже в 1988 г. в литейном производстве многих стран мира стал очевидным рост объемов выпуска отливок при существенном повышении их качественных показателей. Характерно то, что рост потребности в высококачественных отливках опережает их производство.

Значимость литейного производства не уменьшается, а наоборот, увеличивается, несмотря на широкое развитие конкурирующих технологий: порошковой металлургии, использование композиционных материалов, сварных и пластически деформированных заготовок, а также изделий из пластмасс. Центральное место литейного производства в машиностроении обусловлено рядом его несомненных преимуществ:

- отливки имеют большую степень конфигуративной точности и максимально приближены к деталям. Отходы металла в стружку у литых заготовок в 1,5–2 раза меньше, чем у деталей, изготовленных из проката. 30 % общего выпуска отливок применяются без механической обработки. Коэффициент использования металла в заготовке (КИМ), представляющий собой отношение массы детали к массе заготовки, для литых заготовок составляет в среднем 60 %, в то время как у поковок КИМ в среднем равен 30 %. Безвозвратные потери при получении деталей из литых заготовок составляют 7–9 %, а при применении поковок – 13–14 %. Современные технологические процессы позволяют повысить КИМ литых заготовок до 90–100 %;

- суммарная энергоёмкость при изготовлении деталей из литых заготовок в 2–6 раз меньше, чем при использовании других технологий;

- применяемые в литейном производстве способы формообразования отличаются большой экономичностью и универсальностью. Литьем можно получать заготовки практически любой конфигурации и из любых сплавов без существенных ограничений по массе и габаритным размерам;

- имеется возможность в широких пределах повышать эксплуатационную прочность заготовок за счет перераспределения массы металла (конфигурационное упрочнение), применения различных рёбер, бобышек, приливов и т.п. Литые заготовки обладают, как правило, большей жесткостью, чем сварные;

- литые заготовки, в отличие от всех других видов заготовок, имеют более низкую себестоимость;

- для литейной технологии характерна органическая ориентированность на организацию замкнутого поточного автоматизированного производства.

Литейное производство – единственная отрасль заготовительного производства, где формообразование заготовки осуществляется, когда

материал заготовки испытывает фазовый переход из жидкого состояния в твердое, т.е. затвердевает. Это определяет достоинства и перспективность литейных технологий с точки зрения универсальности формообразования, экономии энергетических затрат. Вместе с тем это обуславливает и многие проблемы, связанные с появлением различных дефектов при формировании отливок.

Специфические особенности литейного производства определяются совокупностью процессов, происходящих при формировании отливки, которые принято обозначать термином «литейные процессы». Оптимальное построение технологии литейного производства возможно лишь на основе системного учета закономерностей литейных процессов, рассмотренных в курсе «Теоретические основы литейных процессов». Данный курс наряду с такими дисциплинами, как «Основы литейной гидравлики и теплофизики», «Теоретические основы металлургии», «Материаловедение и термообработка», «Общая металлургия» составляет теоретическую базу основной для инженера-литейщика дисциплины «Технология литейного производства».

Классификация методов литья. В настоящее время существует несколько десятков методов получения отливок. Их классификацию можно провести по разным критериям. По возможности многократного использования литейных форм можно выделить методы литья в разовые, полупостоянные и постоянные формы.

Разовая форма предназначена для получения отливок при однократной заливке сплава в нее. После затвердевания и охлаждения отливки форма разрушится. В полупостоянные формы можно производить несколько последовательных заливок сплава. Постоянные формы, изготавливаемые чаще всего из металлических сплавов, предназначены для многократного использования. В зависимости от вида сплава и стойкости форм в них осуществляют от нескольких сотен до десятков тысяч заливок.

Различают разовые объемные и тонкостенные, а также оболочковые формы. В объемных формах полость, формирующая конфигурацию отливки, оформляется сплошным массивом формовочного материала, ограниченным по периферии стенками специальной оснастки, которая называется опокой. Пример конструкции разовой литейной формы приведен на рис. 1.

Несмотря на большой расход формовочных материалов (до 5 т на 1 т отливок), объемные формы наиболее распространены в промышленности, так как они обеспечивают наибольшую универсальность производства и простоту формообразования.

При изготовлении тонкостенных форм на поверхность модели на-

мовочной смеси. Для оформления этого слоя используют материалы с носят относительно тонкий (от 10 до 100 мм) слой облицовочной формы различными механизмом твердения (жидкостекольные смеси, песчано-смоляные смеси и т.д.) и различные методы подачи и уплотнения смеси. Пример тонкостенной формы приведен на рис. 2.

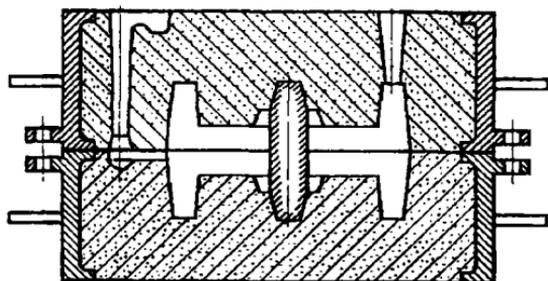


Рис. 1 Пример конструкции разовой литейной формы

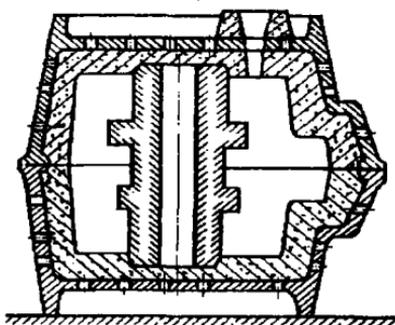


Рис. 2. Пример конструкции тонкостенной литейной формы

Оболочковая форма представляет собой тонкостенную керамическую или графитовую оболочку толщиной от нескольких миллиметров до десятков миллиметров, заключающую внутри себя полость, которая оформляет конфигурацию отливки. Очень часто для увеличения жесткости и прочности форм оболочки заформовывают песком или другим наполнителем в опоке (рис. 3).

В соответствии с ГОСТ 18169-86 под термином «многократные формы» понимают литейные формы, предназначенные для заливки

сплавом более одного раза. Среди них можно выделить полупостоянные и постоянные формы. Полупостоянные формы рассчитаны на изготовление в них от 5 до нескольких сотен отливок. Их изготавливают из шамота, графита, а в качестве связующих используют глину, цемент и жидкое стекло. При производстве крупных отливок основную часть объема формы выполняют из кирпича. Особую разновидность полупостоянных форм составляют металлокерамические формы, выдерживающие до 500–700 заливок. После извлечения отливки перед очередной заливкой полости форм обязательно подвергаются частичному восстановительному ремонту.

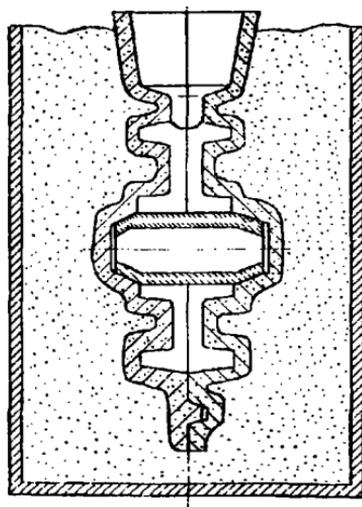


Рис. 3. Собранная оболочковая форма, подготовленная к заливке

К постоянным формам относят формы, выдерживающие от тысячи до нескольких десятков тысяч заливок. Как правило, постоянные формы изготавливают из металлических сплавов. Однако при массовом и крупносерийном производстве отливок несложной конфигурации массой до 500 кг применяют графитовые постоянные формы, позволяющие получать до 5–10 тысяч отливок из чугуна и стали в одной форме. Постоянные формы, в которых расплав кристаллизуется без дополнительного силового воздействия, называются кокилями. Слово «Кокиль» в переводе с немецкого языка (Kokille) дословно означает «скорлупа». Формы, предназначенные для заливки и кристаллизации сплава под давлением, называются пресс-формами.

Учитывая многообразие способов литья и принципов, на которых они основаны, можно выделить следующие классификационные признаки способов литья:

- 1) тип формы;
- 2) основу материала формы;
- 3) природу связующих добавок;
- 4) тип оснастки;
- 5) способ уплотнения смеси;
- 6) способ упрочнения формы;
- 7) способ воздействия на жидкий расплав;
- 8) способ заливки сплава;
- 9) способ силового воздействия на расплав в процессе заливки и кристаллизации;
- 10) способ поверхностного или объемного упрочнения сплава в отливке.

Признаки 3–6 относятся к формам, изготовляемым из дисперсных материалов. Признак 4 включает различные виды оснастки, применяемой для изготовления формы: наличие и тип опок, их количество; материал и тип моделей (деревянная, металлическая, выплавляемая, растворимая, выжигаемая, газифицируемая и т.д.); наличие и тип шаблонов, контрольных сечений, стержневых ящиков и т.п. Для уплотнения смеси (признак 5) применяют разнообразные методы: ударные воздействия трамбовкой, метание смеси, уплотнение встряхиванием, пескоструйное и пескострельное уплотнение, прессование, импульсное воздействие, взрывное воздействие, применение вакуумирования и т.д.

Учитывая большие затраты энергии на операцию уплотнения смеси, следует признать перспективным применение методов, основанных на специальных принципах уплотнения смеси. К ним можно отнести вакуумно-плоскую формовку, при которой необходимая прочность формы обеспечивается за счет создания разрежения в порах смеси. Смесь при этом не содержит связующих добавок. При литье в замороженные формы также отпадает необходимость в применении специальных связующих материалов, так как роль связующего выполняет вода, которая при затвердевании связывает зерна песка друг с другом.

Особое место занимает технология формообразования с применением жидких самоотвердеющих смесей (ЖСС). В состав ЖСС входят поверхностно-активные вещества (ПАВ) и отвердитель. Присутствие ПАВ обеспечивает образование пены в смеси, что делает ее жидкоподвижной. ЖСС «заливается» в опоку и под действием отвердителя самопроизвольно в течение некоторого времени упрочняется. Применение ЖСС исключает операцию уплотнения смеси.

Для упрочнения форм применяют методы теплового, химическо-

го и физического воздействия. При тепловом воздействии происходят процессы сушки, окисления масляных связующих, поликонденсации песчано-смоляных смесей, затвердевания жидкого стекла в жидкостекольных смесях и т.п. Упрочнение за счет протекания химических процессов происходит в холоднотвердеющих песчано-смоляных смесях (ХТС) с применением катализаторов, в жидкостекольных смесях при продувке их углекислым газом, в металлофосфатных, цементных, этилсиликатных и других смесях. Для упрочнения смесей применяют прокаливание, обжиг, вакуумирование, воздействие магнитных полей.

В настоящее время для получения необходимых эксплуатационных свойств отливок применяют разнообразные способы воздействия на жидкие металлические расплавы: термовременную обработку, модифицирование, ввод дисперсных инокуляторов (суспензионное литье), перемешивание расплава, продувку газами, обработку его флюсами и шлаками, вакуумирование, воздействие магнитных и электростатических полей и т.д.

подавляющее большинство отливок получают свободной заливкой сплава из ковша под воздействием гравитационного поля Земли. Однако непрерывно увеличивается роль процессов, основанных на специальных способах заливки: под воздействием регулируемого перепада давлений (литье под низким давлением (ЛНД), литье вакуумным всасыванием (ЛВВ), литье с противодавлением (ЛПрД) и др.), под поршневым или компрессионным высоким давлением до 15 МПа (литье под давлением (ЛПД)), с помощью электромагнитных насосов.

Особое место занимают непрерывные процессы получения отливок, при которых осуществляется свободная заливка в неподвижную форму-кристаллизатор в условиях непрерывного вытягивания из нее затвердевающей отливки при непрерывном подводе сплава в форму из разливочного ковша. Для формирования отливок в этих процессах применяют разного вида кристаллизаторы, формирующие устройства или валки.

При некоторых способах литья процессы заливки и формирования отливки совмещаются во времени. К ним относится литье намораживанием, наплавкой и выжиманием. При литье выжиманием подвижная часть формы деформирует затвердевшую часть расплава и выжимает жидкую. После совмещения подвижной и неподвижной частей формы в полости между ними окончательно формируется отливка. Для получения отливок способом наплавки (электрошлаковое литье) источником жидкого металла служит электрод, который плавится за счет тепла, выделяющегося при протекании тока от электрода через слой шлака между ним и наплавляемой отливкой. Этим способом получают отливки наиболее ответственного назначения.

По способу силового воздействия на кристаллизующийся расплав можно выделить:

- совокупность обычных методов литья в гравитационном поле без дополнительных силовых воздействий;
- ЛПД, где формирование отливки осуществляется под высоким поршневым или компрессионным давлением;
- литье под регулируемым давлением, при котором перепады прилегаемых к расплаву давлений относительно невелики (не более 0,01 МПа);
- центробежное литье, где формирование отливки осуществляется в поле центробежных сил инерции, возникающих при вращении формы;
- жидкую штамповку, при которой залитый в форму-матрицу расплав в процессе кристаллизации деформируется подвижной частью формы – пуансоном;
- методы литья с применением наложения на кристаллизующийся расплав вибрации, ультразвуковых колебаний и магнитно-гидродинамических воздействий.

Для обеспечения поверхностного и объемного упрочнения отливок применяют их поверхностное и объемное армирование порошками, волокнами, конструкционной арматурой, например трубками для принудительной циркуляции в будущей детали охлаждающей жидкости, обеспечивающей необходимый термический режим ее эксплуатации.

Каждый самостоятельный способ литья отличается от других хотя бы по одному из вышеперечисленных критериев.

В настоящее время зафиксировано 54 принципиально отличающихся друг от друга способов литья, которые применяются на практике. 64 % этих способов основаны на использовании дисперсных формовочных материалов, 30 % – на применении форм из сплошных материалов (металлические, графитовые формы и т.п.) и 6 % способов не требуют литейных форм. Путем уплотнения формы отливки изготавливаются в 59 % способов, в 6 – без уплотнения, в 29 % способов формы изготавливаются путем литья и последующей механической обработки. В 75 % способов применяется свободная заливка форм, в 6 – непрерывная. Количество способов литья увеличивается со временем по экспоненциальному закону.

В литературе широко распространено деление способов литья на традиционные (обычные) и специальные. Однако, четких критериев, по которым тот или иной способ можно отнести к специальным или обычным способам, нет. С нашей точки зрения, к специальным целесообразно отнести способы литья в специальные формы, использование нетрадиционных методов заливки сплава, а также различные способы воздей-

ствия на жидкий и кристаллизующийся расплав. Среди специальных способов литья можно выделить:

- литье в постоянные формы;
- литье в специальные тонкостенные разовые керамические, оболочковые, углеродные формы, получаемые по выплавляемым, выжигаемым и растворяемым моделям;
- способы получения отливок с использованием внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав (ЛПД под регулируемым давлением, жидкую штамповку, центробежное литье, литье выжиманием, электрошлаковое литье, литье с применением электромагнитных, ультразвуковых воздействий и вибрации);
- непрерывное и полунепрерывное литье;
- способы получения композиционных и армированных отливок.

Остальные способы литья относятся к традиционным. Их основу составляют способы литья в объемные разовые и полупостоянные формы при гравитационной заливке сплава. В настоящее время с помощью этих способов получают подавляющее большинство отливок (до 75 %).

История и перспективы развития литейного производства.

Литейное производство как одна из отраслей металлообработки уходит своими корнями в глубокую древность. Изготовление первых отливок, по археологическим данным, было осуществлено 6,5 тысяч лет тому назад. С тех пор технология литейного производства прошла огромный путь, превратившись в одну из самых совершенных современных отраслей техники и технической науки. В истории литейного производства можно выделить несколько этапов.

Древний период характеризуется примитивной технологией, использующей формы, получаемые вдавливанием модели в глину, а также формы, изготавливаемые из камня. Для изготовления относительно сложных отливок применяли формы, получаемые в глине по восковым моделям. Начиная с VII в. для изготовления котлов и колоколов использовали формы, получаемые по шаблонам вращения. Отливки изготавливали из меди, бронзы и драгоценных металлов. В основном это были предметы культа, быта, а также оружия. В древней Руси отливки стали изготавливать в VI–VIII вв.

Период с XIV в. до середины XIX в. С возникновением производства чугуна резко расширились масштабы производства отливок, что привело к превращению литья в самостоятельное ремесло. Кроме изготовления памятников, многие из которых дошли до нас, и изделий быта широкое развитие получило литье пушек, колоколов, а также ремонтное и машиностроительное литье для развивающейся промышленности. В этот период сформировались основные методы ручной формовки с

применением естественных и синтетических смесей и использованием природных связующих материалов (глины, льняного масла, муки, крахмала). В конце периода появилось кокильное литье. Общее число применяемых методов литья достигло 12. В 1793 г. известный французский математик Г. Монж, занимающийся разработкой технологии отливки пушек, выпустил в свет одну из первых книг по технологии литья «Искусство лить пушки». На русском языке эта книга была издана в Петербурге в 1804 г.

Период с середины XIX в. до 60-х гг. XX в. В этот период литейное производство сформировалось как отрасль промышленной технологии. Во второй половине XIX в. в связи с развитием мартовского способа производства стали появилось стальное фасонное литье. Потребности развивающейся промышленности и, прежде всего, машиностроения вызвали резкий рост номенклатуры и количества изготавливаемых отливок. В этот период разрабатывались способы машинной формовки на основе уплотнения встряхиванием. С 1950 г. широкое применение начинают получать способы уплотнения форм прессованием, а также пескострельные и пескодувные процессы. Литейное производство превращается в механизированное массовое производство самых разнообразных отливок из чугуна, стали, медных, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, а также из неметаллических расплавов.

В этот период сформировалась новая отрасль технической прикладной науки – теория литейных процессов. В 1859 г. в Харькове вышла первая отечественная книга по литейному производству, написанная А. Ф. Мевнусом. В конце XIX и начале XX в. появились первые учебники по литейной технологии, написанные профессорами М. Е. Евангуловым и А. П. Гавриленко, «Лекции по чугунолитейному и сталелитейному делу» Д.К. Чернова и учебник В.С. Кнаббе «Чугунолитейное дело».

В 1922 г. была основана первая в стране кафедра литейного производства в Уральском политехническом институте им. С.М. Кирова. В 1930 г. в Московском высшем техническом училище им. Н. Э Баумана была создана кафедра, специализирующаяся на подготовке инженеромехаников для литейного производства. С 1988 г. в Свердловском инженерно-педагогическом институте начата подготовка инженеро-педагогов для учебных заведений, специализирующихся на подготовке кадров для литейного производства.

В этот период в нашей стране была создана мощная литейная промышленность, обеспечившая выход СССР на первое место в мире по ежегодному объему выпускаемых отливок (27 млн т в год).

По-особому развивалась литейная технология с 60-х гг. XX в. Произошла химизация литейного производства, которая привела к раз-

работке и применению широкой гаммы синтетических связующих добавок в формовочных смесях и появлению новых процессов формообразования. В этот период интенсивно развивались специальные способы литья. Сейчас уже разработаны теоретическая основа синтеза литейных сплавов, теория и технология воздействия на жидкие сплавы с целью обеспечения высоких эксплуатационных свойств отливок.

Литейное производство превращается в автоматизированную отрасль производства. Создаются поточные автоматические линии и оборудование с микропроцессорным управлением технологическими параметрами. Созданы предпосылки для перехода литейного производства на качественно новый уровень, характеризующийся полной комплексной автоматизацией механизированного производства, экологической чистотой и безотходностью технологии, неограниченными возможностями в получении заготовок из любых сплавов для современных машин, приборов и бытовой техники. В ближайшее время автоматизация распространится не только на производство, но и на процессы проектирования оснастки и технологии.

В развитие литейного производства большой вклад внесли отечественные ученые и инженеры П. П. Аносов, Д. К. Чернов, А. С. Лавров, Н. В. Калауцкий, А. Ф. Мевинус, А. П. Гавриленко, Г. Е. Грум-Гржимайло, П. А. Аксенов, П. П. Берг, Н. Н. Рубцов, Ю. А. Нехендзи, Н. Г. Гиршович, А. А. Горшков, Г. М. Дубицкий и др.

В учебнике «Технология литейного производства» изложены основы технологии традиционных методов литья в разовые литейные формы.

Главы 1-я, 5-я, 6-я учебника написаны Б. С. Чуркиным; 2-я, 9-я – совместно Б. С. Чуркиным и В. М. Миляевым; 3-я, 4-я – совместно Б. С. Чуркиным, Э. Б. Гофманом, С. Г. Майзелем и А. Б. Чуркиным; 7-я – Э. Б. Гофманом и А. А. Филиппиковым; 8-я – Э. Б. Гофманом и А. В. Афонаскиным.

Учебник предназначен студентам профессионально-педагогических, металлургических и машиностроительных вузов, обучающимся по литейным специальностям и специализациям, а также инженерно-техническим работникам литейного производства.

Авторы выражают благодарность доценту, кандидату технических наук УГТУ-УПИ Хазану Генриху Леонидовичу за ценные замечания и помощь при написании разд. 5.2 и 5.3 учебника.

Глава 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ И ЛИТЫМ ЗАГОТОВКАМ. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ ОТЛИВОК

Технологический процесс изготовления отливки должен отвечать определенным техническим требованиям к деталям и литым заготовкам. Технические требования регламентируются чертежом детали, техническими условиями, государственными и другими стандартами, в которых устанавливаются требования к химическому составу и механическим свойствам сплавов, к геометрической форме и размерам отливок, к состоянию внешней и внутренней поверхности, к получению в отливках соответствующих структур как по крупности зерна, так и по фазовому составу, требования к способам выявления и исправления поверхностных и внутренних литейных дефектов. Вместе с этим ставится задача получения отливок с минимальным припуском на механическую обработку и минимальной их стоимостью.

Сегодня практически не существует деталей, заготовки под которые нельзя бы было изготовить тем или иным способом литья. Весь вопрос в том, какими свойствами должна обладать литая заготовка и во что обходится ее изготовление. Требования к качеству отливок являются основой разрабатываемого технологического процесса их изготовления.

Использование средств механизации и автоматизации литейных процессов, предусматриваемых при разработке технологии, должно сочетаться с техническими решениями, отвечающими требованиям изготовления отливок высокого качества, соответствующего также высокому уровню служебных свойств деталей.

В ходе технического прогресса понятие «годная отливка» непрерывно претерпевает изменения. Эксплуатационная надежность литых деталей, увеличение срока их службы являются одними из важнейших критериев эффективности технологических мероприятий.

Выбор той или иной технологии для получения отливки должен обеспечивать необходимый уровень ее качественных показателей. Так как качество отливок в значительной мере определяется литейной формой, в которой она формируется, ознакомимся сначала с основными элементами песчаной литейной формы и основными понятиями, которые будут использоваться в последующих главах.

1.1. Элементы литейной формы

Литейная форма представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой сплавом формируется отливка. На рис. 1.1 приведен разрез формы в сборе для отливки «Корпус барабана», на котором показаны основные типичные элементы песчаной литейной формы.

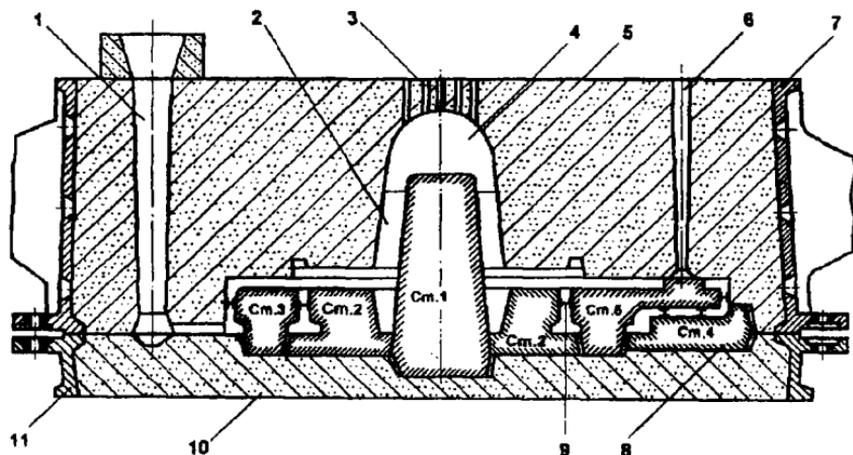


Рис. 1.1. Форма в сборе для отливки «Корпус барабана»:
1 – литниковая система; 2 – полость формы; 3 – газоотводящие каналы; 4 – прибыль; 5 – верхняя полуформа; 6 – выпор; 7 – верхняя опока; 8 – знаковые части стержней; 9 – жеребейки; 10 – нижняя полуформа; 11 – нижняя опока

Полость формы 2 образована двумя полуформами: верхней 5 и нижней 11. Расплав через литниковую систему 1, представляющую собой совокупность каналов в форме, поступает в полость формы 2. Наружные поверхности отливки формируются полостью формы чаще всего по модели при изготовлении формы (формовке). Внутренние полости отливки, а иногда и часть ее наружной поверхности, формируются стержнями. Стержни изготовляют из стержневых смесей в стержневых ящиках и устанавливают в форму при ее сборке. В форме, изображенной на рис. 1.1, предусмотрено пять стержней: стержень 1 выполняет центральное отверстие в отливке; стержни 2 и 3 формируют сложные кольцевые полости в нижней части отливки; стержень 5 формирует полость в правой части отливки; стержень 4 служит для оформления части

наружной поверхности, так как без применения стержня ее по модели не выполнить (модель нельзя будет извлечь после формовки без разрушения правой части формы). Стержни устанавливают и фиксируют в форме на их знаковых (опорных) частях или на жеребейках.

Знаки представляют собой выступающие части стержней, которые при сборке устанавливаются в соответствующие знаковые полости формы, образованные при формовке моделью. На рис. 1.1 знаковые части стержней показаны позицией 8. Иногда установить и надежно зафиксировать стержни знаками не удастся. В этом случае стержни устанавливают на жеребейках 9. Жеребейки представляют собой конструкцию, состоящую из двух выполненных из жести пластин, соединенных металлическими стержнями. Расстояние между пластинами должно быть равно толщине стенки отливки. При заливке формы жеребейки заливаются сплавом и оказываются в теле отливки. Поэтому применение жеребеск желательно исключать. Как видно из рис. 1.1, стержень 5 неустойчиво фиксируется на знаке. Его правая консольная часть способствует наклону стержня в сторону нижней поверхности формы. Если стержень не закрепить жеребейками, то при заливке он наклонится, что приведет к браку.

Для компенсации большой объемной усадки сплава при его охлаждении и затвердевании отливки в форме предусматривают специальные емкости над массивными узлами, называемые прибыльями 4. Для вывода газов из полости формы и стержней предусматривают выпоры 6 или газоотводящие каналы 3.

Для удержания смеси при изготовлении, транспортировке и заливке литейной формы сплавом применяют специальные приспособления — опоки. Каждая полуформа изготавливается в своей опоке 7, 11.

1.2. Основные сведения о качестве отливок

Согласно ГОСТ 15467–79 под качеством продукции понимают совокупность свойств, обеспечивающих удовлетворение определенных потребностей в соответствии с ее назначением. Для количественной оценки свойств отливок, определяющих их качество, используют различные показатели качества. Номенклатура показателей качества устанавливается соответствующими стандартами или техническими условиями. По ГОСТ 4.439–86 для оценки качества отливок общего назначения рекомендуется использовать следующие показатели:

- квалификационные (марку сплава, массу отливки, класс точности, группу сложности);
- показатели назначения (механические свойства, параметры макро- и микроструктуры);

- качества поверхности;
- технологичности и экономного использования металла (пуски на механическую обработку, допуски на необрабатываемые размеры отливки);
- экономические показатели (себестоимость, экономический эффект).

К этим показателям могут быть добавлены специальные характеристики, связанные со специфическими условиями эксплуатации отливки: ударная вязкость при пониженных температурах, коэффициент термического расширения (КТР), магнитные характеристики, герметичность и т.д.

Номенклатура показателей качества, используемая для оценки качества конкретной отливки, зависит от ее назначения. В соответствии с ГОСТ 977-88 все отливки из конструкционных легированных и нелегированных сталей делятся на три группы в зависимости от их назначения:

- 1) *отливки общего назначения*, для которых обязательно контролируемыми показателями являются внешний вид, размеры, химический состав;
- 2) *отливки ответственного назначения* с обязательным контролем внешнего вида, размеров, химического состава и статических механических свойств;
- 3) *отливки особо ответственного назначения*, у которых кроме указанных для второй группы показателей контролируется ударная вязкость стали.

Обычно группу отливки, марку сплава и дополнительные контролируемые показатели конструктор указывает на чертеже детали.

Отливки из цветных сплавов по условиям эксплуатации и в зависимости от приспосабочных испытаний подразделяют на три категории:

- 1) отливки, длительно работающие в неблагоприятных условиях под значительными нагрузками. Для этих отливок предусмотрен выборочный контроль механических свойств на образцах, вырезанных из тела отливки, с одновременным испытанием механических свойств отдельно отлитых от каждой плавки образцов. Осуществляется поштучный контроль плотности отливок (рентгеновская дефектоскопия);
- 2) отливки, работающие в нормальных условиях под средними нагрузками. Для этих отливок предусмотрено испытание механических свойств на отдельно отлитых от каждой плавки образцах или выборочное испытание на образцах, вырезанных из прилитой к отливке заготовки. Осуществляется выборочный контроль отливок на плотность;
- 3) малонагруженные, несответственные отливки. Для них преду-

смотрен контроль механических свойств на отдельно отлитых образцах от плавки. Рентгеновскому контролю эти отливки не подвергаются.

Химический состав и механические свойства сплавов должны соответствовать требованиям ГОСТов или отраслевых стандартов.

Качество отливок в значительной мере определяется уровнем их дефектности. По ГОСТ 14567-79 дефектом называют каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. В литейных цехах с различным уровнем производства брак отливок колеблется от 1 до 10 %, а для сложных отливок иногда может достигать 50-70 %. Вопросы формирования дефектов в отливках, их предотвращения и исправления посвящена гл. 9 учебника.

1.2.1. Классификационные показатели качества

Как было сказано выше, к квалификационным показателям относят марку сплава, массу отливки, класс точности и группу сложности.

Контроль марки сплава осуществляется на основе определения его химического состава, а для чугунов определяют еще и механические свойства, так как значение временного сопротивления разрыву σ_b включает обозначение марки серого и высокопрочного чугуна (например, СЧ20, для которого $\sigma_b \geq 20$ кгс/мм² (200 МПа)), а в обозначение марки ковкого чугуна включены σ_b и относительное удлинение δ_5 (например, КЧ30-6, для которого $\sigma_b \geq 30$ кгс/мм² и $\delta_5 \geq 6$ %).

Химические составы сплавов, а также данные по уровню их механических свойств и методам механических испытаний приведены в соответствующих стандартах и рассматриваются в специальных курсах: «Чугунное литье», «Стальное литье», «Литье сплавов цветных металлов».

Размерная точность литых заготовок и получасмых из них деталей является одним из основных показателей качества. Она определяется степенью приближения действительных размеров отливки к номинальным размерам, указанным на чертеже. В понятие размерной точности включаются следующие показатели: класс точности размеров и масс отливки, допуски размеров отливки, допуски по толщине необрабатываемых стенок и ребер и т. п.

Допуском называется разность наибольшего и наименьшего предельных размеров, между которыми находится действительное значение размера отливки, измеренное с заданной точностью.

Разность действительного и соответствующего номинального размеров называется *отклонением*. Если действительный размер больше номинального, то отклонение будет положительным, в противном случае - оно отрицательное. Алгебраическая разность предельного и номи-

иального размеров называется *предельным отклонением*. Оно может быть верхним и нижним. Пространство, ограниченное верхним и нижним предельными отклонениями, образует *поле допуска*.

Допустимая взаимосвязь между номинальным размером до необрабатываемой поверхности детали L_D , номинальным L_o и предельными L_{oA} и L_{oB} размерами (L_{oA} – наименьший, L_{oB} – наибольший размер отливки) и допуском на размер отливки T_o показана на рис. 1.2.

Взаимосвязь между номинальным размером до обрабатываемой поверхности детали L_D , номинальным L_o и предельными L_{oA} и L_{oB} размерами отливки, припуском на механическую обработку Z на сторону и допуском на размер отливки T_o должна соответствовать взаимосвязи, данной на рис. 1.3 при обработке каждой поверхности отливки от своей базы. На рис. 1.4 показана взаимосвязь между вышеуказанными параметрами при обработке отливок типа тел вращения или противоположных поверхностей симметричных отливок от общей базы.

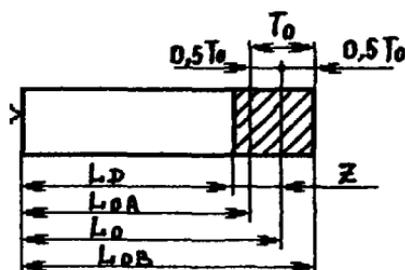
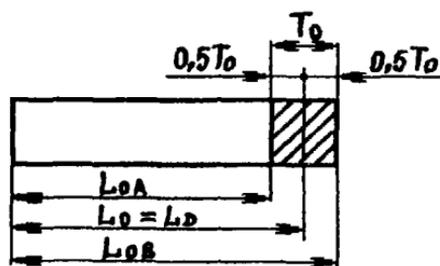


Рис. 1.2. Взаимосвязь между номинальным размером до необрабатываемой поверхности детали, номинальным и предельными размерами и допуском отливки

Рис. 1.3. Взаимосвязь между номинальным размером до обрабатываемой поверхности детали, номинальным и предельными размерами отливки, припуском на сторону на обработку резанием и допуском отливки

Величина допусков на размеры отливок зависит от технологии последующей обработки и тесно связана с комплексом требований к готовому изделию. Допуски на размеры и массу отливок в интервале изменения номинальных размеров от 4 до 10000 мм регламентированы ГОСТ 26645–85, который устанавливает 16 классов точности (с 1-го по 16-й) и шесть промежуточных классов с индексом Т (3Т, 5Т, 7Т, 9Т, 11Т и 13Т) [37]. Для механически обработанных деталей установлено

19 классов точности, обозначаемых буквами IT с индексом 01; 0; 1; 2...; 17 (например IT11).

Точность повышается по мере снижения номера класса или качества. Конкретный допуск для каждого класса точности отливки определяется по ГОСТ 26645-85, табл. 1.1 в зависимости от номинальных размеров.

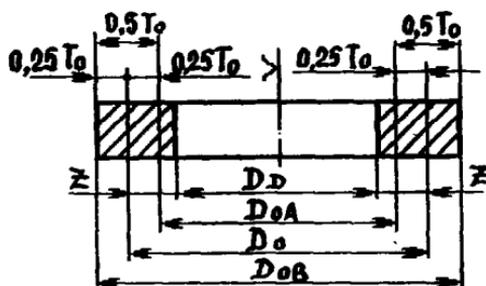


Рис. 1.4. Взаимосвязь между параметрами при обработке отливок типа тел вращения или противоположных поверхностей симметричных отливок от общей базы

Под номинальным размером следует понимать номинальное расстояние между обработанной поверхностью и базой ее механической обработки, а при обработке поверхностей вращения – их номинальный диаметр. У наклонных конических и фасонных поверхностей, заданных координатами одной базы, за номинальный размер принимают наибольший из размеров.

Стандартом предусмотрено устанавливать симметричные и несимметричные предельные отклонения размеров:

- несимметричное одностороннее расположение поля допуска применяется для размеров элементов отливок (кроме толщин стенок), расположенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке. При этом для охватывающих элементов (отверстие) поле допуска располагают «в плюс», а для охватываемых (вал) – «в минус»;
- симметричное – для всех остальных элементов отливок, не подвергаемых и подвергаемых механической обработке.

Допуски масс определяются по тем же классам точности по номинальным значениям массы отливки, определяемой по номинальным размерам (табл. 1.5) [45].

Класс точности отливки определяется по указанным на чертеже детали предельным отклонениям размеров. Эти отклонения даются или непосредственно после номинальных размеров (например $20^{+0,18}$), или в

Таблица 1.1

Допуски линейных размеров отливок (ГОСТ 26645-85), мм

Номинальный размер	Класс точности размеров отливок											
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	
4 - 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	
6 - 10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	
10 - 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	
16 - 25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	
25 - 40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	
40 - 63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	
63 - 100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	
100 - 160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	
160 - 250	-	-	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	
250 - 400	-	-	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	
400 - 630	-	-	-	-	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,40	
630 - 1000	-	-	-	-	-	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,60	
1000 - 1600	-	-	-	-	-	-	-	1,40	1,80	2,20	2,80	
1600 - 2500	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,40	3,20	
2500 - 4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,20	3,60	

Номинальный размер	Класс точности размеров отливок											
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16	
До 4	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-	
4 - 6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	-	-	-	-	-	
6 - 10	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	-	-	-	
10 - 16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	-	-	
16 - 25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12	
25 - 40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14	
40 - 63	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	
63 - 100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	
100 - 160	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20	
160 - 250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22	
250 - 400	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24	
400 - 630	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28	
630 - 1000	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32	
1000 - 1600	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36	
1600 - 2500	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40	
2500 - 4000	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	16,0	18,0	22,0	28	36	44	
4000 - 6300	6,0	6,4	8,0	10,0	12,0	20,0	20,0	24,0	32	40	50	
6300 - 10000	-	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	24,0	32,0	40	50	64	

технических условиях с указанием номера качества (например +(IT14)/2, где IT14 - обозначение четырнадцатого качества точности). Если на чертеже по некоторым размерам предельные отклонения не указаны и нет соответствующих указаний в технических условиях, то эти размеры отвечают качествам IT12-IT16. Значения допусков размеров механически обрабатываемых деталей для качеств от IT5 до IT15 приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Значения допусков механически обрабатываемых деталей, мкм [37]

Размер, мм	Квалитет										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400
3 - 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480
6 - 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580
10 - 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700
18 - 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840
30 - 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000
50 - 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200
80 - 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400
120 - 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
180 - 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850
250 - 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100
315 - 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300
400 - 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500

Номер квалитета по значению предельного отклонения можно найти по табл. 1.2. Например, для размера детали $20^{+0,18}$ по значению предельного отклонения 0,18 находим номер квалитета IT12. Класс точности литой заготовки связан с квалитетом детали. Данные по этой зависимости приведены в табл. 1.3 [25].

Таблица 1.3

Классы точности размеров отливок в зависимости от квалитетов точности размеров обработанных деталей (ГОСТ 28645-85)

Класс точности размеров отливок	1 - 3т	3 - 5т	5 - 7т	7 - 9т	9 - 16
Квалитет точности размеров деталей, получаемых механической обработкой	IT9 и грубее	IT10 и грубее	IT11 и грубее	IT12 и грубее	IT13 и грубее
	IT8 и точнее	IT8 - IT9	IT9 - IT10	IT9 - IT11	IT10 - IT12

Для определения класса точности отливки необходимо найти квалитеты всех размеров детали. Класс точности отливки определяется по наименьшему квалитету для всех размеров обработанной детали по табл. 1.3. Например, если наименьший квалитет размеров детали IT12 отвечает размеру $20^{+0,18}$, то по табл. 1.3 определяем класс точности отливки - 9т.

В соответствии с классом точности можно по табл. 1.1 определить допуски на все размеры отливки. Например, для обрабатываемого размера 20 мм в соответствии с классом точности 9т находим допуск 1,2 мм. Класс точности изготовленной отливки зависит от ее сложности и применяемого способа литья. Для каждого способа литья характерен

ряд факторов, определяющих размерную точность отливок. При литье в песчаные формы на точность получаемых отливок влияет, главным образом, точность изготовления модельной и стержневой оснастки, а также способ изготовления формы и применяемые формовочные материалы.

Допуски размеров перпендикулярных к плоскости разъема элементов отливки, оформляемых двумя полуформами, устанавливают в соответствии с классом точности отливки. Допуски размеров элементов, оформляемых одной частью формы или одним стержнем, принимаются на 1-2 класса точнее. Для элементов, обратных тремя и более частями формы, а также для толщины стенок, ребер и фланцев допуски устанавливают на 1-2 класса грубее. Допуски размеров от предварительно обработанной поверхности до литой поверхности принимают на два класса точнее.

В процессе производства имеет место смещение полуформ относительно друг друга, что приводит к смещению элементов отливки, выполняемых в разных полуформах. Предельные отклонения смещений от номинального положения элементов отливок по плоскости разъема формы по ГОСТ 26645-85 приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Предельные отклонения смещения от номинального положения элементов отливки по плоскости разъема (ГОСТ 26645-85)

Расстояние между центрирующими устройствами формы, мм	Предельное отклонение смещения для классов точности размеров отливок, ± мм, не более									
	1-3	4-5т	5-6	7г-7	8-9т	9-10	11т-12т	12-13т	13-14	15-16
До 630	0,24	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
631 - 1600	0,30	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
1601 - 4000	0,40	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0
Св. 4000	0,50	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	2,0	2,4	3,0	4,0

При выборе способа литья можно использовать данные, приведенные в табл. 1.5.

Класс точности отливки и допуски на размеры зависят от ее сложности. Для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов предусмотрены 6 групп сложности, каждая из которых характеризуется совокупностью значений семи параметров, приведенных в табл. 1.6.

Отливки относят к той или иной группе сложности по наибольшему (не менее 4) числу указанных в табл. 1.6 параметров. Чугунные и стальные отливки разделяются на 5 групп сложности.

К группе 1 относятся отливки простой формы (плоские, круглые или полусферические). Их наружные и внутренние поверхности долж -

Таблица 1.5

Классы точности размеров и масс и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных способов литья (ГОСТ 26645-85)

Способ литья	Максимальный размер отливки, мм	Тип металла и сплава		
		Цветные с температурой плавления ниже 700 °С	Цветные с температурой плавления выше 700 °С, серый чугун	Ковкий, высокопрочный и легированный чугун, сталь
		Класс точности размеров и масс отливок, ряд припусков		
Литье под давлением в металлические формы	До 100	$\frac{3г-5}{1}$	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7г}{1}$
	Св. 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7г}{1}$	$\frac{5г-7}{1}$
Литье в керамические формы и по выплавляемым и выжигаемым моделям	До 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7г}{1-2}$	$\frac{5г-7}{1-2}$
	Св. 100	$\frac{4-7}{1-2}$	$\frac{5г-7}{1-2}$	$\frac{5-8}{1-2}$
Литье в кокиль и под низким давлением в металлические формы со стержнями и без них; в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой	До 100	$\frac{4-9}{1-2}$	$\frac{5г-10}{1-3}$	$\frac{4-9}{1-2}$
	Св. 100 до 630	$\frac{5г-10}{1-3}$	$\frac{5г-10}{1-3}$	$\frac{5-11г}{1-3}$
	Св. 630	$\frac{5г-10}{1-3}$	$\frac{5-11г}{1-3}$	$\frac{6-11г}{2-4}$
Литье в песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, центробежное, в сырые и сухие песчано-глинистые формы	До 630	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7г-12}{2-4}$	$\frac{7-13г}{2-5}$
	Св. 630 до 4000	$\frac{7-12}{2-4}$	$\frac{8-13г}{3-5}$	$\frac{9г-13}{3-6}$
	Св. 4000	$\frac{8-13г}{3-5}$	$\frac{9г-13}{3-6}$	$\frac{9-14}{4-6}$

Примечание. В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе ряды припусков. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие значения - к сложным, мелкосерийно и индивидуально изготовленным отливкам; средние - к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства. Классы точности масс следует принимать соответствующими классам точности отливок.

ны быть гладкими. На наружных поверхностях возможно наличие невысоких ребер, бобышек, выступов и углублений. Отливки выполняются без стержней или с применением простых стержней.

К группе 2 относятся отливки в виде сочленения простых тел. Наружные поверхности этих отливок плоские и криволинейные с наличием ребер, буртов, бобышек, кронштейнов и фланцев с отверстиями и углублениями простой формы. Отдельные части отливок выполняются стержнями. Их внутренние полости имеют простую конфигурацию.

К группе 3 относятся отливки открытой коробчатой, полусферической, цилиндрической и другой формы. Наружные поверхности отли-

вок криволинейные и плоские с наличием нависающих частей, ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями сложной конфигурации. Их внутренние полости большой протяженности расположены в одном или двух ярусах со свободными широкими выходами полостей.

Таблица 1.6
Параметры отливок из алюминиевых и магниевых сплавов различных групп сложности

Параметр отливки	Группа сложности					
	1	2	3	4	5	6
Масса без литников и прибылей, кг	30	15	8	30	15	8
Габаритные размеры, мм	400 .. 1600	400 .. 1000	250 .. 1000	100 .. 400	100 .. 250	До 100
Толщина стенки, мм	4,5 - 7	4,5 - 6	4 - 6	1,5 - 5	Не ограничивается	
Число размеров, определяющих отливку	До 200	150 - 200	100 - 150	До 100		
Класс точности размеров (ГОСТ 26645-85)	6 - 13г	5г - 13г		3г - 13г		
Число стержней, шт.	До 15	До 10	До 10	До 8	До 5	Нет
Категория ответственности	I	I	I, II	I, II	II, III	II, III

К группе 4 относятся отливки закрытой или частично открытой формы. Наружные поверхности этих отливок криволинейные и плоские с кронштейнами, фланцами, патрубками. Многие части поверхности выполняются стержнями. Внутренние части имеют сложную конфигурацию.

К группе 5 относятся отливки закрытой коробчатой формы. Значительная часть их поверхностей выполняется стержнями.

Примеры отливок, относящихся к различным группам сложности, показаны на рис. 1.5-1.9 [37].

1.2.2. Показатели технологичности отливок и экономного использования металла

К группе этих показателей качества относятся припуски на механическую обработку, КИМ, технологические напуски.

С целью достижения заданных чертежом размеров и необходимого качества поверхности на обрабатываемых поверхностях назначают припуски на механическую обработку. Величину припусков определяют в зависимости от класса точности отливки, ее номинальных и габаритного размеров, положения при заливке, способа литья и вида сплава.

Основные припуски на механическую обработку назначают в за -

в зависимости от допусков размеров дифференцированно для каждого элемента отливки в соответствии с ГОСТ 26645-85. Для назначения основных припусков на механическую обработку используют данные табл. 1.7 (ГОСТ 26645-85), в которой величины припусков даны в зависимости от величины допуска размера и номера ряда припуска.

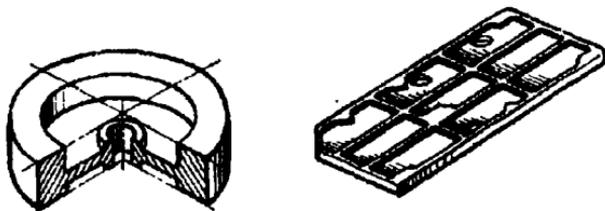


Рис. 1.5. Отливки 1-й группы сложности

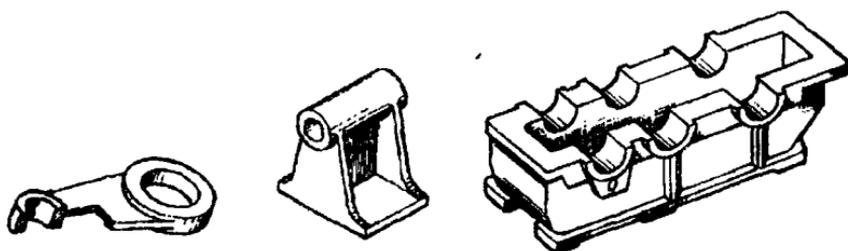


Рис. 1.6. Отливки 2-й группы сложности

Рис. 1.7. Отливка 3-й группы сложности

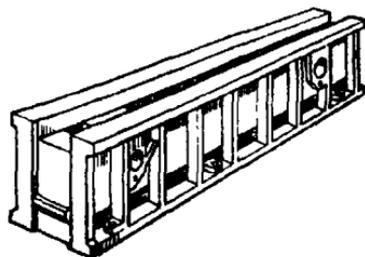


Рис. 1.8. Отливка 4-й группы сложности

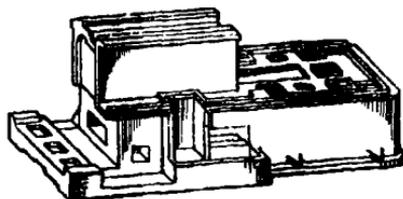


Рис. 1.9. Отливка 5-й группы сложности

Об определении допусков размеров было сказано выше. Ряд припуска зависит от сложности отливки и способа ее получения. Для определения ряда припуска можно использовать данные табл. 1.5.

Основные соединения о качестве отливок

В табл. 1.7 для каждого интервала значений допусков размеров отливки в каждом ряду припусков предусмотрены два значения основного припуска. Меньшее значение устанавливается для более грубых качеств точности обработки деталей, большее значение – для более точных качеств.

При более высокой точности размеров допускается увеличение основного припуска до ближайшего большего значения из того же ряда. На обрабатываемых поверхностях, расположенных при заливке сверху, допускается увеличивать припуск до значения, соответствующего следующему ряду припусков.

Таблица 1.7

Основные припуски на обработку отливок резанием (ГОСТ 26645-85)

Допуск размеров отливок, мм	Основной припуск для рядов, мм					
	1	2	3	4	5	6
До 0,12	0,2 - 0,4					
0,13 - 0,16	0,3 - 0,5	0,6 - 0,8				
0,17 - 0,20	0,4 - 0,6	0,7 - 1,0	1,0 - 1,4			
0,21 - 0,24	0,5 - 0,7	0,8 - 1,1	1,1 - 1,5			
0,25 - 0,30	0,6 - 0,8	0,9 - 1,2	1,2 - 1,6	1,8 - 2,2	2,6 - 3,0	
0,31 - 0,40	0,7 - 0,9	1,0 - 1,3	1,4 - 1,8	1,9 - 2,4	2,8 - 3,2	
0,41 - 0,50	0,8 - 1,0	1,1 - 1,4	1,5 - 2,0	2,0 - 2,6	3,0 - 3,4	
0,51 - 0,60	0,9 - 1,2	1,2 - 1,6	1,6 - 2,2	2,2 - 2,8	3,2 - 3,6	
0,61 - 0,80	1,0 - 1,4	1,3 - 1,8	1,8 - 2,4	2,4 - 3,0	3,4 - 3,8	4,4 - 5,0
0,81 - 1,00	1,1 - 1,6	1,4 - 2,0	2,0 - 2,8	2,6 - 3,2	3,6 - 4,0	4,6 - 5,5
1,01 - 1,20	1,2 - 2,0	1,6 - 2,4	2,2 - 3,0	2,8 - 3,4	3,8 - 4,2	4,8 - 6,0
1,21 - 1,60	1,6 - 2,4	2,0 - 2,8	2,4 - 3,2	3,0 - 3,8	4,0 - 4,6	5,0 - 6,5
1,61 - 2,00	2,0 - 2,8	2,4 - 3,2	2,8 - 3,6	3,4 - 4,2	4,2 - 5,0	5,5 - 7,0
2,01 - 2,40	2,4 - 3,2	2,8 - 3,6	3,2 - 4,0	3,8 - 4,6	4,6 - 5,5	6,0 - 7,5
2,41 - 3,00	2,8 - 3,6	3,4 - 4,5	3,6 - 4,5	4,2 - 5,0	5,0 - 6,5	6,5 - 8,0
3,01 - 4,00	3,4 - 4,5	3,8 - 5,0	4,2 - 5,5	5,0 - 6,5	5,5 - 7,0	7,0 - 9,0
4,01 - 5,00	4,0 - 5,5	4,4 - 6,0	5,0 - 6,5	5,5 - 7,5	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0
5,01 - 6,00	5,0 - 7,0	5,5 - 7,5	6,0 - 8,0	6,5 - 8,5	7,0 - 9,5	9,0 - 11,0
6,01 - 8,00	-	6,5 - 9,5	7,0 - 11,0	7,5 - 11,0	8,5 - 12,0	10,0 - 13,0
8,01 - 10,0	-	-	9,0 - 12,0	10,0 - 13,0	11,0 - 14,0	12,0 - 15,0
10,1 - 12,0	-	-	10,0 - 13,0	11,0 - 14,0	12,0 - 15,0	13,0 - 16,0
12,1 - 16,0	-	-	13,0 - 15,0	14,0 - 16,0	15,0 - 17,0	16,0 - 19,0
16,1 - 20,0	-	-	-	17,0 - 20,0	18,0 - 21,0	19,0 - 22,0
20,1 - 24,0	-	-	-	20,0 - 23,0	21,0 - 24,0	22,0 - 25,0
24,1 - 30,0	-	-	-	-	26,0 - 29,0	27,0 - 30,0
30,1 - 40,0	-	-	-	-	-	34,0 - 37,0
40,1 - 50,0	-	-	-	-	-	42,0
50,1 - 60,0	-	-	-	-	-	50,0

Примечание. Значения основных припусков относятся к поверхностям отливки, находящимся при заливке снизу или сбоку, припуск на верхние поверхности допускается увеличивать до значения, соответствующего следующему ряду.

Из-за смещения полуформ, коробления отливок предельное отклонение расположения частей отливки может превзойти половину допуска на соответствующий размер отливки. В этом случае на смещенные поверхности кроме основного назначают дополнительный припуск на механическую обработку. Предельное отклонение расположения определяют как сумму предельных отклонений смещения (см. табл. 1.4) и коробления (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Предельные отклонения коробления элементов отливок

Интервалы максимальных размеров отливки, мм	Степень коробления отливки, мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До 100	--	--	--	--	--	0,10	0,16	0,24	0,4	0,5
101 - 160	--	--	--	--	0,10	0,16	0,24	0,40	0,6	1,0
161 - 240	--	--	--	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,0	1,6
241 - 400	--	--	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,6	2,4
401 - 630	--	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,4	4,0
631 - 1000	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,0	6,0
1001 - 1600	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,0	10,0
1601 - 2400	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,0	16,0
2401 - 4000	--	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,0	16,0	24,0
4001 - 6300	--	--	1,60	2,40	4,00	6,00	10,0	16,0	24,0	40,0
6301 - 10000	--	--	--	4,00	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0	60,0

Примечание. Предельные отклонения коробления симметричны.

Степень коробления отливки определяют по табл. 1.9 в зависимости от отношения наибольшего и наименьшего габаритных размеров отливки. Дополнительный припуск на обработку резанием определяют в зависимости от допуска на размер и наибольшей погрешности (предельного отклонения) расположения по табл. 1.10.

Для иллюстрации рассмотрим пример определения припусков на механическую обработку вертикально расположенной поверхности (номинальный размер $120^{+0,14}$) и горизонтально расположенной верхней поверхности (номинальный размер $200^{+0,30}$) для сложной отливки из алюминиевого сплава.

Таблица 1.9

Зависимость степени коробления от соотношения размеров сторон отливок (ГОСТ 26645-85)

Отношение наименьшего габаритного размера отливки к наибольшему	Св. 0,20	0,20-0,10	0,10-0,05	До 0,05
Степень коробления (элемента отливки)	1 - 7	2 - 8	3 - 9	4 - 10

Примечание. Меньшие значения степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов, не подвергаемых термической обработке; большие значения - к сложным, термообработываемым отливкам из черных сплавов.

По табл. 1.2 находим, что размеру $120^{+0,14}$ отвечает качество ПТ10, а размеру $200^{+0,20}$ – ПТ11. Детали отвечает качество ПТ10. С помощью табл. 1.3 выясняем, что для получения детали с точностью, отвечающей качеству ПТ10, необходимо иметь литую заготовку, полученную с 7-м классом точности. По табл. 1.1 для 7-го класса точности находим допуски на указанные размеры отливки: для размера 120 мм допуск составит 1,2 мм, а для размера 200 мм – 1,4 мм. По табл. 1.5 для изготовления отливки в песчаной форме с 7-м классом точности определяем 3-й ряд припусков на механическую обработку. Основным припуск определяем с помощью табл. 1.7 по найденным значениям допусков и ряда припусков. Для вертикальной поверхности с размером 120 мм основным припуск принимаем равным 2,2 мм. Для верхней горизонтальной поверхности с размером 200 мм принимаем припуск, отвечающий следующему, т. е. 4-му, ряду припусков – 3 мм.

Таблица 1.10

Дополнительные припуски на обработку отливок резанием

Допуск размера отливки, мм	Наибольшая погрешность расположения, мм	Дополнительный припуск, мм
До 0,06	До 0,12	0,1
0,06 - 0,08	0,03 - 0,12	0,1
	0,12 - 0,16	0,2
0,08 - 0,10	0,04 - 0,16	0,1
	0,16 - 0,20	0,2
0,10 - 0,12	0,05 - 0,16	0,1
	0,16 - 0,24	0,2
0,12 - 0,16	0,06 - 0,20	0,1
	0,20 - 0,30	0,2
0,16 - 0,20	0,08 - 0,20	0,1
	0,30 - 0,40	0,3
0,20 - 0,24	0,10 - 0,24	0,1
	0,24 - 0,40	0,2
	0,40 - 0,50	0,4
0,24 - 0,30	0,12 - 0,24	0,1
	0,24 - 0,40	0,2
	0,40 - 0,50	0,3
	0,50 - 0,60	0,5
0,30 - 0,40	0,15 - 0,30	0,1
	0,30 - 0,40	0,2
	0,40 - 0,50	0,3
	0,50 - 0,60	0,4
	0,60 - 0,80	0,6
0,40 - 0,50	0,20 - 0,40	0,1
	0,40 - 0,50	0,2
	0,50 - 0,60	0,3
	0,60 - 0,80	0,5
	0,80 - 1,00	0,8

Дополнительный припуск на вертикальной поверхности должен компенсировать отклонение, вызванное короблением отливки и смещением полуформ. По табл. 1.4 находим, что предельное отклонение смещения при расстоянии между центрирующими штырями 500 мм равно 0,5 мм при 7-м классе точности отливки. При отношении минимального и максимального габаритных размеров, равном 0,5 (свыше 0,2), степень коробления сложной отливки примем равной 6 (табл. 1.9) и предельное отклонение за счет коробления будет равно 0,24 (табл. 1.8). Суммарная наибольшая погрешность расположения равна 0,74 мм. При допуске на размер 1,2 мм по табл. 1.10 находим дополнительный припуск – 0,2 мм.

Горизонтальная поверхность выполняется в одной (верхней) полуформе, поэтому отклонений размеров из-за смещения полуформ не будет. Величина же отклонения из-за возможного коробления будет меньше половины допуска на размер, значит, для этой поверхности нет необходимости в дополнительном допуске.

Таким образом, принимаем следующие значения припусков на механическую обработку для рассматриваемых поверхностей: 3,0 мм для горизонтальной поверхности (размер 200 мм) и $2,2+0,2=2,4$ мм для вертикальной поверхности (размер 120 мм).

Контроль размерной точности отливок осуществляют путем измерения действительных размеров, проверки соответствия действительных размеров допустимым предельным значениям и контролем отливок разметкой [9]. При любом способе основой для контроля размерной точности является чертеж отливки. Часто чертежи отливок разрабатывает конструктор. Однако во многих случаях разработка чертежа отливки по чертежу детали входит в обязанности технолога-литейщика, поэтому вопросы конструирования и построения чертежа литой заготовки специально рассмотрены в гл. 2.

При построении чертежа отливки кроме определения припусков необходимо предусматривать технологические напуски для обеспечения направленности затвердевания, скругления углов – галтелей. Отверстия, диаметр которых меньше некоторых предельных значений, при литье не выполняют, а обеспечивают их при последующей механической обработке. Эти отклонения чертежа отливки от чертежа детали увеличивают металлоточность отливки. Показателем экономичности использования металла в отливке является КИМ, равный отношению массы детали к массе литой заготовки, выраженному в процентах.

1.2.3. Показатели назначения

К показателям назначения относят физико-механические характеристики сплава в отливках (временное сопротивление разрыву σ_v ,

предел текучести σ_m , относительное удлинение δ_5 , поперечное сужение ψ , ударную вязкость KCU , твердость), а также параметры его макро- и микроструктуры.

К этой группе показателей можно отнести специальные эксплуатационные характеристики: ударную вязкость при пониженных температурах, износостойкость, коррозионную стойкость, жаростойкость и жаропрочность, герметичность и т.д. Набор контролируемых механических свойств и число образцов, на которых определяются свойства, устанавливаются в зависимости от назначения отливки.

При изготовлении отливок общего назначения контролируют следующие физико-механические характеристики сплавов: временное сопротивление разрыву σ_b , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, относительное удлинение δ_5 , твердость HB и ударную вязкость KCU .

Для отливок ответственного назначения набор механических свойств, определяющих надежность отливок при их эксплуатации, может быть иным. Например, для отливок, работающих при высоких температурах (лопатки газовых турбин, элементы камер сгорания и т.п.) наиболее значимым является контроль характеристик жаропрочности: предела длительной прочности, долговечности, предела текучести. Для отливок, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, большое значение имеют предел выносливости, усталостная долговечность при нормальной и повышенной температурах, при многоцикловых испытаниях. При контроле механических свойств малопластичных материалов (например серого чугуна) проводят испытания на изгиб и сжатие. Методики механических испытаний, размеры образцов, технология их отливки и обработки регламентируются стандартами и техническими условиями.

Контроль структуры необходим для оценки качества как сплава, так и отливки. К макро- и микроструктуре отливок общего назначения специальные требования обычно не предъявляются. В этих случаях контроль структуры осуществляется, главным образом, в период отработки технологии изготовления отливки или при систематическом появлении брака по механическим свойствам и аварийных разрушениях отливок при их эксплуатации.

Характеристики структуры сплавов (размер и форма макрозерна, размер дендритных ячеек, тип и соотношение структурных составляющих и т.п.) приводятся в соответствующих ГОСТах, но не являются объектом контроля, если по химическому составу и механическим свойствам отливка удовлетворяет требованиям. Однако, для ряда ответственных отливок (лопаток газотурбинных двигателей, тормозных колодок и т.д.) контроль микроструктуры предписывается техническими

условиями и является обязательным для каждой плавки. Его проводят по специально отливаемым образцам.

Число микродефектов литейного происхождения оценивают системой баллов по эталонным структурам. Например, пористость отливок из алюминиевых сплавов оценивают в баллах по соответствующей шкале (в зависимости от размеров и числа пор на единицу площади шлифа).

1.2.4. Показатели качества поверхности

Качество поверхности для многих отливок является одним из существенных показателей их кондиционности. Оно имеет наибольшее значение для отливок, используемых без механической обработки (ЛПД, литье по выплавляемым моделям и т.д.). В этих случаях необходимым является контроль шероховатости поверхности. Параметры шероховатости поверхности, используемые в машиностроении, установлены ГОСТ 2789-73.

Шероховатостью называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине.

Количественно шероховатость оценивается расстояниями от средней линии m , проведенной таким образом, что в пределах базовой длины l сумма квадратов отклонений профиля от этой линии минимальна.

Установлено шесть основных параметров шероховатости поверхности: три высотных R_a , R_z , R_{max} два шаговых S_m и S и один по опорной длине профиля t_p . Графически эти характеристики пояснены на рис. 1.10, где R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, вычисля-

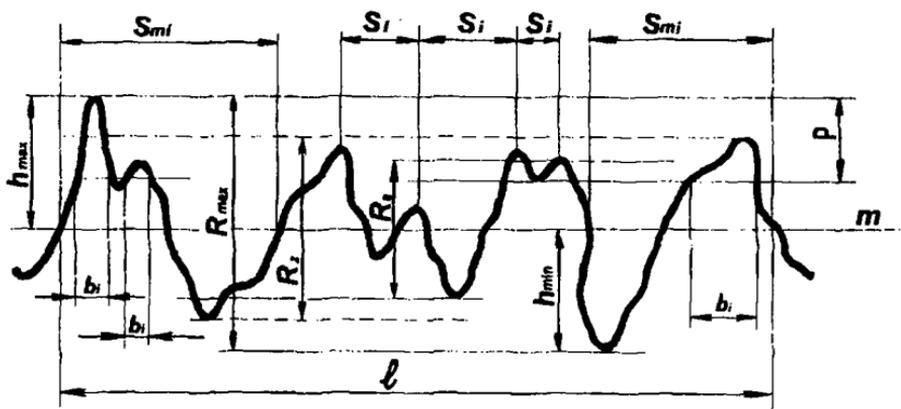


Рис. 1.10. Основные параметры, определяющие шероховатость отливок

мос по абсолютным значениям отклонений профиля; R_z – высота неровностей профиля по 10 точкам, определяемая как сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов h_{min} и пяти наибольших максимумов h_{max} профиля; R_{max} – наибольшая высота профиля, т.е. расстояние между линией выступов и линией впадин профиля, проведенных через максимальную вершину и впадину; S_m – средний шаг неровностей профиля (вдоль линии m); S – средний шаг неровностей профиля по вершинам выступов; l – относительная опорная длина профиля, определяемая как отношение опорной длины профиля l^* к базовой длине l , т.е. $t_p = l^*/l$ [9]. Опорная длина l^* – сумма длин отрезков b_i , отсекаемых в материале выступов на заданном уровне сечения P : $S_m = \sum S_{mi}$ и $S = \sum S_i$. Базовую длину k выбирают, исходя из значений R_a , R_z , R_{max} .

Качество поверхности при значениях параметра $R_z > 100$ мкм оценивается параметром R_z , а при $R_a < 0,025$ мкм – параметром R_a . В интервале 0,025–100 можно использовать все высотные параметры.

Практика литья в различные формы показывает, что даже при использовании самых прецизионных методов литья не удается получить поверхности с шероховатостью $R_a \leq 0,63$ мкм. Поэтому для оценки качества литых поверхностей применяют высотный параметр R_z . Данные по шероховатости литых поверхностей при разных методах литья приведены в табл. 1.11 [9].

Качество поверхности определяется следующими факторами: зерновым составом формовочных материалов, дисперсностью покрытий и красок, родом и температурой заливки сплава, скоростью кристаллизации, размерами и толщиной стенки отливки, качеством поверхности модельной оснастки, методом уплотнения смеси, способом литья и т.д.

Допустимая величина шероховатости регламентируется для поверхностей, не подвергающихся механической обработке.

При контроле шероховатости поверхности влияния дефектов (пригара, оксидных плен, ужимин и т.д.) должно быть исключено, так как по ГОСТ 2789–73 требования к шероховатости на дефекты не распространяются. Требования по наличию дефектов указываются в технических условиях.

Контроль шероховатости поверхности проводится с помощью специальных оптических (ГОСТ 9847–79) и контактных приборов (профилометров, профилографов).

Таблица 1.11

Шероховатость R_z поверхностей отливок, полученных различными способами литья

Способ литья	Максимальный размер отливки, мм	R_z поверхности отливки, мкм			
		Цветные сплавы с температурой плавления, °С		Ковкий, высокопрочный и легированный чугуны, сталь	
		ниже 700	выше 700, серый чугун		
Под давлением	До 100 Св. 100	6,3 - 1,6 12,5 3,2	12,5 3,2 20,0 6,3	20,0 - 6,3 20,0 - 10,0	
В керамические формы, по выплавляемым моделям	До 100 Св. 100	12,5 - 3,2 25,0 6,3	25,0 10,0 32,0 - 10,0	32,0 - 10,0 40,0 - 12,5	
В кокиль и под низким давлением, в металлические формы без песчаных стержней и с ними, в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой	До 100	20,0 - 10,0	32,0 16,0	40,0 - 20,0	
	Св. 100 до 630 Св. 630	32,0 - 16,0 40,0 20,0	40,0 20,0 50,0 25,0	50,0 - 25,0 63,0 - 32,0	
В песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, в сырые и сухие песчаные формы	До 630	80,0 40,0	100,0 - 50,0	125,0 - 63,0	
	Св. 630 до 4000 Св. 4000	100,0 - 50,0 125,0 63,0 125,0 - 63,0	125,0 63,0 200,0 - 125,0	200,0 - 125,0 Св. 200,0	

1.2.5. Специальные показатели качества

Специальные требования к отливкам оговариваются в технических условиях или непосредственно на чертеже литой детали. К ним можно отнести следующие характеристики, определяемые функциональным назначением отливки и условиями их работы:

- герметичность, которую проверяют по ГОСТ 5197-85 при повышенном давлении жидкости или газа (обычно 0,5-30 МПа) и в вакууме (низком - не менее 100 Па, среднем - $10^2 - 10^{-1}$ Па, высоком - $10^{-1} - 10^{-5}$ Па и сверхвысоком - более 10^{-5});
- коррозионную стойкость в различных жидких и газообразных средах, часто при повышенных до 70-300 °С температурах;
- износостойкость;
- термостойкость;
- стабильность размеров при знакопеременных нагрузках или при повышенных температурах.

Методы испытания отливок регламентируются ГОСТами, отраслевыми стандартами (ОСТАми) и другими нормативными документами.

Показатели качества и специальные требования к каждой отливке должны быть оговорены на чертеже литой заготовки и в соответствующем

щих технических условиях. Они указываются технологом при разработке и доводке технологического процесса изготовления отливки.

Качество литой заготовки и трудоемкость ее изготовления существенно зависят от того, в какой мере конструкция детали учитывает требования технологии применяемого способа литья. Степень соответствия этим требованиям связана с понятием технологичности детали.

1.3. Технологичность литых деталей

Несмотря на широкие возможности способов литья, позволяющие получать практически любые заготовки, наивысший экономический и технический эффект может быть достигнут при обеспечении технологичности конструкции деталей, изготавливаемых при том или ином литейном процессе. Под технологичностью литой детали будем понимать степень соответствия ее конструкции технологическим требованиям формирования отливки в форме, формообразования, удаления отливки из формы, стержней из отливки и т.д. Низкая технологичность конструкции детали приводит к повышенному браку отливок, увеличению затрат на их получение и механическую обработку, к снижению их эксплуатационных свойств.

Очевидно, что технологичность детали связана с особенностями применяемых способов литья. В нашем учебнике будут рассмотрены технологические требования к конструкции литой детали, изготавливаемой литьем в разовые песчаные формы.

Технологичность литой детали должна обеспечиваться на стадии ее конструирования при сотрудничестве конструкторов и литейщиков-технологов. При правильно сконструированной литой детали процесс построения чертежа отливки существенно упрощается и отливка максимально приближается к детали. При этом не требуются значительные технологические напуски и конфигурационные отклонения, приводящие к резкому снижению коэффициента использования металла и повышению трудоемкости механической обработки отливки.

1.3.1. Требования к конструкции литых деталей, обусловленные закономерностями формирования отливок

Из курса «Теоретические основы литейных процессов» известно, что при формировании отливки происходят сложные процессы, связанные с заполнением форм сплавами, охлаждением, затвердеванием сплава и его кристаллизацией, прогревом стенок формы, газовыделением и эвакуацией газов из полости формы и ее стенок, развитием литейных

напряжений и деформаций, а также с другими явлениями. Характер протекания этих процессов, зависящий от литейных свойств сплава, конфигурации и размеров отливки, а также от характеристик литейной формы, оказывает существенное влияние на образование различных дефектов отливки. Поэтому при конструировании отливок из разных сплавов при различных способах литья нужно обязательно учитывать требования, обусловленные закономерностями их формирования.

Параметры конструкции отливки, прежде всего, толщина и протяженность ее наиболее тонкостенных элементов оказывают влияние на заполняемость формы сплавом и появление таких дефектов, как спай и недоливы (гл. 9).

Толщина стенок отливок не должна быть меньше некоторых минимальных значений, определяемых жидкотекучестью сплава и технологией изготовления отливок. Литая стенка выполняет определенные важные функции: придает детали требуемую конфигурацию, обеспечивает необходимую прочность и т.д. Толщина стенки отливки зависит от выполняемой ею функции.

Однако рассчитанные конструктором стенки часто оказываются столь тонкими, что не могут быть получены при литье из-за ограниченной жидкотекучести сплава. В отливках из серого чугуна тонкие стенки могут получиться отбеленными. Минимальная толщина стенки зависит не только от металлургических и технологических факторов, но и от габаритных размеров отливки. На практике минимальную толщину стенки отливки при литье в песчаные формы определяют по графикам в

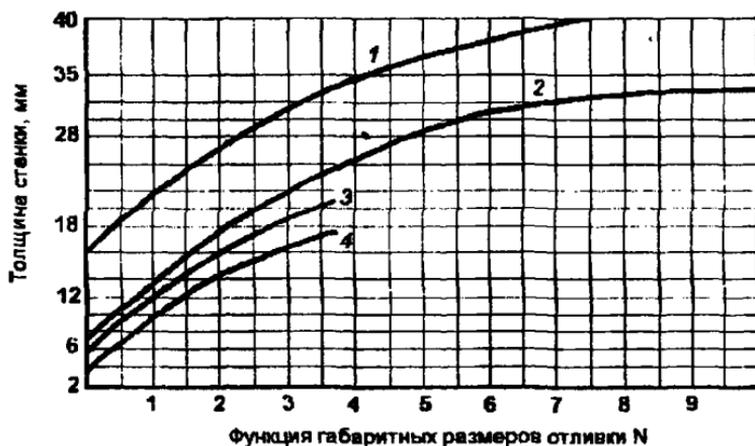


Рис. 1.11. Зависимость минимальной толщины стенок отливок при литье в песчаные формы: 1 — стальных; 2 — чугунных; 3 — медных; 4 — алюминиевых и магниевых сплавов

Основные сведения о качестве отливок

зависимости от фактора $N=(2L+B+H)/3$, где L , B и H – соответственно длина, ширина и высота стенки в метрах.

На рис. 1.11 приведены кривые для определения технологически минимальной толщины стенки отливок из стали, чугуна, медных, алюминиевых и магниевых сплавов. Минимальные значения толщины стенок стальных и чугунных отливок можно определить по табл. 1.12.

Таблица 1.12

Наименьшая допустимая толщина стенок отливок

Металл	Наименьшая толщина стенки при литье в песчаные формы, мм	Примечания
Углеродистая сталь	6 – для мелких отливок, 10 – 12 – для средних, более 15 – 20 – для крупных	При использовании кислой стали толщина стенки мелких отливок, получаемых в песчаных формах, может быть уменьшена до 4 мм. Мелкие отливки, получаемые в оболочковых формах, могут иметь стенки толщиной до 3 мм, а отливки, получаемые в металлических формах, должны иметь стенки толщиной не менее 8 мм
Низколегированная сталь	В зависимости от марки стали, но в среднем на 20 – 40 % больше толщины стенок отливок из обычной углеродистой стали	–
Серый чугун	3-4 – для мелких отливок, 6-10 – для средних, более 10-20 – для крупных	При повышенном содержании в чугуне фосфора толщина стенки мелких отливок может быть уменьшена до 2 мм. При заливке чугуна в металлические формы минимальная толщина стенки составляет 4 мм при площади поверхности отливки до 25 см ² и 6 мм при площади поверхности 25 – 125 см ²
Модифицированный чугун	На 15 – 20 % больше толщины отливок из обычного серого чугуна	–
Чугун с шаровидным графитом	При отливках средних размеров толщина такая же, как для отливок из модифицированного чугуна	
Ковкий чугун	3 – 5	Меньшие значения относятся к чугуну, выплавленному в электропечи либо дуго-процессом

Толщину внутренних стенок ввиду их более медленного охлаждения можно принимать на 10–20 % меньше приведенных в табл. 1.12 значений. Если по конструктивным соображениям стенки или отдельные участки литых деталей должны быть на 20–30 % тоньше минимально допустимых, то рекомендуется ввести их механическую обра-

ботку (литые стенки при этом из соображений заполняемости выполняются с толщиной, не тоньше минимальной) или на тонких стенках предусмотреть сетку низких широких ребер (рис. 1.12). При этом холодный сплав с головы потока сплава в процессе заполнения стенки будет сбрасываться в полости ребер, что повысит заполняемость. Необходимо избегать наличия протяженных горизонтальных тонких стенок. Целесообразно стенки выполнять наклонными (рис. 1.13).

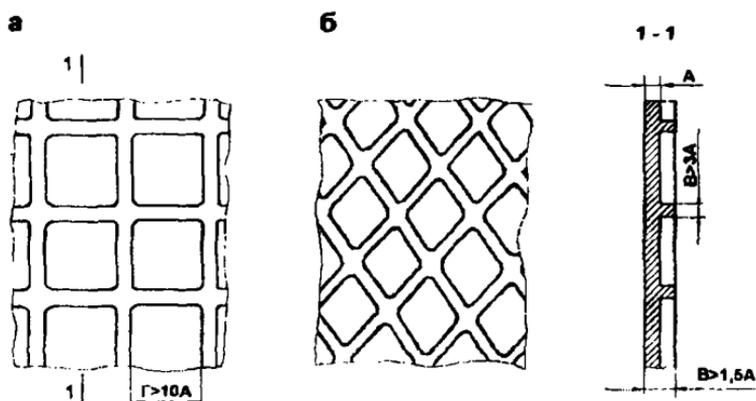


Рис. 1.12. Сетка ребер на тонких стенках:
а – прямоугольная; б – ромбическая

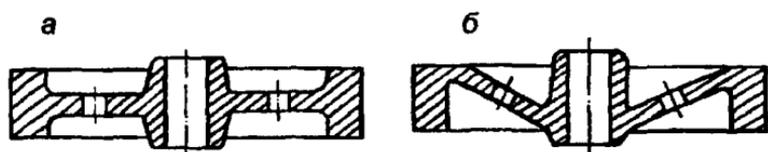


Рис. 1.13. Выполнение протяженных тонких горизонтальных стенок: а – нетехнологично; б – технологично

С конструкцией литой детали непосредственно связано формирование в отливке объемных усадочных дефектов (раковин, пористости). Конструкция отливки должна удовлетворять требованиям обеспечения направленности затвердевания. Для проверки выполнения этих требований применяют способ «вписанных окружностей». Окружность, вписанная в любое сечение отливки, должна свободно проходить по всем вышележащим сечениям по направлению к прибыли (рис. 1.14). Соот-

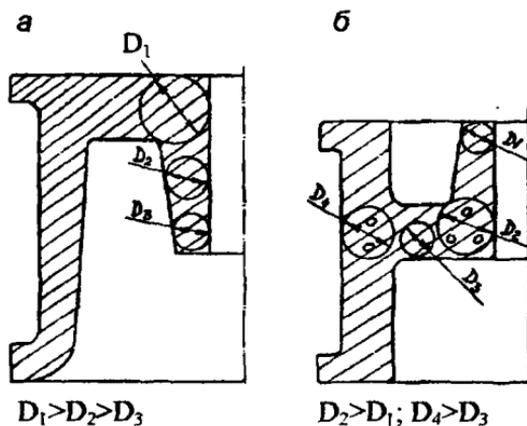


Рис. 1.14. Примеры исполнения конструкции литых деталей:
а – технологичного; б – нетехнологичного

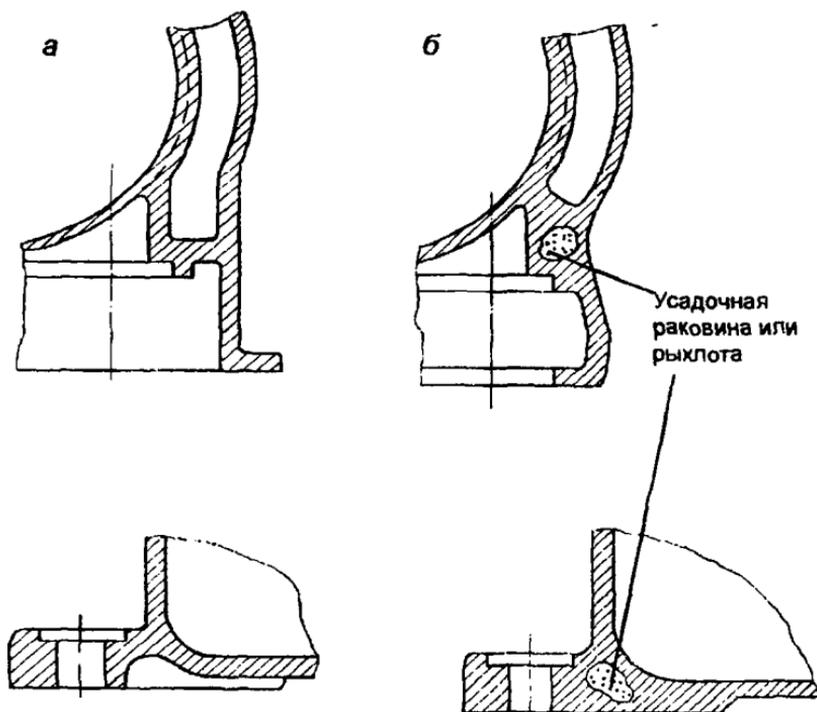


Рис. 1.15. Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций отливок:
а – технологичная; б – нетехнологичная

ношения диаметров двух рядом лежащих окружностей следует принимать в пределах от 1:1,1 до 1:1,5 в зависимости от объемной усадки сплава и конструкции отливки. Нарушение направленности затвердевания обуславливает необходимость применения технологических напусков и внутренних или наружных холодильников (гл. 4).

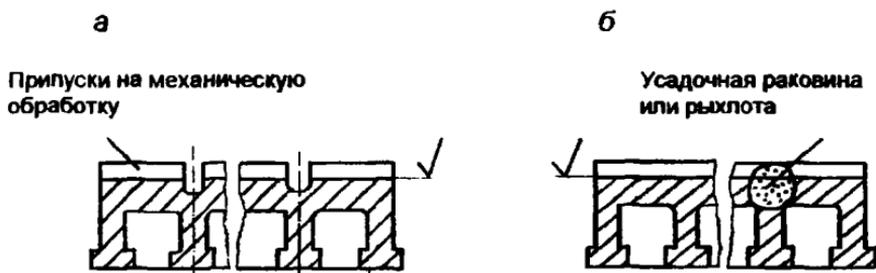


Рис. 1.16. Исполнение детали «Плита»: а – технологичное; б – нетехнологичное

При оформлении сочленений стенок необходимо избегать образования скоплений металла, в которых появляются раковины или пористость. На рис. 1.15 показаны примеры технологичного и нетехнологичного оформления сочленения стенок отливок.



Рис. 1.17. Исполнение детали «Корпус»: а – технологичное; б – нетехнологичное

При конструировании переходов от одного сечения к другому следует учитывать увеличение толщины сопрягаемых элементов за счет припусков на механическую обработку и не допускать узлов скопления металла. На рис. 1.16 и 1.17 приведены примеры устранения узлов ско-

пления металла путем правильного конструирования отливки. Разгрузку узлов скопления металла можно провести путем выравнивания толщины стенок (см. рис. 1.15), выполнением дополнительных полостей и пазов (рис. 1.18, а, б), литых отверстий и гребенчатых переходов (рис. 1.18, в).

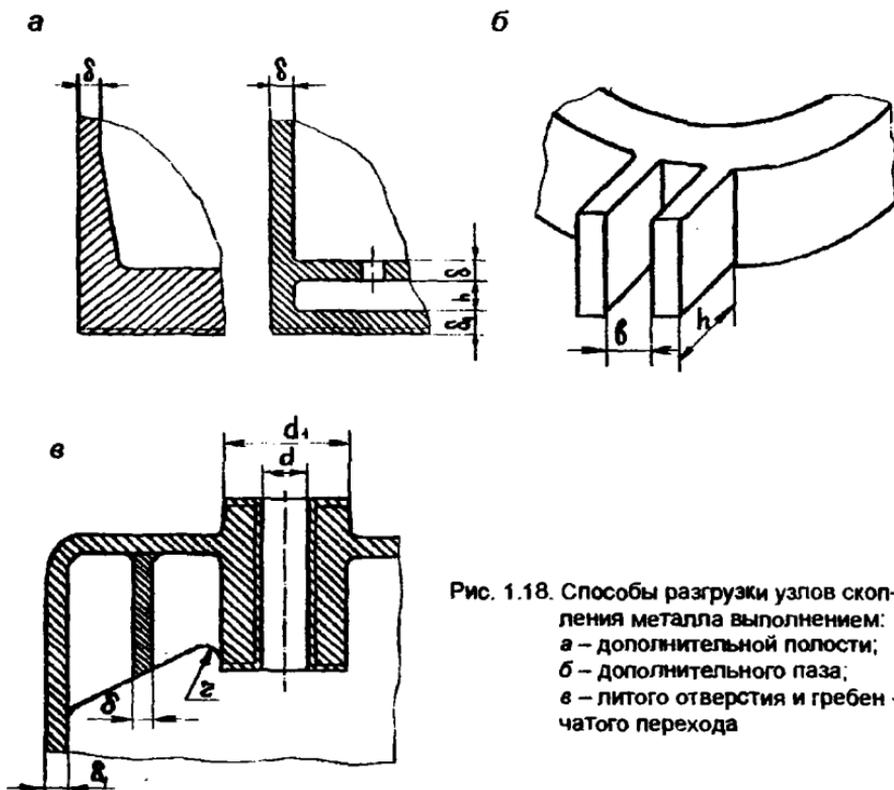


Рис. 1.18. Способы разгрузки узлов скопления металла выполнением: а – дополнительной полости; б – дополнительного паза; в – литого отверстия и гребенчатого перехода

Для усиления конструкции деталей часто применяют ребра жесткости, которые могут создавать в местах сочленения со стенками или друг с другом местные скопления металла, вызывающие образование усадочных раковин или горячих трещин. С целью исключения этих узлов целесообразно соединять ребра со стенками под прямым углом, располагать ребра в шахматном порядке с шагом l , равным или большим толщины стенки отливки (рис. 1.19, а, б), применять К, Н и V – пересечения ребер (рис. 1.19, в, г, д).

В некоторых случаях в местах стыка ребер со стенками следует предусматривать литые отверстия (рис. 1.19 и 1.20). В случае пересечения в одной точке нескольких ребер целесообразно предусмотреть коль-

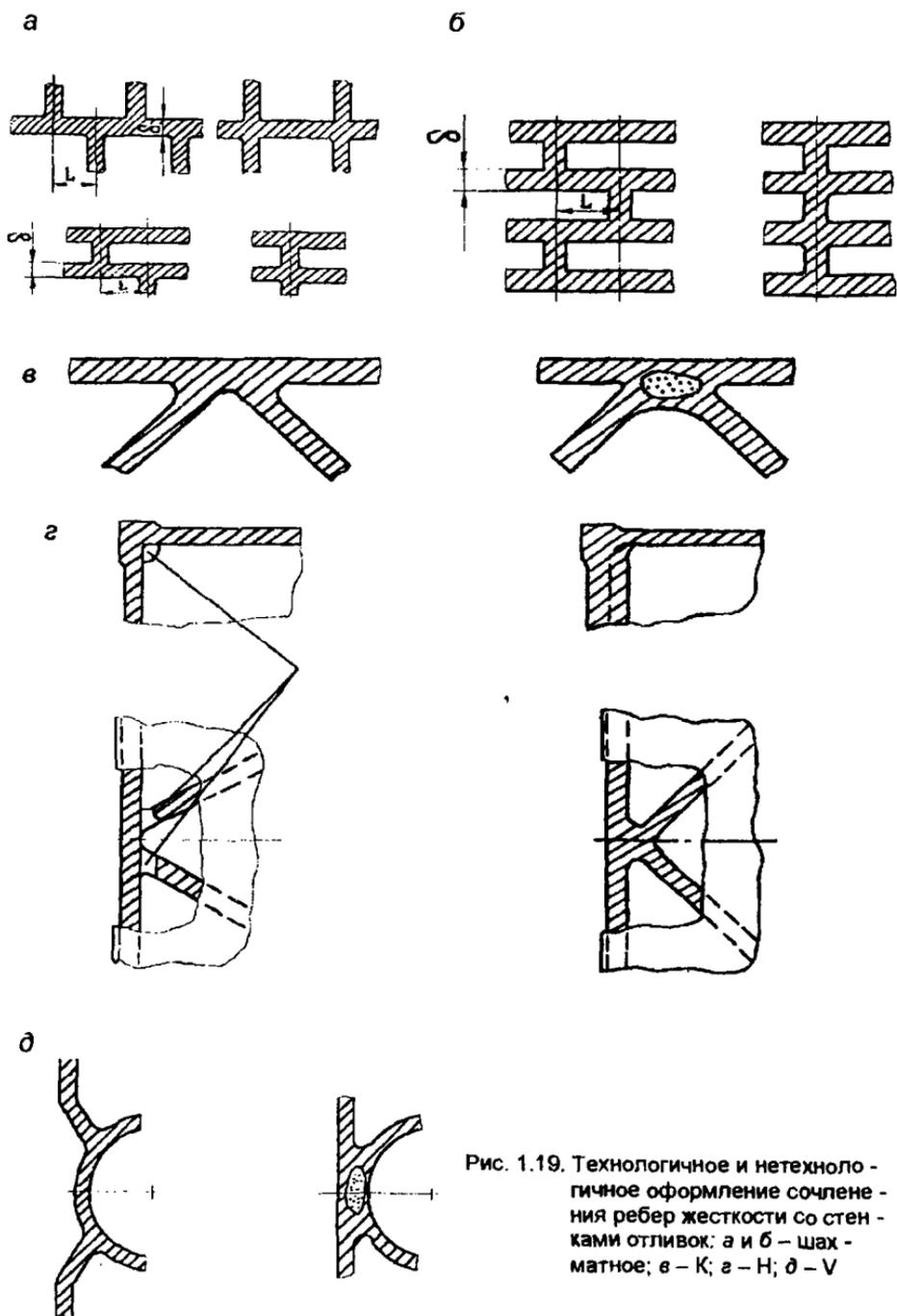


Рис. 1.19. Технологичное и нетехнологичное оформление сочленения ребер жесткости со стенками отливок: а и б – шамотное; в – К; г – Н; д – V

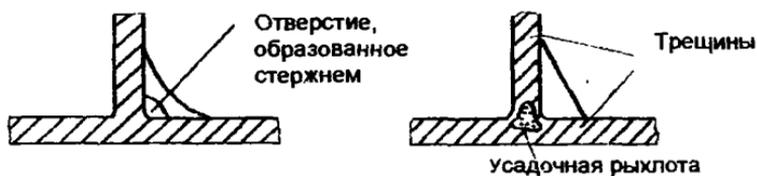


Рис. 1.20. Выполнение отверстия в месте стыка ребра со стенкой отливки для устранения скопления металла

цевое ребро и уже к нему присоединить радиальные ребра (рис. 1.21). Толщина ребра наружной стенки отливки должна быть не более 0,8 толщины стенки. Для внутренних стенок отливок толщина ребра не должна превышать 0,6–0,7 толщины стенки. Высота ребра – не более пяти толщин стенок. Ребра располагают друг от друга на расстоянии, превышающем 1,2 высоты ребра.

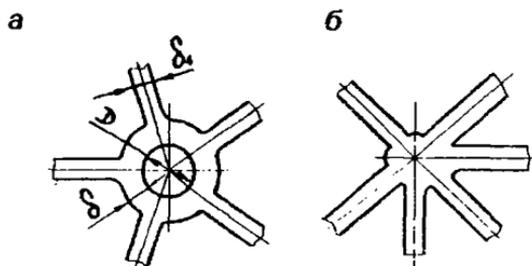


Рис. 1.21. Сочленение радиальных ребер:
а – технологичное; б – нетехнологичное

При конструировании отливок следует предусматривать наименьшее число фланцев, бобышек и приливов. Они, образуя места сосредоточения металла, часто являются причиной возникновения усадочных раковин и пористости, особенно у отливок из сплавов с большой объемной усадкой. Поэтому размеры фланцев, бобышек и приливов должны быть наименьшими, исходя из условий прочности. При конструировании бобышек с фланцами следует принимать приведенные на рис. 1.22 – 1.23 отношения размеров:

При конструировании сопряженных фланцев с телом отливки их толщину следует принимать равной толщине стенки отливки δ . Расстоя-

ние между фланцем и телом отливки следует принимать больше 2δ . Наименьшую высоту приливов H , обеспечивающую свободную механическую обработку их поверхности, следует выбирать в зависимости от наибольшего размера отливки (рис. 1.24). В целях упрощения механической обработки отливок обрабатываемые поверхности бобышек и приливов следует располагать на одном уровне (рис. 1.25).

При конструировании отливок с несколькими бобышками или приливами их следует объединять, что сокращает количество отъемных частей модели и сокращает брак отливок (рис. 1.26). Если позволяет толщина стенки отливки, то бобышки следует заменять выточками (рис. 1.27).

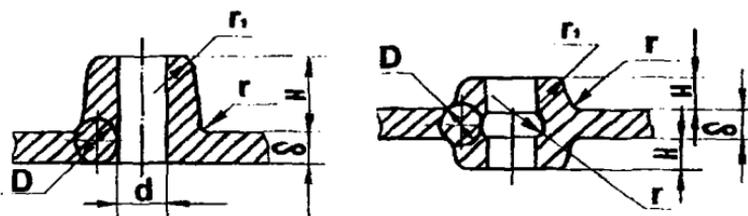


Рис. 1.22. Бобышки с необрабатываемыми отверстиями
($D \leq \delta$; $r = 0,5\delta$; $r_1 = 0,25\delta$)

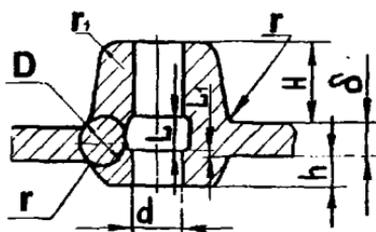
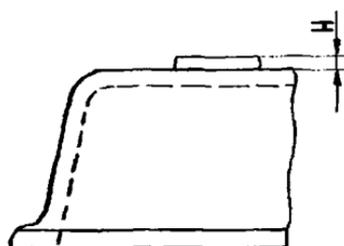


Рис. 1.23. Бобышка с обрабатываемым отверстием
($L = 1,2\delta$; $L_1 = 0,3\delta$,
 $r = 0,5\delta$; $r_1 = 0,25\delta$); $D = 1,25\delta$)

Одним из эффективных методов предотвращения холодных и горячих трещин в отливках и их коробления является обеспечение технологически обоснованной конструкции отливок. Для уменьшения литейных напряжений необходимо стремиться к обеспечению одинаковой толщины стенок по всей отливке. Но и в этом случае торцевые части стенок, а также участки около отверстий и окон будут охлаждаться ускоренно. Поэтому в торцевых частях стенок и около окон, отверстий



Наибольший размер отливки (длина или высота), мм	Наименьшая высота прилива H , мм
До 50	2
51 – 250	3
251 – 500	4
501 – 750	6
751 – 1000	8

Рис. 1.24. Определение наименьшей высоты прилива H

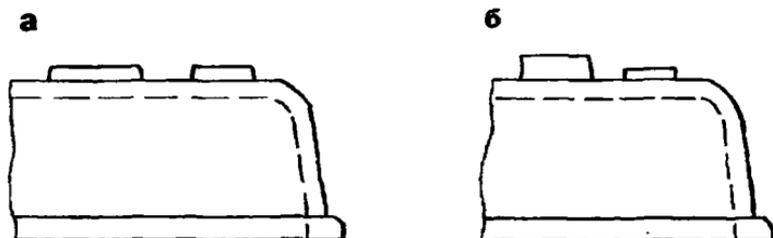


Рис. 1.25. Оформление нескольких бобышек:
а – технологичное; б – нетехнологичное

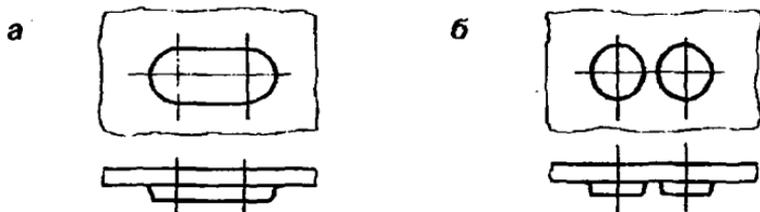


Рис. 1.26. Объединение нескольких бобышек в одну:
а – технологичное; б – нетехнологичное

предусматривают окантовки. Размеры окантовок приведены на рис. 1.28 и в табл. 1.13.

Отверстия в стенках служат концентраторами напряжений. Если принять прочность стенки без отверстия за 100 %, то прочность стенок с отверстиями без бобышек и с острыми кромками будет составлять всего 50 %. Поэтому отверстия должны иметь окантовку (бобышки) и радиусы закругления. В местах сочленения стенок нужно предусматривать радиусы перехода.

Переходы от одного сечения к другому с помощью галтелей выполняются для всех отливок при соотношении сопрягаемых толщин $\delta/\delta_1 \leq 2$. Радиусы галтелей r принимают равными следующим значениям $r = (\delta + \delta_1)/3 \div (\delta + \delta_1)/2$ (рис. 1.29, а). Переходы сечений при соотно-

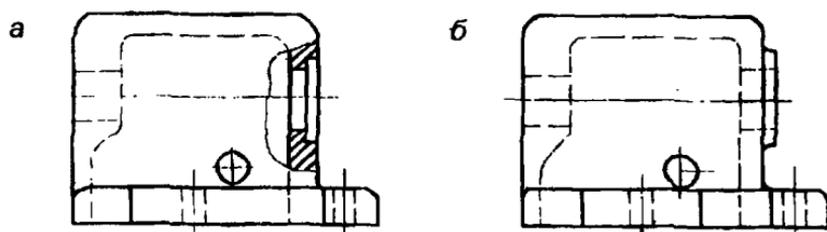


Рис. 1.27. Замена бобышек на выточку:
а – технологичная; б – нетехнологичная

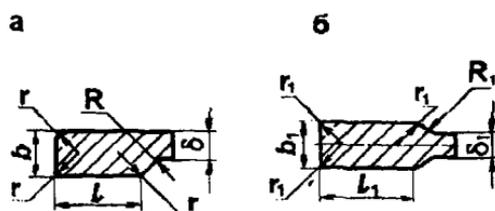


Рис. 1.28. Окантовки окон (отверстий): а – односторонняя; б – двусторонняя

Таблица 1.13

Размеры одно- и двусторонних окантовок, мм

Толщина стенки детали $\delta(\delta_1)$, мм	Окантовка							
	односторонняя			двусторонняя				
	b	l	R	r	b_1	l_1	R_1	r_1
4	7	10	5	1	8	10	3	2
5	8	10	5	1	10	12	3	2
6	10	10	6	2	12	14	3	2
7	12	12	8	3	14	16	5	3
8	14	12	8	3	16	18	6	3
10	16	15	10	3	18	20	6	3
12	20	18	12	5	22	25	8	5
14	22	20	15	5	25	28	8	5
16	26	22	16	6	28	30	8	5
18	28	25	16	6	30	32	8	6
20	30	28	20	8	32	32	8	6
22	32	30	20	8	35	35	10	8
25	35	32	20	10	38	35	10	8

шении $\delta/\delta_1 > 2$ выполняются с учетом характера нагрузок, испытываемых деталью при эксплуатации:

- для отливок, не испытывающих ударных нагрузок, галтелями с радиусом, указанным выше;
- для отливок, подвергающихся ударным нагрузкам, в виде клинового или ступенчатого сопряжения (рис. 1.29, б). Длину участка перехода от одной толщины к другой принимают равной $l \geq 4h$. При этом $r = (\delta + \delta_1)/4$ и $R = (\delta + \delta_1)/2$.

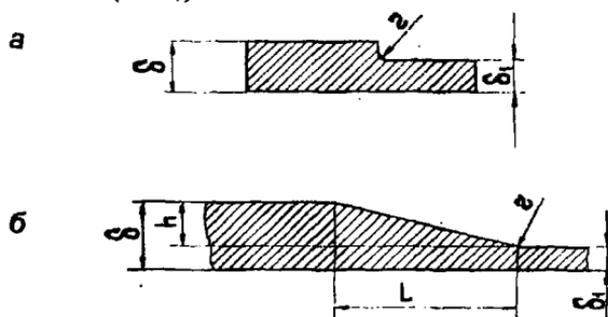


Рис. 1.29. Выполнение сопряжения стенок разной толщины: а – для отливок, не испытывающих ударных нагрузок; б – для отливок, подвергающихся ударным нагрузкам



Рис. 1.30. Номограмма для определения радиусов галтелей в зависимости от средней толщины стенок отливок для углов: 1 – $\alpha > 50^\circ$; 2 – $\alpha > 60^\circ$; 3 – $\alpha > 75^\circ$; 4 – $\alpha > 105^\circ$; 5 – $\alpha > 135^\circ$; 6 – $\alpha > 165^\circ$

Таблица 1.14

Переходы в угловых сопряжениях

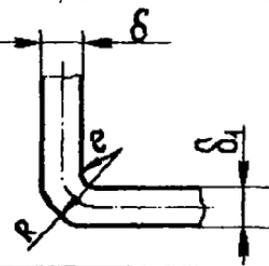
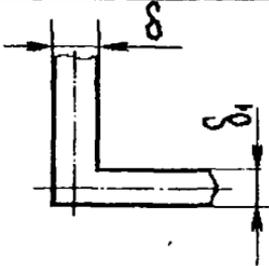
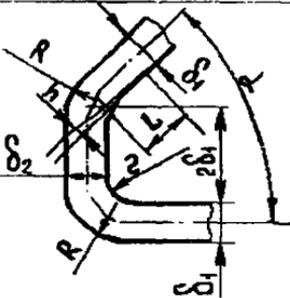
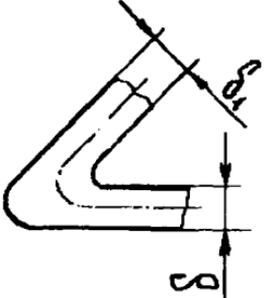
Характер сопряжения	Форма сопряжения	
	Технологично	Нетехнологично
$\delta = \delta_1$ $\alpha = (75 - 105^\circ)$		
$\delta > 1,25 \delta_1$ $\delta_2 = \delta_1 + h$ $\alpha < 75^\circ$	 $R = r + \delta_2 = r + \delta_1 + h$	

Таблица 1.15

Увеличение толщины отливок h по длине l (для табл. 1.14)

$\delta: \delta_1$		>2,5	1,8 - 2,5	1,25 - 1,80	<1,25
$h, \text{ мм}$		$0,7(\delta - \delta_1)$	$0,8(\delta - \delta_1)$	$\delta - \delta_1$	-
$l, \text{ мм}$	Медные сплавы	$\geq 5h$			
	Алюминиевые сплавы	$\geq 4h$			
	Магниеые сплавы	$\geq 4h$			
	Чугун	$\geq 5h$			
	Сталь	$\geq 6h$			

Переходы в угловых сопряжениях двух элементов отливок приведены в табл. 1.14 (величина r в табл. 1.14 принимается по номограмме, изображенной на рис. 1.30), а значения увеличения толщины отливок h по длине l приведены в табл. 1.15. Переходы в тавровых сопряжениях элементов отливок приведены в табл. 1.16 (величина r также определяется по номограмме рис. 1.30). Значения увеличения толщины отливок h по длине l для этого случая приведены в табл. 1.17. Радиусы галтелей после их определения по номограмме (см. рис. 1.30) округляют

и принимают за число, выбранное из ряда предпочтительных чисел по ГОСТ 10948-79 ($r = 1, 2, 3, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40$ мм).

Таблица 1.16

Переходы в тавровых сопряжениях

Характер сопряжения	Форма сопряжения	
	Технологично	Нетехнологично
$\delta = 1,25\delta_1$ $\alpha = (75 - 105^\circ)$		
$\delta \approx 1,25\delta_1$ $\alpha < 75^\circ$		
$\delta > 1,25\delta_1$ $\alpha = (75 - 105^\circ)$		
$\delta > 1,25\delta_1$ $\alpha < 75^\circ$ $R = r + \delta_2$ $\delta_2 = \delta_1 + h$		

Радиусы скруглений наружных углов отливок при сопряжении поверхностей (рис. 1.31) принимают в зависимости от габаритных размеров сопрягаемых поверхностей и величин углов между ними. Наименьшие значения радиусов скруглений приведены в табл. 1.18.

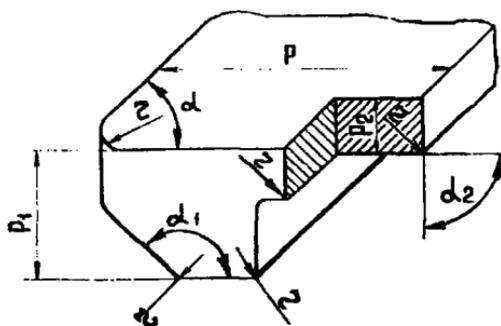


Рис. 1.31. Радиусы скруглений наружных углов отливки

Таблица 1.17

Увеличение толщины отливок h по длине l (для табл. 1.16)

$\delta: \delta_1$		>2,5	1,8 – 2,5	1,25 – 1,80	<1,25
h , мм		$0,7(\delta - \delta_1)/2$	$0,8(\delta - \delta_1)/2$	$(\delta - \delta_1)/2$	δ_1
l , мм	Медные сплавы	$\geq 10h$			
	Алюминиевые сплавы	$\geq 8h$			
	Магниеые сплавы	$\geq 8h$			
	Чугун	$\geq 11h$			
	Сталь	$\geq 12h$			

Таблица 1.18

Наименьшие значения радиусов скругления наружных углов отливок

P, P_1, P_2	$\alpha, \alpha_1, \alpha_2$					
	До 50°	Св. 50° до 75°	Св. 75° до 105°	Св. 105° до 135°	Св. 135° до 165°	Св. 165°
	Радиус скругления, мм					
До 25	2	2	2	4	6	8
Св. 25 до 50	-	4	4	6	10	16
Св. 50 до 150	4	-	6	8	16	25
Св. 150 до 250	-	6	8	12	20	32
Св. 250 до 400	6	-	10	16	25	40
Св. 400 до 600	-	8	12	20	32	50
Св. 600 до 1000	8	12	16	25	40	60

Примечание. P, P_1, P_2 – наименьшие габаритные размеры плоскостей отливок, перпендикулярных к образующей цилиндрической поверхности скругления; $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ – двугранные углы между сопрягаемыми поверхностями.

1.3.2. Технологичность литых деталей, связанная с процессами формообразования

Литые детали не должны иметь выступающих частей, закрытых полостей и поднутрений, затрудняющих изготовление литейной формы и усложняющих обрубку и зачистку отливок. Оптимальной конструкцией литой детали с учетом расположения отливки в форме является такая конструкция, при которой вся отливка располагается в одной полуформе. В этом случае исключается искажение конфигурации и размеров отливки из-за смещения полуформ. На рис. 1.32 приведены примеры изменений конструкций вилки переключения, рычага и плиты, позволяющих изготавливать их в одной полуформе. Слева приведены конструкции до изменения, справа – после изменения.

В тех случаях, когда расположить отливку в одной полуформе невозможно, необходимо стремиться к тому, чтобы поверхность разъема формы представляла собой единую плоскость или состояла бы из отдельных плоскостей, расположенных друг к другу под определенными углами (рис. 1.33, а, б).

Конструкция детали должна обеспечивать получение отливок без стержней или с минимальным их количеством. Для этой цели отдельные выступающие части на отливках (бобышки, приливы и т.п.) следует соединять с краями отливок, избегая поднутрений (рис. 1.34). На рис. 1.34 слева представлены технологичные способы устранения стержней, справа – нетехнологичные.

Полости в отливках целесообразно конструировать так, чтобы их можно было оформить болваном без применения стержней. Для отливки «Коробка» (рис. 1.35) это достигается путем переноса выступающих внутрь отливки бобышек на ее внешнюю сторону. Внутренние торцевые плоскости бобышек при этом обрабатываются «в тело».

При конструировании отливок целесообразно предусматривать в стенках отверстия или окна для выхода знаковых частей стержней, обеспечивающих их установку и надежную фиксацию в форме (рис. 1.36). Иногда эти отверстия предусматривают специально, а после изготовления отливки их закрывают заглушками или заваривают.

Следует избегать необходимости установки стержней на жересбейки. На рис. 1.37 приведена нетехнологичная и технологичная конструкции отливки «Стойка подшипника». В первом случае стержень приходится опирать на жересбейки 1. Если отверстие и основную полость отливки объединить, то общий стержень ст.1 будет точно фиксироваться в форме тремя знаками.

Конструкция отливки по возможности должна обеспечить ее изготовление не более, чем в двух опоках. Отливку, показанную на рис.1.38, изготавливают в трех опоках 4, 5, 6 или в двух опоках 3, 7 с при-

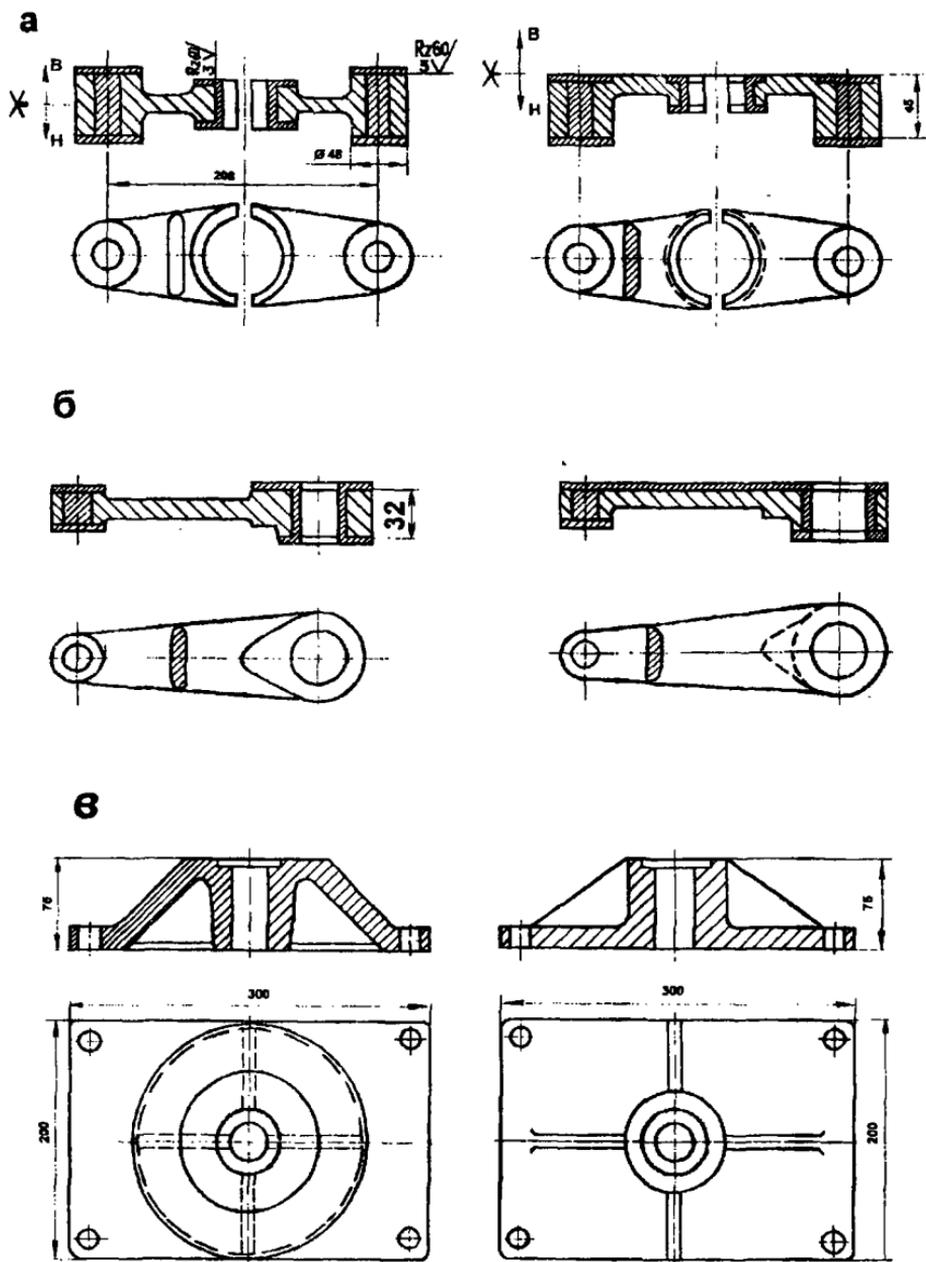


Рис. 1.32. Изменение конструкции: а – вилки переключателя; б – рычага; в – плиты

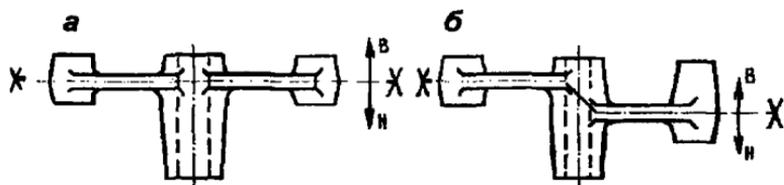


Рис. 1.33. Пример плоских поверхностей разъема форм:
а – единая плоскость разъема формы; *б* – плоскость
разъема формы, состоящая из трех плоскостей, рас-
положенных под углом друг к другу.

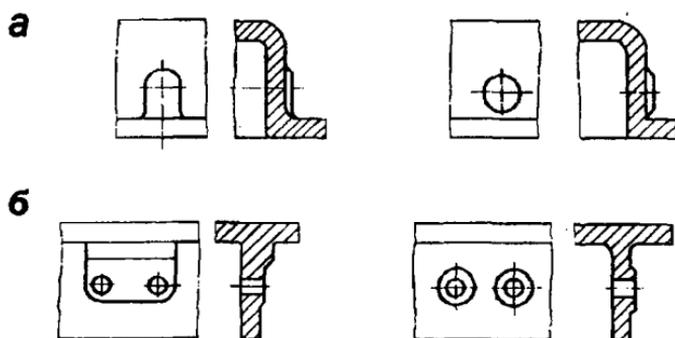


Рис. 1.34. Способ устранения стержня для оформления бобышки:
а – отливка с одной бобышкой; *б* – отливка с двумя бобышками

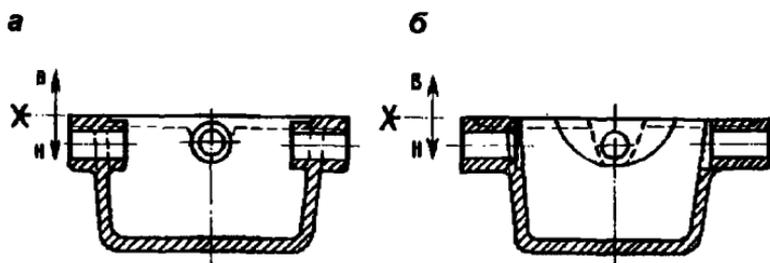


Рис. 1.35. Конструкция отливки «Коробка»: *а* – технологичная,
б – нетехнологичная

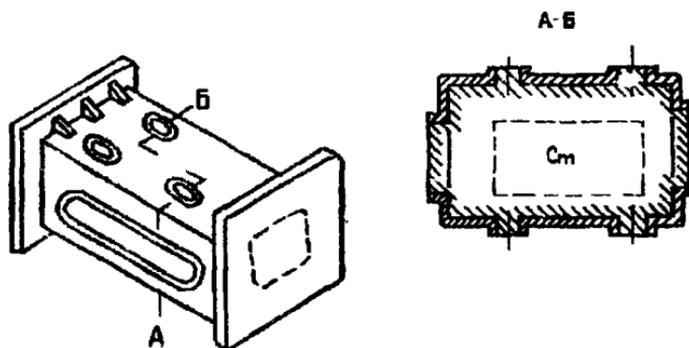


Рис. 1.36. Деталь с отверстиями для обеспечения установки стержней на знаках

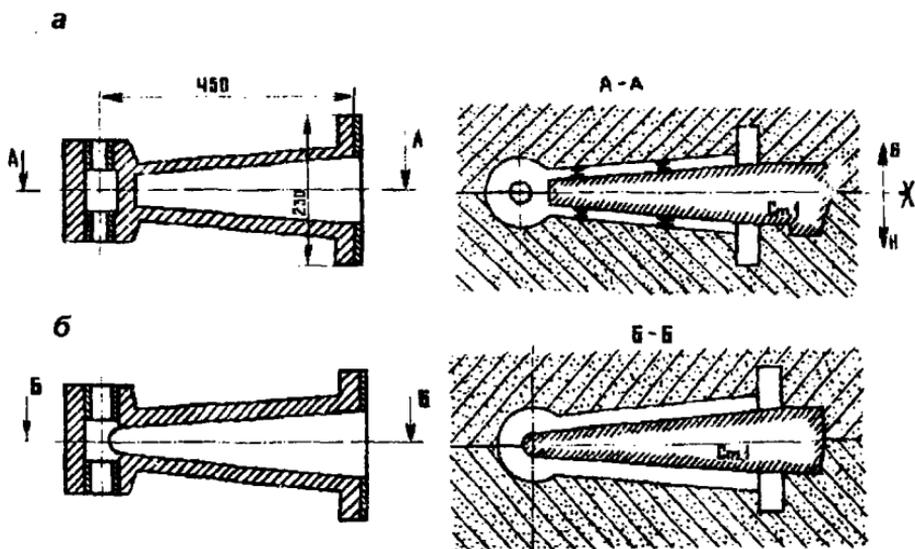


Рис. 1.37. Конструкции отливки «Стойка подшипника»: а – нетехнологичная; б – технологичная

менением дополнительного стержня ст.1. Измененная конструкция б (рис. 1.38, б) отливки может быть заформована в горизонтальном положении в двух опоках 9, 10 с одним центральным стержнем ст.2. Очень важным является то, что раструбные части 2 и внешняя поверхность втулки 1 при этом могут быть выполнены без уклона.

Литым деталям, не требующим повышенной жесткости, следует придавать открытую корытообразную, а не коробчатую форму. Открытая полость не требует применения стержней. Удаление стержней из открытых полостей отливки значительно проще, чем из закрытых полостей отливок коробчатого типа (рис. 1.39, а, б). Детали коробчатого сечения целесообразно применять лишь при повышенных требованиях к их жесткости.

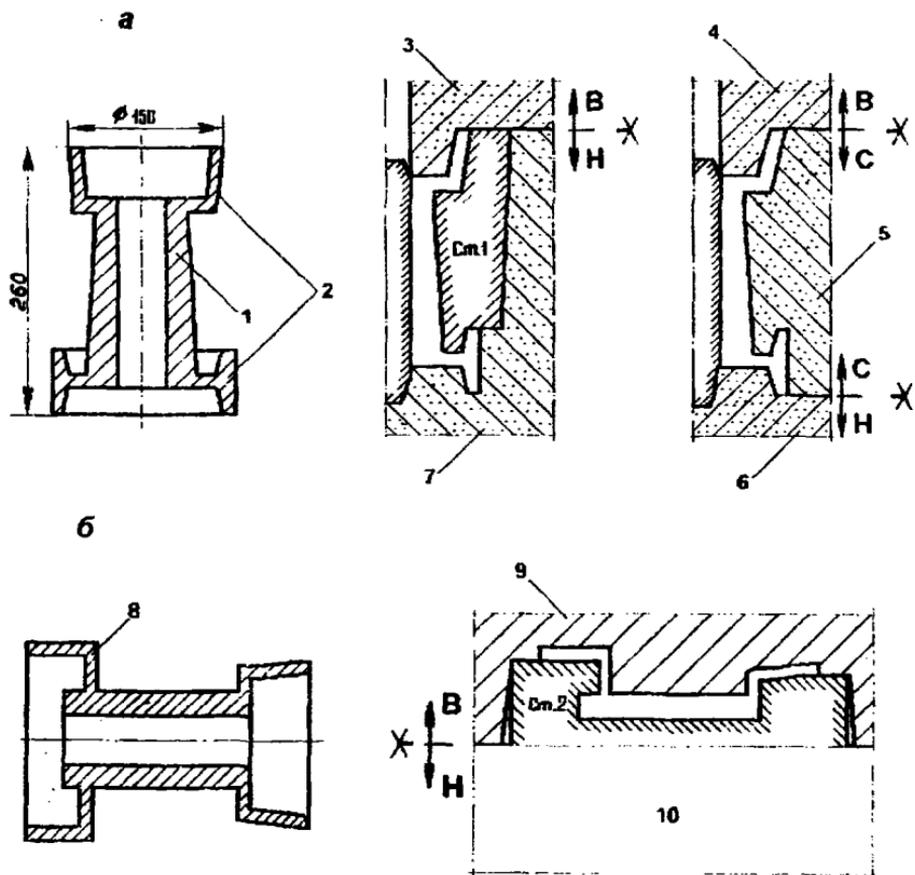


Рис. 1.38. Конструкции отливки «Муфта сцепления»: а – нерациональная; б – рациональная

В конструкциях следует избегать наличия полостей, оформляемых тонкими стержнями. Их удаление из отливки вследствие металли-

защиты стержня очень затруднительно. Толщина стержней для отливок из чугуна и стали при длине более 100 мм не должна быть меньше 10 мм (для отливок из цветных сплавов – 8 мм).

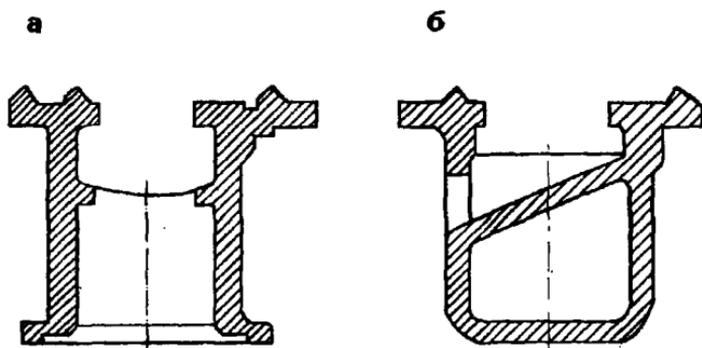


Рис. 1.39. Формы отливки «Станина токарного станка»: а – открытая; б – закрытая

Желательно, чтобы конструкция отливки обеспечивала оформление ее наружной поверхности формой без применения наружных стержней. На рис. 1.40 приведены две конструкции корпуса задней бабки токарно-винторезного станка. Измененная конструкция (рис. 1.40, б) позволяет исключить применение наружных стержней (стержни ст.1 и ст.4, рис. 1.40, а).

При заливке сплава в форму и формировании отливки происходит сопровождающийся газовыделением прогрев стержней, формирующих полости в отливке. Для отвода газов из стержней их знаковые части должны иметь достаточную площадь сечения. Поэтому в отливке должны быть боковые, верхние и нижние окна. Рекомендуемые суммарные площади окон для внутренних полостей отливок в зависимости от их объема приведены в табл. 1.19.

Более детально вопросы технологичности литых деталей рассматриваются в курсах, посвященных чугуноному, стальному и цветному литью. Из сказанного выше следует, что прежде чем приступить к разработке технологии изготовления литой заготовки, необходимо выполнить анализ технологичности литой детали. Соответствующие предположения по совершенствованию конструкции детали необходимо согласовать с конструктором. Завершающим этапом подготовительной работы является разработка чертежа отливки.

Таблица 1.19

Рекомендуемые суммарные площади окон для
внутренних полостей отливок

Объем внутренних полостей отливки, дм ³	Минимальная площадь окон внутренних полостей, см ²	Объем внутренних полостей отливки, дм ³	Минимальная площадь окон внутренних полостей, см ²
До 0,5	30	25,1 – 50,0	350
0,51 – 1,0	70	50,1 – 100	450
1,1 – 3,0	100	101 – 250	700
3,1 – 5,0	150	251 – 500	1000
5,1 – 10,0	200	501 – 1000	1400
10,1 – 25,0	250	Более 1000	1800

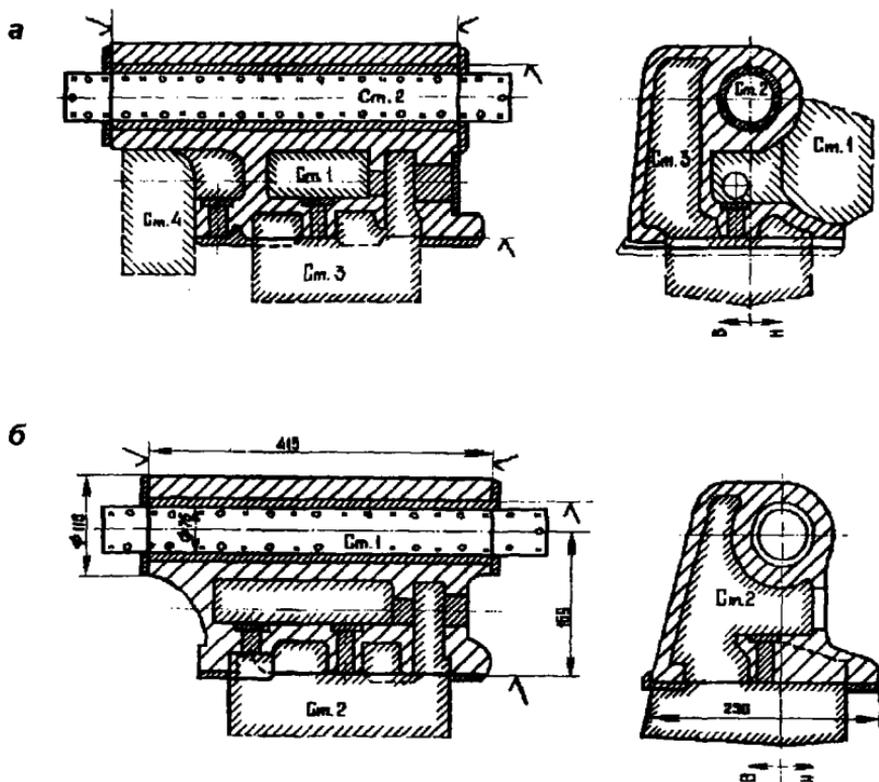


Рис. 1.40. Конструкции отливки «Задняя бабка токарно-винторезного станка»: а – до изменения; б – после изменения

Контрольные вопросы и задания

1. Как определить по чертежу детали класс точности отливки?
2. Можно ли изготовить в кокиле литую заготовку из алюминиевого сплава для детали, имеющей элемент с размерами $150^{+0,1}$?
3. В каких случаях назначается дополнительный припуск на механическую обработку?
4. Как определить класс точности отливки, если на чертеже детали не указаны допуски и качества?
5. Напишите и поясните на примере последовательность определения припусков на механическую обработку.
6. Что такое КИМ?
7. Какая отливка называется технологичной?
8. Как при конструировании отливок можно уменьшить их склонность к образованию следующих дефектов:
 - сплав и недоливов;
 - усадочных раковин и пористости;
 - трещин;
 - нарушения конфигурации отливки из-за смещения элементов формы?
9. О чем говорит цифра 5 в обозначении относительного удлинения δ ?
10. Определить основные, дополнительные и общие припуски на механическую обработку на вертикальной и горизонтальной стенках отливки, изготавливаемой в песчаной форме. Исходные данные приведены в таблице.

Исходные данные

Номер варианта	Размер стенки детали, мм		Номер варианта	Размер стенки детали, мм	
	вертикальной	горизонтальной		вертикальной	горизонтальной
1	200 ^{0,2}	300 ^{0,4}	11	250 ^{0,4}	250 ^{0,3}
2	250 ^{0,3}	300 ^{0,5}	12	300 ^{0,5}	350 ^{0,4}
3	300 ^{0,4}	300 ^{0,6}	13	350 ^{0,5}	400 ^{0,5}
4	350 ^{0,4}	500 ^{0,3}	14	400 ^{0,6}	400 ^{0,6}
5	400 ^{0,5}	500 ^{0,4}	15	450 ^{0,6}	500 ^{0,3}
6	450 ^{0,5}	500 ^{0,5}	16	500 ^{0,6}	500 ^{0,4}
7	500 ^{0,6}	500 ^{0,6}	17	100 ^{0,15}	300 ^{0,3}
8	100 ^{0,2}	200 ^{0,19}	18	150 ^{0,2}	300 ^{0,4}
9	150 ^{0,3}	250 ^{0,2}	19	200 ^{0,3}	300 ^{0,5}
10	200 ^{0,4}	250 ^{0,3}	20	250 ^{0,3}	300 ^{0,21}

Глава 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Конструирование литейной формы начинается с выбора положения отливки в форме при заливке и с определения плоскости разъема формы. Оно включает в себя также обоснование конструкции и размеров всех элементов формы, рассмотрение вопросов конструирования литейной оснастки (моделей, стержневых ящиков, опок и др.), которые решаются после выбора технологии изготовления форм и стержней (гл. 7).

2.1. Выбор оптимального положения отливки в форме при заливке и рациональной поверхности разъема формы и модели

При выборе положения отливки в форме при заливке необходимо обеспечить соблюдение ряда условий, позволяющих получать качественную отливку при минимальных расходах на ее изготовление. Так как одновременное соблюдение всех условий может оказаться невозможным, то ниже они приведены в порядке убывания приоритета:

1) в первую очередь выбранное положение отливки в форме должно обеспечивать направленное затвердевание и питание всех нижележащих элементов отливки через вышележащие из прибыли. Для этого необходимо определить схему питания отливки (гл. 4) и разместить наиболее массивные узлы отливки в верхних или боковых частях формы. При этом на указанных узлах должны быть в наличии площадки или поверхности для размещения верхних или боковых прибылей (рис. 2.1 – 2.3). На рис. 2.1, б – 2.3, б показаны схемы неправильного расположения отливки в форме. Принцип направленного затвердевания при этом не соблюдается. Прибыли, установленные вверху, не обеспечат питания изолированных узлов в нижних фланцах (см. рис. 2.1, б и 2.2, б). Боковые прибыли, установленные по разъему формы, не смогут пропитать нижнюю толстую стенку отливки (см. рис. 2.3, б);

2) выбранное положение отливки в форме должно обеспечить наиболее простое оформление литниковой системы. Система должна подводить сплав к полости формы по кратчайшему пути, при этом нежелательно применение стержней, а также необходимо, чтобы сплав

поступал в форму спокойно, не фонтанировал и не размывал стержни и выступающие части полости формы.

Вопросы конструирования литниковых систем и выбора мест их подвода к отливке рассмотрены в гл. 3. С этой точки зрения длинные (высокие) отливки лучше располагать в форме горизонтально. Это уменьшит скорость движения сплава в литниковой системе и обеспечит

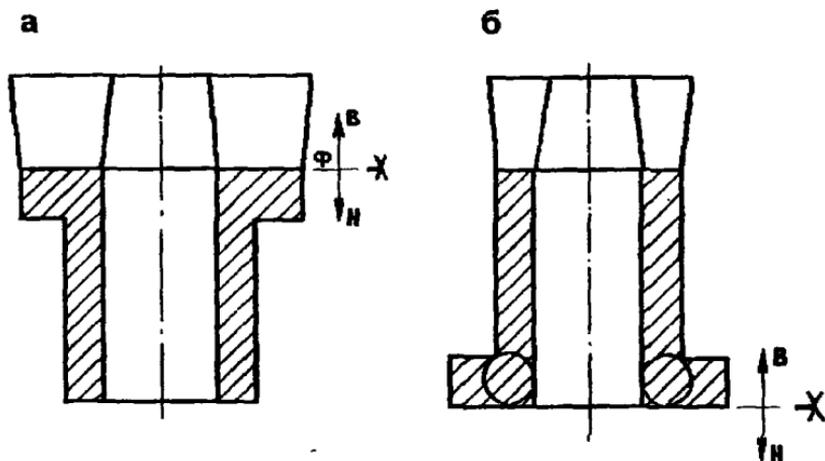


Рис. 2.1. Выбор положения в форме отливки «Корпус люка»: а – правильный; б – неправильный

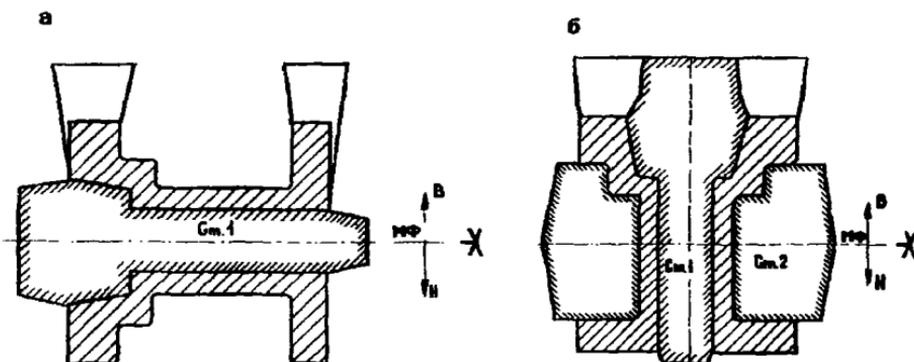


Рис. 2.2. Выбор положения в форме отливки «Колонка» при заливке: а – правильный; б – неправильный

плавное заполнение формы. С точки зрения простоты оформления литниковых систем при формовке выбранное положение отливки в форме должно обеспечить размещение литникового хода (шлакоуловителя) и питателей в плоскости разъема формы;

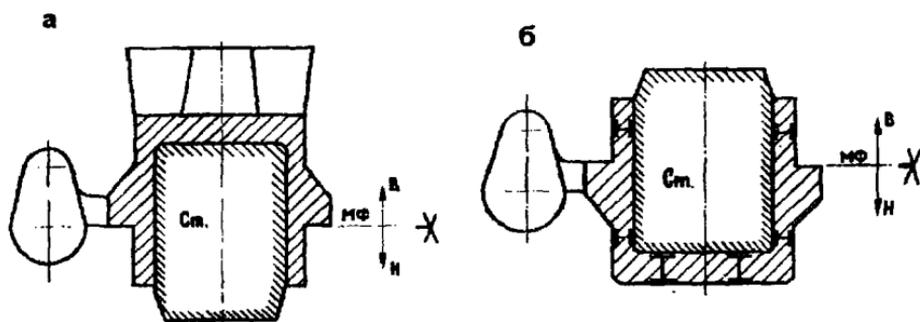


Рис. 2.3. Выбор положения в форме отливки «Колпак» при заливке:
а – правильно; б – неправильно

3) для устранения образования газовых раковин положение отливки в форме должно обеспечить преимущественный верхний отвод газов из стержней (через верхние знаковые части). С этой точки зрения показанное на рис. 2.3, а положение отливки в форме нерационально, так как в верхней части отливки нет выхода газам из стержня (знаковая часть стержня отсутствует). Для устранения этого недостатка следует либо изменить конструкцию отливки, предусмотрев в ее верхней части отверстие для выхода знаковой части стержня, либо наметить специальные меры по вентиляции стержня (п. 2.3 и гл. 6). Вариант, показанный на рис. 2.3, б, лишен этого недостатка, но он неприемлем, так как не обеспечивает питания отливки;

4) выбранное положение отливки в форме должно обеспечить получение формы с минимальным количеством стержней. Сравнение вариантов, показанных на рис. 2.2, а и б, свидетельствует, что вариант на рис. 2.2, а рациональнее не только с точки зрения обеспечения направленности затвердевания отливки, но и с точки зрения меньшей трудоемкости изготовления формы. Изготовление формы по варианту, данному на рис. 2.2, б, связано либо с применением двух плоскостей разъема и применения трех олок, либо двух стержней вместо одного по варианту, показанному на рис. 2.2, а;

5) ответственные и подвергаемые обработке поверхности, особенно поверхности трения, располагают внизу или, в крайнем случае,

вертикально, или наклонно. Это уменьшает число пороков по неметаллическим включениям и газовым раковинам (рис. 2.4);

б) для предотвращения недоливов и спасв при подводе металла по разьему формы тонкие стенки отливки лучше располагать внизу вертикально или наклонно (рис. 2.5);

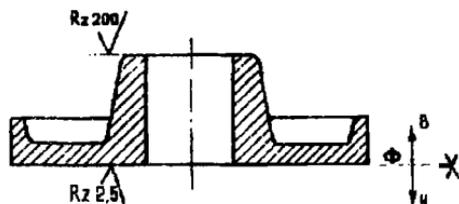


Рис. 2.4. Положение ответственных обрабатываемых поверхностей отливки в форме

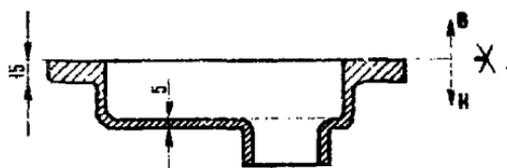


Рис. 2.5. Расположение тонких стенок отливки в форме

7) формы для отливок, имеющих конфигурацию тел вращения с обрабатываемыми наружными и внутренними поверхностями, лучше заливать в вертикальном положении;

8) большие плоские поверхности не следует располагать сверху, а если это неизбежно, рекомендуется делить их ребрами на меньшие участки. Это уменьшает возможность образования ужимин и разрушения верхней поверхности формы лучистой теплотой сплава, заполняющего форму;

9) для отливок, имеющих полости, оформляемые стержнями, необходимо обеспечить надежной установки и фиксации стержней на знаках в нижней полуформе. Крепление стержней в верхней полуформе трудосемко и менее надежно. Целесообразно исключить применение жребсек. Положение в форме отливки «Колпак», показанное на рис. 2.3, б, не рационально. Исходя из данных соображений;

10) вариант выбора положения отливки в форме должен быть согласован с условиями выбора поверхности разьема формы. При разработке технологического процесса изготовления отливки технолог сталкивается с необходимостью рассмотреть несколько альтернативных вариантов положения отливки в форме при заливке. Оптимальным является то положение, которое обеспечивает получение качественной, от-

вещающей техническим требованиям отливки и удовлетворяет наибольшему числу рассмотренных выше условий.

Иногда для улучшения условий заполнения формы и создания лучшей направленности затвердевания стенок отливки после заливки изменяют положение формы в пространстве (метод частичного и полного поворота). Иногда положение отливки при заливке и полости формы после сборки формы не совпадают. В этом случае протяженные отливки (например столы металлорежущих станков) формуют горизонтально, а сборные формы под заливку ставят вертикально.

На чертеже элементов литейной формы независимо от ее положения при заливке построение всех составных частей формы выполняется в том виде, в каком отливка находится в форме при затвердевании.

При определении поверхности разъема формы необходимо учитывать следующие рекомендации:

- число разъемов формы должно быть минимальным. По возможности целесообразно иметь одну плоскость разъема и изготавливать отливку в двух полуформах. Для обеспечения этого иногда необходимо совместно с конструктором откорректировать конфигурацию отливки (см. рис. 1.38);

- при выбранной поверхности разъема модели и формы модель должна свободно извлекаться из формы после формовки. Для определения участков отливки, препятствующих свободному извлечению из формы оформляющей их модели, мысленно проверяют, образуются ли теневые участки при освещении отливки параллельными лучами, перпендикулярными выбранной плоскости разъема модели (рис. 2.6). Затененные участки указывают на элементы в конструкции модели, которые не могут быть извлечены из формы после формовки без ее разрушения. Эти элементы (например, бобышка 2) должны быть оформлены или стержнями (рис. 2.7, а), или с применением отъемных частей 1 модели (рис. 2.7, в), которые при съеме модели остаются в форме и затем извлекаются из нее (рис. 2.7, б);

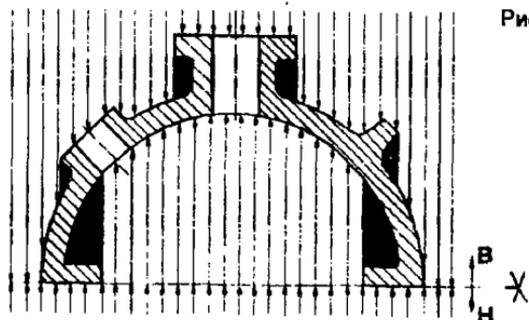


Рис 2.6. Схема проверки возможности свободного извлечения модели из формы и стержня из стержневого ящика

• в целях повышения точности отливки следует располагать ее в одной (лучше нижней) полуформе. Базовые поверхности должны располагаться в одной полуформе с обрабатываемыми и ответственными соосными поверхностями, а также фланцами и приливами, связанными

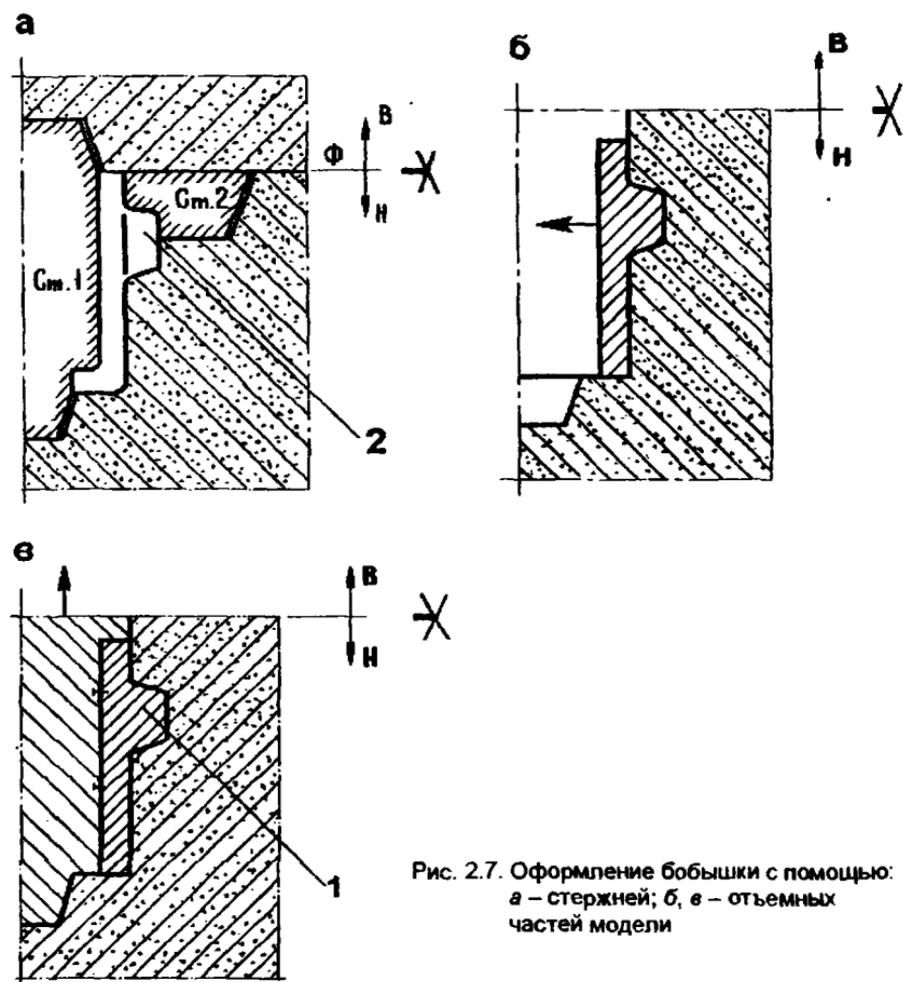


Рис. 2.7. Оформление бобышки с помощью:
а – стержней; б, в – отъемных частей модели

с базовыми жесткими размерами (рис. 2.8, а). Если такое расположение невозможно, то ответственные поверхности должны занимать в форме строго определенное положение по отношению к базовым поверхностям, что достигается с помощью специальной оснастки и средств контроля (см. гл. 7). На рис. 2.8, б показано неправильное положение плоскости разреза, так как из-за смещения полуформ затруднено фиксиро-

ванис наружной поверхности фланца относительно базы; базовые поверхности не должны пересекаться линией разъема формы и стержнями. Литейные швы и заусенцы на базовых поверхностях недопустимы:

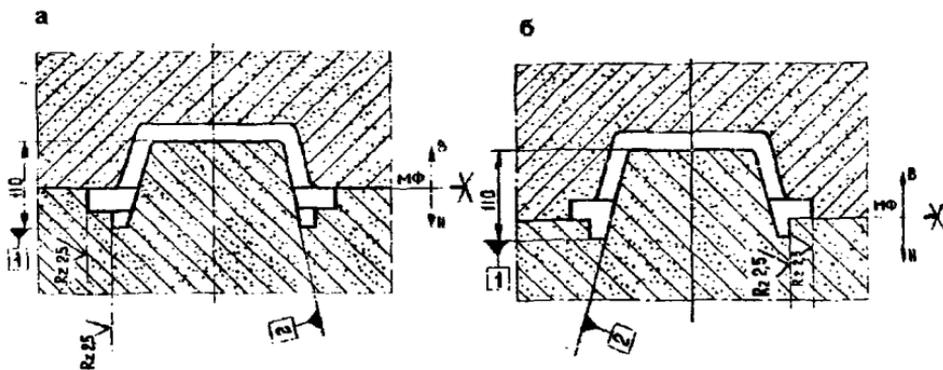


Рис. 2.8. Положение плоскости разъема формы:
а – правильное; б – неправильное

- необходимо использовать все возможности сокращения количества стержней путем замены их болванами и такого расположения отливки в форме, при котором возможно объединение нескольких стержней в один, если это не повышает трудоемкости изготовления стержня;
- болваны желательно располагать в нижней полуформе, так как при этом уменьшаются усилия, стремящиеся их разрушить при извлечении модели из формы (рис. 2.9);
- поверхность разъема должна быть по возможности плоской. При фасонной поверхности разъема профилю желательно придать простую геометрическую форму. Это упрощает форму модельных плит и их изготовление (рис. 2.10);
- положение отливки в форме и поверхность разъема должны способствовать тому, чтобы общая высота формы была наименьшая, а обе полуформы были примерно одинаковы по высоте;
- фиксирование стержней целесообразно осуществлять в нижней полуформе;
- у тонкостенных отливок и отливок с малыми отверстиями поверхность разъема должна, проходить так, чтобы эти элементы находились в одной части формы;

• плоскость разреза должна обеспечивать наименьшее количество заливо́в и брака по перекосам. Поэтому надо стремиться к минимальной протяженности литейных швов на поверхности отливок.

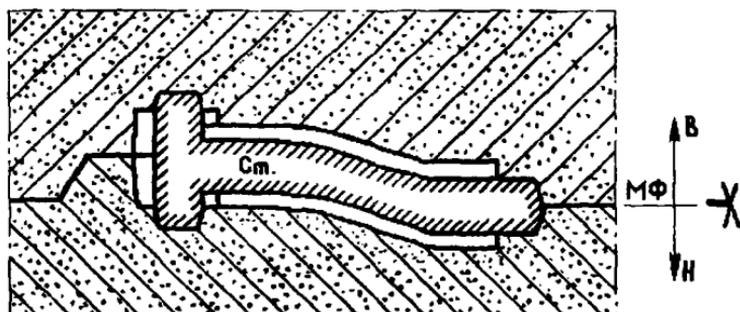


Рис. 2.9. Схема выполнения болвана в нижней полурформе

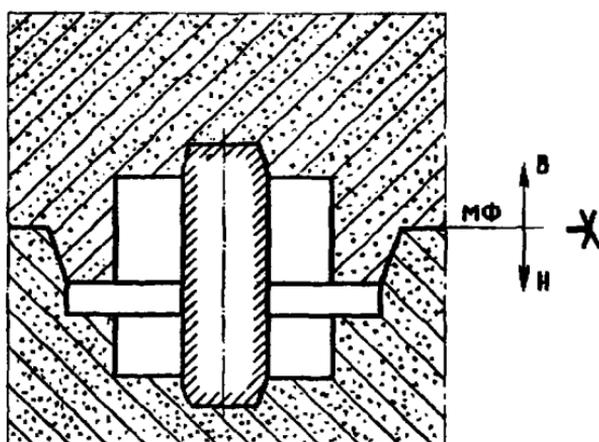


Рис. 2.10. Вид фасонной поверхности разреза формы

Выбор поверхности разреза непосредственно связан с принятым положением отливки в форме. Поэтому технолог решает вопросы выбора положения отливки в форме и поверхности ее разреза совместно. При этом осуществляется и анализ технологичности литой детали (п. 1.2). В случае необходимости по согласованию с конструктором вносятся коррективы в конструкцию отливки.

2.2. Построение чертежа литой заготовки

После определения положения отливки в форме и выбора поверхности разъема формы с учетом анализа технологичности детали необходимо разработать чертеж отливки.

Чертеж литой заготовки вычерчивают по чертежу детали. Допускается выполнять чертеж отливки непосредственно на чертеже детали. Прежде всего по допускам на размерах детали или по приведенным на чертеже техническим условиям определяют класс точности отливки и допуски на размеры отливки. Методика определения класса точности отливки и допусков на ее размеры рассмотрена в п. 1.2.1.

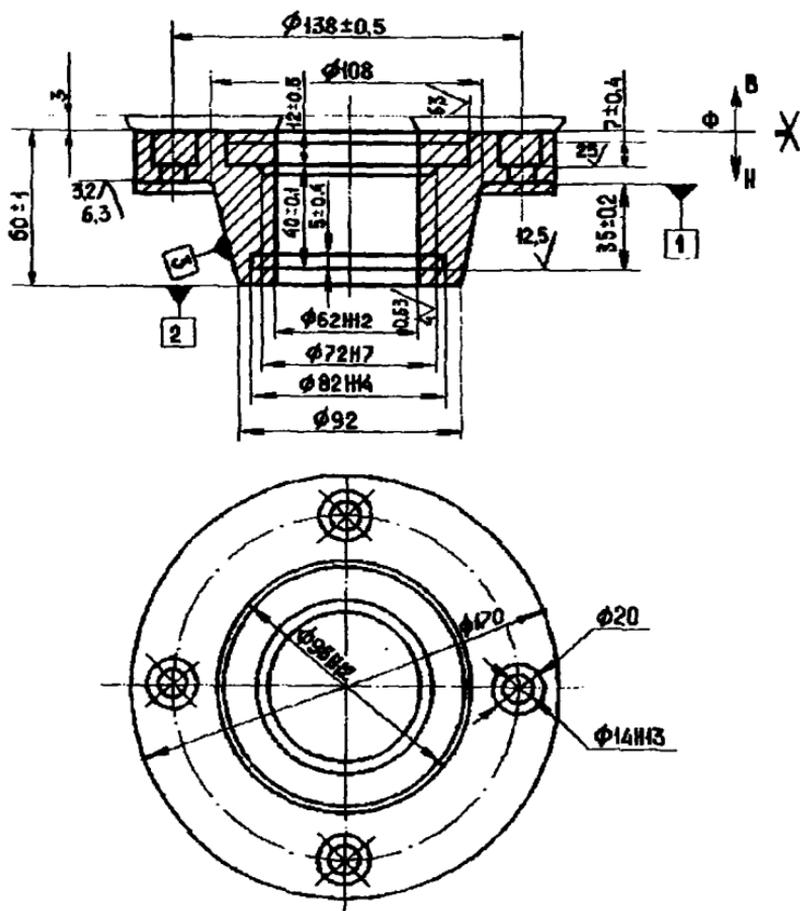
С учетом класса точности отливки, требований к ней, серийности производства и технических возможностей цеха выбирают способ литья. В этой главе рассматриваются вопросы построения чертежа отливки применительно к традиционным способам литья в разовые формы. С учетом возможностей литья в разовые песчаные формы с точки зрения обеспечения чистоты поверхности (см. табл. 1.11) определяют поверхности отливки, подвергаемые механической обработке. К ним относят все поверхности детали, шероховатость которых R_z меньше достигаемых при принятом способе изготовления отливок. Шероховатость необрабатываемых поверхностей, соответствующая шероховатости литой поверхности при принятом способе литья, обозначается в правом верхнем углу чертежа, если она нормируется по техническим условиям. Если шероховатость необрабатываемых поверхностей не нормируется, то она не указывается.

Перед построением чертежа отливки необходимо определить ее положение в форме при заливке и выбрать плоскость разъема. С учетом положения отливки в форме и выбранной плоскости разъема назначают припуски на механическую обработку для всех обрабатываемых поверхностей. Методика определения припусков на механическую обработку рассмотрена выше. Контур отливки с учетом припусков на механическую обработку изображают сплошной тонкой линией. Величину припуска указывают цифрой под или перед знаком шероховатости поверхности детали. Припуск штрихуют в плоскости разреза отливки. Пример изображения припусков показан на рис. 2.11.

Если в направлениях, перпендикулярных плоскости разъема, не предусмотрены конструктивные уклоны, то необходимо определить формовочные уклоны для лучшего съема полужформ с модели в соответствии с ГОСТ 3212-80.

В зависимости от требований, предъявляемых к поверхности отливки, формовочные уклоны следует выполнять:

• на обрабатываемых поверхностях отливки сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки (рис. 2.12, а);



1. Материал отливки – сталь 35Л.
2. Неуказанные литейные радиусы $R=5$ мм.
3. Неуказанные предельные отклонения размеров $h12$.
4. Точность отливки 10–10–5–3 по ГОСТ 26645–85.
5. Формовочные уклоны по ГОСТ 3212–80.
6. Термическая обработка – нормализация.

Рис. 2.11. Пример оформления чертежа отливки «Крышка»

- на необрабатываемой поверхности отливки, не сопрягаемой по контуру с другими деталями, за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки (рис. 2.12, б);
- на необрабатываемых поверхностях отливки, сопрягаемых по контуру с другими деталями за счет уменьшения (рис. 2.12, в) или увеличения (рис. 2.12, г) размеров отливки в зависимости от поверхности сопряжения. Уклоны задаются в градусах или миллиметрах.

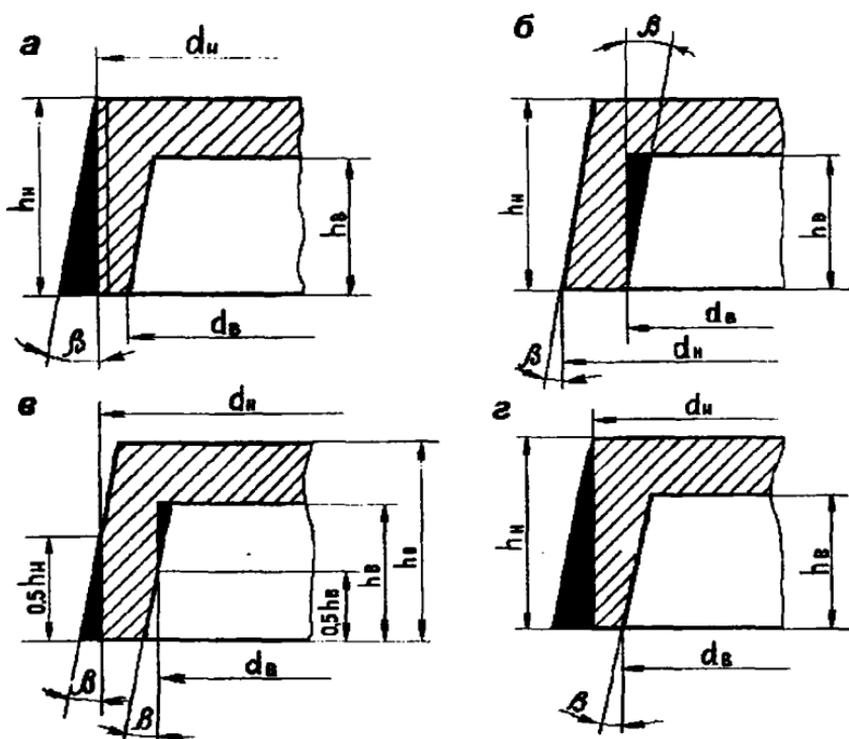


Рис. 2.12. Формовочные уклоны: а – на обрабатываемых поверхностях отливки сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки; на необрабатываемых поверхностях отливки; б – за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров; в – за счет уменьшения размеров; г – за счет увеличения размеров

Если вертикальные стенки обрабатываются, то уклоны всегда дают «в плюс». Также «в плюс» дают уклоны, если стенку отливки не обрабатывают, но толщина ее меньше 3 мм. При толщине стенки 3–6 мм уклоны дают «в плюс-минус», а при толщине больше 6 мм – «в минус».

Данные по формовочным уклонам ГОСТ 3212-80 приведены в табл. 2.1. Уклоны на чертеже отливки, как правило, не показывают. В технических требованиях к отливке на чертеже указывают: «Формовочные уклоны по ГОСТ 3212-80». При необходимости отдельные поверхности на чертеже обозначают буквами (например А) и в технических условиях записывают, как выполняются по этим поверхностям уклоны

Таблица 2.1

Формовочные уклоны модельного комплекта по ГОСТ 3212-80

Высота основной формообра- зующей по- верхности h _н или h _в , мм	Формовочный уклон								
	при применении песчано-гли- нистых смесей и комплекта				при применении смесей, твердеющих в контакте с оснасткой, и комплекта			для ЛВМ	
	металлического (М), пластмас- сового (П)		деревянного (Д)		М для ОФ	М, П	Д	для поверхностей	
	d, h	d > h	d, h	d > h				В, Ом.	П, Ощ.
До 10	2°17'	4°34'	2°54'	5°45'	1°43'	3°26'	4°00'	0°30'	1°30'
10-18	1°36'	3°11'	1°54'	3°49'	1°16'	2°32'	2°52'	0°20'	1°00'
19-30	0°09'	2°40'	1°31'	3°03'	0°57'	1°54'	2°17'	0°15'	0°45'
31-50	0°48'	1°42'	1°02'	2°05'	0°41'	1°16'	1°29'	0°15'	0°45'
51-80	0°34'	1°13'	0°43'	1°26'	0°30'	0°54'	1°04'	0°10'	0°30'
81-120	0°26'	0°54'	0°32'	1°03'	0°23'	0°40'	0°46'	0°10'	0°30'
121-180	0°19'	0°38'	0°23'	0°46'	0°17'	0°29'	0°34'	-	-
181-250	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°28'	0°33'	-	-
251-315	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°27'	0°33'	-	-
316-400	0°18'	0°36'	0°21'	0°43'	-	0°26'	0°32'	-	-
401-500	0°17'	0°35'	0°21'	0°41'	-	0°26'	0°31'	-	-
501-630	0°17'	0°33'	0°19'	0°38'	-	0°24'	0°29'	-	-
631-800	0°17'	0°32'	0°19'	0°38'	-	0°24'	0°29'	-	-
801-1000	-	-	0°19'	0°38'	-	-	0°29'	-	-
1001-1250	-	-	0°19'	-	-	-	0°29'	-	-
1251-1600	-	-	0°19'	-	-	-	0°29'	-	-
1601-2000	-	-	0°19'	-	-	-	0°28'	-	-
2001-2500	-	-	0°19'	-	-	-	0°28'	-	-
> 2500	-	-	0°19'	-	-	-	0°28'	-	-

Примечание. ЛВМ - литье по выплавляемым моделям; Ом - поверхности охватываемые; Ощ - поверхности охватывающие; ОФ - оболочковая форма.

(«в минус», «в плюс» или «в плюс-минус»). Например, по поверхности А уклоны выполняются «в плюс», а по остальным поверхностям - «в плюс-минус».

Для обеспечения направленного затвердевания отливки (см. гл. 4) конфигурацию детали подвергают анализу с применением метода вписанных окружностей. Если направленное затвердевание не обеспечивается (окружность нельзя выкатить через стенку детали в прибыль), то

назначают технологические напуски. Методика их построения описана в гл. 4. Очевидно, что эти напуски увеличивают массу отливки, снижают КИМ и повышают трудоемкость механической обработки. Поэтому целесообразно в подобных случаях по согласованию с конструктором подвергнуть корректировке конструкцию детали. Примеры построения технологического напуска и корректировки чертежа детали показаны на рис. 2.13, *а* и *б*, где 1 – усадочная раковина; 2 – контрольные окружности; 3 – прибыль [45].

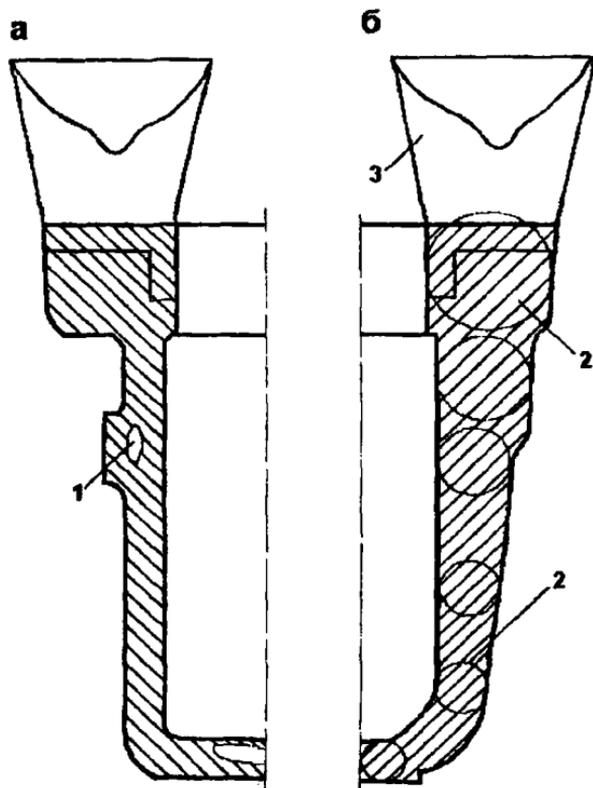


Рис. 2.13. Построение технологического напуска: *а* – на нетехнологичной детали; *б* – на откорректированной конструкции детали

В конструкциях деталей часто предусмотрены сквозные и несквозные отверстия, пазы, уступы и выемки, которые не всегда технически целесообразно оформлять при литье, так как затраты при этом очень

часто не компенсируются экономией при последующей механической обработке. При малых размерах этих элементов ухудшается качество литой поверхности и увеличивается брак. Поэтому отверстия, имеющие диаметр меньше некоторых минимальных значений, не отливаются. В табл. 2.2 и 2.3 приведены данные по наименьшим размерам отливаемых круглых и прямоугольных отверстий для стальных и чугунных отливок по стандарту Уралмаша [39]. Схема к табл. 2.2 и 2.3 приведена на рис. 2.14.

В случае выполнения глухих отверстий наименьший диаметр необходимо увеличить на 20 % от значений, указанных в табл. 2.2 и 2.3. При выполнении квадратных отверстий размер стороны квадрата условно принимают равным значениям диаметра, указанным в табл. 2.2 и 2.3. Прямоугольные отверстия при соотношении размеров сторон $L/B > 3$ отливают в случае, если $B > d$ (d – наименьший допустимый диаметр для круглого отверстия). Если отверстия не отливаются, то на чертеже отливки в разрезе они заштриховываются, а не в разрезе – зачеркиваются (рис. 2.15).

Таблица 2.2

Наименьшие диаметры отливаемых отверстий для стальных отливок

L или H	Характеристика поверхности отливки	Толщина слоя металла, мм							
		До 25	26–50	51–75	76–100	101–150	151–200	201–300	Св. 300
		Наименьшие диаметры отверстий, мм							
До 100	Обрабатываемые	90	90	90	90	100	120	140	160
	Необрабатываемые	110	110	110	110	120	140	160	180
101–200	Обрабатываемые	90	90	90	90	120	140	160	190
	Необрабатываемые	110	110	110	110	140	160	180	210
201–400	Обрабатываемые	90	90	100	100	140	170	190	230
	Необрабатываемые	115	115	125	135	160	195	215	255
401–600	Обрабатываемые	100	110	120	140	170	200	230	270
	Необрабатываемые	125	135	145	165	195	225	255	295
601–1000	Обрабатываемые	120	130	150	170	200	210	230	310
	Необрабатываемые	150	160	180	200	230	260	300	340

Сквозные и несквозные обрабатываемые пазы на чугунных отливках не отливаются при условии, если ширина паза (рис. 2.16) $a < 50$ мм (длина паза значения не имеет). При $a > 50$ мм пазы отливаются. Если паз не отливается, то на чертеже отливки в разрезе он заштриховывается, а в плане перечеркивается двумя линиями крест-накрест.

Уступы и выемки на чугунных отливках не отливаются, если $a + b < 60$ мм (рис. 2.17).

Таблица 2.3

Наименьшие диаметры отливаемых отверстий для чугуных отливок

L или H	Характеристика поверхности отливки	Толщина слоя металла, мм							
		До 40	41-50	51-65	66-80	81-100	101-125	126-160	161-200
		Наименьшие диаметры отверстий, мм							
До 25	Обрабатываемые	25	25	25	25	25	25	25	25
	Необрабатываемые	50	50	50	50	50	50	50	50
26-40	Обрабатываемые	30	30	30	30	30	30	30	30
	Необрабатываемые	55	55	55	55	55	55	55	55
41-65	Обрабатываемые	32	35	35	35	35	35	35	35
	Необрабатываемые	58	62	62	62	62	62	62	62
66-100	Обрабатываемые	35	38	40	40	40	40	40	40
	Необрабатываемые	62	67	72	72	72	72	72	72
101-150	Обрабатываемые	40	42	45	50	50	50	50	50
	Необрабатываемые	67	72	78	85	85	85	85	85
151-250	Обрабатываемые	42	48	52	55	60	60	60	60
	Необрабатываемые	72	78	85	92	100	100	100	100
251-400	Обрабатываемые	-	54	60	65	72	80	80	80
	Необрабатываемые	-	85	92	100	110	120	120	120
401-600	Обрабатываемые	-	-	65	72	80	90	100	100
	Необрабатываемые	-	-	100	110	120	132	145	145
601-1000	Обрабатываемые	-	-	-	80	90	100	110	120
	Необрабатываемые	-	-	-	120	132	145	160	175
Св. 1000	Обрабатываемые	-	-	-	-	100	110	120	132
	Необрабатываемые	-	-	-	-	145	160	175	185

Если в конструкции детали предусмотрены необходимые радиусы сопряжений стенок, то на чертеже отливки необходимо указать радиусы сопряжения всех стенок. Методика расчета радиусов сопряжений

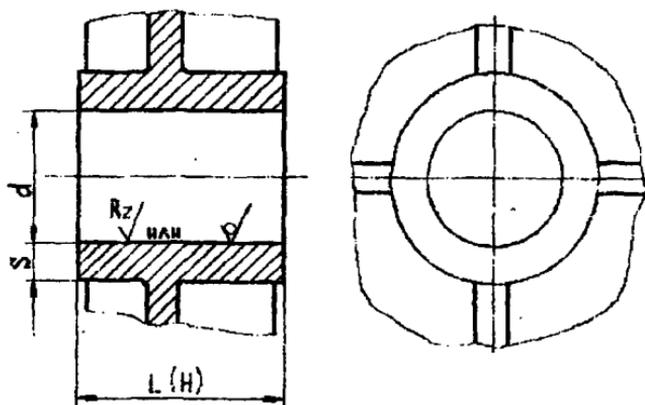


Рис. 2.14. Схема к таблицам 2.2 и 2.3

и скруглений приведена выше (п. 1.3.1). Целесообразно, чтобы в одной отливке было минимальное число значений радиусов, лучше всего одно значение. В этом случае его можно записать в технических условиях к чертежу: «Литейные радиусы $R = \dots$ ».

При построении чертежа отливки необходимо определить места установки прибылей. На чертеже отливки необходимо указать положение линий обрезки прибылей (см. рис. 2.11). При обрезке с поверхности, ис подвергаемой механической обработке, остаток от прибыли не должен превышать:

- 3 мм при диаметре D или длине наименьшей стороны S сечения прибыли до 200 мм;
- 5 мм при D или S от 200 до 500 мм;
- 8 мм при D или S более 500 мм.

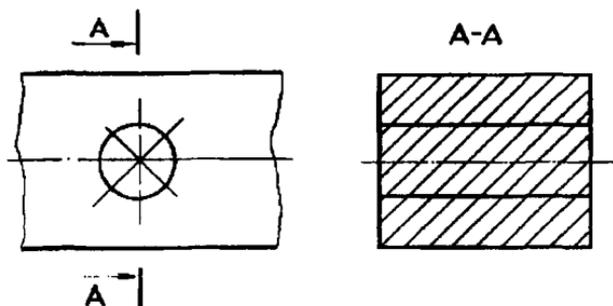


Рис. 2.15. Обозначение неотливаемых отверстий на чертеже отливки

Значение наибольшей величины h остатка от прибыли после газовой резки сверх припуска на механическую обработку обрабатываемой поверхности можно определить по рекомендации стандарта Урал-маша (табл. 2.4) [41].

Таблица 2.4

Значение величины остатка h от прибылей после их газовой резки

Толщина прибыли B или D , мм	Величина остатка h , мм	Толщина прибыли B или D , мм	Величина остатка h , мм остатка
До 50	4	316 – 400	18
51 – 63	5	401 – 500	20
64 – 80	6	501 – 600	24
81 – 100	7	601 – 800	30 – 20
101 – 125	8	801 – 900	50 – 20
126 – 160	10	901 – 1000	60 – 30
161 – 200	12	1001 – 1100	80 – 50
201 – 230	14	Св. 1100	100 – 50
231 – 315	16		

Перед нанесением размеров на чертеже литой детали следует выбрать основные литейные базы. *Базой* называется конструктивный элемент детали или заготовки, относительно которого ведется отсчет размеров.

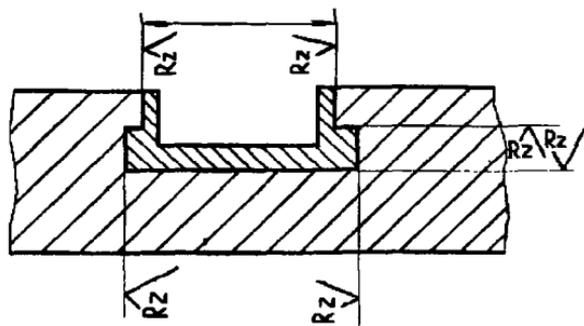


Рис.2.16. Отливаемый паз

Это могут быть поверхности, их оси или плоскости симметрии. В зависимости от назначения различают следующие базы:

- конструкторские базы, используемые для определения положения элементов детали в детали, детали в сборочной единице (узел изделия). Сопряженные размеры определяют формы сопряженных поверх-

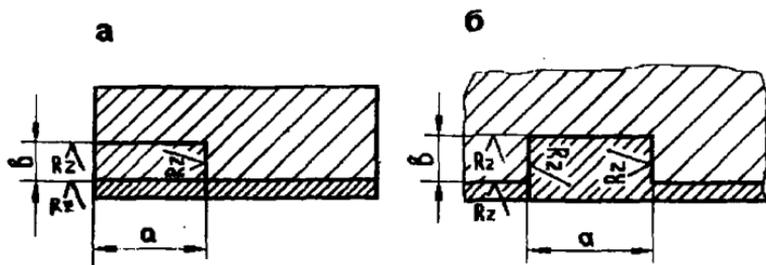


Рис. 2.17. Неотливаемые элементы на чугунных отливках:
а – уступы; б – выемки

ностей данной детали и других деталей узла. Поверхности детали, не соприкасающиеся с другими деталями узла, относят к свободным поверхностям. Свободные размеры характеризуют форму и положение свободных поверхностей. Сопряженные размеры наносят от конструкторских баз;

• технологические базы, используемые для определения положения заготовки в процессе изготовления (технологическая база для механической обработки заготовки и литейная технологическая база). Свободные размеры наносят от технологических баз. Правильный выбор литейных баз во многом упрощает технологический процесс изготовления отливки и модели, а также последующие операции механической обработки. Неправильный выбор литейной базы и базы для механической обработки отливки часто приводит к браку по размерной и геометрической точности деталей.

В качестве литейных баз рекомендуется принимать возможно меньшие по размеру необрабатываемые поверхности (по одной для каждого из трех координатных направлений). Желательно, чтобы эти поверхности образовывались одной половиной литейной формы (для исключения влияния перекоса полуформ) или одним стержнем. Базу целесообразно располагать в центре литой детали. При этом размеры от базы до самых удаленных поверхностей, а следовательно и допуски на них, будут наименьшими.

Если допуски на размеры какой-либо части литой детали по конструктивным или технологическим соображениям минимальны, то базу следует расположить в этой части детали. Наиболее полно удовлетворяет требованиям производства простановка размеров от технологических баз. Поэтому на чертежах деталей чаще всего размеры проставлены от технологических баз механической обработки. Обычно стремятся, чтобы конструкторские базы были использованы в качестве технологических для механической обработки.

После выбора литейных баз наносят размеры, определяющие форму и положение необрабатываемых поверхностей относительно этих баз. Отдельно наносят размеры, определяющие положение обрабатываемых поверхностей относительно конструкторских баз или баз для механической обработки. Обычно эти размеры уже нанесены на исходном чертеже детали. Таким образом, на чертеже отливки должно быть нанесено две группы размеров, которые связывают между собой тремя (по одному в каждом из трех координатных направлений) размерами, проставляемыми на чертеже между выбранными литейными и конструкторскими базами или базами для механической обработки. Желательно, чтобы эти базы совпадали.

Лучше всего иметь базой для механической обработки такие поверхности, которые и у готовой детали останутся необработанными. Они должны обеспечить надежный зажим детали в приспособлении или патроне металлорежущего станка. Базовые поверхности и поверхности, обрабатываемые от этих баз, должны быть расположены в одной полуформе. Целесообразно выбор положения отливки в форме и поверхно-

сти разсема согласовывать с технологами, специализирующимися в области механической обработки отливок.

Если невозможно иметь общую базу для получения отливки и ее механической обработки, то расстояние между ними принимают минимальным. В этом случае допуск на базовый размер будет минимальный. Размеры на чертежах литых заготовок не допускается наносить в виде замкнутой цепи (рис. 2.18, а).

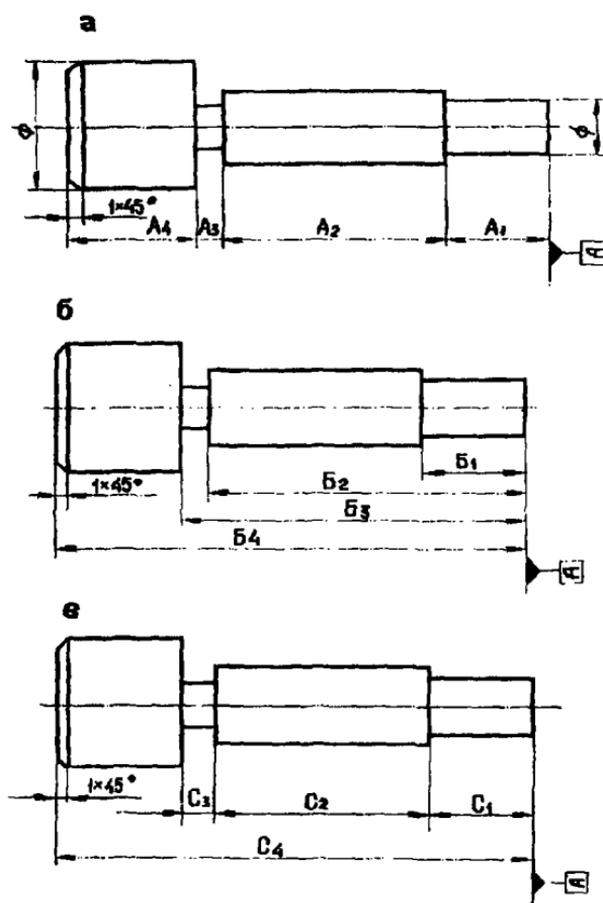


Рис. 2.18. Способы простановки размеров на чертежах:
 а – в виде замкнутой цепи; б – от одной базовой поверхности; в – комбинированный

Наибольшей точности изготовления детали отвечает простановка всех размеров от одной и той же базовой поверхности (рис. 2.18, б). Од-

нако, часто применяют комбинированный метод простановки размеров, при котором часть размеров, не отличающихся большой точностью, устанавливается цепью (рис. 2.18, в).

Базы на чертежах обозначаются равнобедренным зачерненным треугольником, высота которого равна размеру шрифта. Основание треугольника располагают на контурной линии поверхности или ее продолжении. Если базой является ось или плоскость симметрии, то треугольник помещают в конце размерной линии (для обозначения диаметра или ширины элемента). От вершины треугольника отводится прямая линия с квадратом, в котором буквой или цифрой обозначают базу. На рис. 2.19–2.21 приведены примеры выбора литейных баз и простановки размеров на чертежах литых деталей.

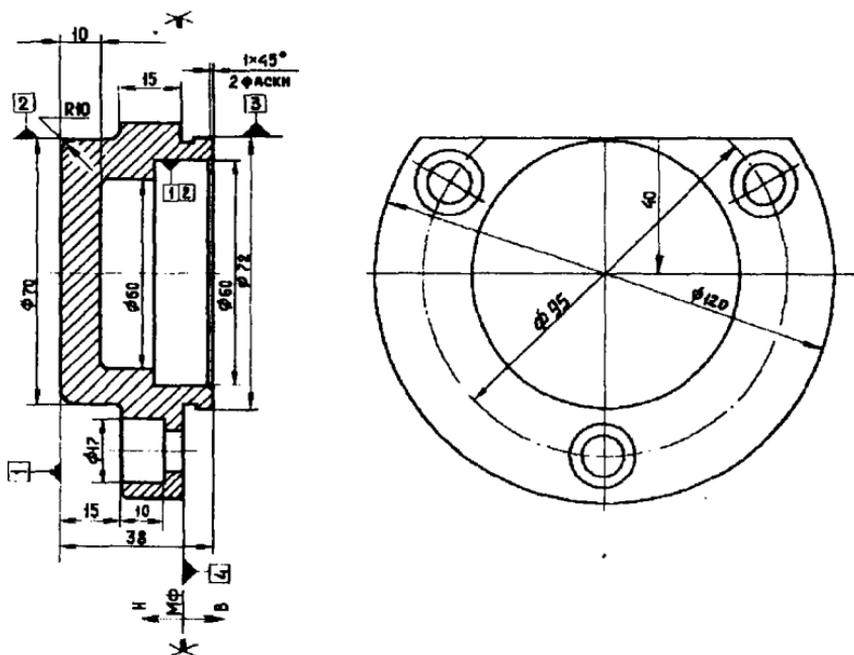


Рис. 2.19. Чертеж литой детали «Фланец»

В качестве литейных баз для отливки «Фланец» (см. рис. 2.19) приняты: левый необрабатываемый торец фланца (база 1) и ось поверхности диаметром 70 мм (база 2). Обе базы формируются одной полу-

формой, что обеспечивает точность выполнения размеров отливки. В качестве конструкторских баз приняты: опорный торец фланца (база 4) и ось поверхности диаметром 72 мм (база 3). Литсйная база 2 и база 3 для механической обработки совпадают друг с другом. В принятом варианте выбора баз и нанесения размеров габаритный размер 38 является размером между литейной и конструкторской базами.

Для отливки «Рычаг» (см. рис. 2.20) в качестве литейных баз приняты: нижняя необрабатываемая поверхность плеча (база 1) и оси бобышек (база 4). В качестве конструкторских баз приняты: нижняя

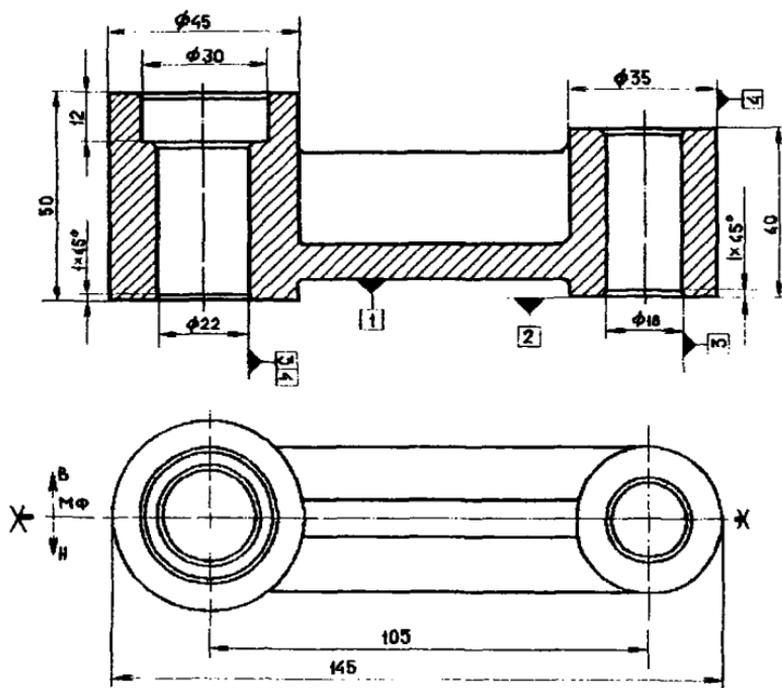


Рис. 2.20. Чертеж литой детали «Рычаг»

опорная поверхность бобышек (база 2) и оси расточек-отверстий диаметрами 22 и 18 мм (база 3). Расстояние между базами 1 и 2 – 5 мм.

При нанесении размеров отливки «Корпус червячного редуктора» (см. рис. 2.21) за литейные и конструкторские базы в продольном и поперечном направлениях приняты: вертикальная ось (базы 3 и 4) и плоскость симметрии отливки (базы 1 и 2). В вертикальном направлении ли-

тейной базой является верхняя необрабатываемая поверхность детали (база 5), а конструкторской базой – верхняя обрабатываемая поверхность (база 6). Расстояние между этими базами – 10 мм.

На рис. 2.21 показан пример неправильно выбранной литейной базы – нижней необрабатываемой поверхности (база 7). Эта поверхность выполняется стержнем и может изменить свое положение в зависимости от точности установки стержня. При таком положении базы велико расстояние между литейной и конструкторской (база 6) базами. При этом базы 7 и 3 также выполняются разными элементами формы (стержнем, оформляющим поверхность базы 7, и круглым стержнем, положение которого фиксируется знаковой частью в той полуформе, которая оформляет базу 5).

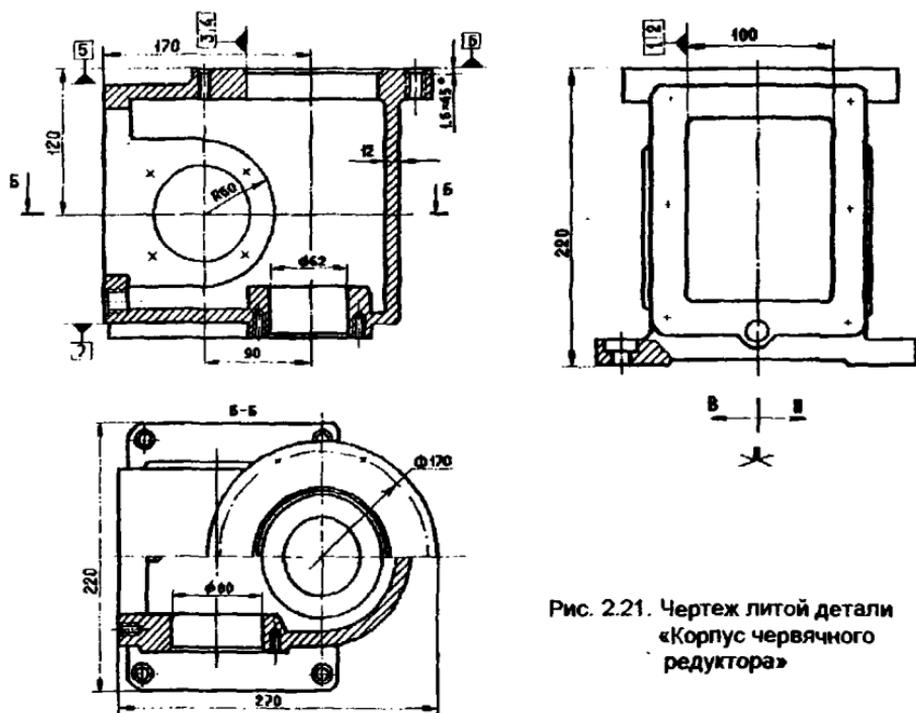


Рис. 2.21. Чертеж литой детали «Корпус червячного редуктора»

На рабочих чертежах литых заготовок помещают технические требования, обычно включающие следующие данные:

- класс точности размеров, класс точности массы. В отдельных случаях указывают степень коробления отливки и ряд припусков на механическую обработку (ГОСТ 26645–85). Предусмотрено условное обо-

значение совокупности этих данных в виде последовательности цифр, обозначающих классы точности размеров и массы, степень коробления отливки и ряд припусков на механическую обработку. Например, обозначение 7-6-4-4 говорит о том, что отливка должна иметь 7-й класс точности размеров, 6-й класс точности массы, 4-ю степень коробления и 4-й ряд припусков на механическую обработку;

- величины неуказанных на чертеже литейных радиусов;
- формовочные уклоны;
- данные, регламентирующие наличие литейных дефектов (раковин, пор, трещин и т.п.), допускаемых на отливке без устранения, а также данные о дефектах, допускаемых к устранению, и способы их устранения.

В зависимости от назначения детали могут быть указаны дополнительные требования:

- указания о проверке герметичности;
- вид термической обработки и требуемая твердость на отдельных поверхностях;
- место и характер маркировки отливки (текст и шрифт);
- вид покрытий отдельных поверхностей;
- специальные требования по физическим и химическим свойствам отливок, по методам механических испытаний и контроля структуры;
- указания о совпадении контура детали с соответствующим контуром сопряженной детали, на чертеже которой записывают аналогичное техническое требование (для согласования направления и размеров формовочных уклонов при изготовлении моделей сопрягаемых деталей).

Для иллюстрации применения приведенных выше рекомендаций рассмотрим пример построения чертежа отливки «Крышка» (рис. 2.11). Класс точности детали по необрабатываемым размерам находится в интервале 12-14-го классов (IT12–IT14). По табл. 1.3 определяем, что отливка должна соответствовать 9–16-у классам точности. Примем 10-й класс точности. Для изготовления отливки выбираем способ литья в сырые песчаные формы (табл. 1.5). Как следует из табл. 1.11, при литье в песчаные формы обеспечивается шероховатость литых поверхностей, отвечающая $R_z=125-63$ мкм, что удовлетворяет требованиям к шероховатости необрабатываемых поверхностей рассматриваемой отливки.

С точки зрения простоты формовки, обеспечения точности отливки и организации питания размещаем отливку в нижней полуформе и выбираем плоскость разъема полуформ, как указано на рис. 2.11 (подробное обоснование дано в п. 2.4).

Определим припуски на механическую обработку. Для внутренн -

ной цилиндрической, вертикально расположенной в форме поверхности для отливки 10-го класса точности находим по табл. 1.1 для номинального размера 72 мм допуск – 2,8 мм. По табл. 1.5 для изготовления отливки в песчаной форме выбираем 3-й ряд припусков на механическую обработку, а по табл. 1.7 по допуску 2,8 мм для 3-го ряда припусков находим основной припуск на механическую обработку – 4 мм. Так как отливка располагается в одной полуформе, то отклонение размеров из-за смещения полуформ не будет. Дополнительный припуск для компенсации коробления назначать не будем, так как при степени коробления 2–8 (см. табл. 1.9) предельное отклонение коробления элементов данной отливки 0,6 мм не превышает половину допуска на размер 1,2 мм (см. табл. 1.8).

Для упрощения профиля стержня, который выполняет необрабатываемую поверхность по диаметру 62 мм, примем припуск 5 мм на сторону по поверхности диаметром 72 мм. В этом случае центральное отверстие выполняется цилиндрическим стержнем диаметром 62 мм. Аналогично определяем припуск по нижней горизонтальной поверхности. Он составит 3,2 мм.

Для организации направленного затвердвания внутренний контур отливки выполняем так, как показано на рис. 2.11, т. е. с расположением на верхней поверхности двух прибылей. Остатки прибылей после их отрезки показаны на рис. 2.11.

В соответствии с данными табл. 2.2 минимальный диаметр отливасмого отверстия 90 мм. Поэтому отверстия диаметром 20/13 мм не отливают.

Формовочный уклон необходим по боковой поверхности фланца диаметром 170 мм. Его принимаем по ГОСТ 3212–80 «в плюс-минус».

Конструкторская база отмечена на чертеже детали (база 1). В качестве литейных баз выбираем нижнюю необрабатываемую поверхность (база 2) и ось центрального отверстия отливки (база 3). Эти же элементы являются базами для механической обработки. На чертеже отливки записываем технические требования к ней (см. рис. 2.11).

2.3. Конструирование стержней

2.3.1. Классификация стержней

Песчаные стержни классифицируют по степени сложности, а также по массе, объему и способу упрочнения. В зависимости от степени сложности стержни делят на V классов [1]:

К классу I (рис. 2.22, д) относятся наиболее сложные, ажурные тонкостенные стержни, соприкасающиеся с расплавом большой площа-

дью и образующие в отливках узкие полости. Эти стержни должны иметь высокую сухую прочность, огнеупорность, газопроницаемость, малую газотворность. Они должны легко разрушаться и извлекаться из полости отливки. Стержни этого класса чаще всего применяются для образования в отливке необрабатываемых внутренних полостей.

К классу II (рис. 2.22, в) относятся центровые стержни сложной и средней конфигурации с наличием тонких частей в виде отдельных выступов, переходов с достаточно развитыми знаковыми частями. Они образуют в отливке обрабатываемые и необрабатываемые поверхности и должны иметь высокую сухую прочность.

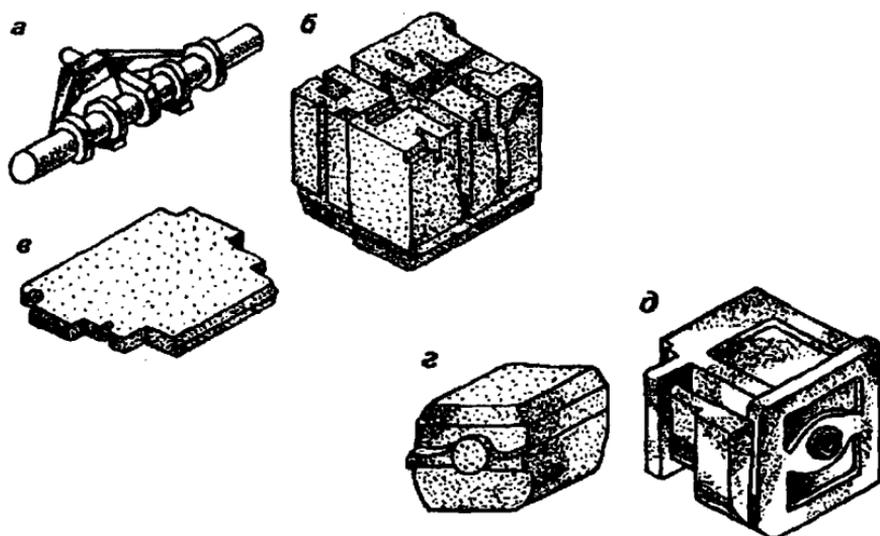


Рис. 2.22. Примеры стержней различных классов сложности:
а - I; б - IV; в - II; з - III; д - I

К классу III (рис. 2.22, з) принадлежат стержни, образующие внутренние и наружные поверхности отливок средней и несложной формы. Такие стержни должны иметь высокую сырую прочность. Они используются для получения необрабатываемых ответственных поверхностей.

Класс IV (рис. 2.22, б) составляют стержни среднего объема, имеющие несложную форму и стержневые знаки относительно большого сечения. Их применяют для получения как внутренних, так и внешних обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей, к шероховатости которых не предъявляют повышенных требований.

К классу V (рис. 2.22, а) относятся массивные крупногабаритные стержни. Их применяют для получения внутренних и наружных поверхностей. Эти стержни должны обладать высокой податливостью, иногда они выполняются пустотелыми.

Классификация стержней по массе, объему и способу упрочнения приведена в табл. 2.5 [36]. Каждой группе стержней соответствуют определенные габаритные размеры стержневых ящиков:

- от 200×160×100 до 630×400×400 мм (для мелких стержней);
- от 630×400×400 до 1600×1000×600 мм (для средних);
- свыше 1600×1000×600 мм (для крупных стержней).

В зависимости от назначения стержни делят на центровые, наружные, литниковые, подкладочные и вспомогательные [21].

Центровые стержни предназначены для оформления в отливках внутренних полостей, углублений и отверстий. Наружные стержни оформляют на отливках впадины, бобышки, приливы и т.п., т.е. наружные поверхности отливок. Такие стержни упрощают модели и облегчают изготовление форм. Литниковые стержни служат для оформления в форме элементов литниковых систем, литниковых и выпорных чаш, стояков, фильтровальных сеток, прибылей и т.п. Подкладочные стержни предназначены для упрочнения формы в местах, испытывающих большое давление со стороны стержней, а также большое гидростатическое давление металла. Такие стержни служат также для упрочнения мест, подвергающихся длительному воздействию струи жидкого металла, заполняющего форму.

Таблица 2.5

Классификация стержней

Группа стержней	Характеристика стержней
	Масса и объем
Мелкие	< 8 кг, ≤ 5 дм ³
Средние	≤ 100 кг, ≤ 75 дм ³
Крупные	> 100 кг, > 75 дм ³
	Способ упрочнения
Сырые	Не подвергаются сушке
Сухие	Подвергаются сушке в сушилах при 130 – 400 °С
Холодного твердения	Твердеют за счет химического взаимодействия компонентов смеси при продувке CO ₂ или самопроизвольно
Горячего твердения	Твердеют за счет тепла стержневого ящика и применения шлакированных смесей

Вспомогательные стержни служат для заделки каркасов, отверстий в полых стержнях, выходных отверстий вентиляционных каналов. Они не оформляют ни внешние, ни внутренние поверхности отливок.

По конструктивным особенностям различают неразъемные, сборные, объемные, облегченные и оболочковые стержни.

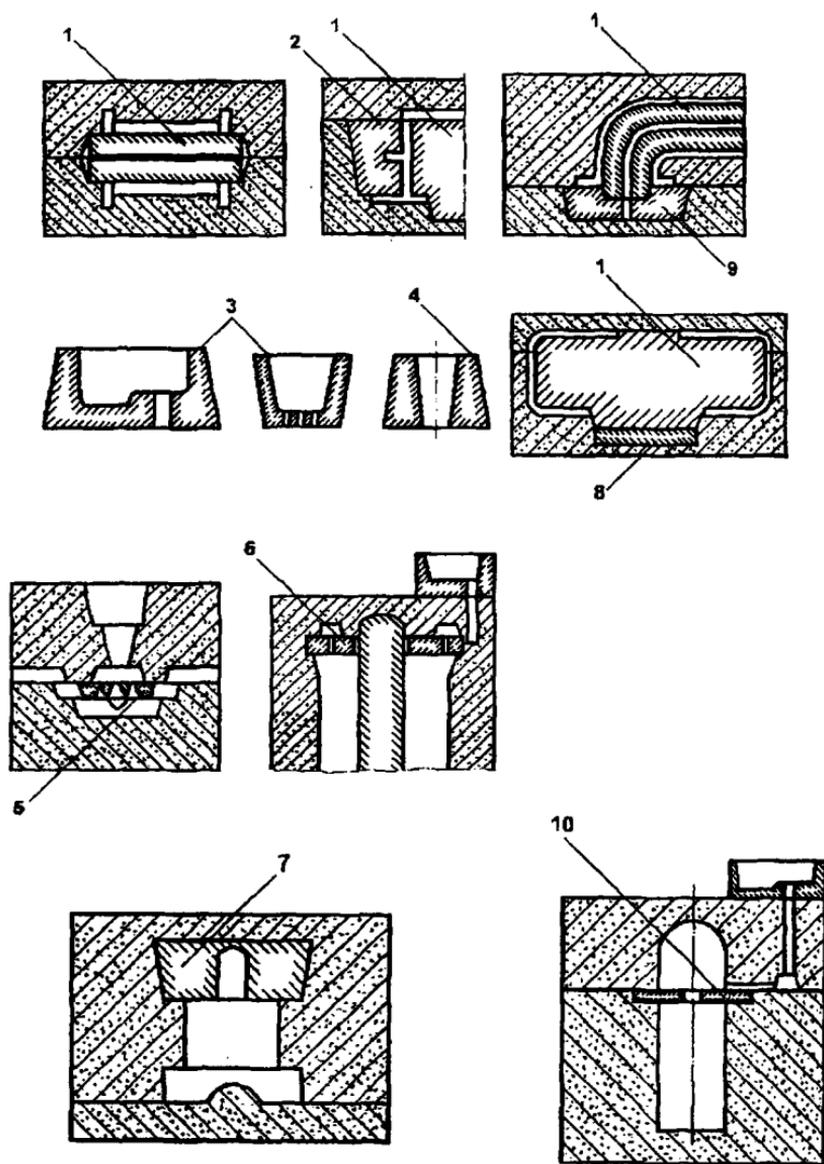


Рис. 2.23. Типы стержней: 1 – центральной стержень; 2 – наружный стержень; 3 – литниковая чаша; 4 – выпорная чаша; 5 – фильтровальная сетка; 6 – стержень, выполняющий питатели; 7 – стержень, выполняющий прибыль; 8 – подкладочный стержень; 9 – стержень для заделки выхода в вентиляционных каналах; 10 – стержень для образования легкоотделяемых прибылей

Неразъемные стержни изготавливают в одном ящике и устанавливают в форму без дополнительных устройств. Сборные стержни получают путем соединения различными способами нескольких отдельно изготовленных стержней. Оболочковые стержни имеют внутренние открытые полости. Толщина стенок стержня составляет 6–12 мм. Примеры различных типов стержней приведены на рис. 2.23. Средние и крупные стержни из песчано-глинистых смесей армируются и носят название армированных стержней.

Классифицируют также и технологические процессы изготовления стержней. Технологические процессы отличаются между собой применяемыми исходными материалами и стержневыми смесями, числом разнообразных технологических операций, их трудоемкостью и временем выполнения, методами упрочнения смесей, возможностью механизации и автоматизации, качеством получаемых стержней и др. Технологические процессы изготовления стержней подразделяют на две основные группы:

- 1) стержни, отверждаемые вне оснастки, как правило, с помощью тепловой сушки;
- 2) стержни, отверждаемые непосредственно в оснастке за счет химического или физико-химического упрочнения.

2.3.2. Способы крепления и фиксации стержней в форме

Стержни устанавливают в форму при ее сборке в определенной последовательности согласно номеру стержня. При изготовлении тонкостенных сложных отливок (например блока цилиндров автомобиля) для обеспечения точной сборки, а также для ее ускорения стержни предварительно собирают в блоки с помощью шаблонов и кондукторов и в собранном виде устанавливают в форму.

Устойчивое положение стержней в форме обеспечивается их знаками. Однако в ряде случаев используют специальные металлические подставки – жересбйки. В большинстве случаев стержни, которые устанавливают в нижнюю полуформу и имеют два или более знака, достаточно устойчиво крепятся в форме. При необходимости установки стержня в верхней полуформе используют крепящие металлические шпильки, металлические пластины, болты или мягкие привязочные средства, удерживающие стержень в верхней полуформе за его знаковую часть.

Для предотвращения всплывания стержня в форме при заполнении ее жидким металлом (при отсутствии верхнего знака) нижний знак стержня имеет специальную конструкцию и закрепляется металлическими шпильками, а при необходимости между верхней частью стержня

и верхней полуформой устанавливается жеребейка. Правильность установки стержней проверяют контрольными шаблонами до сборки нижней и верхней полуформ.

Фиксация стержней в форме осуществляется с помощью их знаков. В зависимости от положения стержня в форме стержневые знаки подразделяют на горизонтальные и вертикальные. Основное назначение знаков – обеспечить надежность и точность фиксирования стержня в форме. Точность и надежность фиксирования стержня зависят от двух конструктивных параметров знака: формы и размеров. От формы нижнего знака зависит возможность установки стержня в полуформу в определенном положении, а от величины знака и соответствия его размеров размерам знакового гнезда формы – точность и надежность фиксирования стержня в определенном положении.

Размеры и конфигурацию знаковых частей стержней назначают по ГОСТ 3606–80 с учетом размеров стержня, способа формовки и положения стержня в форме (рис. 2.24). На рисунке цифры I и II обозначают различное исполнение знаков стержней. Высоту нижних стержневых вертикальных знаков h_n (рис. 2.24, а, б) выбирают по табл. 2.6 в зависимости от длины стержня L и его диаметра D или от величины $(a+b)/2$ для стержней прямоугольного сечения. Высоту верхних знаков h_v принимают равной не более $0,5 h_n$.

При серийном и массовом производстве можно принять $h_v = h_n$. При $L/D \geq 5$ или $2L/(a+b) \geq 5$ рекомендуется принимать нижние знаки увеличенных размеров (рис. 2.24, б).

Таблица 2.6

Высота h_n (мм) нижних вертикальных знаков стержней (сырых, сухих и твердеющих в контакте с оснасткой) по ГОСТ 3606–80

Размер стержня $(a+b)/2$ или D , мм	Высота знака h_n при длине стержня L , мм							
	До 50	50–80	80–120	120–180	180–250	250–315	315–400	400–500
До 30	20	30	30	-	-	-	-	-
30–50	20	35	35	35	50	50	60	70
50–80	25	35	35	35	40	60	60	70
80–120	25	35	35	35	40	50	60	70
120–180	30	35	35	35	35	40	50	60
180–250	30	35	35	35	35	40	50	60
250–315	35	35	35	35	35	40	50	60
315–400	40	40	40	40	40	40	40	50

Длину l горизонтальных знаков выбирают по табл. 2.7 в зависимости от L , D или $(a+b)/2$ и способа твердения стержня. Формовочные уклоны знаковых частей стержня определяют по табл. 2.8. Зазоры меж-

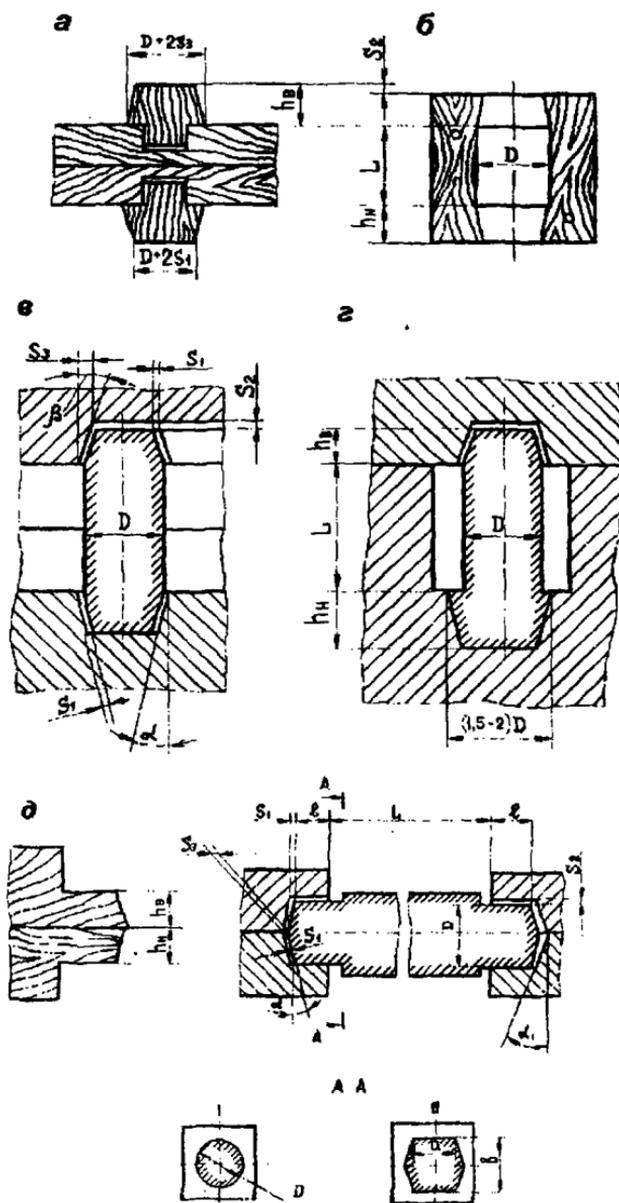


Рис. 2.24. Размеры и форма вертикальных и горизонтальных стержневых знаков: а – знаковые части модели, б – знаковые части стержневого ящика; в, г и д – зазоры в форме для вертикальных и горизонтальных знаков стержней

ду знаками формы и стержня в соответствии с ГОСТ 3606-80 следует принимать по табл. 2.9.

Таблица 2.7

Длина / горизонтальных стержневых знаков по ГОСТ 3606-80

Размер стержня (a+b) или D, мм	Тип формы	Длина знака l при длине стержня L, мм							
		До 50	50 - 80	80 - 120	120 - 180	180 - 250	250 - 315	315 - 400	400 - 500
До 30	I	20	25	30	35	-	-	-	-
	II	15	20	30	35	-	-	-	-
	III	10	15	20	25	-	-	-	-
30 - 50	I	20	25	30	35	45	50	-	-
	II	20	25	30	35	40	45	-	-
	III	10	15	20	30	35	-	-	-
50 - 80	I	20	25	30	40	50	55	60	70
	II	20	25	30	35	40	45	-	-
	III	10	15	20	25	30	35	35	40
80 - 120	I	20	25	35	45	55	60	70	80
	II	25	30	35	40	45	50	55	60
	III	15	20	30	30	35	40	40	45

Примечание. Условные обозначения форм: I - сырые; II - сухие; III - твердеющие в контакте с освадкой.

Таблица 2.8

Формовочные уклоны на знаковых частях стержня, в градусах

h_n или $h_{об}$, мм	α	β	α_1	h_n или $h_{об}$, мм	α	β	α_1
До 30	10	15	4	80 - 120	6	8	2
30 - 50	7	10	3	120 - 180	5	6	1
50 - 80	6	8	2	180 - 250	5	6	0

Для того чтобы после установки в форму стержни надежно удерживались в заданном положении (не поворачивались и не смещались вдоль оси), на знаковых частях стержней предусматривают фиксаторы. Различные типы фиксаторов приведены на рис. 2.25. Фиксатор 1 надежно предохраняет стержень от поворота и продольного смещения. Фиксатор 2 предохраняет только от поворота, но не от продольного смещения, так как площадь сегментов B, образующихся в результате среза стержня, очень мала и установка стержня по ним затруднительна, поскольку кромки фиксаторов не видны при установке стержня сверху. Фиксатор 3 в виде одностороннего среза плохо предохраняет от поворота вокруг продольной оси. Фиксатор 4 неудобен в работе, так как фиксирующие сегменты I' не видны при опускании стержня в гнездо. Различные исполнения фиксатора типа 1 (см. рис. 2.25) приведены на рис. 2.26 (цифрами I, II, III обозначены варианты исполнения фиксаторов).

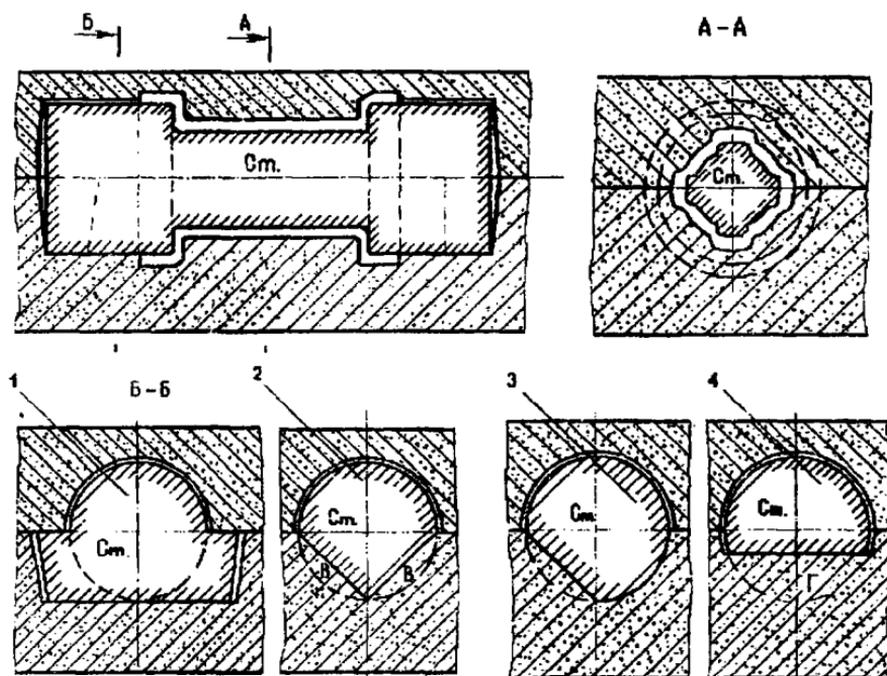


Рис. 2.25. Фиксаторы горизонтально расположенных стержней

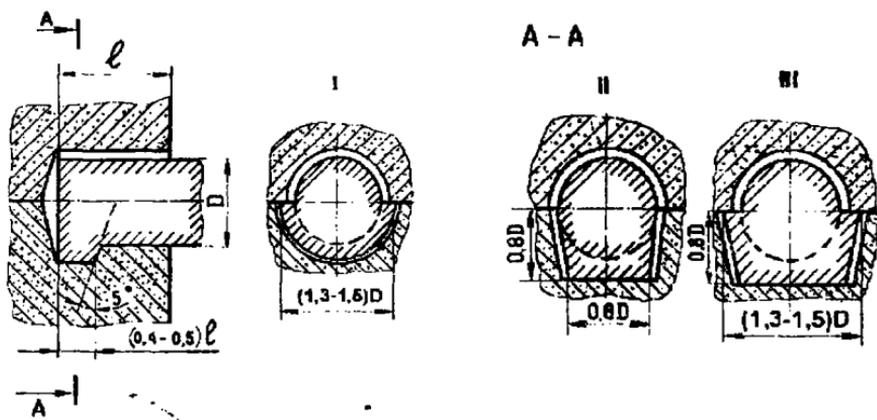


Рис. 2.26. Конструкции фиксаторов

Таблица 2.9

Зазоры между знаковыми поверхностями формы и стержня (на сторону) по ГОСТ 3608-80

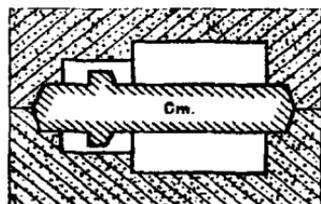
Высота знака, мм	Тип модельного комплекта	Зазор S_1 при длине стержня, мм							
		До 50	51 - 80	81 - 120	121 - 180	181 - 250	251 - 315	316 - 400	401 - 500
До 30	K ₁	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
	K ₂	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
	K ₃	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	K ₄	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
31 - 50	K ₁	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	K ₂	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
	K ₃	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5
	K ₄	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
51 - 80	K ₁	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	K ₂	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
	K ₃	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	K ₄	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
81 - 120	K ₁	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	K ₂	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
	K ₃	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
	K ₄	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5
Зазор S_2	K ₁	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
	K ₂	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	K ₃	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	K ₄	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6	2,8	3,1

Примечания: 1. K₁ - модельный комплект I и II классов точности из металла и пластмассы; K₂ - III класса точности из металла и пластмассы и I класса точности из дерева; K₃ - II класса точности из дерева; K₄ - III класса точности из дерева.

$$2. S_2 = 1,5 S_1.$$

Для исключения неправильной установки в форму несимметричного стержня размеры, а иногда и форму знаков на его концах следует принимать разными. Если принять их одинаковыми, то, как показано на рис. 2.27, а и б, возможны два варианта установки стержня, один из которых приведет к браку из-за нарушения конфигурации отливки.

а



б

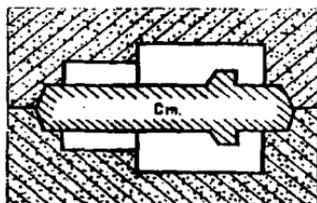


Рис. 2.27. Установка стержня в форме: а - правильная; б - неправильная

При опускании стержня в гнездо нижней полуформы возможно трение знака стержня о стенки знаковой части формы. В результате этого осыпавшаяся на дно гнезда смесь будет мешать точной установке стержня в форму. При установке вертикального стержня с одним знаком возможно отклонение его от вертикали. Для предотвращения этого необходимо по периметру знаковой части полуформы выполнить углубления – зумпфы для сбора осыпавшейся формовочной смеси (рис. 2.28).

Для исключения обжима кромок знаковой части формы при установке стержня и попадания осыпавшейся смеси в полость формы в местах подхода знаковых частей формы к телу отливки выполняют галтели (закругления) (рис. 2.28, а, б, в) или пояски (рис. 2.28, г). Для предотвращения попадания жидкого сплава в вентиляционные каналы в знаковых частях стержней верхней полуформы выполняют обжимное полукольцо (см. рис. 2.28, б) или обжимное кольцо в знаковой части верхней полуформы для вертикальных стержней (см. рис. 2.28, а). Размеры канавок, радиусов скругления кромок, обжимных колец и полуколец, а также фиксаторов определяют по ГОСТ 3606–80.

2.3.3. Вентиляция и армирование стержней

В процессе заливки металла в форму происходит выделение газов как из расплава, так и от сгорания связующих и других добавок, входящих в состав формовочных и стержневых смесей. Стержни, находящиеся в контакте с металлом всей внешней поверхностью кроме знаковых частей, нуждаются в устройстве специальных газоотводных каналов. Как правило, газоотводные каналы выводят газы стержня в знаковые его части, а через них – в форму, обладающую большей газопроницаемостью, чем сам стержень. Через форму газы выходят в окружающую среду.

Устройство искусственной вентиляции в стержнях производят так, чтобы при заливке жидкий металл не попал в газоотводные каналы. Самый простой способ устройства газоотводных каналов – наколы, осуществляемые вручную инструментом, который называется вентиляционной иглой или душником.

При выполнении каналов вентиляционной иглой следует следить, чтобы наколы на 10–15 мм не доходили до поверхности стержня, соприкасающейся с расплавом. Наколы должны выполняться примерно на расстоянии 25–30 мм один от другого. По возможности основной газоотводный канал должен проходить по оси симметрии стержня, чтобы путь газов к этому каналу со всех частей стержня был одинаков.

В сложных стержнях контур основного вентиляционного канала должен отвечать конфигурации стержня, а все вспомогательные каналы

должны быть сведены в общий канал, отводящий газы в знаковые части стержня.

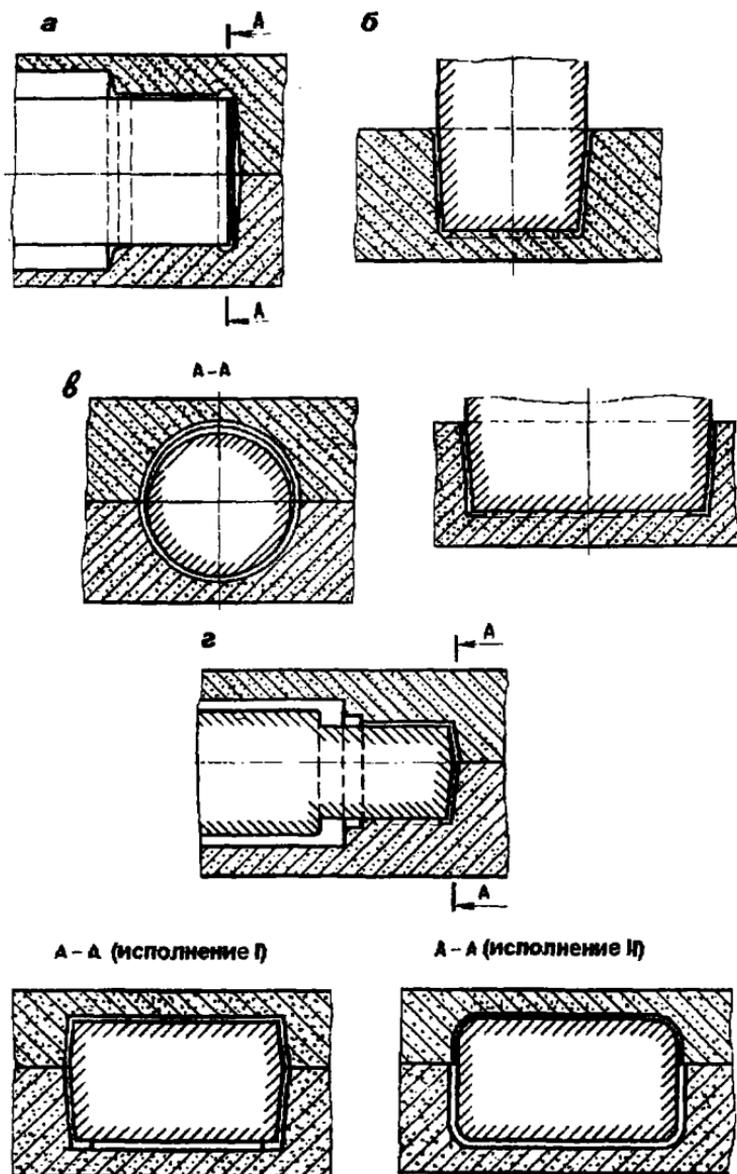


Рис. 2.28. Дополнительные элементы у знаков формы: а – конусный противообжимной пояс; б, в – галтели; г – прямоугольный противообжимной пояс

В массивных крупных стержнях, в том числе с наличием полостей, заполняемых пористым материалом, вентиляционные каналы выполняются с помощью выплавляемых или вытягиваемых после извлечения стержней фитилей. При наличии полостей в стержне газоотводной канал должен выполняться изнутри полости к знаковой части стержня. В стержнях, склеиваемых из двух половин, вентиляционные каналы могут прорезаться в одной или обеих половинах стержня с выводом этих каналов в знаки. Для устройства вентиляционных каналов при серийном производстве стержней применяют специальные плиты с отверстиями, просверленными в определенной последовательности под разными углами, через которые производится накалывание каналов, либо плиты со специальными иглами, которые при ее наложении на стержень выполняют в нем вентиляционные каналы и соответствующей глубины в строго определенных местах.

Для увеличения прочности и жесткости в стержнях часто устанавливают металлическую арматуру – каркасы (ГОСТ 17819–84). Тип и размер каркаса выбирают в зависимости от сложности стержня, его габаритных размеров, конфигурации, расположения в форме, а также физико-механических свойств стержневой смеси и принятой технологии изготовления стержня. При установке арматуры необходимо соблюдать ряд условий: арматура не должна ухудшать податливость стержня, его вентиляцию, выбиваемость, а также не должна изменять размеры и конфигурацию при сушке и др.

С этой целью арматуру укладывают на определенном расстоянии от поверхности стержня (в мелких стержнях – 10–15 мм, в средних – 20–30 мм, в крупных – 60–80 мм). При установке арматуры следует руководствоваться следующими основными правилами:

- каркасы не должны выступать за пределы стержня;
- все выступающие тонкие части стержня (бобышки, консоли и др.) для предупреждения их разрушения должны армироваться;
- каркасы должны прокладываться по длине стержня и входить в его знаки.

Арматура может быть в виде проволоки различного диаметра, в виде прутьев, рамок, в том числе изготавливаемых литьем из чугуна. Проволочную арматуру используют в средних стержнях, имеющих небольшие сечения (стержни I и II классов), прутки и рамки – в крупных массивных стержнях (стержни III – IV классов). Установку каркаса обычно производят в определенной последовательности. В стержневой ящик засыпают часть смеси и уплотняют ее, затем на уплотненный слой укладывают каркас (один или несколько), досыпают смесь и производят окончательное уплотнение стержня. Для более прочного соединения с телом стержня каркасы могут смачиваться связующим, используемым

для приготовления стержневой смеси. Если каркас снабжен весками для разъема и транспортировки стержня (при массе стержней более 6 кг), то после уплотнения стержневой смеси производят вскрытие весок, а после установки стержня в форму эти места при необходимости заделывают свежей формовочной смесью.

При изготовлении стержней на пескодувных машинах каркасы обычно устанавливают в стержневой ящик до заполнения его смесью. На рис. 2.29 показаны варианты устройства вентиляционных каналов и установки каркасов. Более детально вопросы армирования и вентиляции стержней рассмотрены в гл. 7.

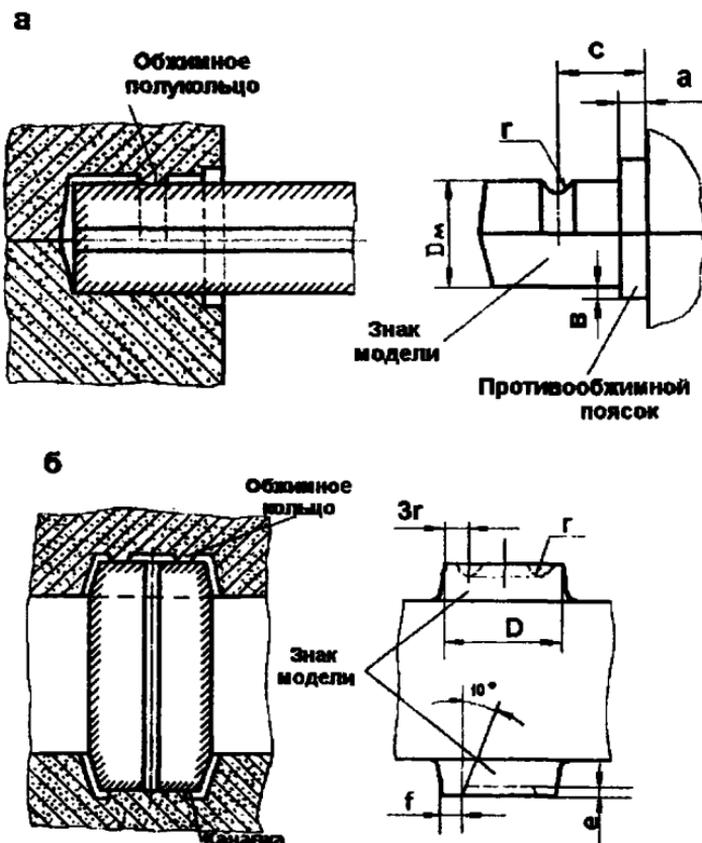


Рис. 2.29. Особенности конструкции стержневых знаков при использовании сырых песчаных форм: а – горизонтального; б – вертикального

2.3.4. Определение количества стержней. Организация их стыков и взаимной фиксации

После выбора положения отливки в форме и поверхности ее разъема определяются контуры стержней, необходимых для выполнения всех полостей отливки и элементов наружной ее поверхности, требующих для своего оформления применения стержней. При этом необходимо стремиться к уменьшению числа стержней путем замены их болванами (рис. 2.30) или объединения стержней (рис. 2.31). При замене стержней болванами необходимо учитывать возможность их извлечения

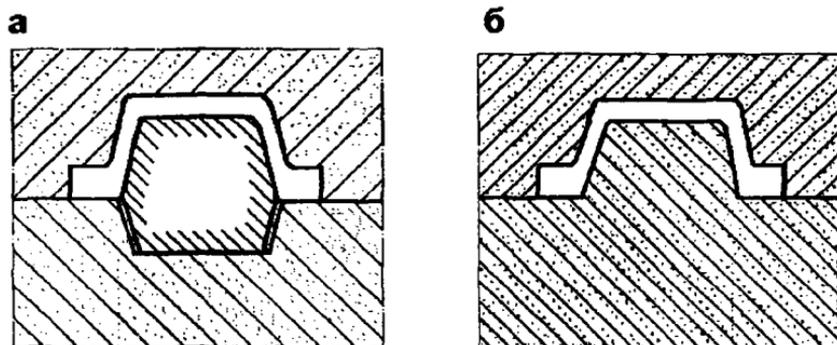


Рис. 2.30. Замена оформления полости формы стержнем на оформление болваном: а – применение стержня; б – применение болвана

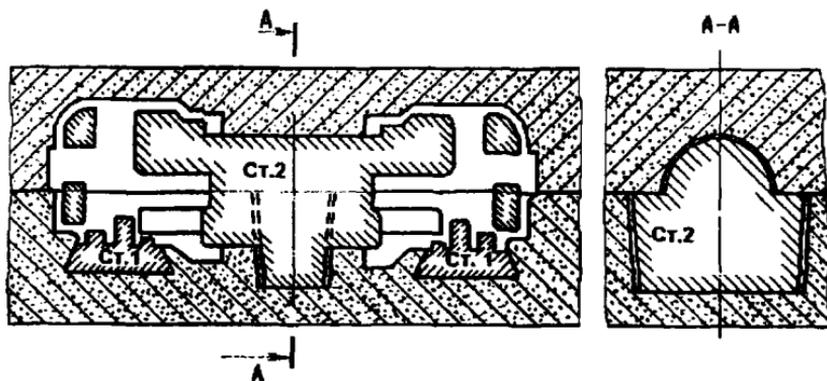


Рис. 2.31. Пример объединенного стержня для двух отливок

из модели при выемке ее из формы. При отношении диаметра или наименьшей ширины болвана d к его высоте $d/h_6 \leq 1$ внутренние поверхности отливки следует выполнять стержнем. Величины формовочных уклонов поверхностей модели, выполняющих болван, в зависимости от высоты болвана h_6 и материала модели определяются по табл. 2.10. Для болванов, находящихся в верхней полуформе, величина уклонов увеличивается до двух раз по сравнению с данными табл. 2.10.

Таблица 2.10

Уклоны поверхностей модели, выполняющих болваны

Измеряемая высота поверхности модели h_6 , мм	Модель	
	металлическая	деревянная
	Уклоны β при $d/h_6 > 1$	
До 20	3°	3°
Св. 20 до 50	2°	2°30'
51 - 100	1°	1°30'
101 - 200	0°45'	1°
201 - 300	0°45'	1°
301 - 500	0°30'	0°45'
501 - 800	0°30'	0°45'
Св. 800		0°30'

Решая вопрос об объединении двух стержней в один, следует учесть, в какой мере это усложнит конструкцию стержневого ящика и технологию изготовления стержня, как это повлияет на организацию отвода газов из стержня. Иногда оказывается рациональней разбить один стержень на несколько. На рис. 2.32 показан пример разбивки наружных стержней для отливки блока цилиндров в стержнях.

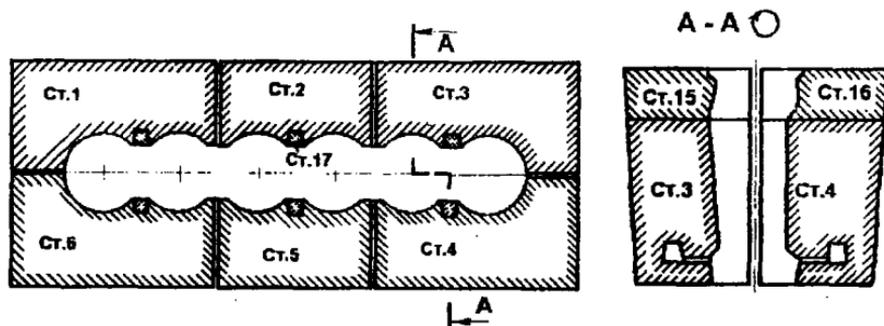


Рис. 2.32. Форма для отливки блока цилиндров, собранная из стержней [22]

При определении числа стержней нужно учитывать следующие положения:

- стержень должен надежно фиксироваться в форме;
- стержень должен быть достаточно прочен в сыром состоянии;
- желательно, чтобы стержень имел ровную поверхность для установки его на сушильную плиту при сушке;
- стержень должен иметь небольшую высоту для предотвращения его осадки во время транспортировки и сушки;
- поверхность стержня должна способствовать использованию несложных стержневых ящиков с минимальным количеством отъемных частей и вкладышей;
- при делении стержня на несколько частей необходимо, чтобы плоскость сечения проходила в местах, определенных чертежными размерами, а каждый из стержней должен оформлять участок поверхности отливки с вполне определенной геометрической формой без образования на отливке ломаной поверхности на стыках стержней.

При определении границы стержня необходимо обеспечить надежное фиксирование его в форме. Наиболее надежно зафиксировать стержень можно непосредственно в нижней полуформе на знаках независимо от фиксирования других стержней. Этот способ применим, когда каждый стержень образует полости отливки, разделенные стенками.

В тех случаях, когда несколько стержней образуют общую полость или знаки их соприкасаются, фиксирование стержней в перпендикулярном направлении к плоскости соприкосновения является взаимным. На рис. 2.33 приведен вид формы для отливки «Блок цилиндров». Стержни 1, 2, 3, ..., 12, а также стержни Е и Ж фиксируются в продольном направлении взаимно.

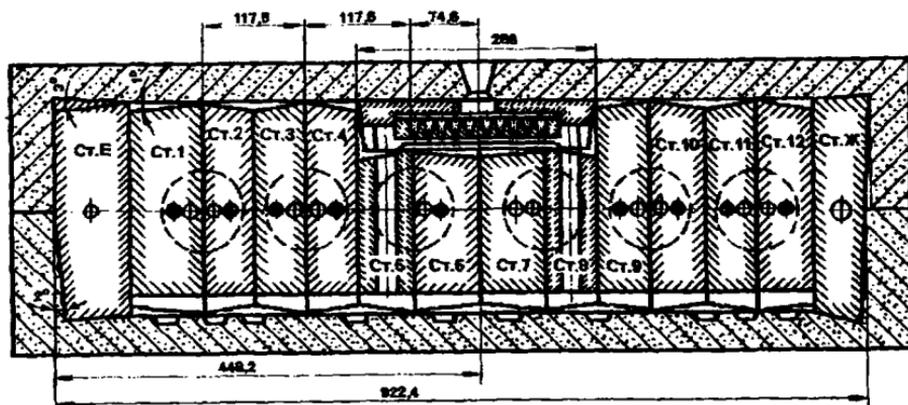


Рис. 2.33. Взаимное фиксирование стержней в форме для отливки «Блок цилиндров» [22]

Если стержни образуют полость, не позволяющую вывести знаки в нижнюю половину формы, то их фиксирование производят в стержнях, сопряженных с ними. Примеры такого фиксирования стержней приведены на рис. 2.34 и 2.35. В этих случаях наиболее рациональна предварительная сборка стержней в блоки на специальных кондукторах.

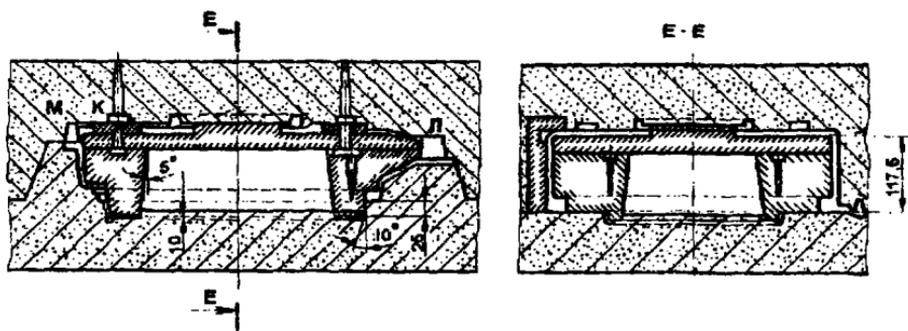


Рис. 2.34. Форма для отливки «Картер маховика»

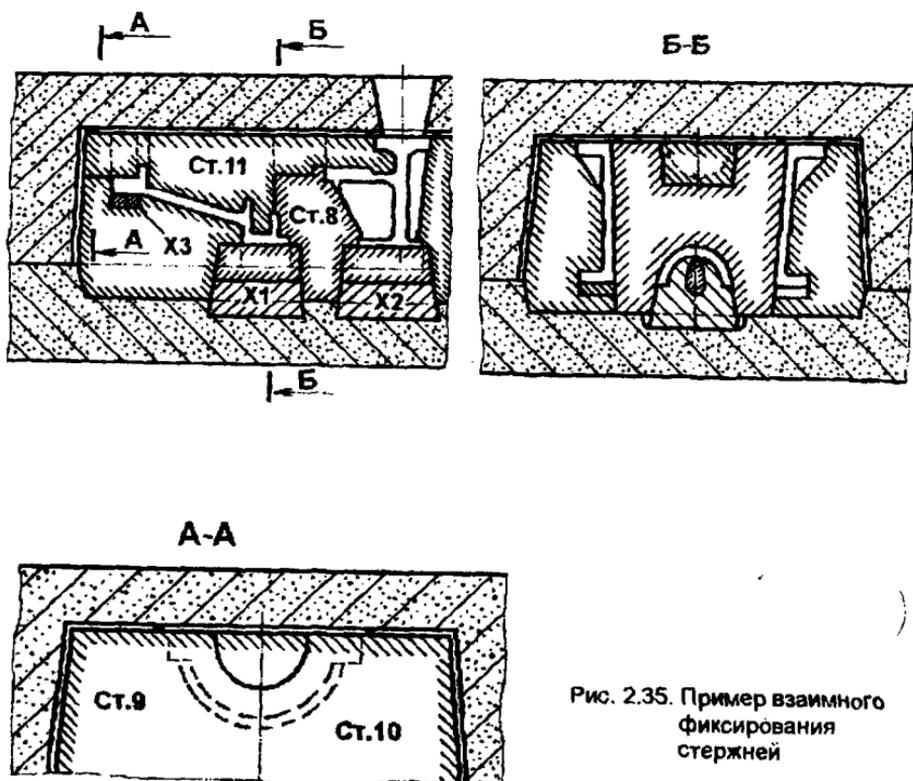


Рис. 2.35. Пример взаимного фиксирования стержней

2.4. Построение чертежа элементов литейной формы

Чертеж элементов литейной формы является основным технологическим документом. Графическое изображение отливки и элементов литейной формы выполняют на карте эскизов или на копии чертежа детали. При этом оформляется чертеж отливки по изложенным выше правилам. На чертеже отливки показывают разъем модели и формы в виде отрезка или ломаной штрихпунктирной линии. На конце линии помещают знак «**X**». Положение отливки в форме при заливке и направление разъема указывают стрелками с нанесением на их концах букв «В» (верх) и «Н» (низ). Над прямой, обозначающей плоскость разъема, наносят буквы «МФ» (разъем модели и формы) или «Ф» (разъем формы), если модель неразъемная (рис. 2.11).

Стержни в разрезе штрихуются только у контурных линий. В центре стержень обозначается буквами «Ст» и порядковым номером, соответствующим последовательности установки стержней в форму при сборке. На чертеже элементов литейной формы наносят сплошными ли-

ниями знаки с указанием их уклонов и размеров. Знаком  у значковой части стержня указывают направление набивки стержня.

Отъемную часть модели по линии соприкосновения с моделью показывают сплошной основной линией и обозначают буквами «ОЧМ» и порядковым номером.

Литниковую систему наносят сплошными основными линиями на всех проекциях в масштабе, сечения элементов системы штрихуются. На чертеже также указываются размеры, фиксирующие литниковую систему относительно отливки. Прибыли наносятся на всех проекциях в масштабе. На полке выноски ставится слово «Прибыль» и указываются номер и количество одинаковых прибылей.

Фильтровальные сетки показываются по контуру сплошной линией. Холодильники изображают в масштабе сплошной линией и обозначают на полке линии-выноски словом «Хол.», а также указываются порядковый номер и количество одинаковых холодильников.

Жеребейки изображаются в соответствии с ГОСТ 3.1125–88. Остатки питателей, прибылей и выпоров после их удаления огневой резкой или отламыванием изображаются волнистой линией, а при других способах удаления – прямой сплошной линией.

Оформление чертежа элементов литейной формы осуществляется в соответствии с ГОСТ 3.1125–88. Над основной надписью (штампом) в технических условиях (кроме надписей, рассмотренных в п. 2.2) указывается величина литейной усадки.

Иногда в учебных проектах, а также в проектах для индивидуального и мелкосерийного производства чертеж элементов литейной формы приводят в цветном изображении. При этом для обозначения плоскости разреза, контуров стержней и знаков применяют синий цвет. Припуски на механическую обработку, технологические напуски, литниковую систему, прибыли и выпоры обозначают красным цветом. Контур холодильников вычерчивают зеленым, а линии разреза отъемных частей модели коричневым цветом.

После построения чертежа элементов литейной формы выполняют чертеж формы в сборе. Однако перед этим определяют размеры литейной формы и выбирают тип и размеры опок.

2.5. Определение размеров литейных форм. Выбор опок

Для определения размеров опок руководствуются рекомендациями, изложенными в справочной и технической литературе. В зависимости от массы жидкого металла и толщины стенки отливки выбирают соответствующую толщину песчаной формы от нижней, верхней и боковых стенок отливки, а также расстояния от прибыли или литниковой системы, обеспечивающие соответствующую прочность формы.

В табл. 2.11 приведены справочные данные, на основе которых определяется рекомендуемая толщина слоев формовочной смеси на различных участках формы, позволяющая установить минимальный размер полуформы по длине, ширине и высоте. Эти размеры являются основополагающими для выбора опоки с соответствующими размерами в свету и по высоте.

Учитывая, что размеры и конструкции опок стандартизованы, подбираются опоки с размерами, равными или большими (чаще ближайшими к расчетным) по сравнению с ними. После выбора размера опок в свету подбирают ее стандартный размер по высоте. При этом высота нижней и верхней опоки может приниматься при необходимости и неодинаковой. Это определяется высотой отливки, выбором места разреза модели, наличием или отсутствием прибыли, наличием заливочной воронки или чаши и т.д. При выборе размеров опок следует учитывать, что использование чрезвычайно больших опок влечет за собой увеличение затрат труда на уплотнение формовочной смеси, повышенный ее расход, увеличение массы полуформ и т.д. Применение неодинаковых машин для изготовления нижних и верхних полуформ отдельно. Использование маленьких опок может вызвать брак отливок вследствие продавливания металлом низа или верха формы, ухода металла по раз-

ему. Стандартные размеры опоки в свету и их высота (ГОСТ 2133-75), применяемые при проектировании технологии изготовления отливок, приведены в табл. 2.12 и 2.13

При выборе типов и размеров опоки необходимо учитывать характеристики применяемого оборудования. Опоки должны иметь такие размеры, чтобы оборудование было полностью загружено. Нельзя изготавливать отливки в малых опоках на больших машинах. В тех случаях, когда нет возможности использовать другое оборудование, необходимо изготавливать в одной форме несколько отливок. Чтобы компоновать в форме несколько отливок, нужно подобрать отливки одинаковые или близкие по массе и продолжительности затвердевания. Расстояния между отливками в форме должны быть не менее значений, приведенных в табл. 2.11 [10].

Таблица 2.11

Определение толщины формовочной смеси на различных участках формы

Масса отливки, кг	Минимально допустимая толщина слоя, мм				
	от верха модели до верха опоки	от низа модели до низа опоки	от модели до стенки опоки	между моделями	между моделью и шлакоуловителем
До 5	40	50	20	30	30
5 - 10	50	60	30	40	30
11 - 25	60	70	40	50	30
26 - 50	70	90	50	60	40
51 - 100	90	100	60	70	50
101 - 250	100	120	70	100	60
251 - 500	120	150	80	-	70
501 - 1000	150	200	90	-	120
1001 - 2000	200	250	100	-	150
2001 - 3000	250	300	125	-	200
3001 - 4000	275	350	150	-	225
4001 - 5000	300	370	175	-	250
5001 - 10000	350	400	200	-	250
Более 10000	400	450	250	-	250

После определения размеров полуформ выбирают габариты и массу формы с целью выбора соответствующего транспортного оборудования. Это необходимо не только для выбора транспортных средств, но и для выбора грузоподъемности выливного оборудования.

Расчет массы формы можно выполнить по формуле

$$G_{\phi} = G_{on} + (L \cdot B \cdot H - \frac{G_{ж}}{\rho_{ж}}) \cdot \rho_{см},$$

Для определения массы загрузки формы перед заливкой рассчитывают силу, действующую со стороны залитого в форму сплава на верхнюю полуформу. Методики этих расчетов рассматриваются в курсах «Основы литейной гидравлики» или «Теоретические основы литейных процессов».

2.6. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок

Кроме рассмотренных вопросов, при разработке технологического процесса изготовления отливок технолог решает вопросы конструирования оснастки, финишной обработки отливок, выбора состава формовочных и стержневых смесей. В процессе разработки техпроцесса рассматриваются вопросы выбора оборудования или привязки технологии к действующему оборудованию. предусматриваются необходимые транспортные средства; обосновываются методы контроля, сдачи и приемки литья. Последовательность разработки технологического процесса приведена на рис. 2.36.

Пример построения чертежа элементов литейной формы

Для иллюстрации применения изложенных выше положений для конструирования литейной формы рассмотрим конструирование отливки «Корпус» (рис. 2.39).

Выбор положения отливки в форме при заливке. Рассмотрим два альтернативных варианта (рис. 2.37). Вариант б не удовлетворяет принципу направленного затвердевания, так как окружность, показанную на рисунке, нельзя выкатить вверх. Кроме того, при данном варианте отливка размещается в двух полуформах, при смещении которых на базовой поверхности (база 2) возникает уступ. По месту разъема на этой поверхности будет литейный шов, что недопустимо. Модель, судя по этому варианту, разъемная, что повышает трудоемкость ее изготовления и снижает точность отливки. Поэтому выбираем вариант а, который лишен отмеченных недостатков.

Рассмотрим три варианта выбора положения плоскости разъема (рис. 2.37, а, рис. 2.38). Вариант, показанный на рис. 2.38, а, имеет следующие недостатки: модель разъемная и отливка располагается в двух полуформах. База 1 (ось отливки) выполняется в двух полуформах, что нежелательно. Из-за смещения полуформ возможен брак по перекосу.



Рис. 2.36. Схема последовательности разработки технологического процесса изготовления отливки

В варианте, показанном на рис. 2.38, б, предполагается применение стержней для оформления наружной поверхности отливки, которая располагается в верхней полуформе. Поэтому выбираем плоскость разъема, изображенную на рис. 2.37, а.

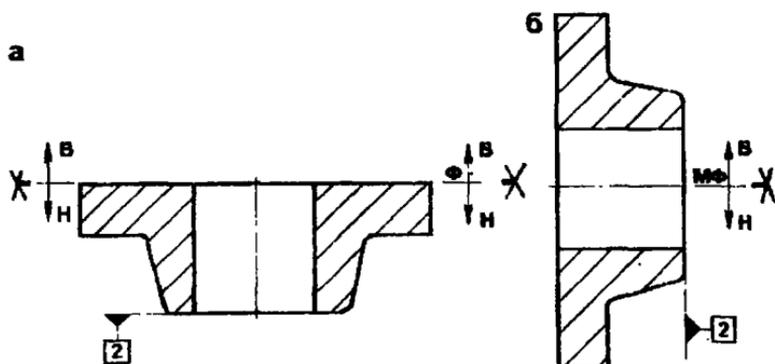


Рис. 2.37. Варианты положения отливки «Корпус» в форме при заливке

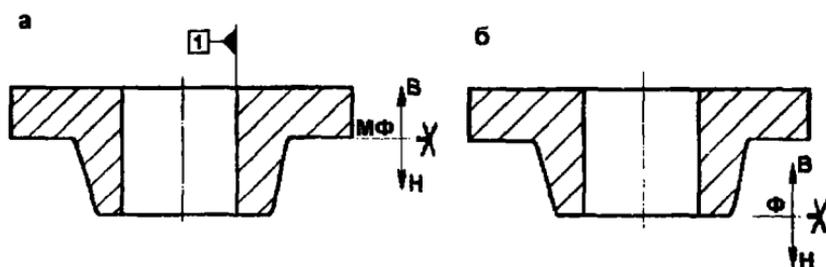
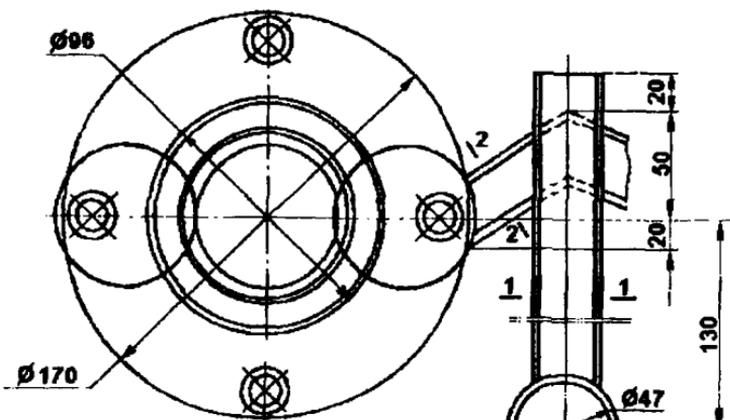
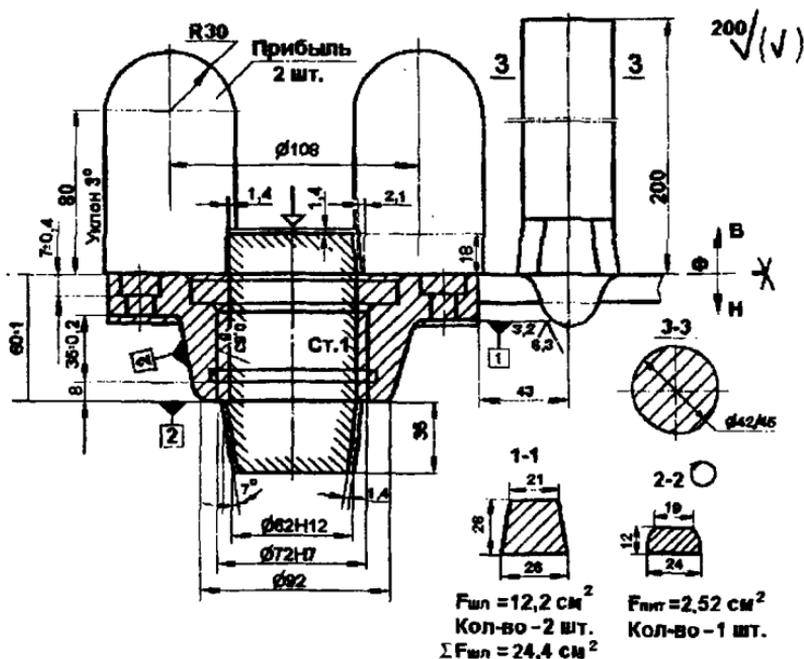


Рис. 2.38. Варианты положения плоскости разъема формы

Определение числа и контуров стержней. Так как отношение $d/h \sim 1$, то нужен стержень, выполняющий центральное отверстие. Знаки принимаем в соответствии со схемой на рис. 2.24, а. По табл. 2.6, 2.8 и 2.9 определяем высоту знаков, формовочные уклоны и зазоры: $h_n=35$ мм, $h_s=18$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\beta=15^\circ$, для нижнего знака $S_1=1,2$ мм, для верхнего знака $S_1=0,9$ мм, $S_2=1,5$ мм и $S_3=1,57 \cdot S_1=1,4$ мм.

Стержень круглый, поэтому фиксаторы знаков в направлении поворота стержня не требуются. Набивка стержня производится со стороны верхнего знака. Плоскость разъема стержневого ящика проходит через ось стержня. Вентиляция стержня осуществляется с помощью накола вентиляционной иглой диаметром 5 мм по оси стержня. Армирование стержня не требуется.



1. Материал отливки – сталь 35Л.
2. Неуказанные литейные радиусы $R=5$ мм.
3. Неуказанные предельные отклонения размеров $h12$.
4. Точность отливки 10–10–5–3 по ГОСТ 26645–85.
5. Формовочные уклоны по ГОСТ 3212–85.
6. Литейная усадка – 1,5 %.
7. Термическая обработка – нормализация.

Рис. 2.39. Чертеж элементов литейной формы

Выбор типа и размера опоки. Для изготовления отливки применяем встряхивающе-прессовую формовочную машину типа 22211 с поворотом полуформ. Если в форме разместить четыре отливки, то в соответствии с рекомендациями табл. 2.13 размеры опоки в свету должны быть не менее 384×434 мм при высоте не менее 100 мм. В характеристике машины 22211 сказано, что она рассчитана на опоки с размерами в свету 500×400 и высотой 200 мм. По табл. 2.11 и 2.12 определяем, что

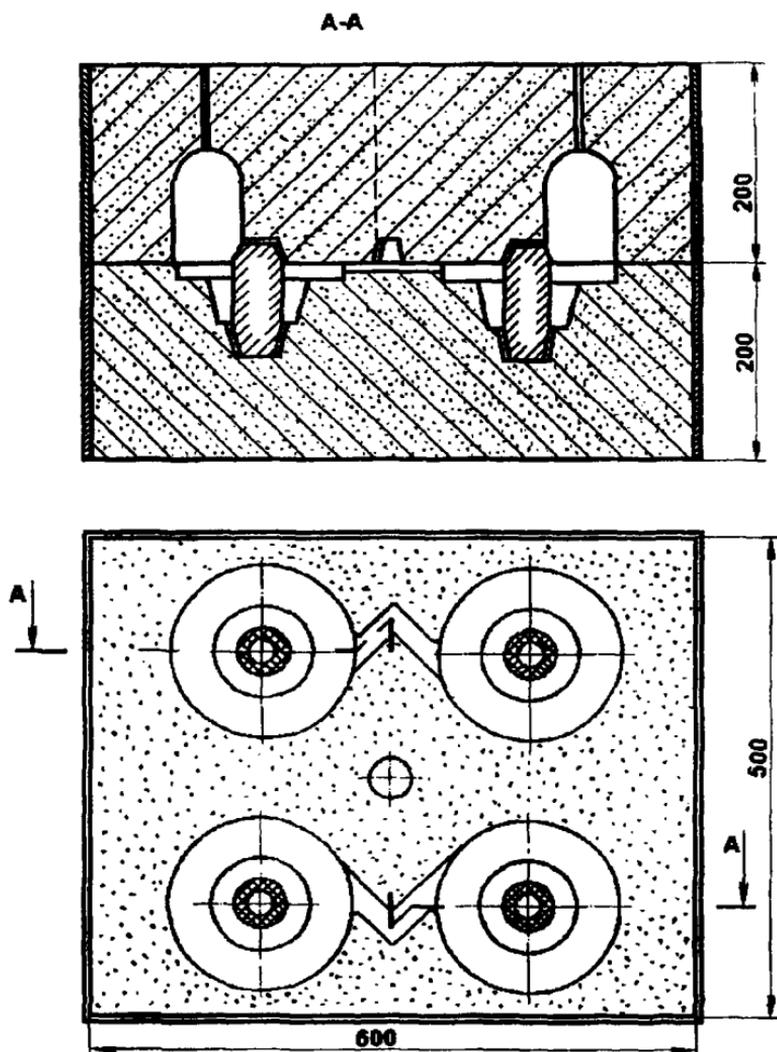


Рис. 2.40. Чертеж формы в сборе

стандарту удовлетворяет опока 500×400×200 мм. Для нижней и верхней полуформ выбираем одинаковые опоки указанных размеров. Расчеты литниковой системы и прибылей для данной отливки приведены в гл. 3 и 4. Литейную усадку стали принимаем 1,5 %. При выборе составов смесей учтены рекомендации, приведенные в гл. 5. Для изготовления стержней выбираем однопозиционную машину для изготовления стержней по нагреваемой оснастке типа 232A21A1.

На рис. 2.39 и 2.40 приведены чертежи элементов литейной формы и формы в сборе.

2.7. Технологическая документация

Последовательность разработки технологического процесса получения отливки приведена на рис. 2.36. Вопросы разработки технологии рассмотрены в гл. 1 и 2. Конструирование литниковых систем, прибылей и холодильников рассмотрено в гл. 3 и 4. Так как качество отливок и технико-экономические характеристики их производства существенно зависят от применяемых формовочных и стержневых материалов, в гл. 5 рассмотрены свойства формовочных материалов и смесей и даны рекомендации по выбору составов формовочных и стержневых смесей и технологии их приготовления. Методы изготовления форм и стержней, вопросы проектирования литейной оснастки изложены в гл. 7. Финишные операции обработки отливок рассмотрены в гл. 8.

В зависимости от условий производства (индивидуальное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное и массовое) по ГОСТ 3.1118–82 осуществляют маршрутное, маршрутно-операционное и операционное описание технологического процесса на маршрутных картах различной формы.

При маршрутном и маршрутно-операционном описании технологического процесса маршрутная карта является основным документом, содержащим изложение всего процесса с предусмотренной технологией последовательности операций. При операционном описании маршрутная карта играет роль сводного документа, в котором указывают информацию, адресованную цехам, участкам, рабочим местам и отдельным операциям, а также наименование операций, технологическое оборудование и нормы времени. Документация должна соответствовать ГОСТ 2103–68 и ГОСТ 3.1103–82.

В соответствии с ГОСТ 3.1401–85 разрабатывают карты технологической информации (КТИ). В ГОСТ 3.1401–85 предусмотрены формы документов и правила их заполнения. В КТИ указывают: наименование и номер чертежа отливки, ее массу, массу жидкого сплава, заливаемого в форму, марку сплава, температуру заливки, режимы охлаждения от-

ливки и термической обработки, способы изготовления формы и применяемые формовочные материалы, содержание всех технологических операций, оснастку, инструмент и оборудование, правила проверки и приемки отливки и т.д. Обязательно разрабатывается карта эскизов, включающая эскизы отливки, элементов литейной формы, стержней и собранной формы.

Комплектность технологических документов устанавливается в соответствии с ГОСТ 3.1401–85, заводскими или отраслевыми нормами и стандартами. В комплект документов входят: титульный лист (ГОСТ 3.1105–84), маршрутная карта (ГОСТ 3.1118–82), карта эскизов (ГОСТ 3.1105–84), КТИ, операционная карта (ГОСТ 3.1401–85), ведомость технологических документов (ГОСТ 3.1122–84), ведомость технологических процессов (ГОСТ 3.1121–84), ведомость стержней, технологические инструкции (ГОСТ 3.1105–84).

С приведенными выше стандартами и формами документов необходимо ознакомиться на практических занятиях.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите принципы, лежащие в основе выбора оптимального положения отливки в форме при заливке. Удовлетворяет ли этим принципам положение отливки в форме, показанное на рис. 2.20?
2. Назовите принципы, на основании которых выбирается положение плоскости разъема модели и формы. Назовите недостатки выбора плоскости разъема формы для отливки «Корпус червячного редуктора» (рис. 2.21) по линии разреза $B - B$.
3. Определите размеры литейной формы и выберите стандартный размер опок для отливки с габаритными размерами модели $L \times B \times H = 300 \times 200 \times 150$ мм (L , B и H – длина, ширина и высота модели).
4. Что такое база? Какие виды баз вы знаете?
5. Назовите принципы назначения литейных баз.
6. Назовите способы крепления и фиксации стержней в форме.
7. Определите последовательность разработки технологического процесса изготовления отливки.
8. Выполните построение чертежа отливки для детали «Фланец» (рис. 2.19).
9. Выполните построение чертежа отливки для детали «Рычаг» (рис. 2.20).
10. Выполните построение чертежа отливки для детали «Корпус червячного редуктора» (рис. 2.21).
11. На чертеже отливки в технических требованиях указана точность отливки в виде последовательности цифр 6 – 5 – 4 – 3. Что означает такая последовательность?

Глава 3. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Заполнение форм сплавом является первым этапом формирования отливки. Несмотря на свою относительную кратковременность (единицы – десятки секунд), заполнение формы в значительной мере определяет качество отливки. Подавляющее большинство технологического брака в литейном производстве связано с неправильной организацией заливки.

Управление заполнением форм осуществляется путем соответствующего конструирования и расчета литниковых систем. Литниковая система представляет собой совокупность каналов в форме, через которые сплав поступает из ковша в полость формы.

На рис. 3.1 показана конструкция типичной литниковой системы. Расплав из ковша заливают в литниковую чашу или воронку 1, из которой он через вертикальный канал – стояк 2 поступает в горизонтальный

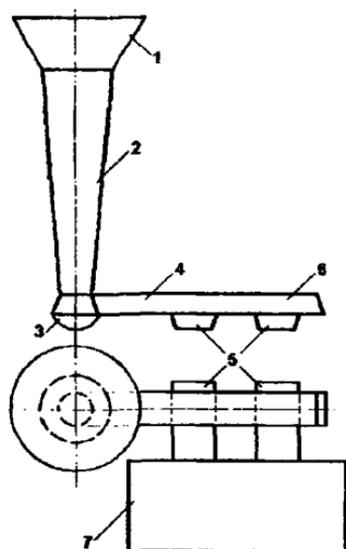


Рис. 3.1. Конструкция типичной литниковой системы

канал – шлакоуловитель 4, расположенный на уровне подвода сплава к полости формы. При литье стали этот канал чаще всего называют литниковым ходом, а в цветном литье – коллектором. Из шлакоуловителя (литникового хода, коллектора) жидкий сплав через систему питателей 5 поступает в полость формы 7. Для смягчения удара струи сплава ниж-

няя часть стояка выполняется в виде полусферы – зумпфа 3, а в конце шлакоуловителя предусматривают тупик 6.

Движение сплава по литниковым каналам и в полости формы сопровождается охлаждением и кристаллизацией сплава, прогревом формы и стержней, окислением и вспениванием сплава, силовым и ударным воздействием его на стенки формы, выделением и эвакуацией газа из формы и стержней и т.п. В конечном итоге эти явления могут приводить к тем или иным дефектам отливок.

Расчет и конструирование литниковых систем осуществляется на основе соответствующих положений теории литейных процессов и законов фундаментальных наук. Основные положения теории литниковых систем рассматриваются в курсах «Теоретические основы литейных процессов» и «Основы литейной гидравлики и теплофизики».

Для обеспечения качественного заполнения формы сплавом литниковая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать заполнение формы за некоторое оптимальное время;
- создавать возможность надежного улавливания шлака, неметаллических и газовых включений;
- способствовать плавному поступлению сплава в полость формы без разбрызгивания и размывания поверхностей формы и стержней;
- создавать тепловые условия, благоприятствующие направленному затвердеванию отливки и снижению развивающихся в ней литейных напряжений.

С точки зрения увеличения выхода годного, под которым понимают выраженное в процентах отношение массы отливки к приходящейся на одну отливку массе залитого в форму сплава, расход металла на литники должен быть минимальным.

3.1. Расчет оптимальной продолжительности заливки

Длительный практический опыт показывает, что для каждой отливки существует оптимальная продолжительность заполнения τ формы, удовлетворяющая неравенству: $\tau_{\min} \leq \tau_{\text{зал}} \leq \tau_{\max}$,

где τ_{\min} – минимальная допустимая продолжительность заливки, определяемая следующим:

- временем, необходимым для полного удаления из формы воздуха и газов, выделяемых формой, стержнями и металлом;
- возможностью размывания поверхности форм и стержней;

- силой удара металла о верхнюю плоскость формы в конце заливки;
- нежелательностью увеличения сечений литниковых каналов по экономическим соображениям;
- τ_{\max} – максимально допустимая продолжительность заполнения формы, определяемая следующим:
 - отводом тепла и снижением температуры сплава;
 - жидкотекучестью металла (опасностью образования спаев и недоливов, особенно в тонких сечениях);
 - необходимостью обеспечения скорости подъема уровня сплава в форме, обеспечивающей отсутствие спаев и исключающей возможность возникновения брака по отслоению стенок формы (образование ужимин).

При выборе оптимальной продолжительности нужно учитывать уровень и место подвода сплава. При подводе сплава снизу продолжительность заливки должна быть меньше, чем при подводе сверху, так как при этом нужно обеспечить достаточно высокую температуру сплава в прибыли. При подводе сплава в тонкие части отливки большая продолжительность заливки будет способствовать меньшим внутренним напряжениям в отливке.

Аналитическое определение τ_{\min} и τ_{\max} в настоящее время затруднено. Поэтому в практике расчетов широко используются эмпирические зависимости. Наиболее широко известна формула Г. М. Дубицкого [15]:

$$\tau_{\text{онт}} = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (3.1)$$

где S_1 – коэффициент продолжительности заливки, зависящий от температуры жидкого металла, рода сплава, места его подвода, материала формы;

δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

G – масса жидкого металла в форме, приходящегося на одну отливку, кг.

Значения коэффициента S_1 приведены в табл. 3.1–3.3 [15]. Для отливок, заливаемых горизонтально, значения S_1 принимаются меньше на 0,1–0,2, так как вследствие растекания металла по холодной стенке формы увеличиваются тепловые потери.

Для отливок, склонных к образованию внутренних напряжений, холодных трещин (при подводе в тонкие части отливок) и усадочных раковин (при подводе сверху), значения S_1 следует увеличивать на

0,1–0,2 (большая продолжительность заливки необходима для выравнивания темпа охлаждения толстых и тонких частей отливки).

Отливки, изготавливаемые в металлических формах или с большим количеством холодильников, нужно заливать быстрее и следует уменьшить в этом случае S_1 на 0,1–0,2.

Таблица 3.1

Значения коэффициента S_1 для стальных отливок

Температура сплава	Подвод металла		
	снизу или в толстостенные части отливки	на половине высоты или ступенчатый	сверху или в тонкие части отливки
Нормальная	1,3	1,4	1,5 – 1,6
Повышенная	1,4 – 1,5	1,5 – 1,6	1,6 – 1,8

Таблица 3.2

Значения коэффициента S_1 для отливок из алюминиевых сплавов

Изготовление отливок	Подвод металла при массе жидкого сплава на одну отливку, кг						
	обычной литниковой системой				вертикально-целиевой системой		
	До 2	2–5	5–10	10	До 15	15–30	30–70
В подогреваемых кокилях	2,2	2,4	2,5	2,62	3,35	3,6	4,0
В песчаных формах	1,7	2,1	2,3	2,40	2,70	2,8	3,0

Таблица 3.3

Значения коэффициента S_1 для отливок из сплава МЛ5

Изготовление отливок	Подвод металла при массе жидкого сплава на одну отливку, кг							
	обычной литниковой системой					вертикально-целиевой системой		
	0,1–2	2–5	5–10	10–20	Св. 20	До 30	30–45	45–65
В подогреваемых кокилях	2,3	2,6	2,8	2,9	2,9	3,7	4,0	4,4
В песчаных формах	2,3	2,5	2,7	2,7	2,8	3,0	3,0	3,3

Для чугунного литья значения S_1 чаще всего принимают равным 2. Если же чугун имеет содержание углерода меньше 3,3 % при наличии в форме холодильников и при пониженной температуре заливки, следует принимать S_1 в пределах 1,7–1,9. Для отливок из ковкого чугуна Г. М. Дубицкий рекомендует принимать $S_1=2,05$. Для отливок из бронзы БрО35Ц6С5 при заливке в песчаные формы для литниковой системы, замкнутой в питателях, следует принимать $S_1=2\div 2,1$. Для отливок из латуни ЛЦ40С1Л при заливке в песчаные формы следует принимать $S_1=1,9$, а при заливке в металлические формы $S_1=1,3$.

Под преобладающей толщиной стенки δ понимается толщина стенки, имеющая наибольшую протяженность в отливке или наиболее удаленная от питателей и находящаяся в неблагоприятных с точки зрения заливки условиях. При этом δ не всегда совпадает с геометрической толщиной стенки отливки.

$$\delta = 2\omega / \chi, \quad (3.2)$$

где ω – площадь поперечного сечения стенки отливки, мм²;

χ – периметр поперечного сечения стенки отливки, мм.

Для плоской стенки

$$\delta = 2 \frac{l \cdot \delta_{отл}}{2(l + \delta_{отл})} = \frac{\delta_{отл}}{1 + \frac{\delta_{отл}}{l}}$$

Если $l \gg \delta_{отл}$, то $\delta = \delta_{отл}$. На практике $\delta = \delta_{отл}$, если $l > 4\delta_{отл}$. Когда это условие не выполняется, преобладающую толщину стенки следует считать по формуле (3.2).

Массу жидкого металла, приходящегося на одну отливку, можно определить по формуле

$$G = \frac{G_{ж}}{N},$$

где N – число отливок в форме, шт.;

$G_{ж}$ – масса заливаемого в форму сплава, кг.

$$G_{ж} = N \cdot G_{отл} + G_{приб} + G_{л.с}, \quad (3.3)$$

где $G_{отл}$ – черновая масса отливки, кг;

$G_{приб}$ и $G_{л.с}$ – масса прибылей и литниковой системы, кг.

Здесь неизвестна только масса литниковой системы. Ее принимают равной 4 – 10 % от $G_{ж}$. При этом большая величина принимается для небольших отливок.

Опыт показывает, что отливка получается качественной в некотором интервале времени заливки: при отклонении $\tau_{зал}$ от рассчитанного по формуле (3.1) в большую или меньшую сторону на 20 %. По данным Г. М. Дубицкого, время заливки должно удовлетворять неравенству

$$\tau_{отл} / 1,2 \leq \tau_{зал} \leq 1,2 \tau_{отл},$$

где $\tau_{отл}$ вычисляется по формуле (3.1).

3.2. Классификация литниковых систем

Из теории литниковых систем известно, что расход сплава, протекающего через литниковую систему, определяется площадью узкого места системы $\omega_{уз}$ и величиной действующего напора H_p .

Узким местом литниковой системы называется ее элемент, имеющий наименьшую площадь сечения и определяющий расход сплава в системе.

При литье из поворотных ковшей площадь узкого места литниковой системы, обеспечивающей заливку формы за оптимальное время, рассчитывают по следующей формуле:

$$\omega_{уз} = \frac{G_{ж}}{\rho_{ж} \cdot \mu \cdot \tau_{отл} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}}, \quad (3.4)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, кг/см³;

μ – коэффициент расхода литниковой системы;

H_p – действующий напор, см;

g – ускорение свободного падения, 981 см/с²;

$G_{ж}$ – масса жидкого сплава, залитого в форму через литниковую систему, кг.

Литниковая система называется *замкнутой* в том или ином своем элементе, если в нем одновременно выполняются следующие два условия: поперечное сечение данного элемента системы полностью заполнено жидким сплавом и в потоке сплава через данный элемент системы отсутствует разрежение. Система, все элементы которой удовлетворяют условиям замкнутости, называется *замкнутой*. Если хотя бы в одном элементе система не замкнута, то вся литниковая система называется *незамкнутой*.

Замкнутость системы имеет важное значение для обеспечения улавливания шлака и неметаллических включений. Если сечения каналов не заполнены сплавом, то шлак и неметаллические включения всплывают на свободную поверхность потока сплава и выносятся в полость формы. В случае создания в потоке сплава разрежения происходит подсос газом, которые могут стать причиной возникновения газовых раковин в отливках.

Для обеспечения замкнутости литниковой системы ее делают сужающейся, т.е. по ходу потока сплава площади сечений элементов системы уменьшаются. При этом скорость сплава увеличивается, достигая наибольшего значения на выходе в полость формы. Поэтому замкнутые системы неприемлемы для сплавов, склонных к вспениванию и окислению (для алюминиевых и магниевых, высоколегированных сталей, алюминиевых бронз и латуней). Для этих сплавов применяют незамкнутые, расширяющиеся литниковые системы.

Для обеспечения шлакоулавливания в данном случае применяют специальные приемы, например устанавливают фильтровальные сетки. Несмотря на очень большое число конструктивных типов литниковых систем, которые будут рассмотрены в п. 3.10, можно выделить несколько типов, отличающихся включенными в них элементами, а также гидравлическими особенностями их функционирования. Профессор Г. М. Дубицкий выделил IV класса литниковых систем [15].

Системы I класса

В состав системы данного класса входят литниковая чаша или воронка и стояк. Конструкция системы с цилиндрическим стояком приведена на рис. 3.2 и 3.3. На рис. 3.2 показана система с газопроницаемыми стенками, а на рис. 3.3 – с газонепроницаемыми. В обоих случаях литниковая система не замкнута в стояке.

Как видно из рис. 3.2, в литниковых системах при газопроницаемых стенках струя сплава в стояке отходит от его стенок и, следовательно, не заполняет поперечное сечение стояка. В литниковых системах при газонепроницаемых стенках, как известно, струя полностью заполняет сечение стояка, но в ней развивается разрежение. Поскольку в данном учебнике рассматривается литье в разовые, т.е. газопро-

ищасмые, формы, то литниковые системы с газонепроницаемыми стенками в дальнейшем не описываются.

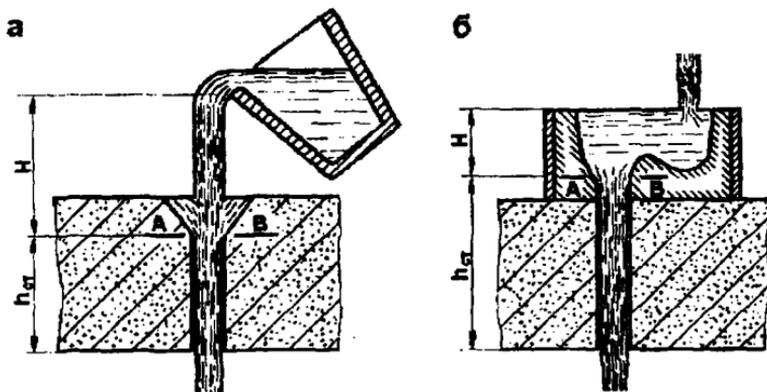


Рис. 3.2. Литниковые системы I класса при газопроницаемых стенках каналов: а – заливка в литниковую воронку, б – заливка в чашу

Узкое место системы данного класса находится в верхнем сечении стояка АВ (см. рис. 3.2). Расчетный напор $H_p = H_c$, где H_c – высота уровня металла в чаше. При этом динамический напор струи, падающей из ковша, полностью гасится в чаше.

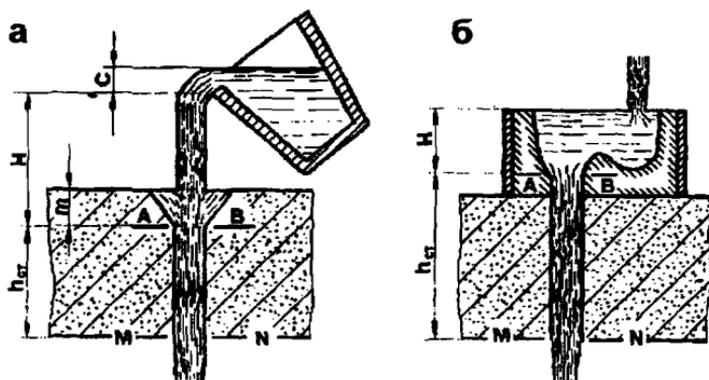


Рис. 3.3. Литниковые системы I класса при газонепроницаемых стенках каналов: а – заливка в литниковую воронку, б – заливка в чашу

При применении литниковой воронки, по данным Г. М. Дубицкого, часть напора сохраняется. Поэтому в данном случае расчетный напор равен $H_p = (1,3 \div 1,4)H_0$, где H_0 – высота уровня металла в воронке.

Для обеспечения замкнутости системы стояк выполняется коническим, сужающимся книзу. При этом струя полностью по всей высоте стояка заполняет его поперечное сечение. Узкое место системы в данном случае располагается в нижнем сечении стояка MN (см. рис. 3.3), а расчетный напор определяется по формулам

$$H_p = H_0 + h_{ст} \text{ при применении чаши;}$$

$$H_p = (1,3 \div 1,4)H_0 + h_{ст} \text{ при применении воронки.}$$

Системы I класса относительно редко применяются на практике. В качестве примера их применения можно привести дождевую литниковую систему, которая подробно рассмотрена в п. 3.10.

Системы II класса

Конструкции систем II класса показаны на рис. 3.4 и 3.5. Литниковая система этого класса состоит из воронки или чаши, стояка и питателя. Расход металла в сечении АВ равен

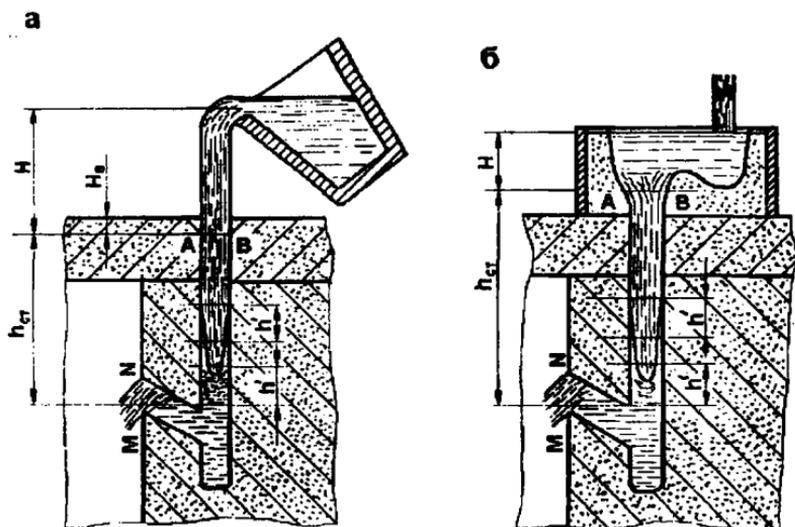


Рис. 3.4. Литниковые системы II класса вида IIA

$$Q_a = \mu_1 \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H},$$

где μ_1 – коэффициент расхода в сечении AB ;

ω_{AB} – площадь сечения AB .

Жидкий металл, накапливаясь в нижней части стояка, начинает вытекать в полость формы через питатель. Если площадь сечения питателя меньше площади нижнего сечения стояка ($\omega_{MN} < \omega_{ст.н}$), то расход металла при истечении в полость формы Q_e равен

$$Q_e = \mu_2 \cdot \omega_{MN} \cdot \sqrt{2g \cdot h'},$$

где μ_2 – коэффициент расхода в сечении MN ;

h' – уровень сплава в стояке относительно оси выходного сечения питателя.

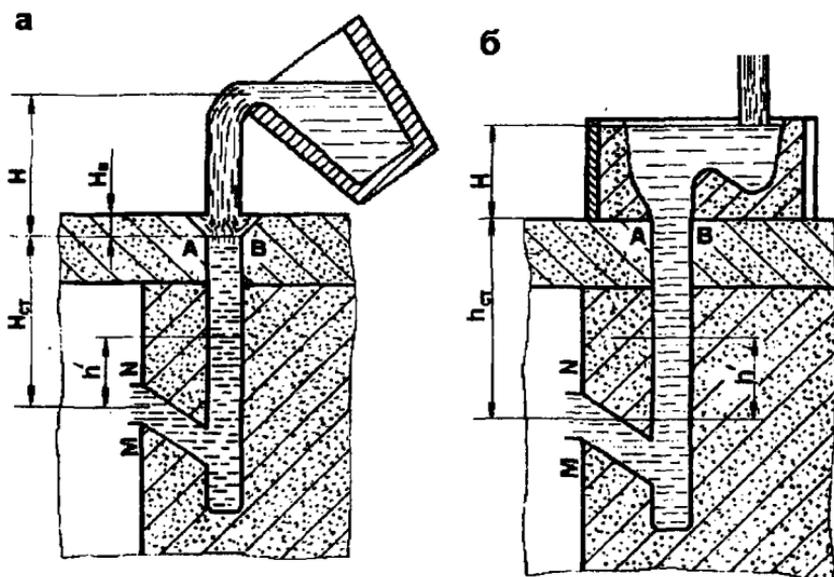


Рис. 3.5. Литниковые системы II класса вида II B

При $\omega_{ст.н} < \omega_{MN}$

$$Q_e = \mu_2 \cdot \omega_{ст.н} \cdot \sqrt{2g \cdot h'},$$

где μ_2 – коэффициент расхода в нижнем сечении стояка.

Если $\omega_{MN} \gg \omega_{ст.н}$ (площадь сечения питателя значительно больше площади сечения стояка), то сечение питателя не будет заполнено сплавом до тех пор, пока уровень металла в полости формы не поднимется выше сечения питателя.

В начале заливки напор h' мал, поэтому $Q_e < Q_a$. Это приводит к накоплению сплава в стояке, т.е. к увеличению h' и росту расхода Q_e .

Можно выделить два вида систем II класса: IIА и IIВ.

В системах вида IIА при некотором значении $h' = h_y'$ расход из питателя Q_e становится равным приходу сплава в систему через сечение АВ, т.е. $Q_e = Q_a$:

$$\mu_2 \cdot \omega_{MN} \cdot \sqrt{2g \cdot h_y'} = \mu_1 \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H} \quad \text{или}$$

$$\mu_2 \cdot \omega_{ст.н} \cdot \sqrt{2g \cdot h_y'} = \mu_1 \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H}.$$

Эти условия выполняются при значениях величин h_y' , удовлетворяющих равенствам:

$$h_y' = \frac{\mu_1^2 \cdot \omega_{AB}^2}{\mu_2^2 \cdot \omega_{MN}^2} \cdot H \quad \text{или} \quad h_y' = \frac{\mu_1^2 \cdot \omega_{AB}^2}{\mu_2^2 \cdot \omega_{ст.н}^2} \cdot H.$$

Очевидно, что чем больше отношения $\omega_{AB} / \omega_{MN}$ или $\omega_{AB} / \omega_{ст.н}$, тем меньше будет h_y' .

Если величина h_y' меньше высоты стояка $h_{ст.н}$, то литниковая система относится к классу систем, не замкнутых в стояке. Заполнение части полости формы, находящейся ниже уровня питателя, будет происходить при постоянном напоре в стояке h_y' . Когда уровень металла в полости формы достигнет сечения питателя, уровень сплава в стояке h' начнет подниматься. При этом разность уровней сплава в стояке и в полости формы будет равна h_y' .

Когда уровень сплава в стояке достигнет плоскости АВ, напор, под действием которого происходит истечение из узкого сечения системы, внезапно возрастет до величины $H_p = H + h_{ст.н}$. При достаточно большой высоте стояка ($h_{ст.н} \gg h'$) можно считать, что заполнение полости формы происходит при постоянном напоре h_y' и постоянном расходе $Q_e = Q_{AB}$.

В качестве расчетного сечения $\omega_{уз}$ в данном случае следует принимать сечение стояка вверху (AB), а действующий в нем напор можно определить по формулам

$$H_p = H_c \text{ (рис. 3.4, б) или } H_p = (1,3 \div 1,4)H \text{ (рис. 3.4, а).}$$

Сечение питателя ω_{MN} в данном случае оказывает влияние на скорость, с которой расплав поступает в полость формы.

Следует отметить, что в системах вида IIА происходит эжекция газов в стояке. Это создаст разрежение в расплаве, что является нежелательным. Кроме того, при применении воронки (рис. 3.4, а) расход зависит от напора, который при заливке трудно контролировать. Поэтому время заливки практически невозможно стабилизировать.

На основании сказанного можно заключить, что системы вида IIА нецелесообразно применять на практике.

В системах вида IIВ при любых возможных значениях h' расход Q_e всегда меньше расхода Q_a ($Q_e < Q_a$). Поэтому уровень сплава в стояке очень быстро поднимается до сечения AB и весь стояк оказывается заполненным сплавом (рис. 3.5). Такую систему называют замкнутой в стояке.

Если площадь сечения питателя ω_{MN} меньше площади сечения стояка внизу $\omega_{ст.н}$, то система будет замкнута во всех элементах. При $\omega_{ст.н} < \omega_{MN}$ система будет замкнута в стояке, но не замкнута в питателе. В последнем случае уменьшается скорость поступления сплава в полость формы из питателя. Поэтому данную систему можно рекомендовать для отливок из сплавов, склонных к вспениванию и окислению.

Общим недостатком систем II класса является отсутствие в них шлакоулавливающего элемента. Поэтому при их применении часто предусматривают установку фильтровальных сеток. Системы II класса часто применяются при вертикальной плоскости разъема формы, например, при литье в безопочные формы, изготовленные на формовочных линиях типа Дизаматик.

Схема заполнения полости формы через систему вида IIВ приведена на рис. 3.6. Напор при этом во время заливки является переменным. Он изменяется от H_0 в начале заливки до величины m в момент ее окончания. Расчетный напор при расчете площади узкого места по (3.4) следует определять по формуле Дитерта:

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C}, \quad (3.5)$$

где P – расстояние от уровня подвода сплава к полости формы до ее верхней плоскости;

C – высота полости формы;

$$H_o = H_{cm} + (1,3 \div 1,4)H_e \quad \text{или} \quad H_o = H_{cm} + H_c,$$

где H_{cm} – высота стояка;

H_e – высота уровня металла в воронке;

H_c – высота уровня металла в чаше.

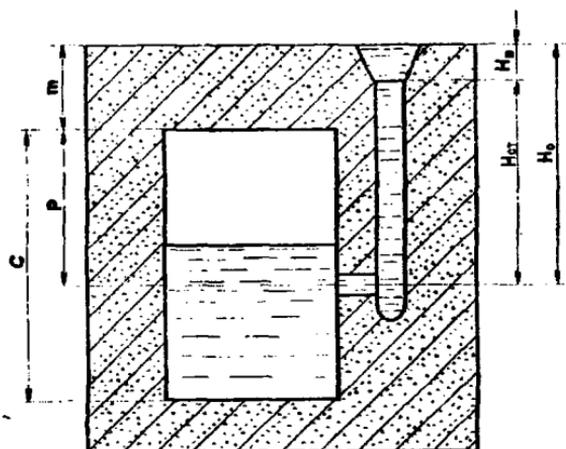


Рис. 3.6. Схема заполнения полости формы

Узким местом системы является сечение питателей MN , если $\omega_{MN} < \omega_{ст.н}$, или нижнее сечение стояка при $\omega_{ст.н} < \omega_{MN}$.

Системы III класса

Литниковые системы III класса содержат все основные элементы: литниковую чашу или воронку, стояк, шлакоуловитель и питатели (рис. 3.1). Среди этих систем можно выделить два подкласса: системы, замкнутые в питателях, и системы, незамкнутые в питателях. В замкнутых в питателях системах во время заливки шлакоуловители и питатели заполнены металлом. Для обеспечения этого необходимо соблюдение условий: $\omega_{ст.н} > \omega_{пит}$ и $\omega_{шл} > \omega_{пит}$.

Возможны два вида замкнутых в питателях систем: системы вида IIIA и системы вида IIIB.

К системам вида IIIA (рис. 3.7) относятся системы, у которых при некотором значении высоты уровня сплава в стояке расход из питателей

становится равным расходу из чаши или воронки. При этом литниковая система замкнута в питателях, но не замкнута в стояке.

Узкое место системы IIIA и расчетный напор определяются так же, как и у систем ПА.

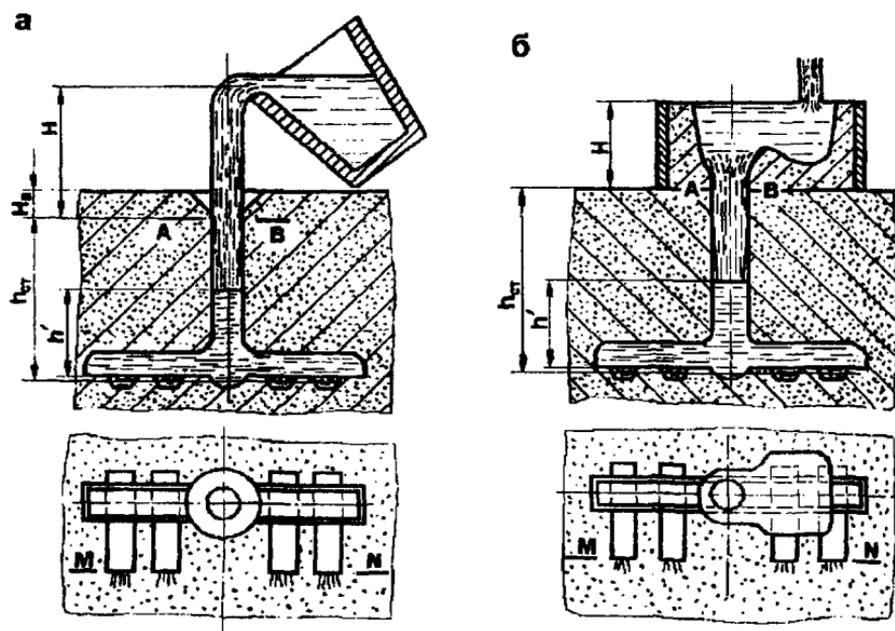


Рис. 3.7. Литниковые системы вида IIIA при применении:
а – литниковой воронки; б – чаши

Если при любом возможном значении напора в стояке h' расход из питателей Q_e меньше расхода из чаши или воронки, то имеет место литниковая система вида IIIВ. В данной системе стояк быстро заполняется сплавом, поэтому она является замкнутой во всех элементах (рис. 3.8). На рис. 3.8 линия PQ указывает положение верхнего уровня полости формы.

Узким местом системы IIIВ является сечение питателей MN , а расчетный напор H_p определяется по формуле Дитерта (3.5). Данный тип литниковой системы наиболее распространен при заливке форм железоуглеродистыми и многими медными сплавами. Эта система хорошо задерживает шлак.

Однако скорость сплава по ходу потока через систему вида IIIВ увеличивается, достигая в питателях наибольшего значения. Поэтому

для сплавов, склонных к окислению и вспениванию, эти системы неприменимы. Для уменьшения выходной скорости потока узкое место системы переносится в шлакоуловитель или в нижнее сечение стояка.

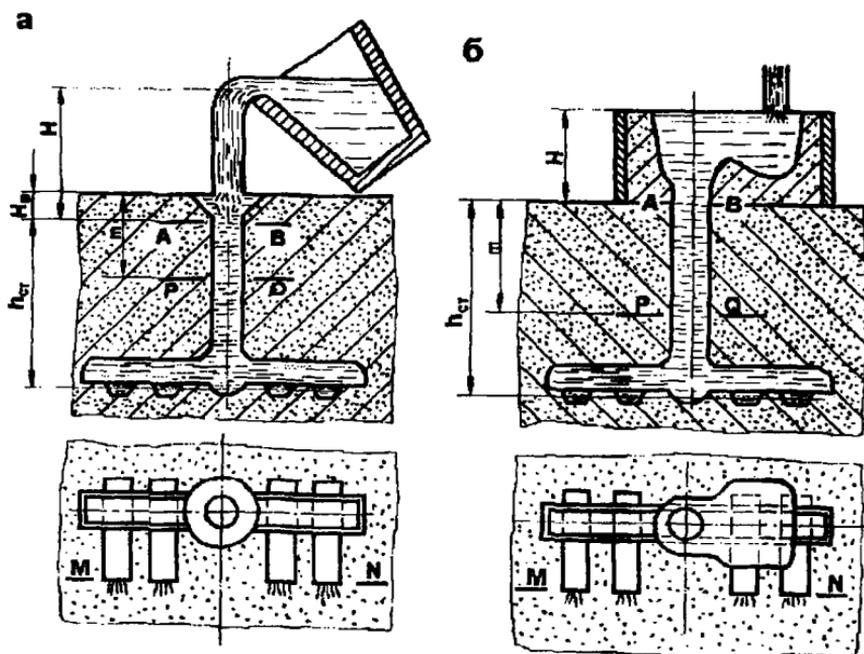


Рис. 3.8. Литниковые системы вида IIIВ при применении:
а – литниковой воронки; б – чаши

Если $\omega_{шл} \ll \omega_{пит}$ или $\omega_{ст.н} \ll \omega_{пит}$, то система будет незамкнутой в питателях. В этих системах и шлакоуловители, и питатели не заполняются сплавом во время заливки до тех пор, пока уровень сплава в полости формы не поднимется выше уровня питателей и шлакоуловителей.

Различают два вида таких систем. Системы вида IIIС не замкнуты в питателях и не замкнуты в стояке. По характеру заполнения стояка эти системы аналогичны системам видов IIIА и IIIА. Для систем IIIС расчетным сечением $\omega_{уз}$ следует считать верхнее сечение стояка, а расчетный напор H_p необходимо определять как и для систем вида IIIА и IIIА.

Если стояк быстро заполняется сплавом, то мы получаем системы вида IIIД (при $\omega_{шл} < \omega_{пит}$ или $\omega_{ст.н} < \omega_{пит}$), которые замкнуты в стоя-

ке, но не замкнуты в питателях. Узким местом в этих системах будет или сечение шлакоуловителя, или нижнее сечение стояка. Расчетный напор определяется по формуле Дитерта (3.5).

Системы вида III чаще всего применяются при литье легко-окисляющихся и вспенивающихся сплавов.

Системы IV класса

При заполнении высоких отливок возникает необходимость в подводе расплава на нескольких уровнях. При этом горячий металл последовательно поступает через питатели на поверхность поднимающегося в полости формы расплава, что обеспечивает качественное заполнение формы и направленное затвердевание отливки. Однако практическая реализация данного режима заполнения формы предъявляет специфические требования к конструированию и расчету литниковой системы.

Литниковые системы данного типа, называемые ступенчатыми, отнесены профессором Г. М. Дубицким к IV классу. На рис. 3.9 приведены схемы работы литниковых систем видов IVA и IVB.

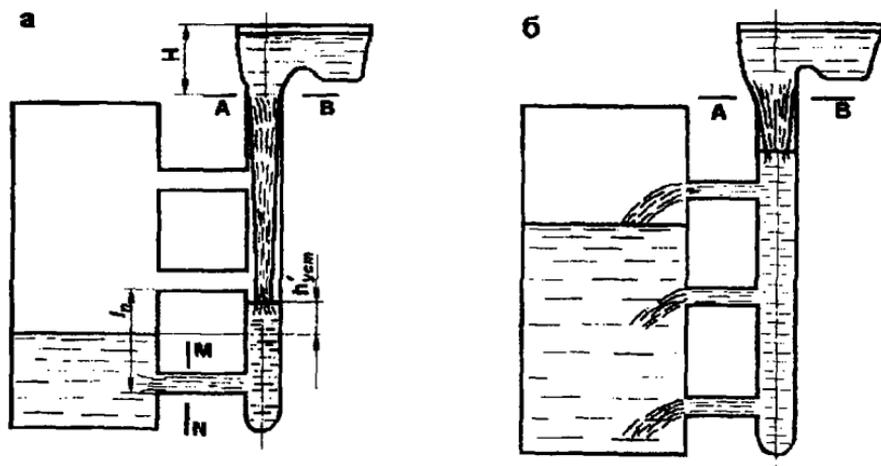


Рис. 3.9. Литниковые системы: а – типа IVA; б – IVB

К системам вида IVA относят системы, незамкнутые в стояке. Они рассчитаны так, что вначале действуют только питатели на нижнем уровне. Площадь сечения нижнего питателя определяется таким образом, чтобы установившаяся высота уровня сплава в стояке $h'_{уст}$ не превышала расстояния между двумя соседними питателями. По мере подь-

сма уровня сплава в форме выше нижнего питателя уровень сплава в стояке поднимается. При этом разность уровней сплава в стояке и полости формы будет равна $h'_{уст}$. После подхода сплава в стояке к последующему питателю, через него начинается истечение расплава в форму. При этом начальная высота падения струи на поверхность расплава в форме равна $h'_{уст}$.

Известно, что для разных сплавов существует максимально допустимая с точки зрения качества заполнения формы высота падения струи h_{max} . Чем больше склонен сплав к окислению, тем меньше величина h_{max} .

При расчете литниковых систем необходимо обеспечить выполнение условия $h'_{уст} = h_{max}$. В качестве расчетного сечения системы вида IVA выбирают верхнее сечение стояка. Расчетный напор H_p принимают равным высоте расплава H_u в чаше над верхним сечением стояка. Площадь сечения AB определяют по формуле (3.4).

По известным значениям ω_{AB} и $h'_{уст}$ площадь сечения питателей на нижнем уровне определяют по формуле

$$\omega_{MN} = \omega_{AB} \cdot \frac{\mu_1 \cdot \sqrt{H_u}}{\mu_2 \cdot \sqrt{h'_{уст}}}, \quad (3.6)$$

где μ_1 и μ_2 — коэффициенты расхода системы в сечениях AB и MN .

Методика расчета ступенчатых систем будет рассмотрена в последующих разделах.

В системах вида IVB уровень металла в стояке очень быстро достигает сечения AB , т. е. величина $h'_{уст}$ больше высоты стояка. Очевидно, что при этом все питатели по высоте стояка начинают работать одновременно. Данная система будет замкнута в стояке. Одновременное истечение расплава из питателей со всех уровней приводит к окислению и разбрызгиванию металла, размыванию стенок формы, т. е. не обеспечивает качественного заполнения формы. Поэтому системы вида IVB на практике не применяются.

Характер гидравлических процессов в литниковых системах разных видов, а также методика расчета литниковых систем зависят от типа применяемых разливочных ковшей. Ниже будет рассмотрена классификация применяемых на практике разливочных ковшей с точки зрения их роли в обеспечении качественного заполнения форм.

3.3. Типы разливочных ковшей и технология заливки форм

Для заливки литейных форм применяют различные конструкции разливочных ковшей, которые с гидродинамической точки зрения можно разделить на два типа, отличающихся способом регулирования расхода жидкого сплава, подаваемого из ковша в литниковую систему: поворотные и стопорные.

При литье из поворотных ковшей (рис. 3.10) обеспечивается плавное регулирование расхода сплава за счет изменения угла наклона ковша. При этом качественное заполнение формы без разбрызгивания струи и размывания ее поверхности литниковых каналов обеспечивается лишь в некотором диапазоне массовой скорости заливки, который определяется емкостью ковша и его конструкцией.

Для заливки каждой формы нужно выбирать такой ковш, который может подавать требуемое количество металла в единицу времени, т. е. необходимая массовая скорость заливки не должна выходить за допустимые пределы, характерные для данного ковша. Допустимые пределы изменения массовой скорости заливки форм из поворотных ковшей приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Массовые скорости разливки чугуна из поворотных ковшей

Тип ковша	Скорость разливки при скорости поворота ковша, кг/с		
	малой	средней	большой
Ручные ковши: для одного заливщика	2,0 – 2,5	2,5 – 3,5	3,5 – 5,0
для двух заливщиков	3,0 – 4,0	4,0 – 5,5	5,5 – 7,0
Крановые ковши средней емкости (до 5 т)	5,0 – 6,5	6,5 – 8,5	8,5 – 10,5
Крановые ковши большой емкости (до 15 т)	15 – 30	30 – 50	50 – 100

Возможность плавного изменения расхода сплава из поворотного ковша в процессе заливки формы является его существенным преимуществом. При этом при правильном выборе емкости ковша заливщик может легко поддерживать постоянный уровень сплава в литниковой чаше или воронке, плавно изменяя при необходимости угол наклона ковша. Однако при использовании поворотных ковшей велика вероятность попадания шлака с поверхности металла в ковш в литниковую систему.

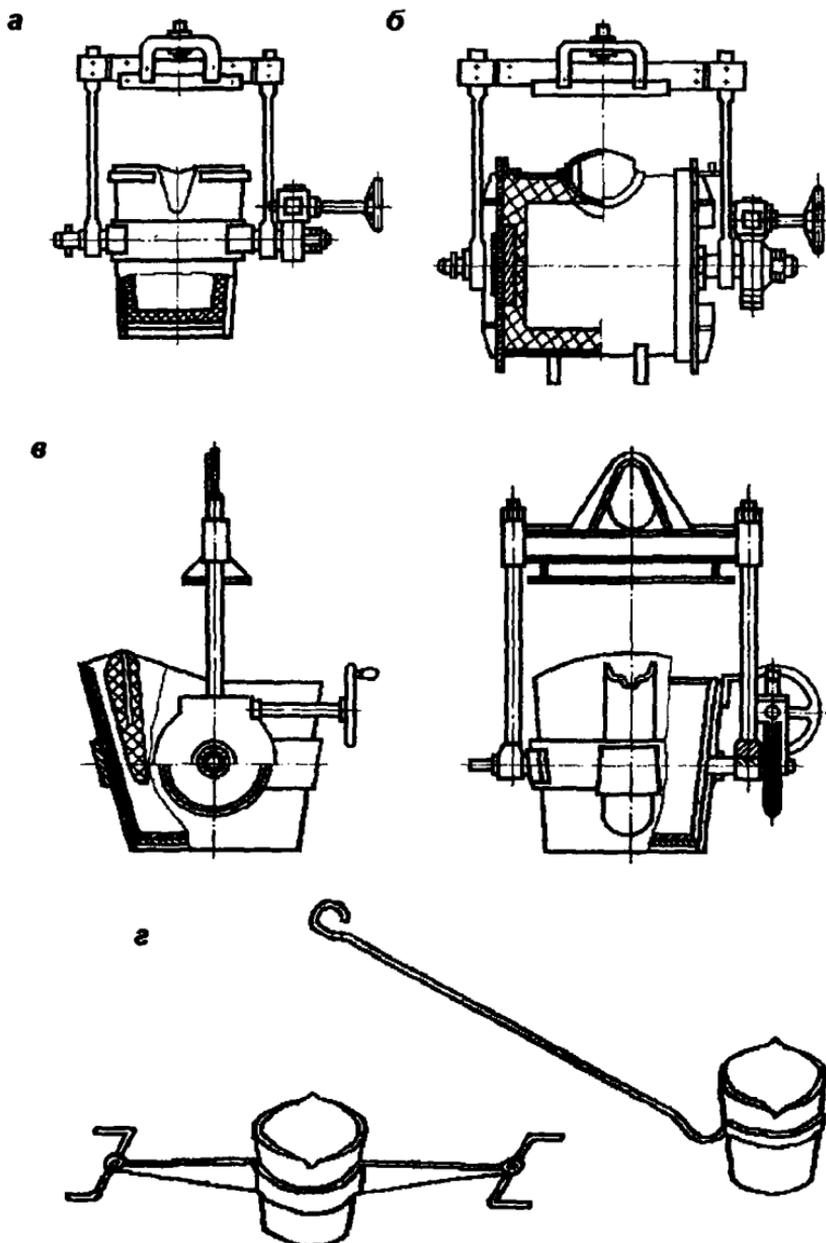


Рис. 3.10. Типы поворотных ковшей: а – конический; б – барабанный; в – чайниковый; г – ручные

Для задержания шлака при заливке применяют деревянные или металлические счищалки или ковши специальной конструкции (чайниковые ковши, рис. 3.10, в).

При применении конических ковшей (рис. 3.10, а) часто около носка ковша устанавливают перегородки. К недостаткам поворотных ковшей можно отнести значительные потери тепла сплавом с открытой верхней поверхности и с истекающей из ковша струей металла. Для снижения потерь тепла необходимо:

- нагревать ковш перед наполнением сплавом до 500 – 750 °С;
- на поверхность чугуна в ковше насыпать песок (древесный уголь);
- при заливке носок ковша подводить возможно ближе к литниковой чаше или воронке на высоту 50 – 100 мм.

Ручные ковши разогреваются переливом металла в раздаточный ковш и обратно. Для уменьшения потерь тепла применяют барабанные ковши (рис. 3.10, б), которые часто используются в качестве раздаточных.

В процессе заливки форм температура чугуна в ковше снижается на 5–40 град/мин в зависимости от его емкости и конструкции. Поэтому в первую очередь из поворотных ковшей заливают формы для наиболее тонкостенных отливок. Поворотные ковши применяются при разливке чугуна и цветных сплавов, а также кислой электростали при массе отливок не более 3–5 т. Шлак кислой электроплавки вязкий, что затрудняет его попадание с поверхности стали в ковш в литниковую систему.

При заливке из стопорных ковшей (рис. 3.11) расход сплава из ковша Q_k определяется высотой уровня сплава в ковше H и площадью сечения отверстия в стопорном стаканчике ω_o , устанавливаемом в днище ковша:

$$Q_k = \mu_k \cdot \beta_p \cdot \omega_o \cdot \sqrt{2g \cdot H}, \quad (3.7)$$

где μ_k – коэффициент расхода в сечении стаканчика;

β_p – коэффициент, учитывающий увеличение проходного сечения отверстия стаканчика из-за его размывания струей металла.

При разливке углеродистой и низколегированной стали из ковшей емкостью до 30 т величина β_p изменяется от 1 (в начале заливки) до 1,15 (при опускании уровня стали в ковше на 130 см), из ковшей емкостью более 30 т – от 1 до 1,25 (при опускании уровня стали в ковше на 130 см). При разливке высокомарганцевистой стали из ковшей емко-

стью до 15 т β_p изменяется от 1 до 1,35 (при опускании уровня стали на 110 см).

Так как в процессе заливки формы из данного ковша величина ω_0 задана и определяется площадью отверстия в установленном в ковше стаканчике, а высота уровня сплава в ковше не может изменяться произвольно, то возможности регулирования расхода сплава из стопорного ковша ограничены. Это является его существенным недостатком по сравнению с поворотным ковшом.

Однако при разливке из стопорных ковшей струя сплава вытекает из его донной части, что исключает попадание шлака в литниковую систему. Так как расстояние от низа ковша до литниковой воронки мало (не более 250 мм), то потери тепла при разливке меньше, чем при использовании поворотных ковшей. Эти обстоятельства обусловили преимущественное использование стопорных ковшей при заливке форм сталью.

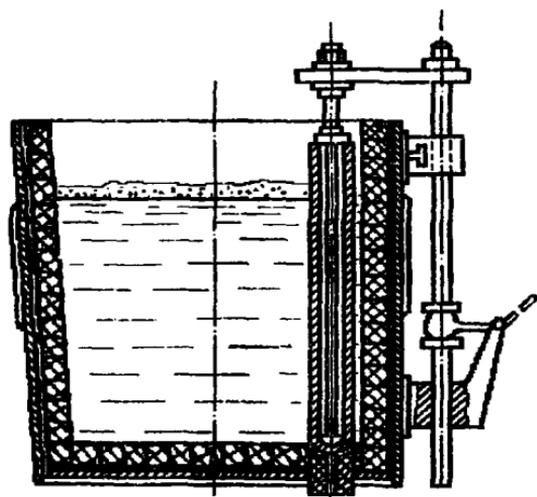


Рис. 3.11. Схема конструкции стопорного ковша

К недостаткам стопорных ковшей следует отнести сложность их конструкции и недостаточную надежность. При большом числе открываний и закрываний стопорного отверстия очень часто стопор перестает плотно перекрывать отверстие или происходит его приваривание к стаканчику. При этом возникает аварийная ситуация. Поэтому при подготовке ковшей к работе большое внимание уделяется сборке и прокатке стопора, притирке пробки стопора к отверстию в стаканчике и сборке стопорного узла и механизма управления стопором [23].

Перед заполнением сталью ковша должны быть прокалены и нагреты до температуры 700–800 °С. В ковшах емкостью более 5 т часто устанавливают 2 стопора и 2 стопорных стаканчика. Это позволяет

осуществлять разливку через одно или два отверстия, изменять массовую скорость заливки. В сталелитейном производстве в основном используются стопорные ковши емкостью от 1 до 30 т.

В начале разливки стали из стопорного ковша часть тепла вытекающей из ковша струи затрачивается на разогрев стаканчика. Поэтому вначале необходимо залить несколько массивных отливок, затем, когда стаканчик прогрется, следует соблюдать тот же порядок заливки, что и при литье из поворотных ковшей.

Таблица 3.5

Рекомендуемые температуры заливки чугуна

Группа отливок	Толщина стенки отливки, мм	Температура заливки, °С
Отливки из серого и высокопрочного чугуна	До 4	1360 – 1450
	4 – 10	1430 – 1340
	10 – 20	1400 – 1320
	20 – 50	1380 – 1300
	50 – 100	1340 – 1230
	Более 100	1300 – 1200
Отливки из ковкого чугуна	До 4	1480 – 1380
	4 – 10	1450 – 1360
	10 – 20	1430 – 1350

Таблица 3.6

Рекомендуемые температуры заливки стали

Группа отливок	Сложность конфигурации отливок	Толщина стенки, мм	Масса отливки, кг	Температура заливки, °С
Отливки из углеродистых и низколегированных сталей (содержание углерода 0,2 – 0,4 %)				
1	Сложные тонкостенные	6 – 20	До 100	1435 – 1410
1а	« «	15 – 25	До 500	1430 – 1405
1б	« «	20 – 30	До 3000	1425 – 1405
2	Отливки средней массы	30 – 75	До 5000	1420 – 1400
3	Отливки большой массы	75 – 100	5000 – 25000	1425 – 1400
4	Тяжелые толстостенные отливки	150 – 500	Св. 25000	1410 – 1395
5	Массивные отливки простой конфигурации	Св. 500	Св. 25000	1410 – 1395
Отливки из легированных сталей				
6	Марганцовистая сталь	–	–	1380 – 1360
7	Хромоникелевая высоколегированная сталь	–	–	1435 – 1410

Таблица 3.7

Температура заливки некоторых цветных сплавов

Сплав	Толщина стенки отливки, мм	Температура заливки, °С
Силумины	До 10	710 – 730
	10 – 20	700 – 710
	Более 20	690 – 700
Остальные алюминиевые сплавы	–	640 – 750
Оловянные бронзы	До 10	1150 – 1180
	10 – 20	1130 – 1170
	Более 20	1100 – 1130
Алюминиевые бронзы	До 10	1100 – 1130
Кремнистые латуни	До 10	1100 – 1150
	10 – 20	1050 – 1100
	Более 20	1000 – 1050

Важным технологическим параметром, определяющим качество отливки, является температура заливки, т.е. температура сплава в ковше в начале заливки формы. Рекомендуемые значения $T_{зал}$ при заливке форм чугуном, сталью и некоторыми цветными сплавами приведены в табл. 3.5 – 3.7.

3.4. Выбор уровня и места подвода сплава к полости формы

При выборе уровня подвода сплава необходимо учитывать достоинства и недостатки как подвода сверху, так и подвода снизу. При подводе сверху обеспечивается положительный температурный градиент в направлении к прибыли, что улучшает условия ее работы и увеличивает заполняемость формы. Однако при большой высоте отливки происходят окисление падающей струи, захват газов и разрушение нижних поверхностей формы. Максимальная допустимая высота падения струи зависит от свойств сплава и формовочных материалов. Например, для углеродистой стали она составляет 300 – 400 мм, для алюминиевых сплавов – 80 мм, магниевых сплавов – 40 мм.

При подводе снизу металл в прибыль приходит холодным, что затрудняет получение плотных отливок. Кроме того при подводе снизу уменьшится заполняемость форм, что требует увеличения скорости заливки.

Вследствие большого действующего напора увеличивается вероятность размыва стенок литниковых каналов, поэтому при изготовлении

высоких отливок литниковые каналы следует выполнять, используя огнеупоры.

Подвод сверху желателен при изготовлении массивных толсто-стенных чугуновых и стальных отливок, имеющих небольшую высоту, меньше указанных ранее критических значений. Подвод снизу целесообразно применять для тонкостенных отливок сложной конфигурации, а также для сплавов, склонных к окислению. Однако ввиду ухудшения при этом заполняемости форм подвод снизу пригоден только для отливок небольшой высоты. На практике чаще всего (с точки зрения удобства формовки) подвод сплава осуществляется на некотором среднем уровне, отвечающем плоскости разъема формы. При этом нижняя часть отливки заполняется сверху, а верхняя — снизу.

Если условия получения качественной отливки не выполняются, то следует применять подвод на нескольких уровнях или через вертикально-щелевую систему.

Выбор места подвода сплава должен определяться с учетом изложенных в данном учебнике рекомендаций. Однако большое значение в решении этого вопроса имеет опыт технолога. Сформулируем некоторые основные рекомендации.

1. Следует обеспечивать подвод металла в таких местах отливки, разогрев которых будет способствовать усилению направленного затвердевания. Целесообразно подводить металл под прибыль в толсто-стенные части отливки. Это особенно важно при изготовлении отливок из сплавов с большой объемной усадкой (сталь, ковкий чугун).

2. Если в отливке могут образовываться внутренние напряжения (арматурные и колесные отливки из чугуна и стали, отливки из ковкого чугуна и др.), то следует подводить металл таким образом, чтобы уменьшались температурные перепады в ее частях. Во многих случаях целесообразно осуществлять подвод в тонкие части. В этом случае требование снижения литейных напряжений может быть несовместимо с обеспечением направленного затвердевания. Улучшения условий питания отливки в этом случае нужно добиваться другими, не связанными с заливкой мероприятиями (установкой прибылей, применением холодильников и теплоизолирующих вставок и т. д.).

3. Следует избегать размещения литниковых каналов вблизи границ знаков стержней, поверхности форм и стенок опоки. Наименьшие расстояния должны быть в пределах 30–60 мм.

4. Следует стремиться к созданию одностороннего движения металла в форме, т.е. питатели размещать так, чтобы направление движения металла было в одну сторону и было исключено встречное движение струй.

5. При изготовлении отливок колесного типа целесообразно подводить металл в ступицу и в обод или только в обод. При наличии мас-

сивной ступицы целесообразно подводить металл только в обод. Это обеспечит меньшие литейные напряжения.

6. Подвод металла к относительно тонкостенной отливке следует осуществлять в тонкостенные части через большое число питателей, рассредоточенных по ее длине.

7. Следует стремиться к осуществлению подвода металла в форму при заполнении ее наиболее коротким путем.

На рис. 3.12 – 3.15 приведены примеры реализации данных рекомендаций.

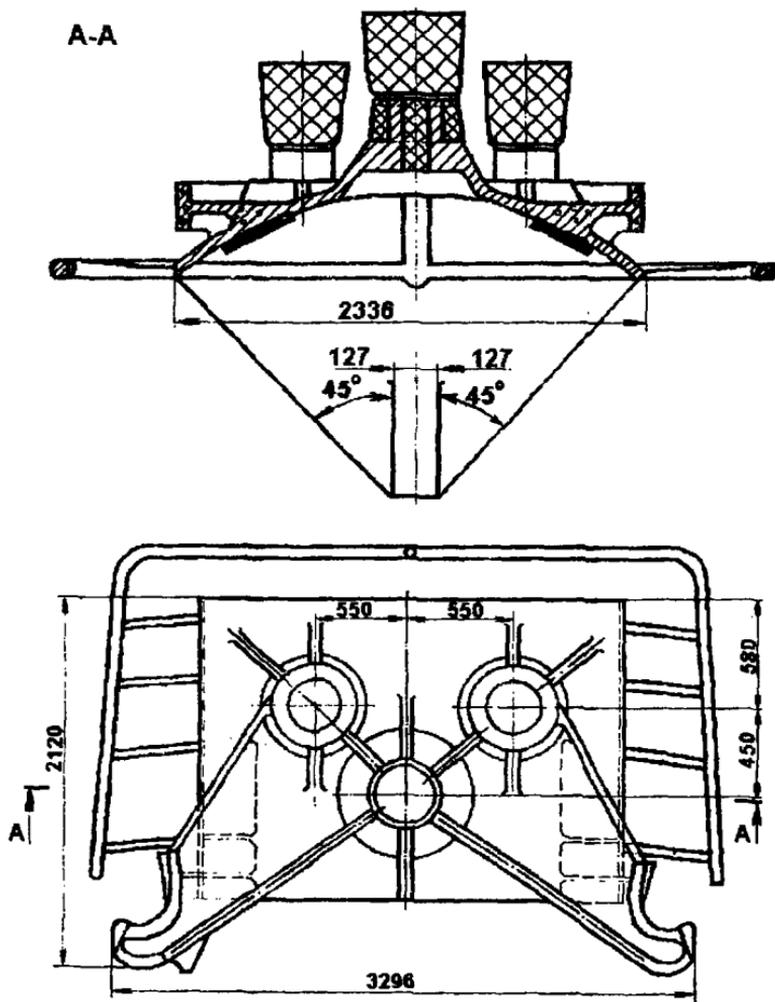


Рис. 3.12. Схема подвода металла к стальной отливке «Лапа чугуновоза» (подвод в тонкие части) [15]

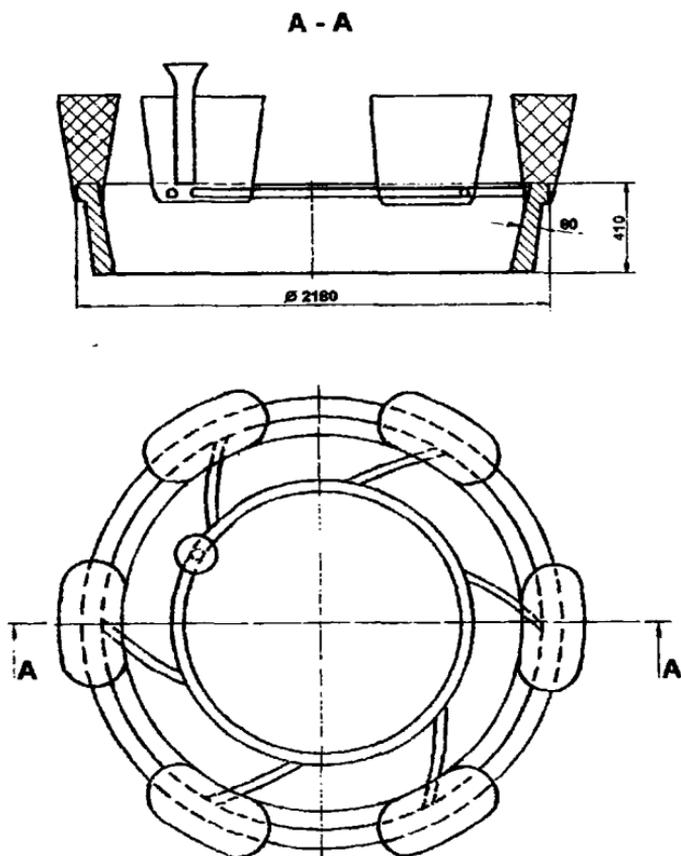


Рис. 3.13. Схема подвода металла в толстостенные части отливки [15]

3.5. Расчет литниковых систем при литье из поворотных ковшей

Как было сказано выше, поворотный ковш обеспечивает за счет изменения угла его наклона плавное регулирование массовой скорости заливки. При правильном выборе ковша (п. 3.3) и соответствующем конструировании литниковой системы обеспечиваются быстрое заполнение стояка сплавом и поддержание постоянного уровня сплава в литниковой чаше или воронке.

Продолжительность заполнения формы при этом определяется площадью сечения узкого места литниковой системы и действующим

гидростатическим напором. В процессе заливки расход сплава из ковша за счет изменения его наклона согласовывается с расходом через литниковую систему.

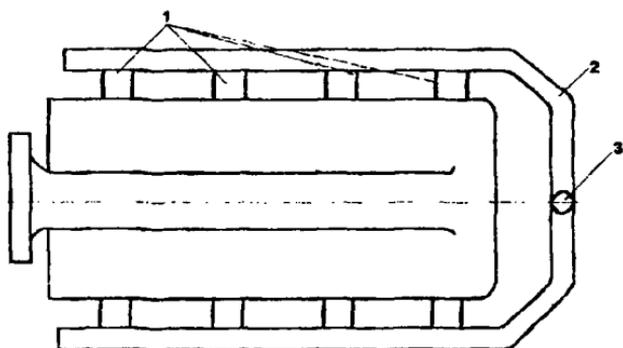


Рис. 3.14. Рассредоточенный подвод металла:
1 – питатели; 2 – шлакоуловитель; 3 – стояк

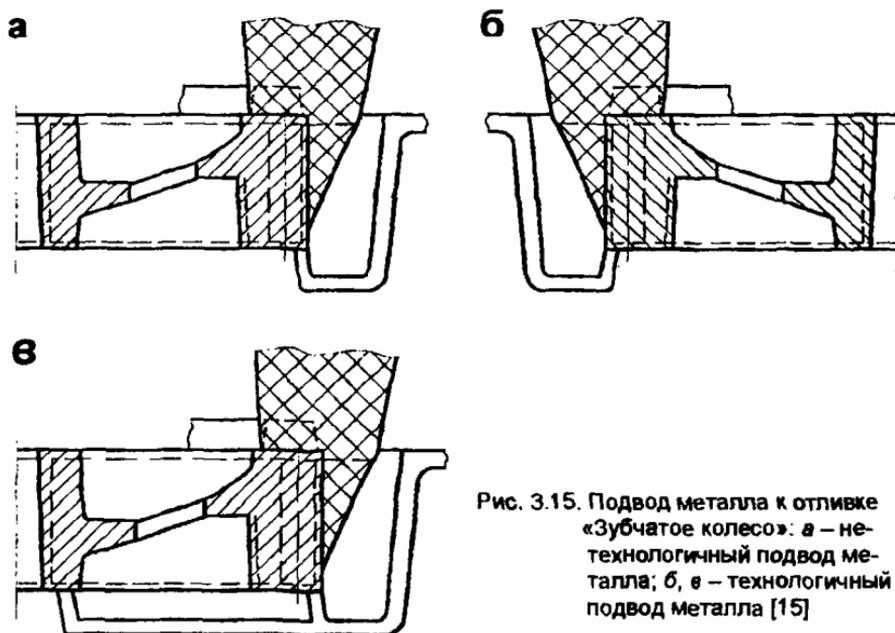


Рис. 3.15. Подвод металла к отливке «Зубчатое колесо»: а – нетехнологичный подвод металла; б, в – технологичный подвод металла [15]

Расчет литниковой системы осуществляется в следующей последовательности:

1) *Расчет оптимальной продолжительности заливки формы.* Для расчета оптимальной продолжительности заливки на практике для отливок из разных сплавов широко применяют формулу (3.1), предложенную Г. М. Дубицким.

2) *Выбор элемента литниковой системы, являющегося узким местом.* Выбор узкого места системы и определение действующего в нем гидростатического напора осуществляются в зависимости от типа литниковой системы (п. 3.2) и склонности заливаемого сплава к вспениванию и окислению. При литье сплавов, не склонных к окислению и вспениванию (чугун, углеродистые и малолегированные стали, большинство медных сплавов), в качестве узкого места чаще всего принимают питатели. Для легкоокисляющихся и вспенивающихся сплавов (алюминиевые и магниевые сплавы, алюминиевые бронзы и латуни, высоколегированные стали) в качестве узкого места выбирают нижнее сечение стояка или шлакоуловитель. При этом необходимо обеспечить замкнутость системы в стояке (см. п. 3.2).

3) *Расчет площади узкого места системы.* Площадь узкого места системы рассчитывают по формуле (3.4). При этом определяется площадь нижнего сечения стояка или суммарная площадь сечений ветвей шлакоуловителя, или суммарная площадь питателей, через которые сплав подводится к полости формы. Значения коэффициентов расхода приведены в табл. 3.8 – 3.13.

Коэффициент расхода определяется потерями напора и давлением металла в форме на выходе из питателей. Увеличение давления в форме приводит к снижению коэффициента расхода, так как уменьшается действующий напор. Давление в полости формы зависит от ее газопроницаемости, наличия выпоров и открытых прибылей, влажности смеси и т.д. Влияние этих факторов на коэффициент расхода отражено в табл. 3.9. Сопротивление формы считается большим, если в ней имеется большое количество стержней и много резких изменений поперечных сечений стенок отливки.

Таблица 3.8
Значения коэффициента для чугунных и стальных отливок

Сплав и способ заливки	Сопротивление формы		
	большое	среднее	малое
Чугун:			
заливка в сырую форму	0,35	0,42	0,50
заливка в сухую форму	0,41	0,48	0,70
Сталь:			
заливка в сырую форму	0,25	0,32	0,42
заливка в сухую форму	0,30	0,38	0,50

Таблица 3.9

Поправки к значениям коэффициента расхода

Фактор, влияющий на величину коэффициента	Поправка к значению
Повышение температуры заливки на 50 °С	До $\pm 0,05$
Наличие открытых выпоров и прибылей	От $+0,05$ до $+0,20$
Большое сечение стояка и шлакоуловителя по сравнению с сечением питателей	От $+0,05$ до $+0,20$
Малая газопроницаемость формы (отсутствие выпоров и прибылей)	До $-0,05$

Таблица 3.10

Значения коэффициента расхода для отливок из ковкого чугуна

Расчетное сечение узкого места	Значение
Верхнее сечение стояка	$0,76 \pm 0,05$
Отверстие фильтровальной сетки: над стояком	$0,64 \pm 0,10$
внизу стояка	$0,55 \pm 0,10$
Нижнее сечение стояка, шлакоуловителя и шейки прибыли	$0,47 \pm 0,10$

Таблица 3.11

Значения коэффициента расхода для алюминиевых сплавов

Сечение узкого места и способ заливки	Значение
Стояка сверху, в подогретые кокили	$0,75 \pm 0,10$
Стояка внизу, в подогретые кокили	$0,64 \pm 0,10$
Питателей, в песчаные формы и подогретые кокили	$0,55 \pm 0,10$

Таблица 3.12

Значения коэффициента расхода для отливок из магниевых сплавов

Сечение узкого места	Значение
Стояка сверху	$0,80 \pm 0,10$
Стояка внизу	$0,70 \pm 0,10$
Шлакоуловителя	$0,60 \pm 0,10$
Литниковых каналов, расположенных далеко от воронки или чаши	$0,55 \pm 0,10$

Таблица 3.13

Значения коэффициентов расхода для отливок из медных сплавов

Сплав	Положение узкого места	Значение
БрОЦС 3,5-6-5	Отверстие фильтровальной сетки под стояком	$0,40 \pm 0,10$
	Нижнее сечение стояка	$0,35 \pm 0,10$
Латунь ЛС59-1Л	Питатели	$0,30 \pm 0,10$
	Питатели	$0,41 \pm 0,10$

4) Расчет площадей остальных элементов литниковой системы.

Определение площадей остальных элементов литниковой системы осуществляется по эмпирическим соотношениям, зависящим от сплава и положения узкого места системы. На основании практического опыта [13 – 16] можно рекомендовать следующие соотношения:

- для заливки чугуна и стали (при литье из поворотных ковшей)

$$\omega_{пит} : \omega_{шл} : \omega_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4;$$

- для заливки углеродистой стали из стопорного ковша

$$\omega_{пит} : \omega_{шл} : \omega_{ст} = 1 : 1,15 : 1,3;$$

- при высоком качестве формовочных смесей и применении сифонного огнеупорного припаса для оформления литниковых каналов

$$\omega_{пит} : \omega_{шл} : \omega_{ст} = 1 : 1 : 1;$$

- для заливки высоколегированной стали

$$\omega_{ст.л} : \omega_{шл} : \omega_{пит} = 1 : (1,332 \div) : (1,33 \div 2);$$

- для ковкого чугуна (литниковые системы для отливок из ковкого чугуна отличаются рядом особенностей, поэтому ниже они будут рассмотрены отдельно)

$$\omega_{ст.л} : \omega_{шл} : \omega_{пит} = 1 : (1,31 \div ,5) : (23 \div);$$

- для отливок из латуни ЛЦ40С

$$\omega_{ст.л} : \omega_{шл} : \omega_{пит} = 1,6 : 1,3 : 1.$$

При литье алюминиевых и магниевых сплавов узким местом литниковой системы является нижнее сечение стояка. В зависимости от конфигурации, размеров и массы отливок применяют соотношения площадей элементов литниковой системы, приведенные в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Рекомендуемые соотношения площадей элементов литниковой системы для алюминиевых сплавов [45]

Масса отливок (св. прибылей, кг)		Соотношение площадей сечений стояка, коллектора и питателей для группы отлив- вок ($\omega_{ст.л} : \omega_{кол} : \omega_{пит}$)			
Алюминиевые сплавы	Магниевые сплавы	I	II	III	IV
До 5	До 3,5	1:2:2	1:2:3	—	—
5 - 10	3,5 - 7,0	1:2:2	1:2:3	1:2:4	1:3:3
10 - 20	7 - 14	1:2:3	1:2:4	1:3:3	1:3:4
20 - 40	14 - 28	1:2:4	1:3:3	1:3:4	1:4:4
40 - 70	28 - 50	1:2:4	1:3:4	1:4:4	1:4:5
70 - 150	50 - 100	1:3:4	1:3:5	1:4:4	1:4:5
Св. 150	Св. 100	1:4:4	1:4:5	1:4:6	—

К группам I, II, III и IV отнесены отливки высотой соответственно до 150 мм; от 150 до 450; от 450 до 750 и свыше 750 мм.

С использованием указанных соотношений по известной площади узкого места можно определить площади остальных элементов системы.

5) *Конструирование литниковой системы и определение конкретных размеров ее элементов.* Вопросы конструирования литниковых систем рассматриваются в п. 3.9.

3.6. Расчет литниковых систем при заливке из стопорных ковшей

При заливке из стопорных ковшей продолжительность заливки формы определяется расходом сплава из ковша Q_k , который в соответствии с формулой (3.7) зависит от площади отверстия стаканчика и уровня сплава в ковше H .

В процессе заполнения формы уровень сплава в ковше опускается с высоты H_1 до H_1' . На рис.3.16 приведена схема положения жидкого сплава в ковше и в полости формы в начальный и конечный моменты

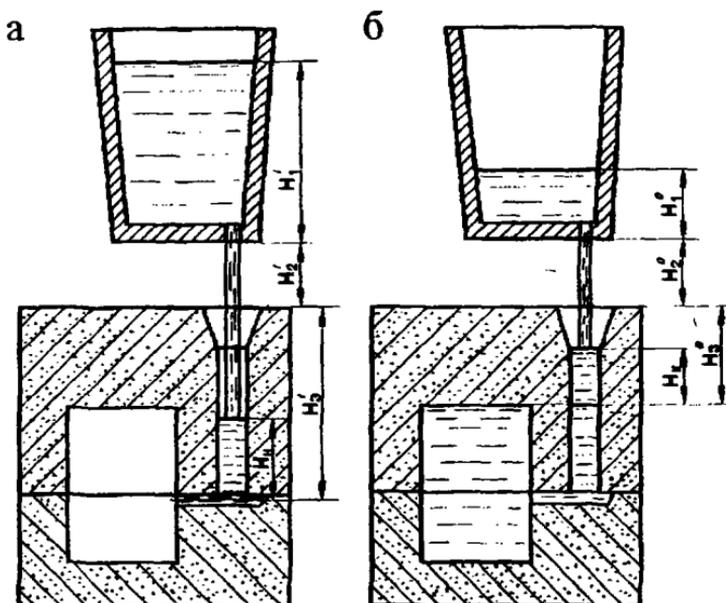


Рис. 3.16. Схема к расчету параметров стопорного ковша

их заполнения. Очевидно, что при заполнении формы напор в ковше H , а следовательно, и расход уменьшаются. Для характеристики расхода из ковша при заполнении данной формы используем значение среднего напора H_{cp} , удовлетворяющее уравнению

$$\sqrt{H_{cp}} = \frac{\sqrt{H_1'} + \sqrt{H_1''}}{2}.$$

При этом расход равен

$$Q_k = \beta_p \cdot \omega_0 \cdot \mu_k \cdot \sqrt{2gH_{cp}}.$$

При таком расходе продолжительность заливки формы может быть определена из балансного уравнения

$$\frac{G_{жс}}{\rho \cdot \tau_{зал}} = \beta_p \cdot \mu_k \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{2gH_{cp}}. \quad (3.8)$$

Как видно из данного уравнения, продолжительность заливки одинаковых форм, последовательно заливаемых из ковша, увеличивается по мере его опорожнения. Поэтому за оптимальное время из стопорного ковша можно залить лишь одну форму. При этом заливку формы следует выполнять при среднем уровне сплава в ковше H_{cp} , удовлетворяющем уравнению (3.8). Это усложняет организацию заливки форм из стопорных ковшей.

Как было сказано в п. 3.1, качественное заполнение формы обеспечивается, если продолжительность заливки удовлетворяет условию

$$\frac{\tau_{онт}}{1,2} \leq \tau_{зал} \leq 1,2\tau_{онт}.$$

Если первую отливку залить за время $\tau_{зал} = \tau_{онт} / 1,2$, то время выполнения последующих форм будет больше вследствие уменьшения величины H_{cp} . Очевидно, что заполнение форм для данных отливок следует закончить при таком значении H_{cp} , при котором время заливки будет не больше $1,2\tau_{онт}$. Далее следует заливать формы для других отливок со значением оптимального времени заливки больше, чем $\tau_{онт}$.

Начальный и конечный напоры в ковше при заполнении формы удовлетворяют следующему балансовому уравнению:

$$\frac{G_{жк}}{\rho} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot (H_1' - H_1'), \quad (3.9)$$

где D_k – средний внутренний диаметр ковша.

В (3.9) левая часть представляет собой объем сплава, залитого в форму, а правая часть – объем сплава, вытекающего из ковша.

Таким образом, при литье из стопорных ковшей продолжительность заливки определяется параметрами ковша (H_1' , H_1 и ω_0). Литниковая система должна быть рассчитана так, чтобы ее пропускная способность соответствовала бы расходу сплава из ковша.

Для расширения возможностей стопорного ковша с точки зрения регулирования расхода Q_k на практике часто применяют торможение струи стопором. При этом отверстие в стаканчике открывается не полностью, что позволяет при заданных значениях ω_0 и H_{cp} уменьшить расход металла из ковша. При торможении струн стопором расход из ковша вычисляют по формуле

$$Q_k = \frac{\beta_p}{\beta_m} \cdot \omega_0 \cdot \mu_k \cdot \sqrt{2g \cdot H_{cp}}, \quad (3.10)$$

где β_m – коэффициент торможения струи, характеризующий отношение расхода из ковша без торможения струи к расходу с торможением струи стопором.

Очевидно, что коэффициент торможения струи удовлетворяет неравенству $1 \leq \beta_m \leq \infty$. Он равен бесконечности при полностью закрытом отверстии стаканчика и единице при полностью открытом отверстии. Однако при сильном торможении струя теряет свою компактность и разбрызгивается, что исключает качественное заполнение формы. С этой точки зрения, как показывают практические данные, коэффициент торможения не должен превышать 1,3, т. е. в процессе заливки за счет изменения положения стопора заливщик должен обеспечить выполнение неравенства $1 \leq \beta_m \leq 1,3\omega$.

Для того, чтобы это условие соблюдалось, значения ω_0 и H_{cp} при заливке первой и последней формы должны быть определены в соответствующих расчетах.

Оптимальная продолжительность заполнения формы обеспечивается при заливке с торможением струи литниковой системой, расчет площади узкого места которой осуществляется по формуле (3.4). В процессе заливки формы заливщик путем торможения струи стопором обеспечивает поддержание постоянного уровня сплава в литниковой воронке.

3.6.1. Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей без торможения струи

1. Расчет оптимальной продолжительности заливки осуществляется по формуле (3.1).

2. Расчет параметров ковша (H_1' , H_1'' и ω_0) проводится по следующей системе уравнений:

$$\beta_p \cdot \mu_k \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{2g \cdot H_{cp}} = \frac{G_{ж.}}{\rho} \cdot \tau_{онт}; \quad (3.11)$$

$$\sqrt{H_{cp}} = \frac{\sqrt{H_1'} + \sqrt{H_1''}}{2}; \quad (3.12)$$

$$\frac{G_{ж.}}{\rho} = \frac{\pi D_k^2}{4} \cdot (H_1' - H_1''); \quad (3.13)$$

где μ_k — коэффициент расхода при истечении через отверстие ковша, $\mu_k = 0,8$;

β_p — коэффициент размыва стопорного стаканчика; при разливе углеродистой стали изменяется от 1 в начале заливки до 1,25 в конце заливки (высота опускания металла в ковше 130 см); при разливе высокомарганцовистой стали β_p изменяется от 1 до 1,35 (при опускания уровня на 110 см). В расчетах следует применять средние значения.

В системе 4 неизвестных (H_{cp} , H_1' , H_1'' и ω_0), поэтому следует задать или ω_0 или H_1' . Чаще всего задают диаметр стаканчика, а H_1' рассчитывают.

На практике применяются стаканчики с диаметром отверстия от 25 до 75–90 мм. Для отливок массой 100–150 кг выбирают стаканчики

диаметром 30–35 мм, для отливок массой 1–1,5 т – стаканчики диаметром 40 мм, для крупных отливок – стаканчики диаметром 50–60 мм.

Расчет проводим следующим образом. Подставив в уравнение (3.11) вместо $\tau_{онт}$ величину $\tau_{онт}/1,2$, при выбранном значении ω_0 находим $(H_{cp})_1$ для заливки первой формы. Из уравнений (3.12) и (3.13) находим значения $(H'_1)_1$ и $(H''_1)_1$ для первой формы.

Подставляя в уравнение (3.11) вместо $\tau_{онт}$ величину $1,2\tau_{онт}$, аналогично найдем $(H'_1)_{посл}$ и $(H''_1)_{посл}$ для последней формы. Количество заливасмых форм найдем по формуле

$$N = \frac{\rho}{G_{жс}} \cdot \frac{\pi D_k^2}{4} [(H'_1)_1 - (H'_1)_{посл}] + 1. \quad (3.14)$$

3. Выбор узкого места системы (п. 3.5).

4. Расчет площади узкого места системы проводится следующим образом. В отличие от заливки форм из поворотных ковшей, где продолжительность заливки определяется сечением узкого места литниковой системы, а наклон ковша выбирают так, чтобы уровень металла в чаше или воронке поддерживался постоянным, при литье из стопорных ковшей (без торможения струи) продолжительность заливки определяется параметрами ковша. Площадь узкого места системы выбирается при этом исходя из равенства расходов из ковша и через литниковую систему.

Если расход через литниковую систему меньше расхода из ковша, то металл будет переливаться через край воронки, что нежелательно. Если расход через литниковую систему будет больше расхода из ковша, то уровень металла в стояке опустится и система будет не замкнута в стояке, что недопустимо. Исходя из равенства расходов получаем следующие формулы для расчета площади узкого места для начального и конечного моментов заполнения формы:

$$\omega_{уз} = \beta'_p \cdot \omega_0 \frac{\mu_k}{\mu} \cdot \frac{\sqrt{H'_1}}{\sqrt{h_n}}; \quad (3.15)$$

$$\omega_{уз} = \beta''_p \cdot \omega_0 \frac{\mu_k}{\mu} \cdot \frac{\sqrt{H''_1}}{\sqrt{h_k}}; \quad (3.16)$$

где ω_0 – площадь отверстия стопорного стаканчика;

μ – коэффициент расхода литниковой системы (см. п. 3.5);

β'_p – коэффициент размыва стаканчика для начала заливки данной формы;

H'_1 и H''_1 – начальный и конечный уровни металла в ковше для данной формы;

h_n и h_x – начальный и конечный уровни металла в стояке (см. рис. 3.11);

$\mu = 0,8$; $h_n = H' - (5 \div 10)$ см; $h_x = H - (5 \div 10)$ см (см. рис. 3.11).

Из двух полученных значений ω_{yz} выбираем наибольшее, чтобы исключить переливание металла через край воронки.

Г. М. Дубицким предложен уточненный метод расчета величин h_n и h_x с учетом кинетической энергии струи [15]. Поскольку этот метод применяется редко (только для крупных отливок), то здесь он не приводится.

5. Расчет площадей остальных элементов системы проводится по соотношениям, приведенным выше (см. п. 3.5).

6. Конструирование и выбор конкретных размеров элементов литниковой системы приведен в п. 3.9.

3.6.2. Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей с торможением струи

1. Расчет оптимальной продолжительности заливки (по (3.1)).
2. Выбор положения узкого места системы (см. п. 3.5).
3. Расчет площади узкого места системы (по (3.4)).
4. Расчет параметров ковша проводится по следующей методике.

Параметры ковша (H'_1, H''_1, ω_0) должны быть определены таким образом, чтобы в процессе заливки формы обеспечивалось равенство расходов сплава из ковша и через литниковую систему при значениях коэффициента торможения струи стопором, не превышающих 1,3.

Дадим уравнения, характеризующие равенство расходов из ковша и через литниковую систему для начала и конца заливки формы:

$$\mu_x \cdot \omega_0 \cdot \frac{\beta'_p}{\beta_m} \cdot \sqrt{2g \cdot H'_1} = \mu \cdot \omega_{yz} \cdot \sqrt{2g \cdot h_n}, \quad (3.17)$$

$$\mu_k \cdot \omega_0 \cdot \frac{\beta_p^n}{\beta_m} \cdot \sqrt{2g \cdot H_1^n} = \mu \cdot \omega_{yz} \cdot \sqrt{2g \cdot h_k} \quad (3.18)$$

Сначала из уравнения (3.17) находим начальный уровень сплава в ковше при заливке последней формы $(H_1')_{\text{посл}}$ при $\beta_m = 1$:

$$(H_1')_{\text{посл}} = \frac{\mu^2 \cdot \omega_{yz}^2 \cdot h_n}{\mu_k^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \beta_p^2} \quad (3.19)$$

Конечный уровень сплава в ковше при заливке последней формы равен

$$(H_1^*)_{\text{посл}} = (H_1')_{\text{посл}} - \frac{4G_{\text{ж}}}{\rho \cdot \pi \cdot D_k^2}; \quad (3.20)$$

$$h_n = H_3' - (5 \div 10) \text{ см} \text{ и } h_k = H_3^* - (5 \div 10) \text{ см.}$$

При выборе $(H_1')_{\text{посл}}$ в соответствии с (3.20) обеспечивается равенство расходов из ковша и через литниковую систему в начале заливки последней формы при полностью открытом отверстии стаканчика ($\beta_m = 1$). Чтобы равенство расходов сохранялось до конца заливки формы, необходимо, чтобы $(H_1')_{\text{посл}}$ удовлетворяло уравнению (3.18), т.е.

$$(H_1')_{\text{посл}} = \frac{\mu^2 \cdot \omega_{yz}^2 \cdot h_k}{\mu_k^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \beta_p^2} \quad (3.21)$$

Данному значению $(H_1')_{\text{посл}}$ соответствует значение начального уровня сплава в ковше перед заливкой последней формы, найденное из уравнения

$$(H_1')_{\text{посл}} = (H_1^*)_{\text{посл}} + \frac{4G_{\text{ж}}}{\rho \cdot \pi \cdot D_k^2}, \quad (3.22)$$

где второе слагаемое в правой части уравнения представляет собой понижение уровня сплава в ковше при заливке формы. Однако при этом значении $(H'_1)_{\text{посл}}$ не будет выполняться равенство расходов сплава из ковша и через литниковую систему. Из двух значений $(H'_1)_{\text{посл}}$, рассчитанных по формулам (3.19) и (3.22), следует принимать наибольшее. При этом заливщик сможет, применяя незначительное торможение струи, обеспечить равенство расходов в ходе всего процесса заливки последней формы.

Если же выбрать наименьшее значение $(H'_1)_{\text{посл}}$, то заливщик не сможет обеспечить заливку последней формы за оптимальное время, так как для этого потребуется коэффициент торможения струи, меньший 1, который принципиально нельзя обеспечить. По известному значению $(H'_1)_{\text{посл}}$ находим уровень металла в ковше в начале заливки первой формы:

$$(H'_1)_1 = (H'_1)_{\text{посл}} \cdot (\beta_m^2)_1,$$

где $(\beta_m)_1$ – коэффициент торможения струи стопором при заливке первой формы.

С учетом максимального значения $(\beta_m)_1 = 1,3$ получим

$$(H'_1)_1 = 1,69 \cdot (H'_1)_{\text{посл}}. \quad (3.23)$$

Аналогично находим $(H''_1)_1 = 1,69 \cdot (H''_1)_{\text{посл}}. \quad (3.24)$

Для $(H'_1)_{\text{посл}}$ можно написать следующее уравнение:

$$(H'_1)_1 = (H''_1)_1 + \frac{4G_{\text{жс}}}{\rho \cdot \pi D_{\text{ж}}^2}. \quad (3.25)$$

Из двух значений $(H'_1)_1$, полученных по формулам (3.23) и (3.25), выбираем наименьшее, чтобы в начале заливки первой формы не пришлось тормозить струю стопором с коэффициентом торможения $\beta_m > 1,3$.

Далее рассчитываем количество форм, которое можно залить при оптимальных условиях ($\tau_{зал} = \tau_{опт}$, $\beta \leq 1,3$):

$$N = \rho \cdot \pi D_k^2 \cdot \frac{(H'_1)_1 - (H'_1)_{посл.}}{4G_{ж}}. \quad (3.26)$$

5. Расчет площадей остальных элементов литниковой системы проводится по соотношениям, приведенным в п.3.5.

6. Конструирование литниковой системы и расчет размеров ее элементов рассмотрены в п. 3.9.

3.7. Расчет литниковых систем при подводе сплава на нескольких уровнях при литье из поворотных ковшей

Литниковые системы, называемые ступенчатыми, относятся к типу IVA и являются незамкнутыми в стояке (см. п. 3.2). Принципиальная схема системы приведена на рис. 3.9. Ступенчатые системы применяются при подводе сплава к полости форм для отливок, протяженных в вертикальном направлении. При этом допустимая высота падения струи сплава h'_0 из питателя в полость формы составляет 300–400 мм при заливке углеродистых сталей и 600–800 мм при заливке чугуна. Расстояние между питателями по вертикали не должны быть меньше $h'_{уст}$, чтобы исключить одновременное действие нескольких питателей.

После подъема сплава в полости формы до уровня очередного питателя ее заполнение на высоту h_n осуществляется снизу через нижние питатели. Далее уровень сплава в стояке достигает очередного питателя, и заполнение формы осуществляется сверху при высоте падения струи, равной $h'_{уст}$;

$$h_n = l_n - h'_{уст},$$

где l_n – расстояние между соседними по высоте питателями.

Для исключения образования сплывов и недоливов при заполнении формы снизу величина h_n должна быть меньше некоторого допустимого

значения $H_{доп}$, зависящего от типа сплава и толщины стенки отливки.

Ориентировочные данные по $H_{доп}$ приведены в табл. 3.15.

Таким образом, расстояния между питателями должны удовлетворять неравенству $h'_{уст} < l_n < H_{доп} + h'_{уст}$. Расчет литниковой системы осуществляется в следующей последовательности:

1. Расчет оптимальной продолжительности заливки выполняется по формуле (3.1).

2. Определение числа уровней подвода сплава и расстояний между ними. Нижний питатель располагают на высоте от низа отливки, не превышающей значения h'_0 . Остальные питатели располагают по высоте отливки на расстояниях $h'_{уст} < l_n < H_{доп} + h'_{уст}$. Общее число питателей определяется при их компоновке с учетом рекомендации, данной в п. 3.4.

Таблица 3.15

Значения допустимой высоты подъема сплава в полости формы $H_{доп}$

Сплав	Толщина стенки отливки, мм	$H_{доп}$, мм
Чугун	4 – 2	$(30 - 100) \cdot \tau_{отп}$
	10 – 4	$(20 - 30) \cdot \tau_{отп}$
	40 – 10	$(10 - 20) \cdot \tau_{отп}$
Сталь углеродистая	7 – 10	$20 \cdot \tau_{отп}$
	10 – 40	$(20 - 10) \cdot \tau_{отп}$
	> 40	$(8 - 10) \cdot \tau_{отп}$

3. Расчет площади узкого места проводится по формуле (3.4). Расчетный напор при применении литниковых воронок равен:

• $H_p = H_s$, если площадь струи, падающей из ковша, меньше 0,2 от площади зеркала сплава в воронке;

• $H_p = 1,3H_s$, если указанное условие не выполняется (учитывается 30 %-е увеличение напора за счет кинетической энергии струи);

• $H_p = H_c$ при заливке с использованием литниковой чаши.

Коэффициент расхода в сечении АВ (см. рис. 3.9), которое в данном случае является узким местом системы, ориентировочно можно принять равным $\mu_{AB} = 0,8$.

4. Расчет площади нижнего питателя ω_1 производится таким образом, чтобы установившееся значение высоты столба сплава в стояке относительно уровня питателя $h'_{уст}$ было равно допустимому значению высоты падения сплава h'_0 .

При высоте сплава в стояке относительно нижнего питателя, равной $h'_{уст} = h'_0$, расход сплава из чаши или воронки равен расходу через питатель, т.е.

$$\mu_{AB} \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p} = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2g \cdot h'_0}.$$

Отсюда находим

$$\omega_1 = \omega_{AB} \cdot \frac{\mu_{AB}}{\mu_1} \cdot \frac{\sqrt{H_p}}{\sqrt{h'_0}}, \quad (3.27)$$

где μ_1 – коэффициент расхода в сечении нижнего питателя.

Подробные значения для μ_1 в литературе отсутствуют. При ориентировочных расчетах можно принять $\mu_1 = 0,5$.

5. Расчет площадей остальных питателей производится следующим образом. После подъема сплава в полости формы выше уровня более высокого питателя расплав подается в форму не только через этот питатель, но и через все нижележащие. Для обеспечения направленного затвердевания отливки и обеспечения заполняемости формы целесообразно основную часть сплава подавать в форму через верхний питатель. Поэтому площади каждого последующего питателя увеличиваются в 1,3 раза по сравнению с площадью нижележащего [15], т.е.

$$\omega_2 = 1,3\omega_1; \omega_3 = 1,3\omega_2 \text{ и т.д.}$$

6. Конструирование и расчет конкретных размеров литниковой системы приведен в п. 3.9.

3.8. Расчет вертикально-щелевых литниковых систем

На рис. 3.17 приведена конструкция вертикально-щелевой литниковой системы, применяемой для заполнения форм алюминиевыми и магниевыми сплавами протяженных в вертикальном направлении отливок. Она включает в себя чашу или воронку 1, стояк 2, коллектор 3,

зумпф 4, обратный стояк 5 и вертикальную щель 6, через которую сплав подводится к полости формы, формирующей отливку 7.

3.8.1. Порядок расчета вертикально-щелевой литниковой системы

1. Определение оптимальной продолжительности заливки производится по формуле (3.1).

2. В качестве узкого места литниковой системы принимают нижнее сечение стояка. Площадь узкого места рассчитывают по формуле (3.4).

3. Определение площадей коллектора и питателей осуществляют по соотношениям, приведенным выше (см. п. 3.5).

4. Суммарная толщина щелей $\sum \delta_{щ}$ определяется следующим образом [45]:

$$\sum \delta_{щ} = (0,08 \div 0,012) \cdot P_{\phi},$$

где P_{ϕ} – полный периметр сечения формы, содержащий наружные и внутренние контуры формы, попадающие в сечение на уровне питателей.

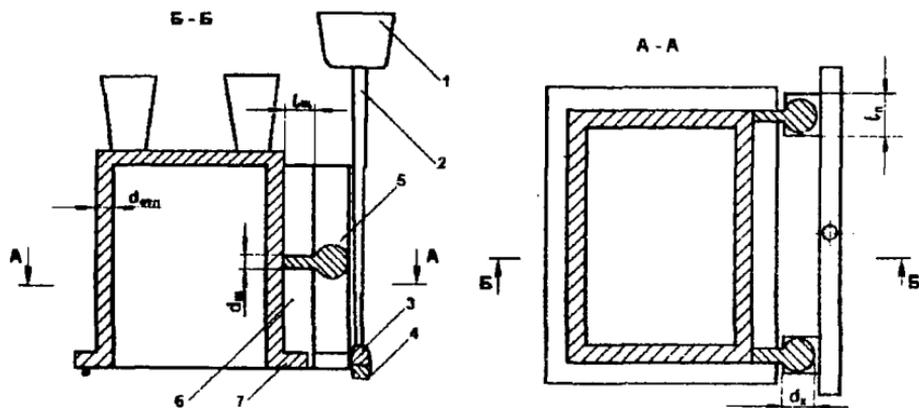


Рис. 3.17. Конструкция вертикально-щелевой литниковой системы: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – коллектор; 4 – зумпф, 5 – обратный стояк; 6 – вертикальная щель; 7 – отливка

Толщину одной щели определяют по формуле

$$\delta_{щ} \leq (0,7 \div 1,0) \cdot \delta_{отл},$$

где $\delta_{отл}$ — преобладающая толщина стенки отливки в месте ее соединения с вертикальной щелью.

Число щелей находят по формуле $n = \sum \delta_{щ} / \delta_{щ}$. В зависимости от толщины щели определяют диаметр обратного стояка $d_k \geq 4\delta_{щ}$ и ширину щели (расстояние от отливки до обратного стояка) $l_{щ} = d_k$. Ширина питателя $l_n \geq d_k$. Целесообразно толщину щели увеличивать кверху в 1,5 раза [15].

3.9. Конструирование литниковых систем

3.9.1. Конструирование литниковых чаш и воронок

Литниковые чаши и воронки служат для приема жидкого сплава, поступающего из ковша. Конструкция и размеры приемного элемента литниковой системы зависят от массовой скорости заливки и конструкции разливочного ковша. При малых массовых скоростях заливки (до 5 кг/с) применяют воронки, а при больших скоростях (больше 5 кг/с) используют литниковые чаши. Однако применение ковшей, позволяющих получить струю сплава с овальным или круглым сечением, дает возможность сместить границу использования воронок до массовой скорости заливки 6–7 кг/с.

Приемный элемент литниковой системы (чаша или воронка) должен гасить кинетическую энергию падающей из ковша струи и обеспечивать плавное (без завихрений и образования воронок) поступление сплава в стояк. Кроме того, при заливке из поворотных ковшей очень важной является операция задержания шлака.

Форма внутренней поверхности воронки должна охватывать контур падающей струи. Определение размеров воронки осуществляется в зависимости от значения диаметра стояка сверху $d_{ст.в}$. На рис. 3.18 приведен вид литниковой воронки, разработанной Б. В. Рабиновичем [31].

Малые литниковые чаши (массовый расход сплава при заливке до 10 кг/с) выполняются в двух модификациях: в виде чаш, заформо-

ванных в опоке (рис. 3.19), и чаш-нарошалок, устанавливаемых сверху на опоке (рис. 3.20) [31]. Наличие порога и двух боковых вертикальных ребер способствует всплыванию шлака и образованию вихревых воронок.

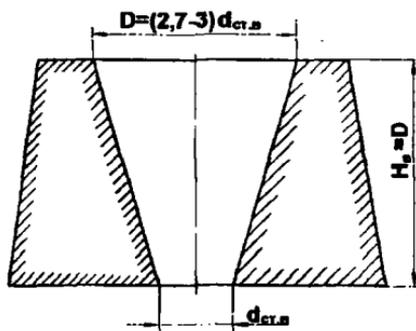


Рис. 3.18. Литниковая воронка

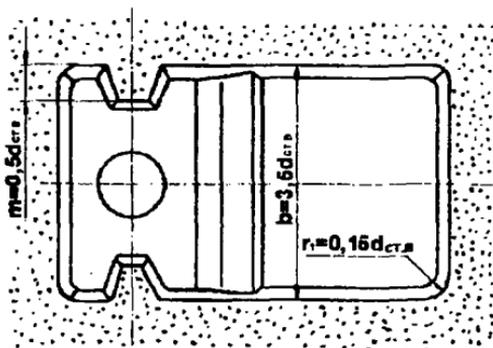
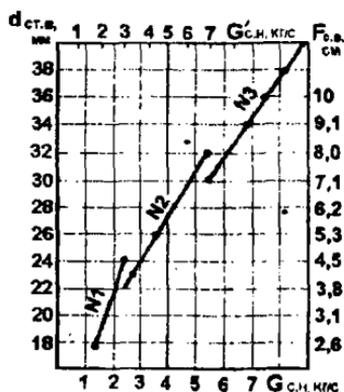
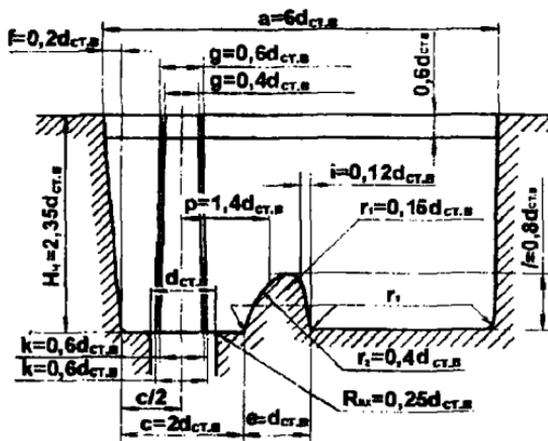
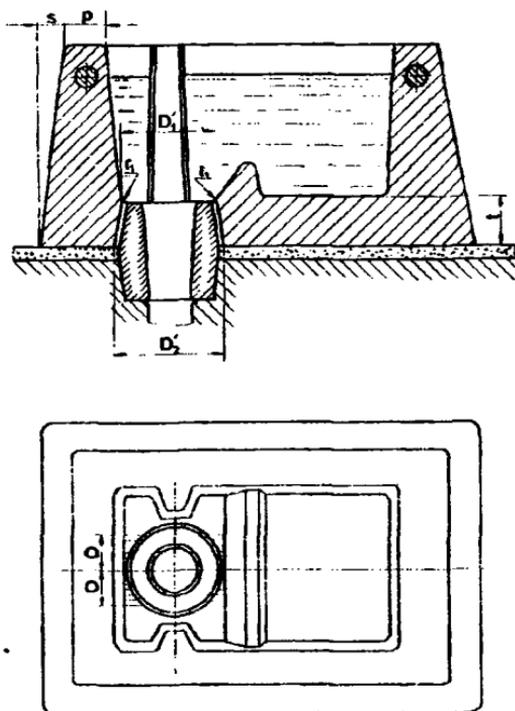


Рис. 3.19. Малая литниковая чаша

Размеры литниковых чаш определяются по диаметру стояка вверху (см. рис. 3.19, 3.20 и табл. 3.16) [31].



Номер чаши	Номер стакана	Размер, мм					
		D_1	D_2	o	p	s	l
1	1	46	56	13	30	10	30
2	2	65	77	20	35	12	45
3	2	65	77	—	35	15	45

Рис. 3.20. Литниковая чаша-нароцалка

Крупные чаши (массовый расход от 10 до 50 кг/с) выполняются с перегородкой (рис. 3.21). Перегородка разделяет чашу на приемную и расходную секции. Заливку сплава из ковша следует производить в приемную секцию, из которой сплав под перегородкой поступает в расходную секцию и в стояк.

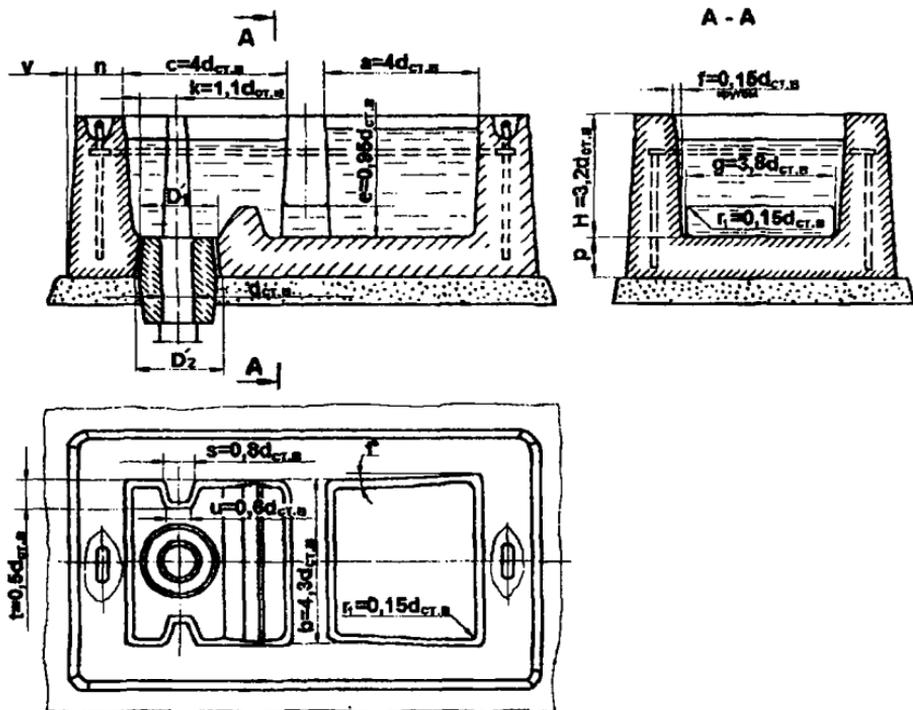


Рис. 3.21. Большая литниковая чаша

Таблица 3.16

Размеры малой литниковой чаши, мм

Номер чаши	Калибр $d_{ст.л.}$	a	b	c	e	f	g	g'	$Hч'$	i
1	24	144	84	48	24	5	15	10	80	3
2	32	192	112	65	32	6	19	13	105	4
3	40	240	140	80	40	8	24	16	130	5
Номер чаши	Калибр $d_{ст.л.}$	p	k	k'	l	m	$R_{ок}$	r_1	r_2	Масса чаши, кг
1	24	34	20	16	19	12	6	4	10	4,5
2	32	45	26	19	26	16	8	5	12	8,0
3	40	56	32	24	32	20	10	6	16	21,5

3.9.2. Конструкции стояков

Чаще всего стояки размещают вертикально. Для обеспечения замкнутости системы и удобства формовки используют конические, расширяющиеся вверх круглые стояки.

Конусность стояка зависит от его высоты (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Конусность стояков			
Высота стояка, мм	$d_{ст.в} - d_{ст.н}$, мм	Высота стояка, мм	$d_{ст.в} - d_{ст.н}$, мм
100	2	900	9
200	3	1000	10
300	4	1200	12
400	4	1400	14
500	5	1600	16
600	6	1800	18
700	7	2000	20
800	8		

При литье легких сплавов применяют, кроме круглых вертикальных стояков, ленточные прямоугольные, змееобразные, наклонные прямые и наклонные стояки типа «гусиной шейки» (рис. 3.22). Зигзагообразные стояки позволяют уменьшить скорость поступления сплава в форму и обеспечить плавное ее заполнение. Конструкция таких стояков

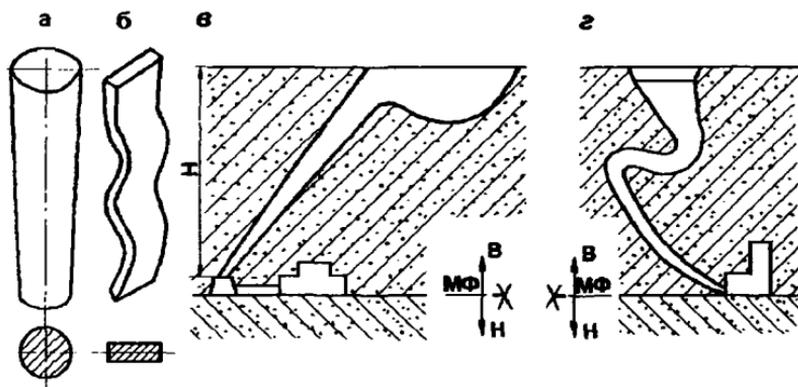


Рис. 3.22. Профили стояков для литья легких сплавов: а – прямой; б – змееобразный; в – наклонный; г – наклонный («гусиная шейка») [45]

показана на рис. 3.23, где приняты следующие обозначения: h_3 – высота змееобразной части стояка; B – шаг витка канала; l – расстояние между осями по ширине; r_x – радиус кривизны оси канала; $B = 45$ мм; $l = 80$ мм; $\alpha = 15 \div 30^\circ$; $h_3 = (0,75 \div 0,80) \cdot h_c$; $r_x = 20$ мм.

В нижней части выполняется полусферическое окончание стояка, называемое зумпфом.

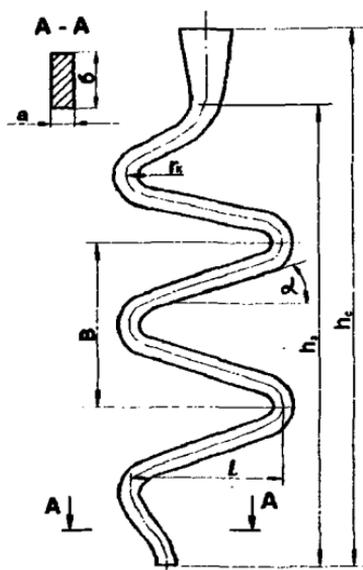


Рис. 3.23. Конструкция зигзагообразного стояка

3.9.3. Конструкции шлакоуловителей и коллекторов

На практике чаще всего применяют шлакоуловители и коллекторы трапециевидного поперечного сечения, постоянного по длине канала. Форма сечения приведена на рис. 3.24.

В замкнутых системах одной из важных функций шлакоуловителя является шлакоулавливание. При движении сплава по шлакоуловителю взвешенная частица шлака всплывает вверх. Для обеспечения шлакоулавливания необходимо, чтобы эта частица всплыла к верхней поверхности шлакоуловителя, не доходя с потоком сплава до первого питателя. Исходя из этого, для определения длины шлакоуловителя до первого питателя l_n можно применить следующую формулу:

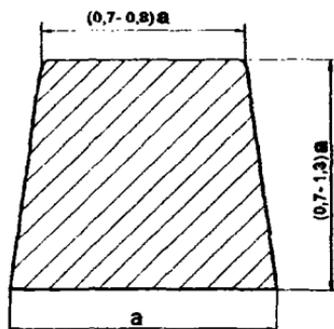


Рис. 3.24. Форма сечения шлакоуловителя

$$l_n = 1,2h_{\text{шл}} \cdot \frac{V_{\text{шл}}}{V_g}, \quad (3.28)$$

где $h_{\text{шл}}$ – высота сечения шлакоуловителя;

$V_{\text{шл}}$ – скорость сплава в шлакоуловителе;

V_g – скорость всплывания частицы;

$$V_g = 2 \sqrt{\frac{d_{\text{ш}} \cdot \rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{ч}}}{3 \rho_{\text{ж}}} \cdot g},$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр частицы (можно принять $d_{\text{ш}} = 0,002$ м);

$\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{ч}}$ – плотность жидкого сплава и неметаллической частицы.

Скорость сплава в шлакоуловителе можно рассчитать по формуле

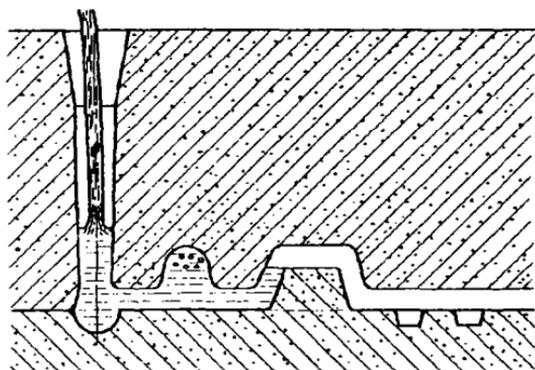


Рис. 3.25. Литниковая система с принудительным заполнением шлакоуловителя

$$V_{ш} = \frac{G_{жс}}{\tau_{опт} \cdot \rho_m \cdot \omega_{шл}}$$

Для улучшения улавливания шлака в системе предусматривают установку специальных полостей – бобышек, обеспечивающих принудительное заполнение шлакоуловителя, при котором сплав не может пройти в форму, не заполнив предварительно поперечное сечение шлакоуловителя. На рис. 3.25 и 3.26 приведены примеры таких литниковых систем [31].

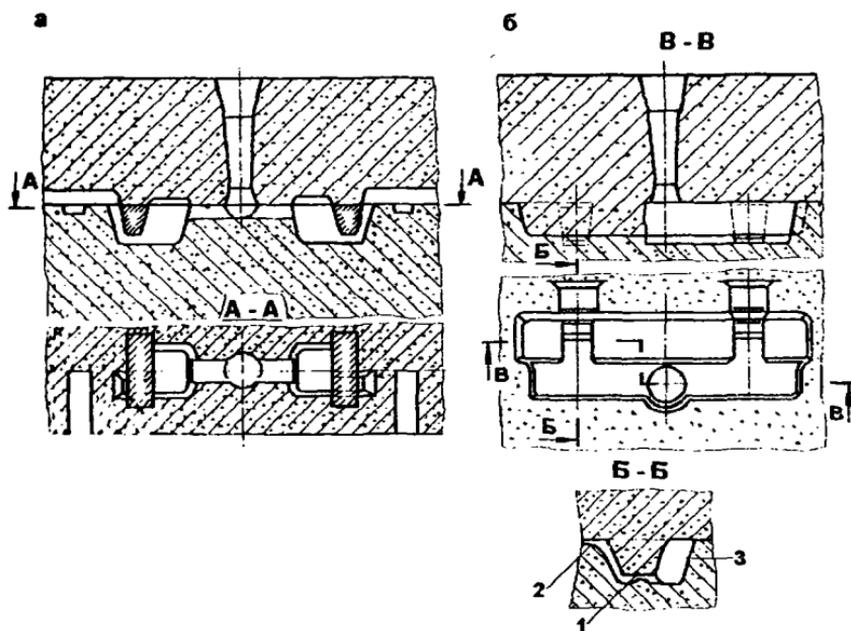


Рис. 3.26 Конструкция литниковой системы с принудительным заполнением шлакоуловителя: 1 – дроссель; 2 – питатель; 3 – шлакоуловитель

Эффективным способом улавливания шлака является применение центробежных шлакоуловителей, в которых металл подается по касательной в периферийную часть круглой бобышки (рис. 3.27). Металл из бобышки отводится также по касательной, причем площадь сечения отводящего канала меньше, чем подводящего. Пример литниковой системы с центробежным шлакоуловителем приведен на рис. 3.28.

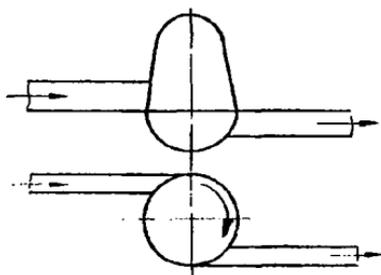


Рис. 3.27. Схема центробежного шлакоуловителя

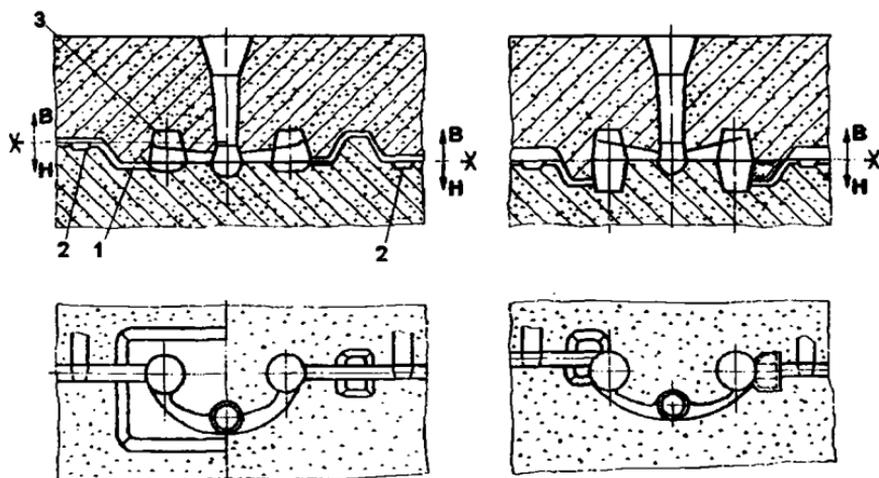


Рис. 3.28. Конструкции литниковой системы с принудительным заполнением центробежного шлакоуловителя:
1 — дроссель; 2 — питатель; 3 — шлакоуловитель

3.9.4. Конструкции питателей

Чаще всего питатели выполняют с трапецидальным поперечным сечением и подводят их снизу шлакоуловителя. Сечение питателя по его длине чаще всего делают одинаковым. Для того, чтобы литники (питатели) отламывались возможно ближе к телу отливки, можно увеличить сечение питателя на 5–10% по сравнению с расчетным, а затем довести его до расчетного путем уменьшения высоты в месте подвода к отливке. Основные размеры трапецидальных питателей приведены в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Основные размеры трапецеидальных питателей

Тип питателя	b	h
Плоский	$(0,7 - 0,9) a$	$(0,1 - 0,5) a$
Нормальный	$(0,8 - 0,7) a$	a
Удлиненный	$(0,75 - 0,65) a$	$(1,5 - 2,0) a$

Чаще всего питатели к шлакоуловителю подводят под прямым углом, а иногда под тупым углом. Питатели целесообразно размещать в нижней полуформе под шлакоуловителем (см. рис. 3.2, а). Если же необходимо питатель и шлакоуловитель разместить в одной верхней полуформе, то отношение высоты шлакоуловителя $h_{ш}$ к высоте питателя h_n с точки зрения исключения попадания в него шлака не должно быть меньше 5, т.е. $h_{ш} / h_n = 5$ (рис. 3.29).

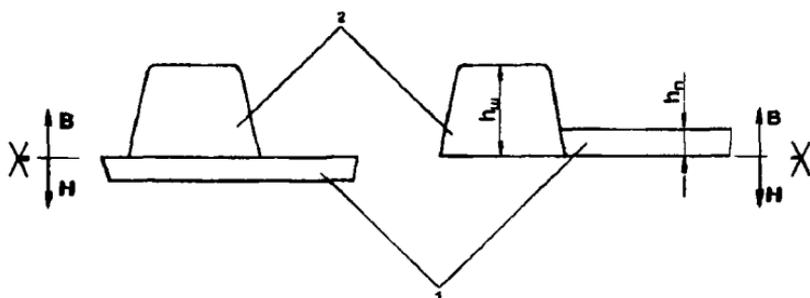


Рис. 3.29. Схемы размещения шлакоуловителя и питателя в форме:
1 — питатели; 2 — шлакоуловители

3.9.5. Применение фильтровальных сеток

Для улавливания шлаковых и других неметаллических включений в литниковых системах часто применяют фильтровальные сетки. На практике используют керамические и металлические сетки, а также сетки из специальной ткани. Керамическая сетка (рис. 3.30) представляет собой плоский стержень с отверстиями, сделанный из стержневой смеси. При изготовлении отливок массой до 40 кг толщина керамической сетки обычно составляет 10–14 мм, диаметр отверстий сверху бывает от 4 до 10 мм, чаще 5–8 мм. Диаметр отверстия внизу на 1 мм меньше, чем сверху. Суммарная площадь отверстий сетки должна быть меньше на

15 % площади предшествующего элемента и на 15 % больше площади последующего.

Для эффективной работы сетки необходимо, чтобы металлоприемник под ней был заполнен сплавом. При этом частицы шлака, пройдя через отверстия сетки, прилипнут к ее нижней поверхности.

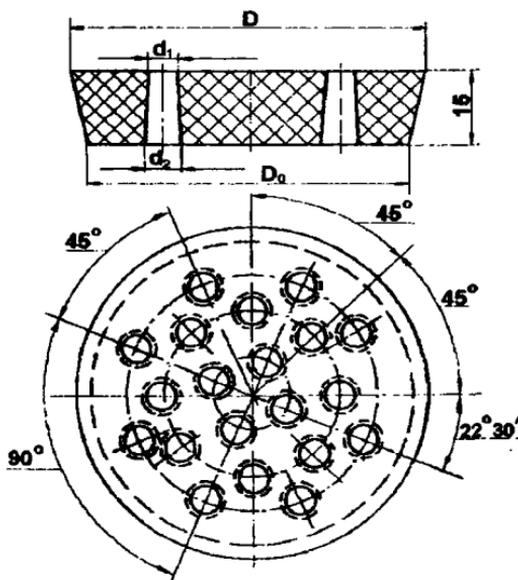


Рис. 3.30. Круглая фильтрующая керамическая сетка [15]

Фильтровальные сетки устанавливают в разных местах литниковой системы: в нижней части литниковой воронки, в нижнем сечении стояка, в шлакоуловителе и т.д. Примеры установки фильтровальных сеток в литниковой системе приведены на рис. 3.31 и 3.32 [45].

Для легких сплавов применяются сетки из тонкого листового железа или из специальной ткани толщиной 0,3–0,5 мм с отверстиями диаметром 0,5–2 мм.

3.9.6. Особенности конструкций литниковых систем для отливок из ковкого чугуна

При изготовлении отливок из ковкого чугуна формы заливают белым чугуном, который отличается большой объемной усадкой, низкой жидкотекучестью и плохой обрабатываемостью резанием.

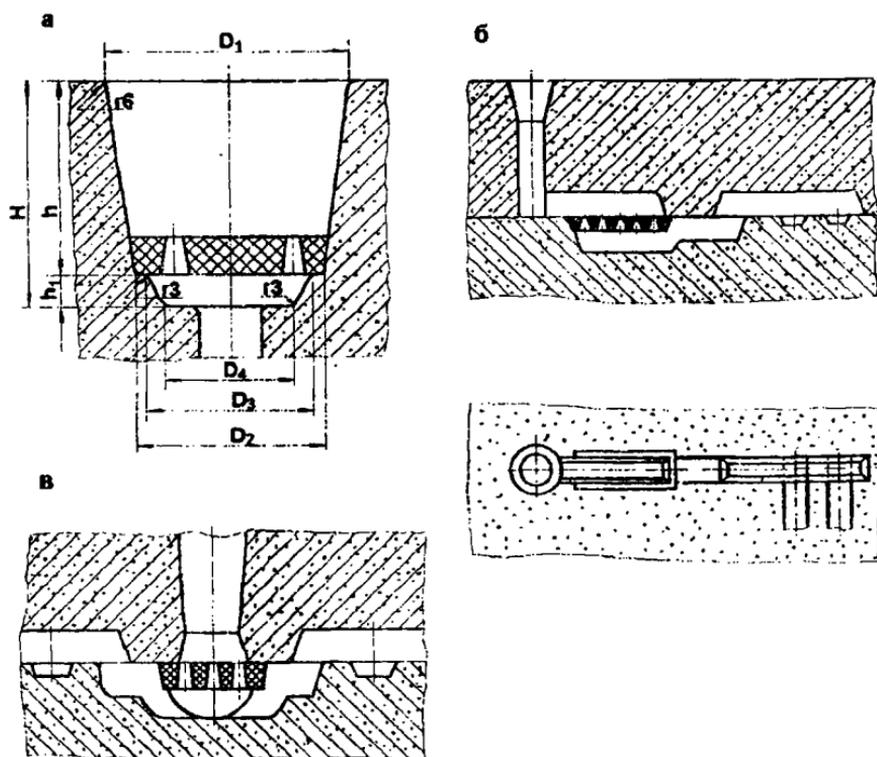


Рис. 3.31. Примеры установки фильтровальных сеток в литниковых системах для чугуновых отливок: а – в литниковой воронке; б – в шлакоуловителе; в – у основания стояка

Для предотвращения образования усадочных дефектов и обеспечения легкого удаления прибылей до термообработки отливок их питание осуществляют закрытыми боковыми прибылями, соединенными с питаемой частью отливки коротким каналом – шейкой. Металл подводится непосредственно в прибыль из шлакоуловителя или через питатель. Примеры литниковых систем для отливок из ковкого чугуна приведены на рис. 3.33 и 3.34 [15]. Для питания других тепловых узлов отливки, не связанных с литниковой системой, также применяют боковые прибыли.

Узкое место литниковой системы, показанной на рис. 3.34, находится в канале, подводящем металл к прибыли. Размеры боковых прибылей можно определить по опытным данным Б. В. Рабиновича. На рис. 3.35 и 3.36 приведены номограммы для определения размеров боковых

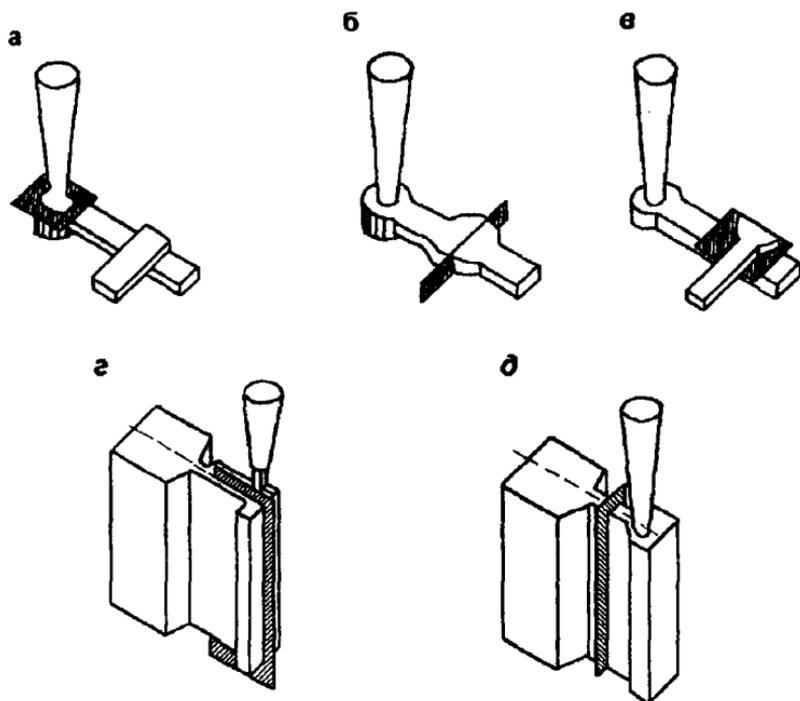


Рис. 3.32. Схемы установки фильтровальных сеток в литниковых системах для отливок из легких сплавов: а – под стояком; б – в расширенной части коллектора; в – под питателем; г – в колодце и вертикальной щели; д – в вертикальной щели

прибылей и сечений шейки боковых прибылей [15]. Параметр Z на номограммах представляет собой отношение объема питаемого узла в см^3 к его поверхности в см^2 .

3.9.7. Особенности конструкций ступенчатых систем

Как показало исследование работы ступенчатых систем, последовательность действия питателей лучше обеспечивается при цилиндрических или конических стояках с небольшим уклоном. Наилучшие результаты обеспечиваются в системах с обратным стояком (рис.3.37).

Недостатком систем, приведенных на рис. 3.9 и 3.37, является отсутствие шлакоулавливания. Поэтому при литье из поворотных

ковшей можно применить систему, конструкция которой показана на рис. 3.38 [31].

При заливке сплавов через рассмотренные выше ступенчатые системы в верхней части стояка создается разрежение, что приводит к подосу воздуха и разбрызгиванию сплава. Воздух может засасываться в стояк через верхние незаполненные питатели. При этом брызги металла через них могут попадать в форму. Из-за большой скорости течения эффективность работы шлакоуловителя невелика.

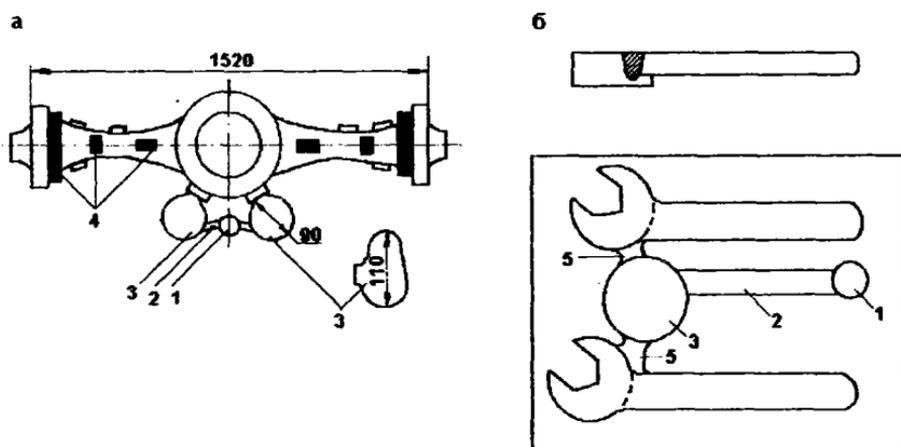


Рис. 3.33. Подвод металла к отливкам: а – заднего моста автомобиля; б – гаечных ключей; 1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – боковые прибыли; 4 – холодильники; 5 – шейки прибылей

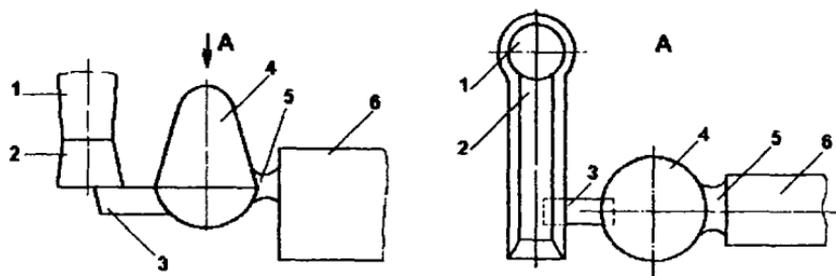


Рис. 3.34. Схема полной литниковой системы для отливок из ковкого чугуна: 1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – питатель; 4 – боковая прибыль; 5 – шейка прибыли; 6 – отливка

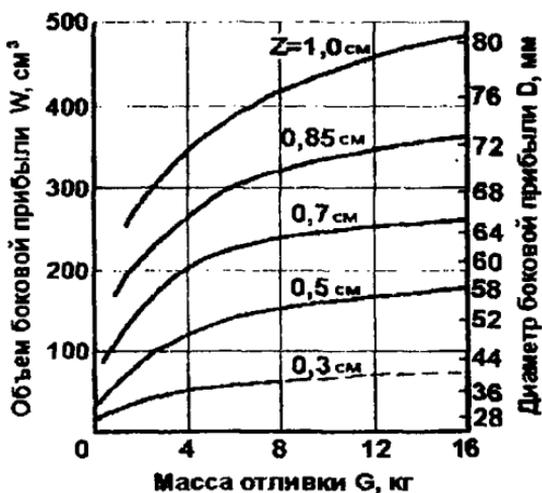


Рис. 3.35. Номограмма для определения размеров боковых прибылей

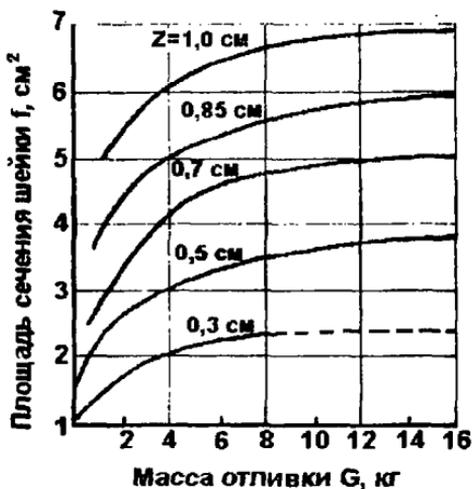


Рис. 3.36. Номограмма для определения сечения шейки боковых прибылей

Чтобы устранить эти недостатки, необходимо уменьшить скорость течения сплава и уменьшить циркуляцию сплава в бобышке под стояком. Для этого в систему вводят фильтровальную сетку 3 и стержень 4 под бобышку 2 (рис. 3.39).

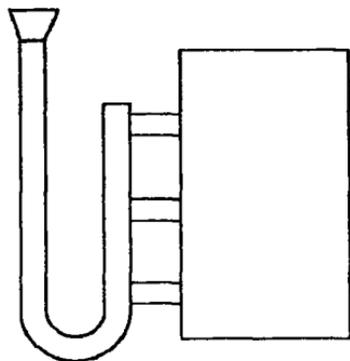


Рис. 3.37. Ступенчатая литниковая система с обратным стояком

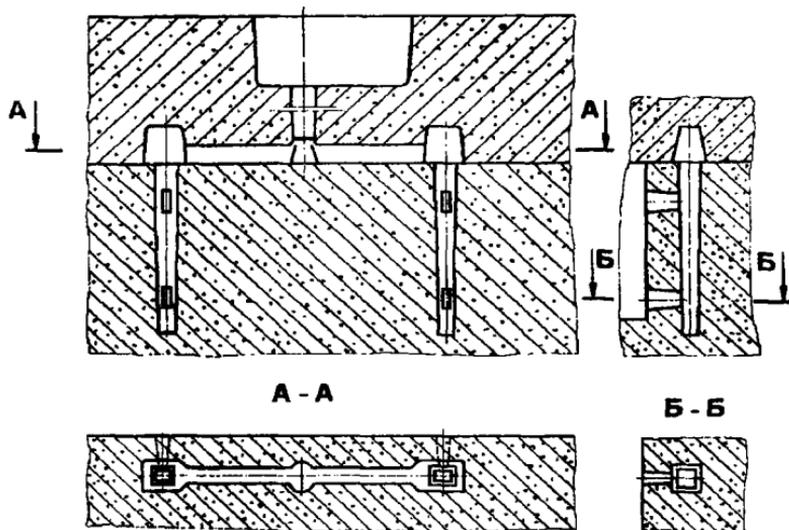


Рис. 3.38. Ступенчатая литниковая система со шлакоуловителем

Кроме того, в шлакоуловителе предусматривают порог 7 и сужение (дрессель) с помощью перегородки 1. Узкое место такой системы можно выполнить либо в дресселе, либо в отверстии в стержне. Б.В. Рабинович рекомендует при этом следующие соотношения площадей [31]:

$$F_{ст.п.} : F_{др.} : S F_{шл.} : F_{ст.п.} : F_{отв.ст.п.} = 1,75 : 1 : 3,62 : 1,7 : 1,36;$$

$$F_{ст.н}: F_{др}: SF_{шл}: F_{сет}: F_{отв.ст} = 1,3:1:2,65:1,24:0,74.$$

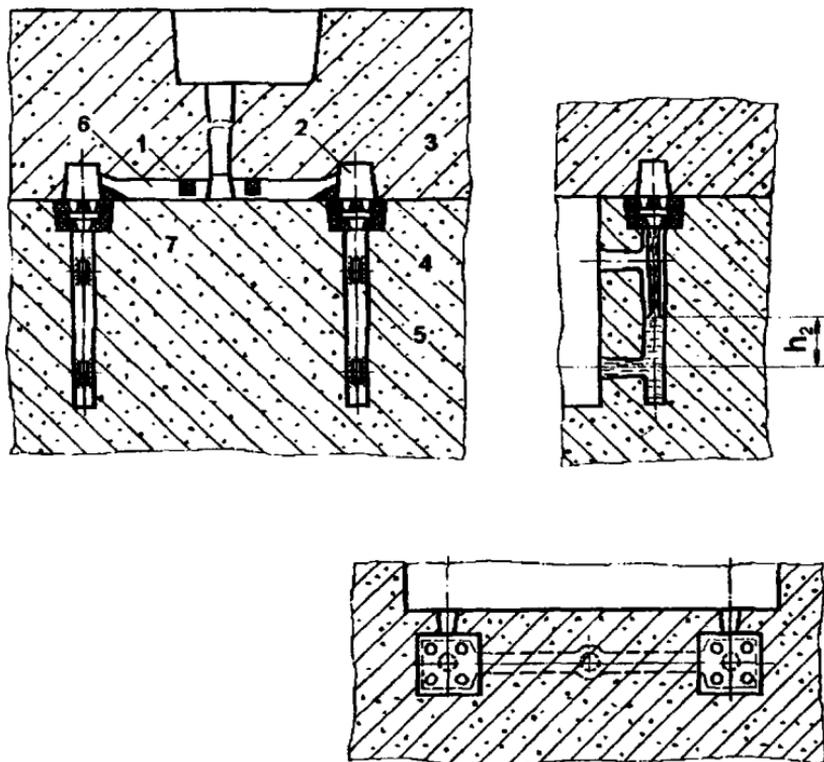


Рис. 3.39. Ступенчатая литниковая система: 1 – дроссель; 2 – шлакоулавливающая бобышка; 3 – сетка; 4 – стержень; 5 – распределительный стояк; 6 – шлакоуловитель; 7 – порог

3.9.8. Особенности литниковых систем для отливок из цветных сплавов

Ввиду большой склонности к вспениванию и окислению алюминиевых, магниевых и ряда медных сплавов скорость течения расплава в полости формы должна обеспечивать не только хорошую ее заполняемость, но и минимально возможную для отливки степень турбулентности потока, которая должна снижаться в направлении от стояка к полости формы. По литературным данным [45] значения скоростей потока в

стояк V_c , в коллекторе V_k и питателе V_n должны удовлетворять неравенствам

$$V_c \leq \frac{65}{R_c}; V_k \leq \frac{42}{R_k} \text{ и } V_n \leq \frac{12}{R_n},$$

где R_c , R_k и R_n – гидравлические радиусы стояка, коллектора и питателя, равные отношению соответствующих значений площади сечения к его периметру.

Расчет литниковых систем можно выполнять по приведенной выше методике их расчета при литье из поворотных ковшей. При этом выбор размеров элементов системы по расчетным значениям площадей следует выполнять, соблюдая приведенные выше неравенства для скоростей.

Для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов разработаны специальные методы расчета литниковых систем.

3.10. Специальные конструкции литниковых систем

Важнейшей проблемой, возникающей при применении типовых литниковых систем, является одновременное выполнение таких требований:

- надежное улавливание шлака;
- снижение скорости движения сплава в литниках, обеспечивающее плавное заполнение формы сплавом.

В различных специальных конструкциях литниковых систем применяются меры, направленные на решение этой проблемы.

3.10.1. Тормозящая литниковая система В. И. Фундатора

Конструктивные схемы тормозящих литниковых систем, предложенные В. И. Фундатором, приведены на рис. 3.40 [15]. Видно, что благодаря поворотам потока при перетекании сплава из колена в колено увеличивается суммарное сопротивление системы и уменьшается скорость движения сплава. При этом улучшается шлакоулавливание и создаются условия для более плавного поступления сплава в полость формы.

Число колен в системе может быть значительным (до 5 и более), что делает систему громоздкой и увеличивает расход металла на литники. Другим недостатком тормозящих систем является сложность их

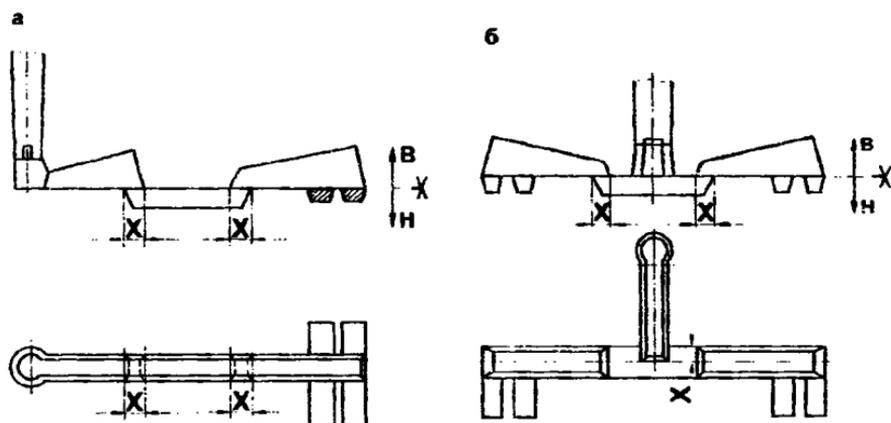


Рис. 3.40. Схемы тормозящих литниковых систем: а – с тремя коленями, б – с двумя коленями (х – окно между элементами)

конструкций и повышение требований к точности монтажа модельных комплектов на плитах при машинной формовке. Эти системы можно рекомендовать использовать при изготовлении чугунных отливок ответственного назначения в сырых формах при недостаточной поверхностной прочности формовочных материалов.

3.10.2. Дроссельные литниковые системы

Дроссельные литниковые системы предложены Б. В. Рабиновичем. В них реализуется та же идея, что и при применении тормозящих систем. Принципиальное отличие состоит в том, что для уменьшения скорости сплава в систему включаются местные сопротивления, занимающие мало места и имеющие небольшую массу. В основании стояка устанавливается местное сопротивление – резкое сужение (дросселирование потока). Элементы, реализующие это местное сопротивление, называются дросселями.

При использовании одностороннего шлакоуловителя применяют односторонний дроссель, двухстороннего шлакоуловителя – двухсторонние дроссели. Схемы дроссельных систем приведены на рис. 3.41 и 3.42, а их размеры – в табл. 3.19 и 3.20. Дроссели представляют собой узкие щели толщиной 4–25 мм. Сплав из стояка проходит через дроссель и поступает в шлакоуловитель, из которого через питатель, расположенный снизу шлакоуловителя, переходит в полость формы.

Расчет дроссельных литниковых систем осуществляется по номограммам [31], пример которых приведен на рис. 3.41 и 3.42. Эти систе-

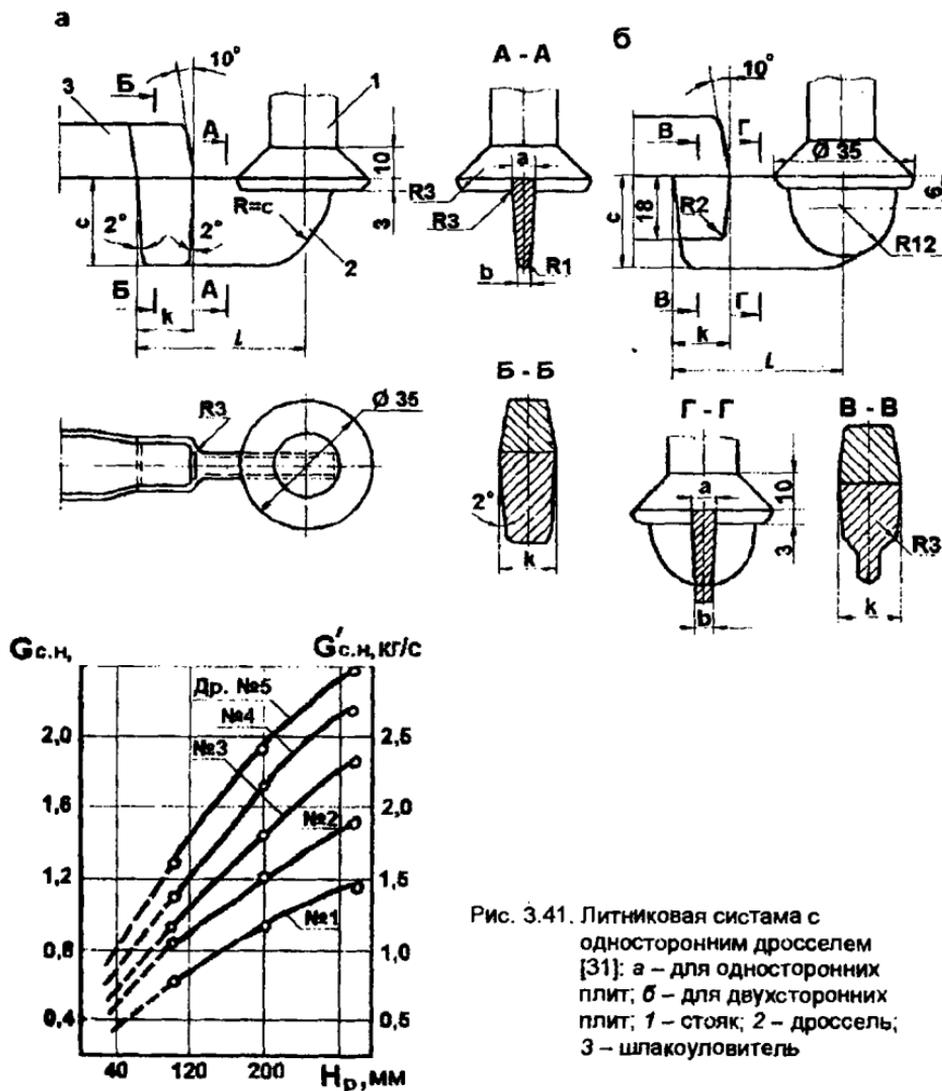
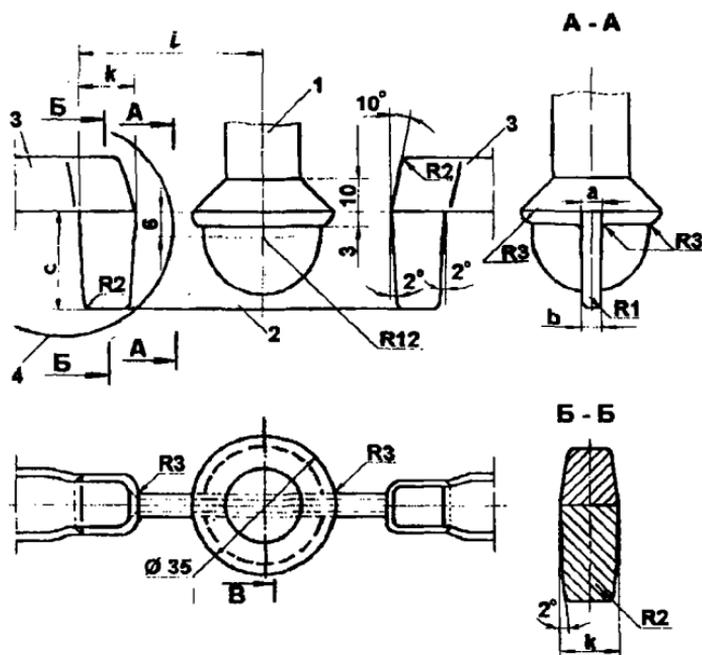


Рис. 3.41. Литниковая система с односторонним дросселем [31]: а – для односторонних плит; б – для двухсторонних плит; 1 – стояк; 2 – дроссель; 3 – шлакоуловитель

Таблица 3.19

Размеры дросселей (к рис. 3.41)

Номер дросселя	$F_{др}$, см ²	$a^{10,2}$, мм	$b^{10,2}$, мм	$c^{10,2}$, мм	i , мм	k , мм
1	1,0	4,5	3,6	24,6	45	15
2	1,5	5,5	4,5	30,0	45	15
3	1,5	7,0	5,2	22,8	48	18
4	2,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	2,5	9,0	8,0	29,4	53	23



4. Для двусторонних плит

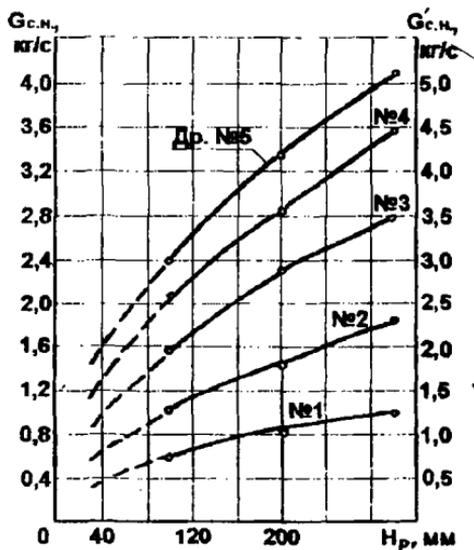
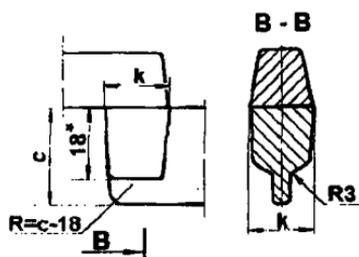


Рис. 3.42. Литниковая система с двусторонним дросселем для односторонних и двусторонних плит [31]: 1 – стояк; 2 – дроссель; 3 – шлакоуловитель; 4 – вариант для двусторонних плит

мы можно рекомендовать для небольших чугунных отливок ответственного назначения при машинном изготовлении литейных форм.

Таблица 3.20

Размеры дросселей (к рис. 3.42)

Номер дросселя	$F_{др}$, см ²	$a^{+0,2}$, мм	$b^{+0,2}$, мм	$c^{+0,2}$, мм	i , мм	k , мм
1	1,0	4,5	4,1	11,6	45	15
2	2,0	4,5	3,6	24,6	45	15
3	3,0	5,5	4,5	30,0	48	15
4	4,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	5,0	9,0	8,0	29,4	50	18

3.10.3. Дождевые литниковые системы

Дождевые литниковые системы представляют собой специальный вид верхней литниковой системы, при которой подвод осуществляется сверху. Вид дождевой литниковой системы приведен на рис. 3.43. Система состоит из кольцевого канала 3 с вертикальными «карандашными» отверстиями 4, выполненного в стержне, который установлен в верхней части формы. Для отвода газов предусматриваются щелевые каналы 6.

Дождевая система является разновидностью системы I класса. Узким местом служит нижнее сечение конических вертикальных отверстий, а действующий напор равен высоте уровня расплава над изломом.

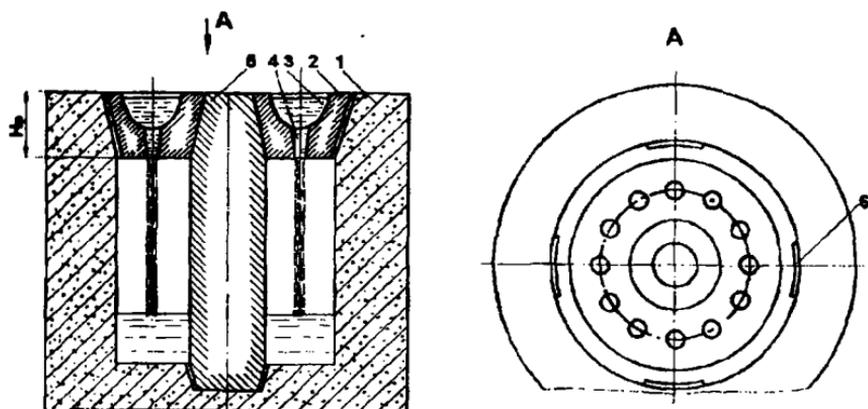


Рис. 3.43. Схема дождевой литниковой системы: 1 — литейная форма; 2 — литниковая воронка (стержень); 3 — кольцевой канал; 4 — питатель; 5 — стержень; 6 — щелевые каналы для отвода газов

стержня. Такие системы широко применяются для изготовления высоких чугунных отливок типа втулок, барабанов, цилиндров, труб и т.п. Они отличаются простотой, обеспечивают спокойное и качественное заполнение форм высотой даже более 1000 мм.

3.10.4. Другие разновидности специальных конструкций литниковых систем

При подводе снизу, когда нельзя подвести сплав сбоку, применяют рожковый литник (рис. 3.44, а). Для исключения характерной для

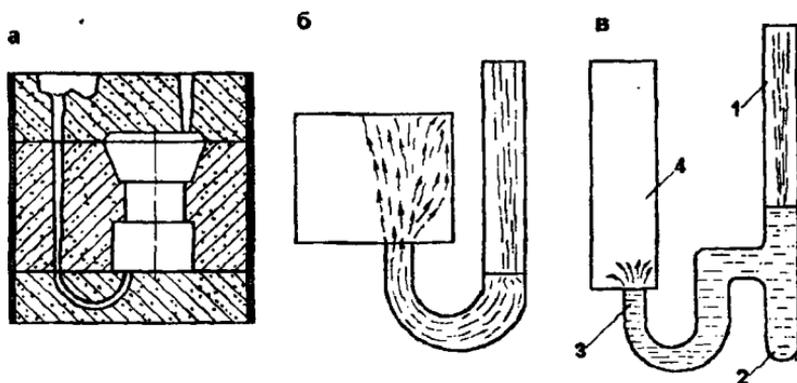


Рис. 3.44. Методы подвода сплавов с помощью рожкового литника [15]:
1 – стояк; 2 – зумпф; 3 – рожковый литник; 4 – полость формы

этой системы фонтанообразной струи в начале заливки формы применяют зумпф внизу стояка (рис. 3.44, б) или шлакоуловитель (рис. 3.44, в).

Для тонкостенных отливок (сковороды, ванны, баки, котлы и т.п.) применяют клиновые литники и щелевидные питатели (рис. 3.45).

3.11. Примеры расчета литниковых систем

Пример 1. Рассчитать литниковую систему для стальной отливки «Ведущее колесо» массой 114,1 кг. Масса прибыли 25,2 кг. Количество отливок в форме – 1 шт. Масса прибыли 25,2 кг. Преобладающая толщина стенок 22 мм. Первоначальный напор $H_0=24$ см; высота верхней точки над уровнем питателя $P=18,6$ см; высота отливки $C=28,6$ см. Заливка производится из поворотного ковша углеродистой сталью следующего химического состава: 0,34–0,40 % C; 0,25–0,50 % Si;

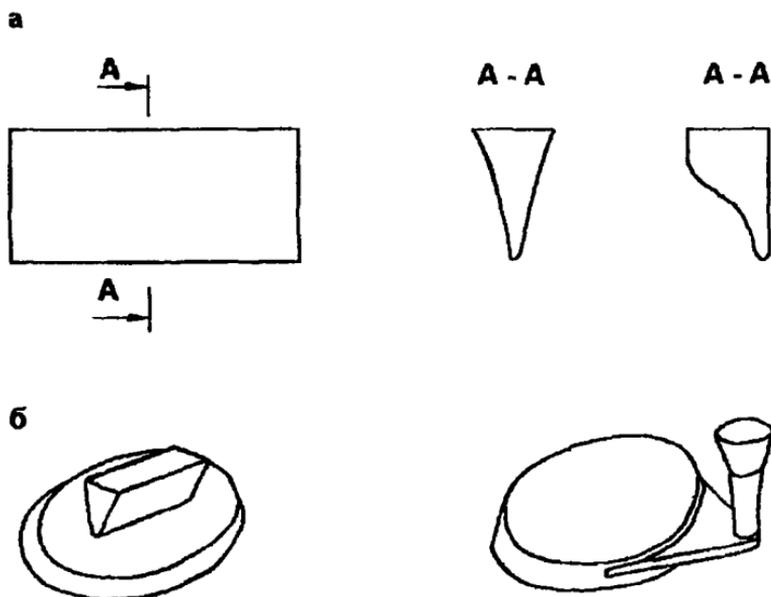


Рис. 3.45. Литниковые системы для тонкостенных отливок:
а – клиновые литники, б – щелевые питатели

0,6–0,9 % Mn; не более 0,06 % P; не более 0,04 % S. Температура заливки 1530 °C.

Приняв массу литников за 6 % от массы отливки с прибылью, получаем $(114,1+25,2)70,06=8,4$ кг. Масса жидкого металла, заливаемого в форму, будет равна $114,1+25,2+8,4=147,7$ кг.

Оптимальное время заливки равно

$$\tau_{\text{опт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{22 \cdot 147,7} = 20,7 \text{ с.}$$

Средняя скорость подъема уровня металла в форме равна $V_{\text{ср}}=286/20,7=13,8$ см/с. Такая скорость для отливок с толщиной стенки более 10 мм вполне допустима.

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C} = 24 - \frac{18,6^2}{2 \cdot 28,6} = 17,95 \text{ см.}$$

Определим суммарную площадь питателей (узкое место):

$$\omega_{\text{лит}} = \frac{147,7}{0,47 \cdot 20,7 \cdot 0,31 \cdot \sqrt{17,95}} = 11,5 \text{ см}^2.$$

Зададимся соотношением элементов литниковой системы

$$\omega_{\text{ст}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{лит}} = 1,4 : 1,2 : 1,$$

тогда $\omega_{\text{шл}} = 11,5 \cdot 1,2 = 13,8 \text{ см}^2$; $\omega_{\text{ст}} = 11,5 \cdot 1,4 = 16,1 \text{ см}^2$. Отсюда диаметр стояка внизу равен 45 мм.

Пример 2. Рассчитать литниковую систему для стальной отливки «Торцевая крышка» массой 13400 кг. Масса прибыли 4000 кг; преобладающая толщина стенок 80 мм. Заливка формы намечается из стопорного ковша емкостью 30 т со средним диаметром $D_k = 1,75 \text{ м}$. Напоры в ковше: $H_1' = 190 \text{ см}$; $H_2' = 25 \text{ см}$; $H_3' = 248 \text{ см}$; $H_3'' = 50 \text{ см}$. Отливка заливается из углеродистой стали 35Л, температура заливки 1520 °С. Из одного ковша заливается одна форма, заливка осуществляется без торможения струи. Высота отливки 1980 мм.

Принимаем массу литников приблизительно равной 3 % от массы отливки с прибылями, т. е. равной 522 кг. Масса жидкого металла, заливаемого в форму, равна 17922 кг.

Оптимальное время заливки равно

$$\tau_{\text{опт}} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{80 \cdot 17922} = 146 \text{ с.}$$

Средняя скорость подъема уровня металла в форме равна $V_{\text{cp}} = 1980/146 = 13,6 \text{ мм/с}$, что для данной отливки вполне допустимо.

$$3,14 \cdot 1,75^2 (1,9 - H_1') / 4 = 17,922 / 6,9; \quad H_1'' = 0,82 \text{ м.}$$

$$\sqrt{H_{\text{cp}}} = \frac{\sqrt{1,9} + \sqrt{0,82}}{2} = 1,145 \text{ м}^{1/2}; \quad H_{\text{cp}} = 1,311 \text{ м.}$$

Принимаем $\beta_p = 1,06$, тогда

$$\frac{17922}{146} = 0,8 \cdot \omega_0 \cdot 1,06 \cdot 6,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 98,1 \cdot 13,11}; \quad \omega_0 = 0,414 \text{ дм}^2.$$

Принимаем два стопорных отверстия диаметром по 50 мм, фактическая площадь которых составляет $\omega_0 = 39,2 \text{ см}^2$.

$$\omega_{\text{шт}} = \frac{39,2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{190}}{0,6 \cdot \sqrt{238}} = 46,7 \text{ см}^2;$$

$$\omega_{\text{шт}} = \frac{39,2 \cdot 0,8 \cdot 1,12 \cdot \sqrt{82}}{0,6 \cdot \sqrt{40}} = 84,1 \text{ см}^2.$$

Здесь $\beta_p = 1,12$; $h_k = H_3' - 10 = 40 \text{ см}$; $h_n = H_3' - 10 = 238 \text{ см}$. Из двух значений выбираем большее, т.е. $84,1 \text{ см}^2$. Тогда

$$\omega_{\text{шл}} = 84,1 \cdot 1,15 = 96,7 \text{ см}^2; \quad \omega_{\text{ст}} = 84,1 \cdot 1,3 = 109,3 \text{ см}^2.$$

Пример 3. Рассчитать общую площадь сечения питателей для стальной отливки массой 1000 кг с преобладающей толщиной стенки 16 мм. Металл подводится по разъему формы на половину высоты отливки; $H_3' = 550 \text{ мм}$; $H_3'' = 380 \text{ мм}$; $C = 340 \text{ мм}$; $P = 170 \text{ мм}$. Диаметр ковша $D_k = 180 \text{ см}$. Диаметр стаканчика $d_{\text{ст}} = 40 \text{ мм}$.

Расчет для заливки без торможения струи

$$\tau_{\text{шт}} = 1,5 \cdot \sqrt[3]{16 \cdot 500} = 30 \text{ с}; \quad V_{\text{ср}} = 340/30 = 11,3 \text{ мм/с}.$$

Такая скорость вполне допустима для данной отливки. Примем, что S_1 может изменяться от 1,4 до 1,6, тогда

$$\tau_{\text{шт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{16 \cdot 500} = 28 \text{ с}; \quad \tau_{\text{шт}} = 1,6 \cdot \sqrt[3]{16 \cdot 500} = 32 \text{ с};$$

$$\frac{1000}{28} = \frac{0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2 \cdot 98,1 \cdot (H_{\text{ср}})_1}}{4}; \quad (H_{\text{ср}})_1 = 130,3 \text{ см}.$$

Такому уровню в ковше отвечает $\beta_p = 1,05$. С учетом этого $(H_{cp})_1 = 130,3 / \beta_p^2 = 118,2$ см. Примем для заливки последней формы $\beta_p = 1,07$.

$$\frac{1000}{32} = \frac{0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 1,07 \cdot \sqrt{2 \cdot 98,1 \cdot (H_{cp})_{\text{посл}}}}{4};$$

$$(H_{cp})_{\text{посл}} = 88,5 \text{ см. } \Delta H_k = \frac{4G}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 1000}{3,14 \cdot 18^2 \cdot 7} = 5,6 \text{ см.}$$

Количество заливаемых форм равно $N = (118,5 - 88,5) / 1,5 = 6$.

Определим начальный и конечный напоры H_1' и H_1'' при $t = 28$ с (наименьшая продолжительность заливки при $H_{cp} = 118,2$ см).

По уравнениям (6), (7), (9) и (10) находим: $H_1' = 121,2$ см;
 $H_1'' = 115,6$ см.

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{3,14 \cdot 4^2 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{121,2}}{4 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{50}} = 35,4 \text{ см}^2,$$

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{3,14 \cdot 4^2 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{115,6}}{4 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{33}} = 42,5 \text{ см}^2.$$

Из двух значений выбираем большее, т.е. $\omega_{\text{пит}} = 42,5 \text{ см}^2$, тогда

$$\omega_{\text{шл}} = 42,5 \cdot 1,15 = 48,9 \text{ см}^2; \omega_{\text{ст.н}} = 42,5 \cdot 1,3 = 55,3 \text{ см}^2.$$

Расчет для заливки с торможением струи

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{1000}{0,47 \cdot 0,3 \cdot 0,31 \cdot \sqrt{45,8}} = 34 \text{ см}^2,$$

$$\omega_{\text{шл}} = 34 \cdot 1,15 = 39,1 \text{ см}^2; \omega_{\text{ст.н}} = 34 \cdot 1,3 = 44,2 \text{ см}^2.$$

$$H_p = 50 - 17^2 / (2 \cdot 34) = 45,8 \text{ см. } (H_1')_{\text{посл}} = 50 \cdot (0,47 \cdot 34 / (0,8 \cdot 1 \cdot 12,6))^2 = 126 \text{ см.}$$

Для такого уровня принимаем $\beta_p = 1,05$, тогда

$$(H_1')_{\text{посл}} = 50 (0,47 \cdot 34 / (0,8 \cdot 1,05 \cdot 12,6))^2 = 111 \text{ см.}$$

$$(H_1'')_{\text{посл}} = 33 (0,47 \cdot 34 / (0,8 \cdot 1 \cdot 12,6))^2 = 83,5 \text{ см.}$$

При таком уровне $\beta_p = 1,09$. Тогда

$$(H_1')_{\text{посл}} = 33 (0,47 \cdot 34 / (0,8 \cdot 1,09 \cdot 12,6))^2 = 70,2 \text{ см.}$$

$$(H_1'')_{\text{посл}} = 70,2 + 5,6 = 75,8 \text{ см.}$$

Из двух значений $H_{\text{посл}}$ выбираем большее; $(H_1')_{\text{посл}} = 111 \text{ см.}$

$$(H_1'')_{\text{посл}} = 1,69 \cdot (H_1')_{\text{посл}} = 1,69 \cdot 111 = 188 \text{ см;}$$

$$(H_1''')_{\text{посл}} = 1,69 \cdot (H_1'')_{\text{посл}} = 1,69 \cdot 70,2 = 118,6 \text{ см.}$$

$$(H_1''')_1 = 118,6 + 5,6 = 124,2 \text{ см.}$$

Из двух значений $(H_1')_1$ выбираем меньшее, т. е. 124,2 см. В этом случае количество заливаемых форм будет равно

$$N = (124,2 - 111) / 5,6 + 1 = 3.$$

Пример 4. Рассчитать литниковую систему для отливки «Корпус», приведенной на рис. 2.11. Исходные данные: сплав – сталь 35Л; черновая масса отливки $G_o = 6,8 \text{ кг}$; преобладающая толщина стенки отливки $\delta = 17 \text{ мм}$; количество отливок в форме – 4 шт.; высота отливки с прибылями $C = 17 \text{ см}$; расстояние от плоскости подвода сплава до верхнего уровня полости формы $P = 11 \text{ см}$; масса прибылей на одну отливку 4,5 кг.

Рассчитаем массу сплава, залитого в форму, приходящуюся на одну отливку $G = (476,8 + 4,5 + 0,0776 \cdot 8) / 4 = 11,5 \text{ кг}$.

Оптимальную продолжительность заливки рассчитаем по формуле (3.1):

$$\tau_{\text{опт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{11,5 \cdot 17} = 8,1 \text{ с.}$$

По формуле (3.4) рассчитаем площадь питателя для одной отливки:

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{11500}{7,2 \cdot 0,42 \cdot 8,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot H_p}},$$

где $H_p = 20 - 121 / 34 = 16,4 \text{ см}$;

$$\omega_{\text{пит}} = 2,61 \text{ см}^2.$$

Площадь литникового хода $\omega_{лх}=1,15$ 2; $\omega_{лит}=6$ см² (каждая вставка литникового хода обслуживает две отливки).

Площадь стояка равна $\omega_{ст}=1,3 \cdot 4 \cdot 2,61=13,6$ см², диаметр стояка внизу $D_{ст}=\sqrt{4 \cdot 13,6/3,14}=4,2$ см.

Схема литниковой системы дана на рис. 2.11. Приведенные примеры описаны в литературе [10].

Контрольные вопросы и задания

1. Из каких элементов состоит типичная литниковая система?
2. Сформулируйте требования, предъявляемые к литниковой системе.
3. Что такое узкое место системы?
4. Какой элемент играет роль узкого места при литье чугуна, стали, легких и тяжелых цветных сплавов?
5. Напишите и проанализируйте формулу для расчета площади узкого места литниковой системы при литье из поворотного ковша.
6. Что такое коэффициент расхода литниковой системы?
7. Как рассчитать оптимальную продолжительность заливки формы?
8. Что такое оптимальная продолжительность заливки?
9. Напишите и проанализируйте формулу Дитерта для определения расчетного напора.
10. Дайте характеристику систем типа I.
11. Дайте характеристику систем типа II.
12. Дайте характеристику систем типа III.
13. Дайте характеристику систем типа IV.
14. Сформулируйте принципы выбора уровня подвода сплава к полости формы.
15. Сформулируйте принципы выбора места подвода сплава к отливке.
16. В чем преимущества и недостатки поворотных ковшей?
17. В чем преимущества и недостатки стопорных ковшей?
18. Опишите последовательность расчета литниковых систем при литье из поворотных ковшей.
19. Поясните методику расчета параметров ковша при стопорной заливке без торможения струи.
20. В чем сущность расчета площади узкого места системы при стопорной заливке без торможения струи?
21. Опишите последовательность расчета литниковой системы при литье из стопорных ковшей с торможением струи.

22. Что такое коэффициент торможения струи? В каких пределах он изменяется?

23. Поясните методику расчета параметров ковша при стопорной заливке с торможением струи.

24. Опишите последовательность расчета литниковой системы при литье из стопорных ковшей с торможением струи.

25. Сформулируйте сущность расчета ступенчатых литниковых систем.

26. Опишите конструкции ступенчатых литниковых систем.

27. В чем состоят особенности литниковых систем для отливок из ковкого чугуна?

28. Охарактеризуйте конструкции:

- чаш и воронок;
- стояков;
- шлакоуловителей;
- питателей.

29. Дайте характеристику следующих специальных конструкций литниковых систем:

- тормозящих систем;
- дроссельных систем;
- дождевых систем.

В чем их достоинства и недостатки? Назовите области применения.

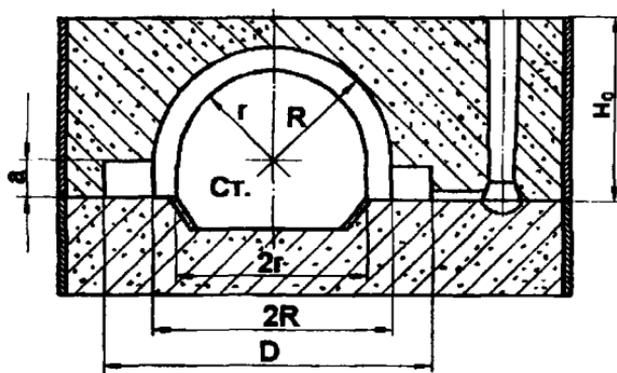


Рис. 3.46. Форма для отливки «Крышка»

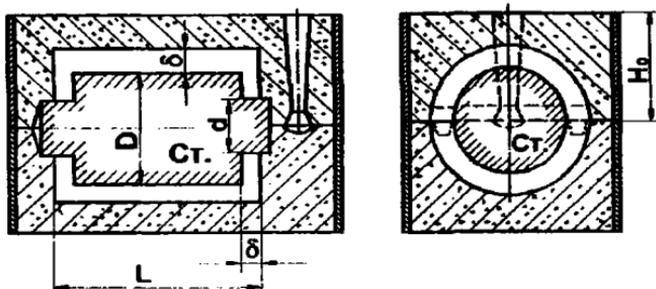


Рис. 3.47. Форма для отливки «Втулка»

30. Для отработки практических навыков расчетов литниковых систем выполните следующее задание.

Для отливок, приведенных на рис. 3.46–3.50 (размеры их даны в табл. 3.22), выполните расчет литниковых систем для условий, приведенных в табл. 3.21.

Массу отливки (см. рис. 3.46) следует определить, вычислив по чертежу ее объем и умножив его на плотность. Температуру заливки следует принять нормальной, форму – песчаной при наличии выпоров и открытых прибылей. Сопротивление формы среднее.

На рис. 3.46–3.50 конструкции литниковых систем показаны условно, поэтому при выполнении задания необходимо выполнить полное конструирование литниковой системы и определить размеры ее элементов.

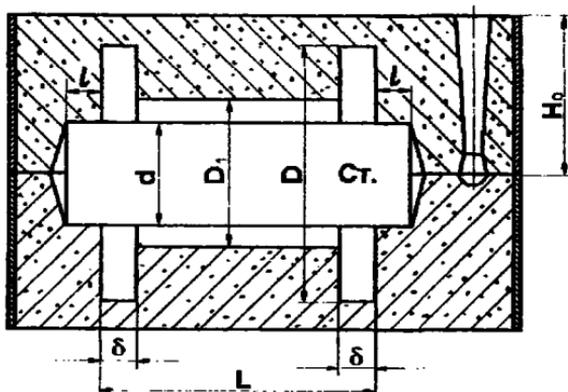


Рис. 3.48. Форма для отливки «Барабан»

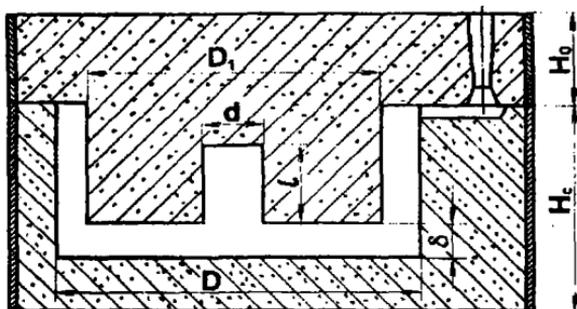


Рис. 3.49. Форма для отливки «Цилиндр»

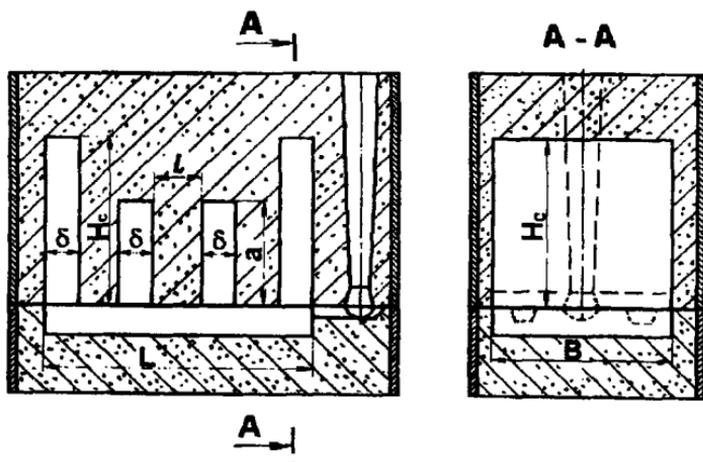


Рис. 3.50. Форма для отливки «Радиатор»

Таблица 3.21

Исходные данные для расчета литниковых систем

Номер варианта	Номер рисунка	Сплав	δ , г/см ³	Способ заливки
1	3.46	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
2		Сталь 35Л	7,0	То же
3		Силумин	2,4	«
4		ЛЦ40С1	8,0	«
5		Сталь 25Л	7,0	Из стопорного ковша без торможения
6		Сталь 30Л	7,0	Из стопорного ковша с торможением
7	3.47	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
8		Сталь 35Л	7,0	То же
9		Силумин	2,4	«
10		ЛЦ40С1	8,0	«
11		Сталь 25Л	7,0	Из стопорного ковша без торможения
12		Сталь 30Л	7,0	Из стопорного ковша с торможением
13	3.48	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
14		Сталь 35Л	7,0	То же
15		Силумин	2,4	«
16		ЛЦ40С1	8,0	«
17		Сталь 25Л	7,0	Из стопорного ковша без торможения
18		Сталь 30Л	7,0	Из стопорного ковша с торможением
19	3.49	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
20		Сталь 35Л	7,0	То же
21		Силумин	2,4	«
22		ЛЦ40С1	8,0	«
23		Сталь 25Л	7,0	Из стопорного ковша без торможения
24		Сталь 30Л	7,0	Из стопорного ковша с торможением
25	3.50	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
26		Сталь 35Л	7,0	То же
27		Силумин	2,4	«
28		ЛЦ40С1	8,0	«
29		Сталь 25Л	7,0	Из стопорного ковша без торможения

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 3.22

Номер варианта	Номер рисунка	Размеры, мм										Мас-са, кг		
		R	r	D	a	H ₀	d	δ	L	D ₁	l		H _c	B
1		300	200	900	100	500	400	-	-	-	-	-	-	1400
2		400	300	1100	100	600	600	-	-	-	-	-	-	1700
3		500	400	1300	200	700	800	-	-	-	-	-	-	2900
4	3.46	600	500	1500	200	800	1000	-	-	-	-	-	-	4000
5		250	150	800	100	450	300	-	-	-	-	-	-	1000
6		350	250	1000	100	550	500	-	-	-	-	-	-	1100
7		-	-	300	-	210	210	15	600	-	-	-	-	320
8		-	-	350	-	230	250	15	700	-	-	-	-	500
9		-	-	400	-	270	280	20	800	-	-	-	-	640
10	3.47	-	-	450	-	300	290	20	900	-	-	-	-	860
11		-	-	500	-	330	340	30	1000	-	-	-	-	1180
12		-	-	250	-	190	-	15	500	-	-	-	-	240
13		-	-	600	-	400	520	40	1000	500	60	-	-	580
14		-	-	550	-	375	480	35	900	450	60	-	-	480
15		-	-	500	-	350	440	30	800	400	60	-	-	360
16	3.48	-	-	450	-	300	400	25	700	350	60	-	-	300
17		-	-	400	-	260	360	20	650	300	60	-	-	190
18		-	-	350	-	230	320	15	600	250	60	-	-	120
19		-	-	500	-	300	100	40	-	420	200	600	-	260
20		-	-	450	-	300	80	35	-	330	200	500	-	210
21		-	-	400	-	300	60	30	-	340	200	450	-	180
22	3.49	-	-	350	-	250	50	25	-	300	150	400	-	150
23		-	-	300	-	200	40	20	-	260	150	350	-	100
24		-	-	250	-	200	30	15	-	220	100	300	-	80
25		-	-	-	150	380	-	50	600	-	200	300	400	240
26		-	-	-	150	380	-	40	550	-	130	350	350	200
27	3.50	-	-	-	150	380	-	40	500	-	140	300	300	160
28		-	-	-	100	280	-	40	450	-	110	250	250	130
29		-	-	-	100	280	-	30	400	-	100	200	200	96

Из теории литейных процессов известно, что объемные изменения, происходящие при затвердевании сплава, могут привести к образованию объемных усадочных дефектов в отливках. Для того, чтобы исключить их возникновение, необходимо обеспечить компенсацию объемной усадки во всех участках отливки путем беспрепятственной доставки к ним необходимых объемов жидкого сплава из прибыли. Процесс компенсации объемной усадки называется *питанием отливки*.

Для осуществления эффективного питания отливки необходимо обеспечить направленное к прибыли затвердевание отливки. При этом должны выполняться два условия:

- по мере приближения к прибыли продолжительность затвердевания сечений отливки должна монотонно увеличиваться;
- сплав в прибыли должен затвердевать последним.

В тех элементах отливки, где нарушается направленность затвердевания, возникают усадочные дефекты.

4.1. Обеспечение направленного затвердевания отливки

4.1.1. Анализ конфигурации отливки. Определение узлов питания

При организации питания отливки технолог прежде всего должен проанализировать конфигурацию отливки с точки зрения направленности затвердевания. Очевидно, что при одинаковых теплофизических условиях направленность затвердевания отливки обеспечивается, если толщина стенки отливки по направлению к прибыли монотонно увеличивается. Участки, где имеются сужения сечения отливки, нарушают направленность ее затвердевания. За такими сужениями будут находиться зоны отливки, которые не могут быть пропитаны из прибыли. Если не организовать питание из прибылей, установленных для этих зон, то в них образуются усадочные дефекты.

В технологической практике при анализе конфигурации отливки широко применяют метод вписанных окружностей или шаров. Сущность метода сводится к следующему. В наиболее массивные части отливки вписывают окружности или шары. Если эти окружности (или шары) можно беспрепятственно выкатить через стенки отливки в прибыль, то направленность затвердевания будет обеспечена и прибыль позволит осуществить питание отливки. Применение данного метода наглядно иллюстрируется схемами на рис. 4.1. Окружности, вписанные в участки

1 (рис. 4.1, а, б, в), нельзя выкатить в прибыль. Поэтому если не принять необходимых мер, в этих участках отливки образуются усадочные дефекты. Для их питания можно, например, установить дополнительные прибыли 3. На рис. 4.1, г показана отливка, удовлетворяющая принципу направленного затвердевания, так как окружности, вписанные во все элементы отливки, можно беспрепятственно выкатить в прибыль.

Для обеспечения эффективного питания отливки необходимо, чтобы все изолированные друг от друга массивные части получали питание из прибыли. Изолированными частями отливки называются те части, из которых нельзя выкатить вписанные в них окружности через соседние элементы в другие массивные части. На практике эти изолированные узлы отливки называются *узлами питания*. Очевидно, что число устанавливаемых прибылей должно быть равно числу питаемых узлов.

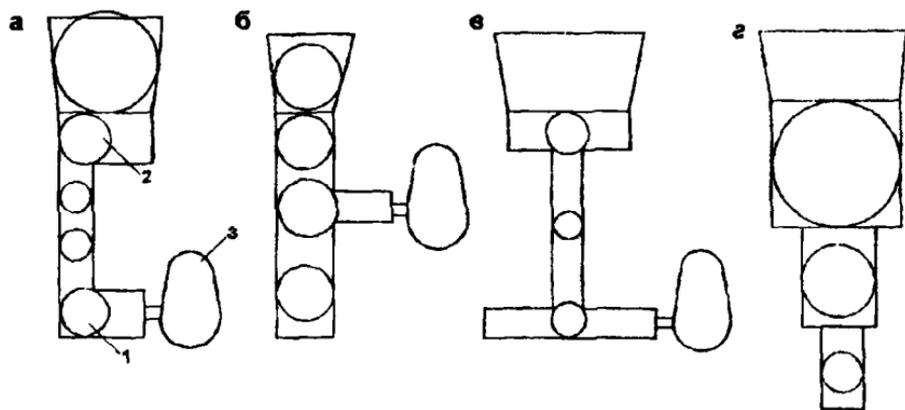


Рис. 4.1. Применение метода вписанных окружностей или шаров

На рис. 4.2 показаны примеры определения числа узлов питания для некоторых отливок. В отливке «Колесо» (рис. 4.2, а) можно выделить два изолированных массивных узла. Действительно, окружность, вписанную в узел 1, нельзя выкатить через тонкий диск в узел 2 и в прибыль, расположенную над ним. Аналогично, в узел 1 нельзя выкатить окружность, вписанную в узел 2. Поэтому у данной отливки будет два питаемых узла: узел, включающий в себя ступицу и часть диска, и узел, включающий в себя обод и часть диска. Над каждым из этих узлов необходимо установить прибыль.

В отливке «Корпус» (рис. 4.2, б) тоже два питаемых узла, включающих в себя массивные узлы 1 и 2. Массивный узел 3 не является изолированным от узла 2 так как вписанную в него окружность можно

выкатить через тело отливки в узел 2 и в прибыль над ним (разрез А-А на рис. 4.2, б). Поэтому узел 3 будет пропитан из прибыли над узлом 2.

На рис. 4.2, в показана отливка «Цилиндр», представляющая собой единый питаемый узел, так как окружность, вписанную в любом месте сечения тела отливки, можно выкатить в массивный узел 1 и в прибыль.

Как видно на рис. 4.2, а, окружность 2 нельзя выкатить через тело отливки в прибыль. Поэтому можно сделать вывод, что принцип направленного затвердевания в ступице не выполняется, и прибыль не обеспечит питание узла 2. Для обеспечения направленного затвердевания отливок применяются различные мероприятия.

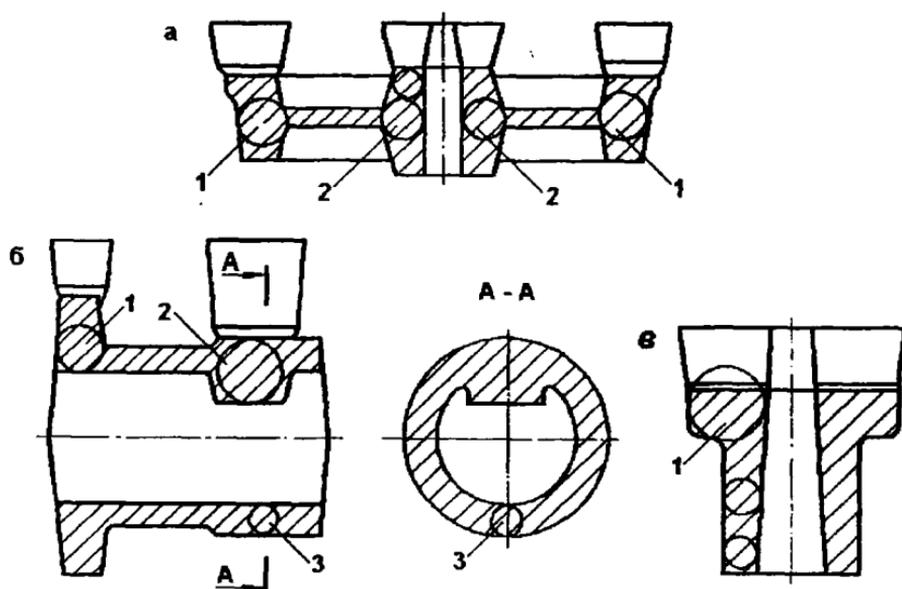


Рис. 4.2. Примеры определения узлов питания для отливок:
а – «Колесо»; б – «Корпус»; в – «Цилиндр»

4.1.2. Построение технологических напусков

Для обеспечения направленности затвердевания в случаях, аналогичных организации питания ступицы колеса (см. рис. 4.2, а), часто применяют технологические напуски. На рис. 4.3 показано сочленение ступицы колеса с диском. На рис. 4.3, а видно, что направленность затвердевания здесь нарушена. Принцип построения технологического

напуска показан на рис. 4.3, б. В тепловой узел вписывают окружность. Затем через точку касания A проводят диаметр AB и из точки A вычерчивают дугу окружности радиусом AB до ее пересечения с горизонтальным диаметром в точке C . Если через точку C провести прямую, параллельную прямой AD , то окружность можно будет выкатить в прибыль через сечение $DABCE$. Так как полученный профиль стенки отливки $DAFMBCSE$ усложняет конфигурацию стержня, выполняющего отверстие в отливке, строят упрощенный профиль напуска, проводя прямую, соединяющую точку E с точкой M .

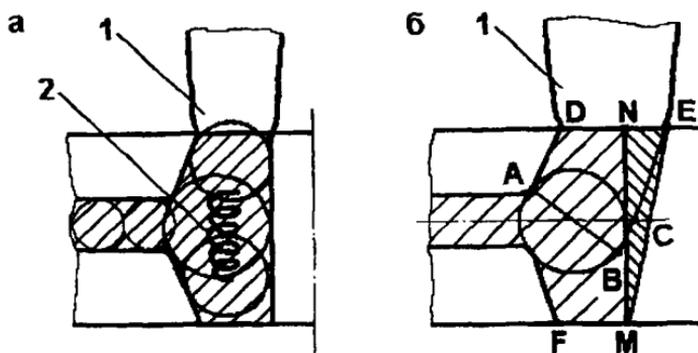


Рис. 4.3. Схемы: а – применения метода вписанных окружностей; б – построения технологического напуска; 1 – прибыль, 2 – холодильник

Другие примеры построения технологических напусков показаны на рис. 4.4. Пример построения технологических напусков для устранения термических узлов сложной отливки приведен на рис. 4.5.

Как видно на рис. 4.5, с помощью технологических напусков не устраняются термические узлы в зонах B и A . Для питания узла B установлена боковая прибыль I , а для устранения термических узлов A применены наружные холодильники X (п. 4.1.4).

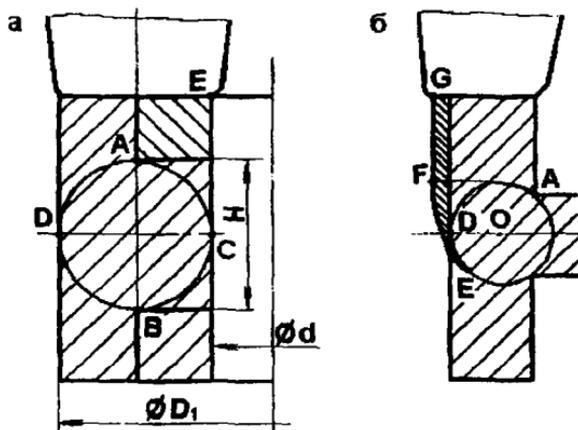


Рис. 4.4. Примеры построения технологических напусков

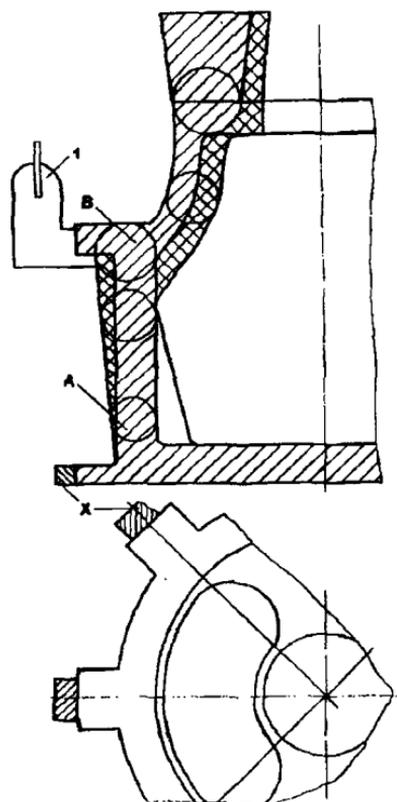


Рис. 4.5. Устранение термических узлов сложной отливки

4.1.3. Расчет и конструирование внутренних и наружных холодильников

Очевидно, что применение технологических напусков не только увеличивает расход металла на отливку, но и требует дополнительной механической обработки отливки по их удалению. Поэтому часто для обеспечения направленного затвердевания и устранения термических узлов применяют внутренние и наружные холодильники.

Внутренний холодильник представляет собой тело из сплава, близкого по своим свойствам с материалом отливки, которое устанавливают в полость формы, оформляющую массивный узел. Установка холодильника за счет отвода тепла на его нагрев, а также частичного или полного его расплавления, ускоряет затвердевание массивного узла отливки. При правильном выборе массы и размеров холодильника можно обеспечить монотонное увеличение продолжительности затвердевания сечений отливки по направлению к прибыли. На рис. 4.6 приведена схема отливки, содержащей массивный узел, отделенный от прибыли тонкой стенкой (на рис. 4.6 h_v , h_m , h_n – высота верхней, нижней и массив-

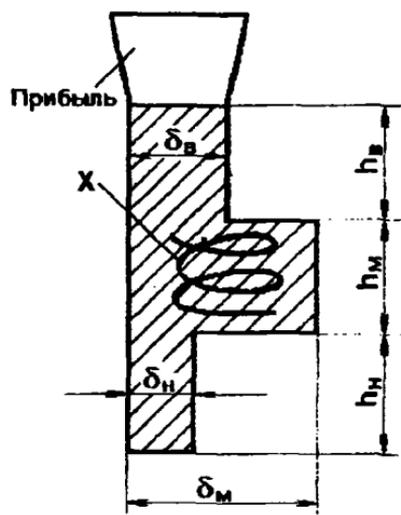


Рис. 4.6. Схема установки внутреннего холодильника X в массивном узле отливки

ной частей отливки. δ_v , δ_n , δ_m – толщина верхней, нижней и массивной частей отливки). Очевидно, что из-за отсутствия холодильника продолжительность затвердевания массивного узла τ_m больше продолжительности затвердевания расположенной сверху стенки τ_v , т. е. направленность затвердевания нарушена. Для ее обеспечения необходимо за

счет установки холодильника X уменьшить величину τ_m так, чтобы выполнялось условие $\tau_n < \tau_m < \tau_v$ (где τ_n — продолжительность затвердевания нижней части стенки).

В основу расчета массы холодильника m_x положим следующее уравнение теплового баланса:

$$Q_{охл} + C_x \cdot m_x (T_k - T_0) = C(M - m_x)(T_{зал} - T_n) + L(M - m_x), \quad (4.1)$$

где $Q_{охл}$ — тепло, отведенное от теплового узла в форму за время затвердевания массивного узла;

C_x — удельная теплоемкость материала холодильника;

C — удельная теплоемкость жидкого сплава;

$T_{зал}$ — температура заливки;

T_n — температура ликвидуса сплава;

T_k — конечная температура холодильника;

L — удельная теплота кристаллизации сплава;

M — масса теплового узла отливки;

T_0 — начальная температура холодильника.

Расплавление холодильника в ходе затвердевания отливки нежелательно, так как при его последующем затвердевании в зоне установки холодильника могут возникать усадочные дефекты. Поэтому примем, что $T_k = T_c$, где T_c — температура солидуса материала холодильника. В первом приближении количество тепла, отводимого в форму, можно рассчитать по формуле

$$Q_{охл} = 2b_\phi (T_n - T_0) \cdot S \cdot \sqrt{t_m / \pi},$$

где S — площадь поверхности охлаждения термического узла;

b_ϕ — коэффициент аккумуляции тепла формой.

С учетом этого с помощью выражения (4.1) находим время затвердевания термического узла:

$$\sqrt{t_m} = \sqrt{\pi} \cdot M \frac{C(T_{зал} - T_n) + L - [C_x(T_c - T_0) + C(T_{зал} - T_n) + L]}{2b_\phi (T_n - T_c) \cdot S}. \quad (4.2)$$

Для выполнения условия $\tau_n < \tau_m < \tau_v$, или $\sqrt{\tau_n} < \sqrt{\tau_m} < \sqrt{\tau_v}$, необходимо выполнение условия

$$A < \frac{m_x}{M} < B, \quad (4.3)$$

$$\text{где } A = \frac{1 - R_g / R_m}{\frac{C_x(T_c - T_l)}{C(T_{зал} - T_l)} + 1}, \quad B = \frac{1 - R_n / R_m}{\frac{C_x(T_c - T_0)}{C(T_{зал} - T_l)} + 1},$$

$R_m = V_m / S$, $R_g = V_g / S_g$, $R_n = V_n / S_n$ – приведенные толщины стенок термического узла отливки, ее верхней и нижней частей;

V_m , V_g и V_n – объемы термического узла отливки, ее верхней и нижней частей;

S_g и S_n – площади поверхностей охлаждения верхней и нижней стенок отливки.

При выводе неравенства (4.3) принято, что значения времени затвердевания элементов отливки равны:

$$t_m = (R_m / K_3)^2; \quad t_g = (R_g / K_3)^2 \quad \text{и} \quad t_n = (R_n / K_3)^2,$$

где K_3 – константа затвердевания,

$$K_3 = 2 \frac{b_\phi (T_l - T_0)}{\sqrt{\pi} \cdot ((T_{зал} - T_l) \cdot C + L) \cdot \rho};$$

ρ – плотность сплава.

Очевидно, что если принцип направленности затвердевания в конструкции отливки выполнен, т.е. $R_n < R_m < R_g$, то $A < 0$ и неравенство (4.3) будет выполнено при отсутствии холодильника ($m_x = 0$).

Следует заметить, что с помощью внутреннего холодильника можно обеспечить направленное затвердевание отливки, если $R_g > R_n$. В противном случае ни при каких значениях m_x неравенство (4.3) выполнить не удастся. Добиться выполнения $R_g > R_n$ можно, перевернув отливку при заливке или применив для оформления нижней стенки отливки смесь с большим значением b_ϕ . Если тепловой узел расположен в нижнем сечении отливки, т.е. нижняя стенка отсутствует, то $m_x / M = A$.

Уравнение (4.1) справедливо, если к моменту затвердевания между сплавом и холодильником устанавливается тепловое равновесие при температуре, равной T_c . Если холодильник массивный и его относительная масса m_x / M велика, то после затвердевания сплава прогрев хо-

лодильника будет продолжаться. Это приведет к возникновению трещин и к несвариваемости холодильника с матеиналом отливки.

Если же величина m_d/M мала или толщина холодильника невелика, то он расплавится, что может привести к образованию пористости и усадочных раковин. Поэтому при конструировании внутренних холодильников нужно соблюдать следующие условия:

- относительная масса холодильников при стальном литье не должна превышать 0,04–0,07. Если при такой массе холодильников не удастся обеспечить направленное затвердевание, то необходимо применить другие методы;
- для предотвращения несвариваемости холодильники должны находиться от поверхности формы на расстоянии, равном 4–5 их диаметрам;
- для улучшения свариваемости необходимо применять холодильники из стали, имеющей такую же температуру плавления, что и заливаемый металл. На практике чаще всего применяют холодильники из углеродистых сталей с содержанием углерода до 0,25 % (стали Ст.2 и Ст.3);
- холодильники должны пройти дробеструйную обработку и не иметь следов оксидов на поверхности;
- максимальный диаметр или сторона квадрата холодильника не должны превышать 0,25 толщины стенки отливки;
- холодильники должны устанавливаться в форму после сушки во избежание их окисления;
- сырые формы с внутренними холодильниками необходимо заливать не позднее 8–10 ч после сборки.

На практике применяют холодильники в виде скоб, костьюей, решеток, ежей и спиралей, схемы установки которых в формах приведены на рис. 4.7, где цифрой 1 обозначены холодильники, 2 – тепловые узлы, 3 – жеребейки. Основные размеры и общий вид холодильников (ежей, решеток и спиралей) показаны на рис. 4.8. Холодильники в виде ежей и сварных решеток применяются в стенках отливок, примыкающих к термическому узлу, толщина которых превышает 80 мм.

Отливки с равномерным сечением тела значительной протяженности охлаждаются внутренними холодильниками: костьюями или скобами. Параметры холодильников различных типов приведены в табл. 4.1–4.3. Диаметр холодильников типа костьюей и скоб принимается равным $0,2 D_s$, где D_s – диаметр вписанной в термический узел окружности. Скобы, костьюя и спирали укрепляются в стенках формы (зостренные концы забиваются в форму). Холодильники в виде многоярусных решеток устанавливаются в форму на жеребейках на расстоянии не ближе трех диаметров прутков от поверхности формы (рис. 4.7, в). Хо-

лодильники – ежи устанавливаются в форму так, чтобы с ее стенкой они соприкасались только торцевой частью прутков.

Внутренние холодильники нецелесообразно применять при изготовлении отливок из хромоникелевых, хромомолибденовых сталей, а также при изготовлении отливок ответственного назначения. Они не применяются при изготовлении отливок из легкоокисляющихся сплавов, например из алюминиевых и магниевых.

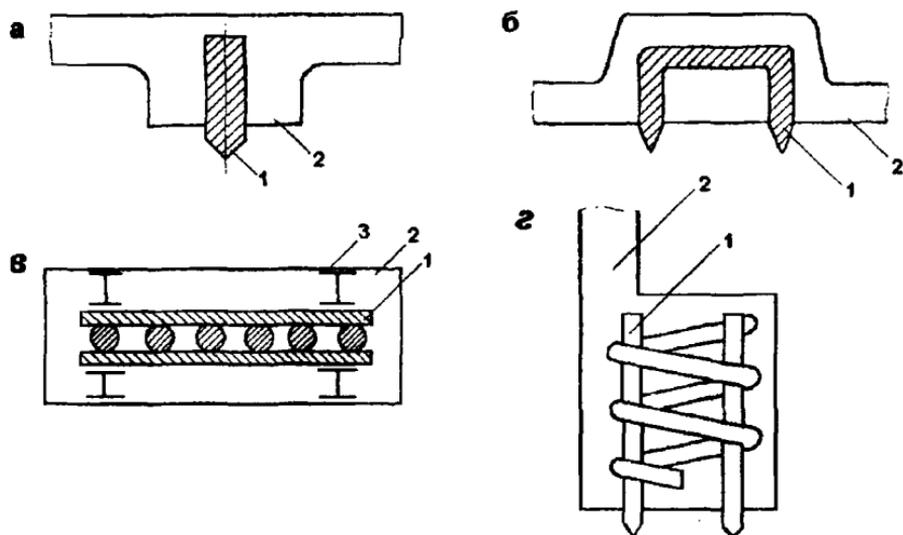


Рис. 4.7. Схема установки холодильников в тепловых узлах отливок: а – в виде костылей; б – скоб; в – решеток; г – спиралей

Элемент формы, применяемый для ускорения затвердевания тепловых узлов отливки, выполненный из материала с большим коэффициентом аккумуляции тепла, чем у основного, называется *наружным холодильником*. Схемы расположения наружных холодильников в термических узлах отливки показаны на рис. 4.9.

Холодильники выполняют из чугуна или медных сплавов. Захлаживающий эффект холодильника зависит от его массы, коэффициента аккумуляции тепла. Толщина или диаметр холодильника зависят от толщины или диаметра захлаживающего узла отливки.

Таблица 4.1

Размеры и масса холодильников типа ежей [32]

Длина l , мм	Ширина b , мм	Диаметр d , мм	Масса 1 шт., кг
80	30	6,5	0,1
100	40	10	0,31
100	40	12	0,45
150	50	16	1,17
200	80	18	2,0
250	100	28	6,0

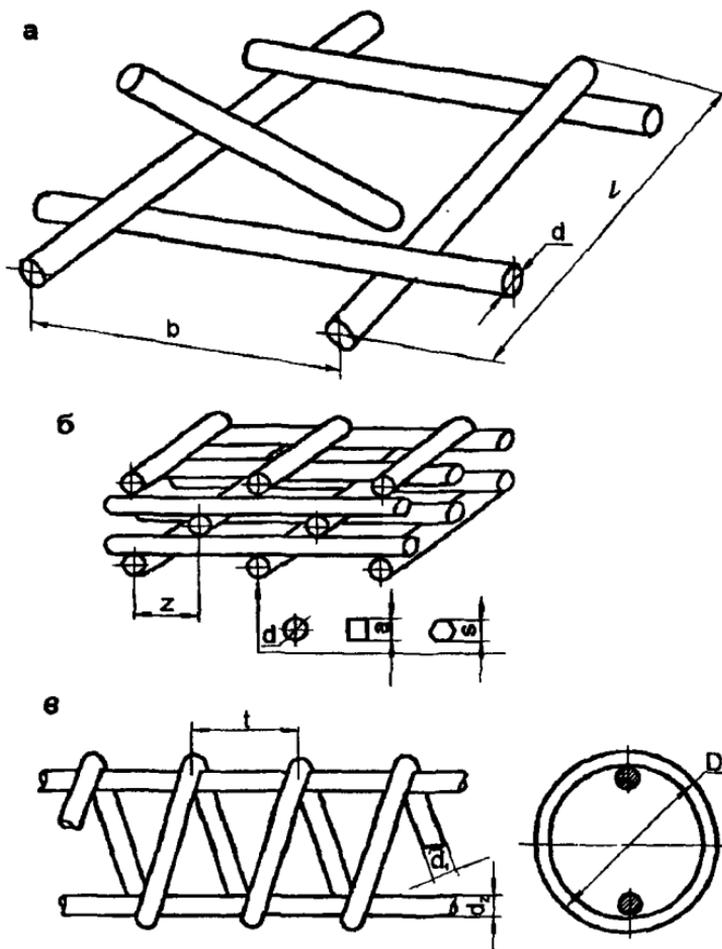
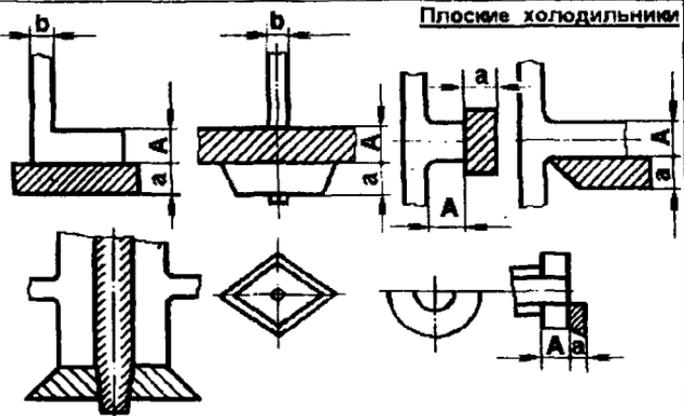
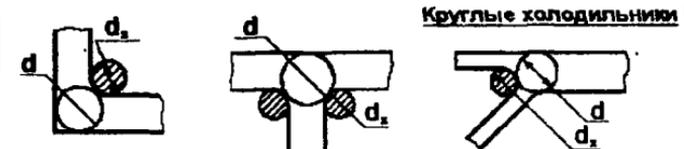
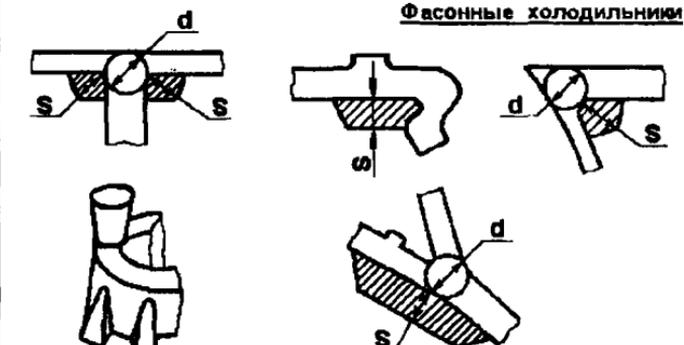


Рис. 4.8. Размеры и форма внутренних холодильников:
 а – ежей; б – сварных; в – спиральных

Конфигурация и расположение холодильников	Материал холодильников
<p style="text-align: center;">Плоские холодильники</p> 	<p>Сталь (прокат), чугун, медь (прокат), бронза, графит</p>
<p style="text-align: center;">Круглые холодильники</p> 	<p>Сталь (прокат)</p>
<p style="text-align: center;">Фасонные холодильники</p> 	<p>Чугун, бронза, графит</p>

Размеры наружных холодильников, мм

Толщина A или диаметр d захватываемого узла	Материал холодильников					
	Чугун (сталь)			Бронза (медь)		
	a	d_x	S	a	d_x	S
15-30	(0,7-1,20)A	9-25	(0,8-1,00)d	(0,8-1,00)A	9-20	(0,8-1,00)d
30-50	(0,7-1,25)A	25-40	(0,8-1,25)d	(0,8-1,25)A	20-30	(0,8-1,25)d
50-70	(0,9-1,25)A	40-60	(0,9-1,25)d	(0,9-1,25)A	30-50	(1,0-1,25)d

Рис. 4.9. Схемы применения плоских, круглых и фасонных наружных холодильников и их размеры

Наиболее благоприятной формой плоского холодильника является трапеция. При этом, чем ближе к краям, тем больше снижается его захлаживающее действие. Таким образом, не вызываются резкие перепады температуры в отливке в местах сопряжения краев холодильника с песчаной формой. Толщину плоских холодильников для стальных отливок можно определить по табл. 4.4. Она зависит от толщины основной стенки отливки b и высоты утолщения стенки в термическом узле ($A-b$) (см. рис. 4.9).

Толщину плоских и фасонных, а также диаметр круглых холодильников для цветных сплавов можно определять по соотношениям

$$a = (0,6-1,25)b_y; b_x = (0,6-1,25)D_y; d_x = (0,6-1,25)D_y,$$

где b_y и d_y — толщина и диаметр захлаживаемого узла отливки.

Таблица 4.2

Размеры и масса сварных холодильников различной формы сечения [32]

d , мм	a , мм	s , мм	z , мм при			M_{np} , кг		
			d	a	s	d	a	s
8-10	12	17	40-50	70-80	80-90	0,37-0,6	1,13	1,96
12-14	16	19	60-70	90-100	90-100	0,98-1,35	2,01	2,45
16-18	20	24	80-90	120-130	120-130	1,39-1,90	3,14	3,92
20-22	30	30	100-110	180-190	150-160	2,44-3,12	7,06	6,12
24-25	—	36	120-125	—	180-190	3,5-3,8	—	8,81
28-30	—	—	140-150	—	—	4,64-5,49	—	—
32	—	—	160	—	—	6,48	—	—
36	—	—	180	—	—	7,53	—	—

Таблица 4.3

Размеры и масса спиральных холодильников [32]

D , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	t , мм	Масса погонного метра спирали $M_{сп}$ в кг при шаге t , мм					M_{np} , кг
				10	15	20	25	30	
24	2	—	10-15	0,181	0,121	—	—	—	—
26	3	—	10-15	0,45	0,159	—	—	—	—
36	3	—	15-20	—	0,407	0,305	—	—	—
38	4	—	15-20	—	0,796	0,580	—	—	—
48	4	6	20-25	—	—	0,732	0,586	—	0,22
50	5	6	20-25	—	—	1,193	0,955	—	0,22
52	6	8	20-25	—	—	1,800	1,440	—	0,39
60	5	8	25-30	—	—	—	1,150	0,960	0,39
62	6	10	25-30	—	—	—	1,730	1,426	0,60
70	5	10	25-30	—	—	—	1,338	1,114	0,60

Примечание. M_{np} — масса погонного метра прутка.

Таблица 4.4

Выбор толщины плоских холодильников для стальных отливок

Толщина основной стенки b , мм	Высота утолщения в % от толщины основной стенки		
	25	37,5	50
Толщина холодильника, мм			
10	3	8	15
20	5	15	30
30	8	23	45
40	10	30	60
50	13	38	75

Перед установкой наружных холодильников в форму их подвергают дробеструйной очистке и покрывают кокильной краской.

Для обеспечения направленного затвердевания отливок применяют захлаживающие (для массивных узлов) и теплоизолирующие (для тонкостенных элементов) смеси. Для захлаживания применяют смеси, содержащие чугунную стружку или дробь, магнетитовые и хромомангнетитовые облицовки. В качестве теплоизолирующих смесей применяют смеси с древесными опилками, асбестовой или шамотной крошкой.

4.2. Виды прибылей. Определение количества прибылей

Для обеспечения питания каждого термического узла отливки необходимо предусмотреть прибыль. При этом отливку разбивают на питаемые узлы, к каждому из которых относится соответствующий термический узел и примыкающие к нему участки отливки.

4.2.1. Классификация прибылей

Применяемые на практике прибыли различают по следующим классификационным признакам:

- по направлению движения расплава при питании отливки из прибыли;
- конфигурации прибыли;
- тепловым условиям затвердевания сплава в прибыли;
- величине давления на сплав в прибыли в процессе питания отливки.

Прибыль, верхняя поверхность которой сообщается с атмосферой и выходит на верхнюю поверхность формы, называется *открытой* (рис. 4.10).

В закрытой прибыли вся ее поверхность, кроме участка контакта с питасмым узлом, выполняется формой (рис. 4.11).

По конфигурации прибыли подразделяются на шаровые, полушаровые, конические круглого сечения, конические овального сечения, с

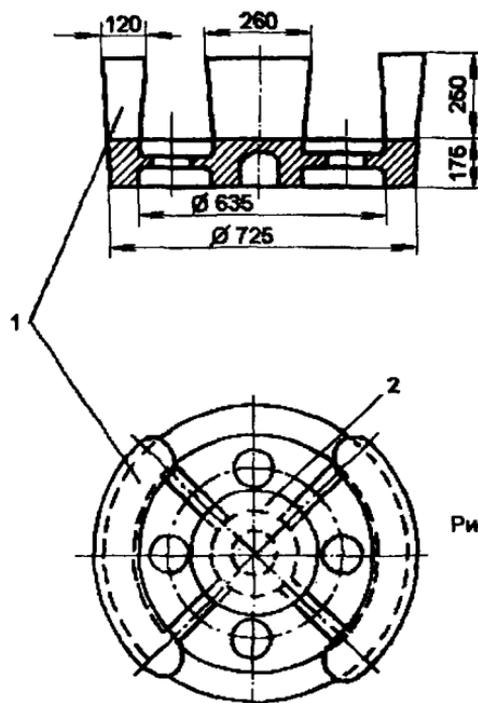


Рис. 4.10. Установка прибылей на отливке «Зубчатое колесо»: 1 – секторная открытая прибыль на ободе; 2 – центральная открытая прибыль на ступице

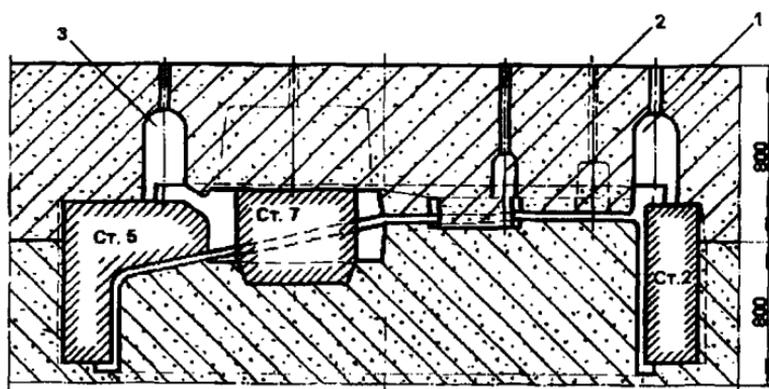


Рис. 4.11. Установка закрытых прибылей на отливке «Корпус редуктора»: 1, 2, 3 – прибыли

формой сечения, приближающейся к горизонтальному сечению узла питания, и призматические прямоугольного сечения. Конфигурации указанных типов прибылей приведены на рис. 4.12.

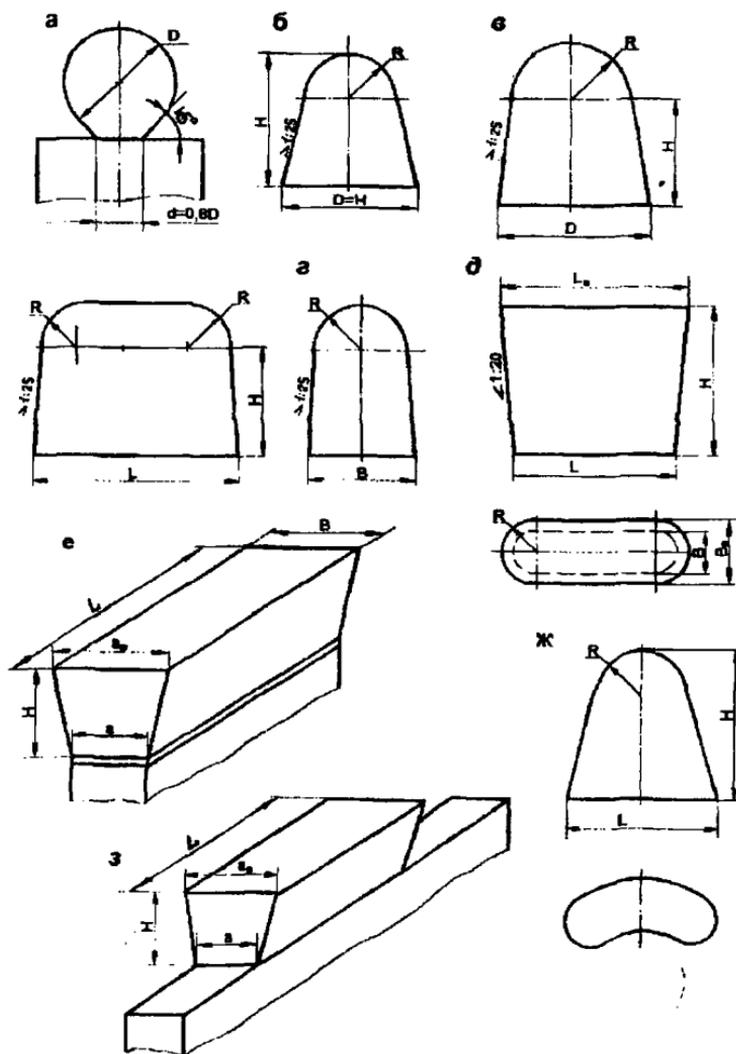


Рис. 4.12. Конструктивные типы прибылей: а – шаровая; б – полушаровая; в – коническая закрытая; г – овальная закрытая; д – открытая коническая; е – призматическая открытая прибыль прямого действия; ж – закрытая прибыль с формой сечения, близкой к горизонтальному сечению узла питания; з – местная призматическая закрытая

По направлению движения расплава при питании отливки из прибыли различают прямые, местные и боковые прибыли.

При питании из прибыли прямого действия (рис. 4.12, з) сплав, компенсирующий усадку, подается в отливку по кратчайшему пути, что повышает эффективность работы прибыли. Недостатком прямых прибылей, если они устанавливаются, например, по всему периметру кольцевой отливки, является большой расход металла из прибыли. С целью экономии металла можно устанавливать вместо одной сплошной прибыли несколько местных прибылей (см. рис. 4.10). При применении местных прибылей прямое питание получают только части отливки, находящиеся непосредственно под прибылями. Части, находящиеся между прибылями, получают уже боковое питание. При этом различного рода включения не могут всплыть в прибыль. Поэтому на верхней поверхности отливки необходимо предусматривать повышенные припуски на механическую обработку. Местные прибыли обеспечивают питание примыкающих к ним участков отливки на определенную длину, называемую зоной действия прибыли (п. 4.2.2).

Для протяженных отливок с большим отношением длины к толщине или ширине целесообразно применять боковые прибыли (рис. 4.13). Такие прибыли применяют также при изготовлении отливок из сплавов, плохо обрабатываемых резанием (сталь 110Г13Л, ковкий чугун и т.п.).

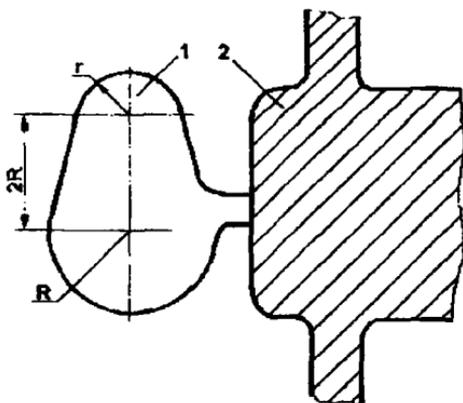


Рис. 4.13. Схема боковой прибыли: 1 — прибыль; 2 — отливка

Для уменьшения охлаждения расплава в прибыли и повышения ее экономичности применяют прибыли с теплоизоляцией и подогревом сплава в прибыли с помощью экзотермических вставок (экзотермические прибыли), электрической дуги и т.п.

Для повышения эффективности работы прибыли с точки зрения обеспечения фильтрационного и суспензионного питания, что особенно важно для устранения пористости отливок, применяют повышенное газовое давление в прибылях. Следует отметить, что открытые прибыли в указанном смысле более эффективны, так как расплав в них находится под атмосферным давлением.

4.2.2. Определение протяженности зон действия прибылей

Прибыли эффективно питают только примыкающие к ним части отливки. Поэтому при применении местных прибылей нужно установить протяженность зоны, эффективно питаемой прибылью. Такая зона называется *зоной действия прибыли*. Она зависит от толщины стенки отливки. Около торцов отливки из-за охлаждающего торцевого эффекта зона действия прибыли увеличивается. Очевидно, что расстояние между соседними установленными на отливке прибылями должно быть не более суммы протяженностей зон действия прибылей. Если между прибы-

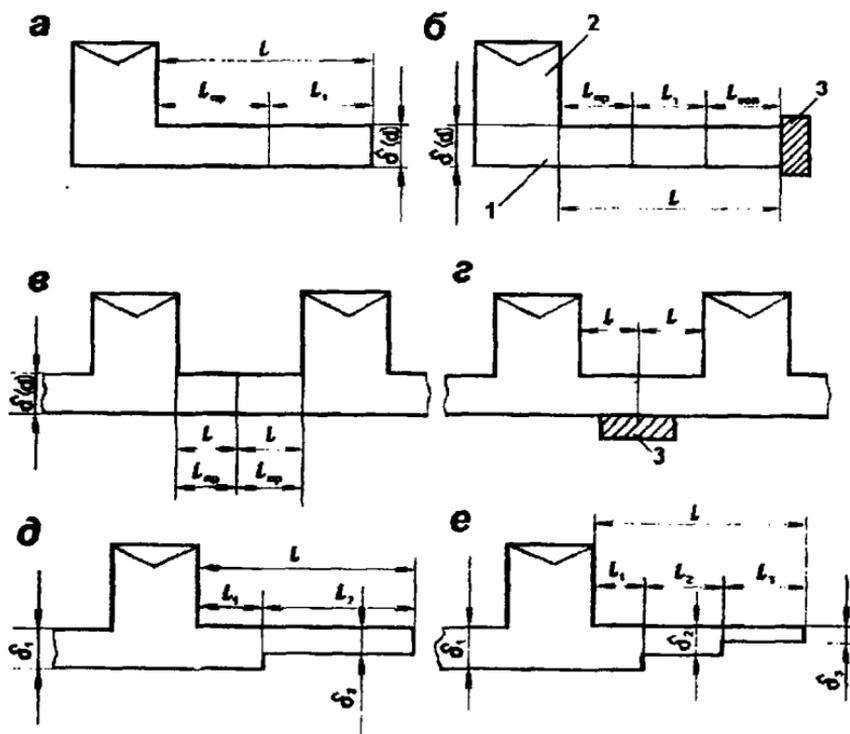


Рис. 4.14. Схема расположения прибылей:

1 – отливка; 2 – прибыль; 3 – холодильник

Таблица 4.5

Протяженность зон действия прибылей

Схема прибы- ли на рис. 4.14	Заливаемый сплав					
	Алюми- ниевые латуни	Оловян- ные бронзы	Сплавы Al-Si	Силу- мины	Серый чугун	Сталь
<i>a</i>	$l=4,5\delta$	$l=3,5\delta$	<u>Плита</u> $l=6,5\delta$ $l_{np}=3\delta$ $l_m=3,5\delta$		$l=8\delta$	$l=4,5\delta$ $l_{np}=2,5\delta$ $l_m=2,0\delta$
			$l=60\sqrt{d}$	$l=68\sqrt{d}$	<u>Брус</u> $l=30\sqrt{d}$ $l=35\sqrt{d}$	
<i>б</i>	<u>Плита</u> $l=5\delta$ $l=3,5\delta + 50$ мм		-	-	<u>Плита</u> $l=4,5\delta + 50$ мм $l=5\delta$	
					<u>Брус</u> $l=30\sqrt{d} + d$	
<i>в</i>	$l=2\delta$	$l=1,5\delta$	<u>Плита</u> $l=3\delta$ $l=4\delta$		$l=2\delta$ $l=2,5\delta$	
					<u>Брус</u> $l=1,5d$	
<i>г</i>	<u>Плита</u> $l=5\delta$ $l=2\delta$		-	-	<u>Плита</u> $l=4,5\delta + 50$ мм $l=5,5\delta$	
					<u>Брус</u> $l=30\sqrt{d} + d$ $l=30\sqrt{d}$	
<i>д</i>	<u>Плита</u> $l=l_1+l_2$ $l_1=3,5(\delta_1-\delta_2)$ $l_2=3,5\delta_2$ $l_2=3\delta_2$		-	-	-	-
<i>е</i>	<u>Плита</u> $l=l_1+l_2+l_3$ $l_1=3,5(\delta_1-\delta_2)$ $l_2=3,5(\delta_2-\delta_3)$ $l_3=3,5\delta_3$ $l_3=3\delta_3$		-	-	-	-

лями установить холодильник, то из-за его охлаждающего действия зона каждой прибыли увеличится.

Расчет протяженности зон действия прибылей для разных сплавов и различных схем и сечений отливки (рис. 4.14) следует проводить по соотношениям, приведенным в табл. 4.5. При подводе сплава под прибыль зоны действия могут быть увеличены на 30–40 % по сравнению с данными, рассчитанными по табл. 4.5.

Определив протяженность зон действия всех прибылей, установленных по периметру отливки, можно уточнить, правильно ли выбрано их количество. Расстояние между прибылями не должно превышать сумму их зон действия.

4.2.3. Определение количества прибылей

Если в отливке имеется несколько массивных узлов, то для питания каждого из них должна быть предусмотрена прибыль. Количество прибылей для протяженных отливок с равномерной толщиной стенок без отдельных массивов и утолщений определяется по формуле

$$n = \frac{l_0}{2l},$$

где l – протяженность зоны действия прибыли.

Полученное расчетное значение количества прибылей n округляется до целого числа в сторону увеличения. Количество прибылей, располагаемых на ободе отливок типа зубчатых колес, принимается равным количеству спиц. Если принятое количество прибылей меньше количества, полученного расчетным путем, то для обеспечения питания участков обода между прибылями под ними выполняются подприбыльные напуски длиной l . Длина рассчитывается по формуле

$$l = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{n} - 5 \cdot \delta,$$

где D_{cp} – средний диаметр обода;

δ – толщина обода;

n – принятое число прибылей на ободе.

4.3. Расчет прибылей

При расчете определяют размеры прибылей в зависимости от их конструктивного оформления. При определении размеров прибыли необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) продолжительность затвердевания прибыли должна быть больше продолжительности затвердевания отливки;
- 2) прибыль должна иметь запас жидкого металла для компенсации объемной усадки питаемого узла отливки и самой прибыли. Это условие можно описать уравнением

$$\beta \cdot V_{np} = \varepsilon_{V\Sigma} (V_{n,y} + V_{np}), \quad (4.4)$$

где V_{np} и $V_{n,y}$ - объем прибыли и питаемого узла отливки;

β - коэффициент экономичности прибыли, равный отношению объема усадочной раковины $V_{yc,p}$ к объему сплава в прибыли,

$$\beta = \frac{V_{yc,p}}{V_{np}};$$

$\varepsilon_{V\Sigma}$ - суммарная относительная объемная усадка сплава.

Очевидно, что разность $V = V_{np} - V_{yc,p}$ представляет собой объем сплава, затвердевшего на стенках прибыли. В некоторых методах расчета, например в методе В. А. Денисова [13], вместо (4.4) применяют следующее уравнение:

$$V_{np} = V + \frac{\varepsilon_{V\Sigma}}{m} (V + V_{n,y}), \quad (4.5)$$

где m - доля жидкого сплава в конце затвердевания отливки, которая может пойти на ее питание ($m = 0,2 - 0,3$).

Здесь учитывается то, что отливка должна затвердеть до начала фильтрации металла в центральной части прибыли. Коэффициент экономичности прибыли β зависит от формы прибыли, теплофизических условий ее работы и характера затвердевания сплава;

- 3) высота прибыли должна обеспечивать концентрацию усадочной раковины только в прибыли;
- 4) в результате расчета должны быть получены минимально необходимые, но достаточные размеры и объем прибыли.

В литературе предложено много методов расчета прибылей. Сре-

ди них можно выделить эмпирические методы, основанные на анализе экспериментальных и производственных данных [6, 20, 33, 34], и аналитические [7, 11, 19, 26, 29, 30, 44], полученные на основании исследования упрощенных математических моделей питания отливки с экспериментальной оценкой некоторых параметров.

Дать описание всех методов невозможно, поэтому ниже будут рассмотрены часто используемые в настоящее время, а также наиболее надежные и обоснованные, на наш взгляд, методы. Следует отметить, что на многих предприятиях применяются собственные инженерные методы расчета прибылей, чаще всего представленные в виде номограмм и таблиц [32]. В данном учебнике эти методы не рассматриваются. С ними можно познакомиться на производственных практиках, а также с помощью справочной литературы.

4.3.1. Метод Й. Пржибыла

В основу метода положено уравнение (4.4). Решая его относительно объема прибыли, получаем следующую формулу:

$$V_{np} = \frac{V_{n.y} \cdot \varepsilon_{V_{\Sigma}}}{\beta - \varepsilon_{V_{\Sigma}}}. \quad (4.6)$$

Суммарная относительная объемная усадка сплавов зависит от температуры заливки. Ее значения при выполнении расчетов можно определять по следующим зависимостям:

- 1) для среднеуглеродистых сталей $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,03 + 0,00016 \Delta T$;
- 2) высокомарганцевистой стали 110Г13Л $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,06 + 0,0002 \Delta T$;
- 3) ковкого чугуна $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,025 + 0,0001 \Delta T$;
- 4) сплава АК12 $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,036 + 0,0007516 \Delta T / T_n$;
- 5) сплава АК7ч $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,039 + 0,0008 \Delta T / T_n$;
- 6) латуней: ЛЦ40С1 $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,065$; ЛЦ17КЗ $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,061$;
- 7) алюминиевых бронз $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,08$;
- 8) алюминисвых латуней $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,09$;

9) для магниевых сплавов (МЛ15) $\varepsilon V_{\Sigma} = 0,075$.

Здесь $\Delta T'$ – перегрев сплава над температурой ликвидуса $T_{л}$.

Для отливок из стали и высокопрочного чугуна коэффициент β можно принять равным:

- 0,08 – 0,09 для закрытых прибылей;
- 0,10 – 0,11 для открытых прибылей;
- 0,11 – 0,13 для теплоизолированных прибылей;
- 0,14 – 0,17 для обогреваемых прибылей;
- 0,13 – 0,14 для прибылей с повышенным газовым давлением.

Для отливок из медных сплавов $\beta = 0,1$ для закрытых прибылей; 0,14 – 0,18 для прибылей с повышенным газовым давлением и 0,2 для экзотермических прибылей.

Для алюминиевых сплавов значение β можно выбирать в пределах от 0,13 до 0,30. Меньшие значения относятся к закрытым прибылям, большие – к экзотермическим прибылям.

Последовательность расчета прибылей по методу Й. Пржибыла сводится к следующему:

- 1) выделить в отливке все узлы питания и рассчитать объем каждого из них ($V_{ну}$);
- 2) выбрать тип и конфигурацию прибылей для каждого узла питания;
- 3) в зависимости от принятой конструкции прибыли и условий ее охлаждения выбрать значение коэффициента β ;
- 4) рассчитать по формуле (4.6) объем прибыли;
- 5) определить размеры нижнего сечения прибыли, учитывая, что отношение диаметра прибыли D_{np} к диаметру питаемого узла $D_{ну}$ должно быть равно 1,15 – 1,20. При этом для некруглых сечений питаемого узла и прибыли $D_{ну}$ и D_{np} соответствуют диаметрам вписанных окружностей.

С учетом найденных значений S_{np} и V_{np} находят высоту прибыли. Например, для прибыли, приведенной на рис. 4.12, в, объем прибыли равен (уклоном боковой поверхности пренебрегаем)

$$V_{np} = \frac{2}{3} \pi \cdot R_{np}^3 + \pi \cdot R_{np}^2 \cdot H_{np}; \quad R_{np} = (1,15 \div 1,2) \cdot R_{отл}.$$

С учетом этого

$$H_{np} = \frac{V_{np} - \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R_{отл}^3 (1,15 \div 1,2)^3}{\pi \cdot R_{отл}^2 (1,15 \div 1,2)^2}$$

Для полного выведения усадочной раковины в прибыль необходимо соблюдение условия $H_{np}/D_{np} > K$, где K – коэффициент, равный 1,7–2,0 для открытых прибылей на стальных отливках; 1,25 – 1,50 для закрытых прибылей на стальных отливках. Для отливок из цветных сплавов можно условно принять $H_{np}/D_{np} > (1,25 - 1,50)$.

Для примера выполним расчет прибыли для отливки, приведенной на рис. 4.19. Исходные данные для расчета: $M_{п.у} = 2000$ кг; перегрев стали при заливке $\Delta T = 60$ °С; $\rho = 7200$ кг/м³.

Принимаем коническую открытую прибыль, для которой $\beta = 0,1$. Относительная объемная усадка в этом случае равна $\varepsilon_V = 0,03 + 0,00016 \cdot 60 = 0,04$. По формуле (4.6) находим объем прибыли и ее диаметр:

$$V_{np} = \frac{2000 \cdot 0,04}{7200 \cdot (0,1 - 0,04)} = 0,115 \text{ м}^3;$$

$$D_{н.у} = \frac{2 \cdot \delta_{н.у}}{2} = 200 \text{ мм}; \quad D_{np} = 1,2 \cdot D_{н.у} = 250 \text{ мм}.$$

Из геометрических соображений находим по объему V_{np} и диаметру D_{np} высоту прибыли:

$$V_{np} = \frac{\pi \cdot D_{np}^2}{4} \cdot H_{np} \quad \text{или} \quad H_{np} = \frac{4V_{np}}{\pi \cdot D_{np}^2} = \frac{4 \cdot 0,115}{3,14 \cdot (0,252)^2} = 231 \text{ мм}.$$

Так как $H_{np}/D_{np} = 231/250 < K = 1,7$, то примем $H_{np} = 1,7 \cdot D_{np} = 1,7 \cdot 250 = 425$ мм.

Выполним расчет прибыли для отливки «Корпус», схема питания которой приведена на рис. 2.11.

При перегреве стали на 60° находим $\varepsilon_V = 0,03 + 0,00016 \cdot 60 = 0,04$. Примем $\beta = 0,1$. тогда получим объем прибылей, равный

$$V_{np} = \frac{6800 \cdot 0,04}{7,2 \cdot (0,1 - 0,04)} = 630 \text{ см}^3.$$

Принимаем две прибыли: $D_{np} = 1,2 \cdot D_{п.у} = 54 \cdot 1,2 = 65 \text{ мм}$.

Суммарный объем прибыли равен

$$V_{\Sigma} = \left(\frac{\pi \cdot D_{np}^2}{4} H_{np} + \frac{\pi \cdot D_{np}^3}{12} \right) \cdot 2 = 630 \text{ мм}^3.$$

Отсюда находим $H_{np} = 7,5 \text{ см}$. Масса прибыли составит $G_{np} = 4,5 \text{ кг}$. Полная высота прибыли будет равна $H_{np.полн} = H_{np} + D_{np}/2 = 10,8 \text{ см}$. Отношение $H_{np.полн}/D_{np} = 108/65 = 1,66$. Округлим значение $H_{np.полн}$ до значения 110 мм, при котором $H_{np.полн}/D_{np} = 1,7$. Конструкция прибыли показана на рис. 2.11.

4.3.2. Метод В. А. Денисова

Расчет объема прибыли по методу В. А. Денисова основан на уравнении (4.5). Объем полушаровой прибыли (рис. 4.12, б) равен

$$V_{np} = \frac{\pi \cdot D_{np}^3}{12} + \frac{\pi \cdot D_{np}^2}{4} \cdot \frac{D_{np}}{2} = \frac{5\pi \cdot D_{np}^3}{24} = 0,655 \cdot D_{np}^3.$$

Аналогично объем затвердевшей части прибыли $V = 0,655 d^3$, где d – диаметр затвердевшего цилиндра с полушаровым верхом.

В конце затвердевания отливки в прибыли должен оставаться объем жидкого металла, равный второму члену правой части уравнения (4.5). Для чистых металлов и узкоинтервальных сплавов коэффициент $m=1$. С увеличением интервала кристаллизации часть жидкого сплава, которая находится между кристаллитами и не может быть использована для питания отливки, увеличивается. При этом значение коэффициента m уменьшится. Для среднеуглеродистой стали можно принять $m=0,25$.

Принимая, что кинетика затвердевания стали подчиняется закону квадратного корня, для определения диаметра d автор применяет следующую формулу:

$$d = K \cdot \sqrt{t},$$

где K – константа затвердевания;

t – время затвердевания отливки.

С учетом значений плотности ($\rho = 7200 \text{ кг/м}^3$), $\epsilon V_{\Sigma} = 0,036$ и экспериментальных данных по константе затвердевания для литья стали

в сухие песчано-глинистые или жидкостекольные формы уравнение (4.5), разрешенное относительно диаметра прибыли D_{np} , принимает вид

$$D_{np} = K_1 \cdot \sqrt{915 \cdot t^{3/2} + M_0}, \quad (4.7)$$

где K_1 – эмпирический коэффициент (для среднеуглеродистых сталей $K_1 = 0,032 + 0,036$);

M_0 – масса питаемой части отливки, кг;

t – время затвердевания отливки, ч.

Для отливок, у которых габаритные размеры значительно превышают их толщину ($M_0 / \delta_0^3 > 5 \cdot 10^6$, где δ_0 – толщина отливки, м), $m=0,4$. При этом для определения диаметра прибыли справедливо уравнение

$$D_{np} = K_1 \cdot \sqrt{915 \cdot t^{3/2} + 0,625 \cdot M_0}. \quad (4.8)$$

Аналогично для открытой конической прибыли получено уравнение

$$D_{np} = K_1 \cdot \sqrt{1020 \cdot t^{3/2} + M_0}. \quad (4.9)$$

$$\text{При } M_0 / \delta_0^3 > 5 \cdot 10^6 \quad D_{np} = K_1 \cdot \sqrt{1020 t^{3/2} + 0,625 \cdot M_0}. \quad (4.10)$$

Для стальных отливок типа плит и цилиндров время затвердевания отливки вычисляют по следующим формулам:

$$\text{для плиты} \quad t_n = 2,10 \cdot 10^5 \cdot \delta^2; \quad (4.11)$$

$$\text{для цилиндра} \quad t_{\text{ц}} = 4,3 \cdot 10^4 \cdot d^2, \quad (4.12)$$

где t_n и $t_{\text{ц}}$ – время затвердевания, с;

δ и d – толщина плоской стенки и диаметра цилиндрической отливки, м.

На рис. 4.15 приведены сечения различных форм отливок. Продолжительность затвердевания данных отливок $t_{\text{з}}$ определяют, умножая продолжительность затвердевания плоской отливки данной толщины t_n на относительную продолжительность затвердевания узла $t_{\text{отн}}$, т.е. $t_{\text{з}} = t_{\text{отн}} \cdot t_n$.

На рис. 4.16–4.18 приведены графики для определения относительной продолжительности затвердевания сечений отливок, показанных на рис. 4.15.

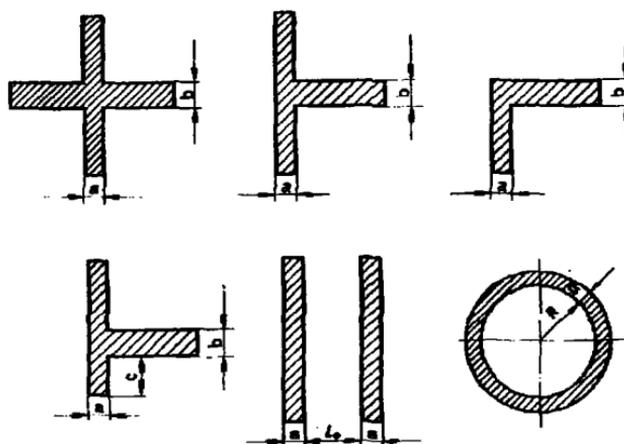


Рис. 4.15. Типы сечений отливок

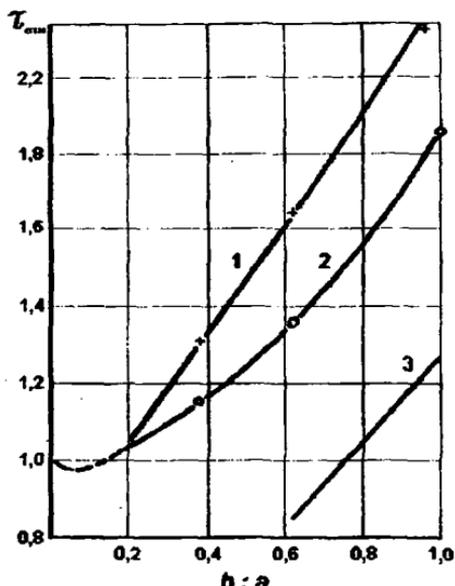


Рис. 4.16. Влияние относительной толщины полок ($b:a$) на относительное время затвердевания узлов: 1 – крестообразного; 2 – Т-образного; 3 – Г-образного

Формулы (4.11) и (4.12) получены при значении коэффициента аккумуляции тепла формой $b_{\phi}=1540 \frac{Bm \cdot c^{0,5}}{m^2 \cdot K}$ (песчано-глинистая смесь с жидким стеклом).

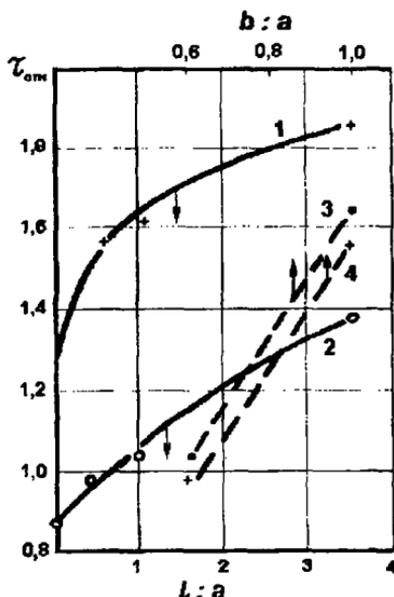


Рис. 4.17. Влияние относительной длины полки ($l:a$) и относительной толщины ($b:a$) на относительное время затвердевания T-образного несимметричного узла: 1 — при $b:a=1$; 2 — $b:a=0,625$; 3 — $l:a=1(3)$; 4 — $l:a=0,5$

С учетом найденных значений $t_{отн}$ (см. рис. 4.16 – 4.18) и формулы (4.11) продолжительность затвердевания отливки сложного сечения можно найти по формуле

$$t = 2,1 \cdot 10^5 \cdot a^2 \cdot t_{отн} \left(\frac{1540}{b_{\phi}} \right)^2, \quad (4.13)$$

где a — толщина более толстой полки отливки или толщина стенки полого цилиндра, м;

b_{ϕ} — коэффициент аккумуляции тепла формой, $\frac{Bm \cdot c^{0,5}}{m^2 \cdot K}$.

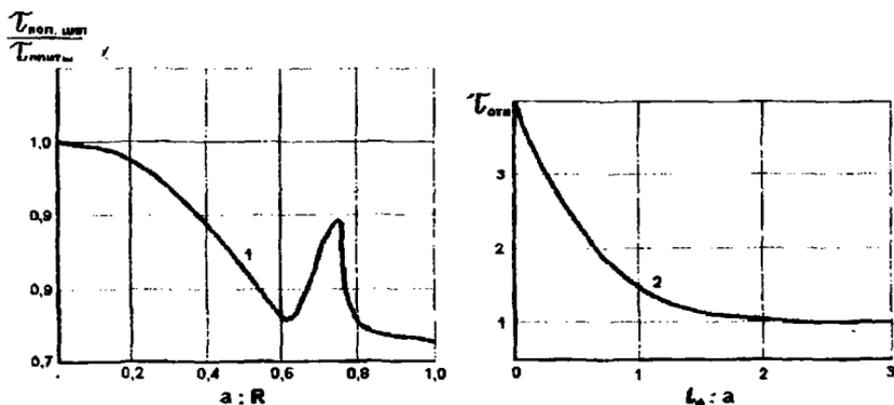


Рис. 4.18. Влияние толщины стержня на относительное время затвердевания:
1 – полое цилиндра, 2 – двух параллельных плит

Определив по (4.13) продолжительность затвердевания питаемого узла по формулам (4.7–4.10), определяем диаметр прибыли $D_{\text{пр}}$. Для конических прибылей это будет средний по высоте диаметр прибыли. Высота прибыли принимается равной ее среднему диаметру.

Для иллюстрации рассмотрим пример расчета прибыли для питания обода отливки «Зубчатое колесо». Схема питаемого узла и его размеры приведены на рис. 4.19.

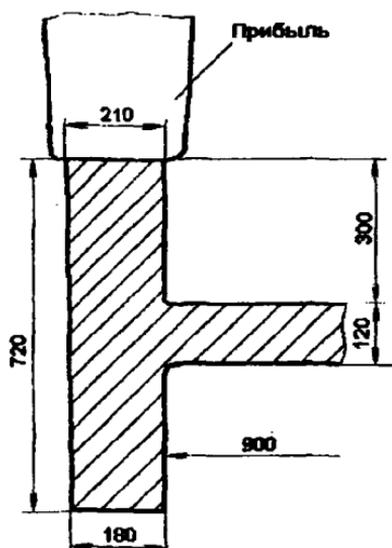


Рис. 4.19. Схема сечения питаемого узла отливки

Исходные данные: масса $M_0=12000$ кг, $b_{\phi}=1540 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}^{0,5}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Сечение отливки является T -образным: $a=210$, $b=120$ мм. По графику (рис. 4.16), при $b/a=120/210=0,57$ находим $t_{\text{отн}}=1,32$. По формуле (4.13) рассчитываем время затвердевания обода:

$$t = 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,21^2 \cdot 1,32 = 1,22 \cdot 10^4 = 12200 \text{ с} = 3,4 \text{ ч.}$$

По формуле (4.9) для открытой конической прибыли находим

$$D_{\text{пр}} = 0,032 \sqrt{1020 \cdot 3,4^{1,5} + 2000} = 290 \text{ мм.}$$

Примем высоту прибыли $H_{\text{пр}}=300$ мм. С учетом уклона прибыли $1/20$ находим верхний и нижний диаметры прибыли $D_{\text{пр.в}}=305$ мм, $D_{\text{пр.н}}=275$ мм. Здесь учтено, что на обод устанавливают 6 прибылей, т.е. на одну прибыль приходится масса 2000 кг.

4.3.3. Упрощенный метод УЗТМ

Ориентировочно размеры прибылей стальных отливок с отношением максимальной толщины стенки к минимальной не более $1,5 \div 2,0$ можно определить по формулам, разработанным на УЗТМ:

$$D_{\text{пр}} = (0,40 \div 0,45) \cdot \sqrt[3]{V_{\text{ж}} + T}; \quad (4.14)$$

$$H_{\text{пр}} = (1,05 \div 1,10) \cdot D_{\text{пр}}; \quad (4.15)$$

где $D_{\text{пр}}$ – диаметр шаровой прибыли или диаметр окружности, вписанной в вертикальное сечение конической прибыли, мм;

$V_{\text{ж}}$ – объем жидкого металла, необходимого для изготовления отливки вместе с прибылями, мм³;

T – толщина стенки отливки, мм;

$H_{\text{пр}}$ – высота прибыли, мм.

Объем жидкого металла $V_{\text{ж}}$ определяется по формуле

$$V_{\text{ж}} = \frac{100 \cdot M}{\eta}, \quad (4.16)$$

где M – масса питаемого узла, кг;

η – выход годного, % ($\eta = 70 \div 80$).

Для отливок, имеющих массивный узел питания и ответвления от него, размеры прибылей определяются по формулам Ю. А. Нехендзи и Ф. Д. Оболенцева [26]:

$$D_{np} = d + K \cdot \sqrt[3]{Q_{ж}}; \quad (4.17)$$

$$H_{np} = (I \div 1,15) \cdot D_{np}, \quad (4.18)$$

где $Q_{ж}$ – масса питаемого узла, кг;

D_{np} – диаметр прибыли, мм;

K – коэффициент, зависящий от конструкции и массы узла: для концентрированного узла $K=0,1$; для разветвленного узла $K=0,2$;

H_{np} – высота прибыли, мм;

d – диаметр окружности, вписанной в питаемый узел, мм (рис. 4.21).

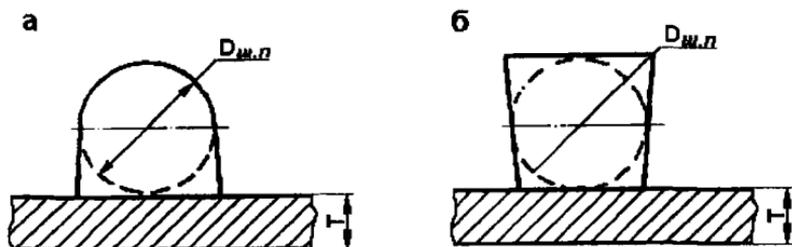


Рис.4.20. Схема к расчету прибыли: а – шаровой; б – конической

4.3.4. Расчет боковых прибылей и питающих элементов в литниковых системах

При получении чугунных отливок в качестве элементов питания используются выпоры, питающие бобышки и прибыли. Питающие выпоры (рис. 4.22) применяются для обеспечения питания отдельных термических узлов отливки. Целесообразно применять отводные выпоры. Размеры прямых питающих выпоров приведены в табл. 4.6. Питающие бобышки применяются при получении отливок из ковкого чугуна, а также отливок с массивными узлами из серого модифицированного чугуна. Они подводятся в наиболее массивные узлы отливок и соединяются с ними через короткие шейки (рис. 4.23).

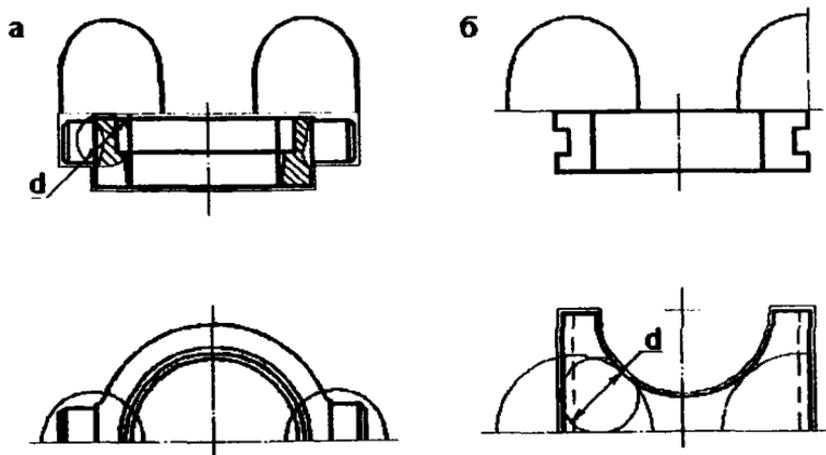


Рис. 4.21. Схемы установки прибылей на узлах отливки:
а – разветвленном; б – концентрированном

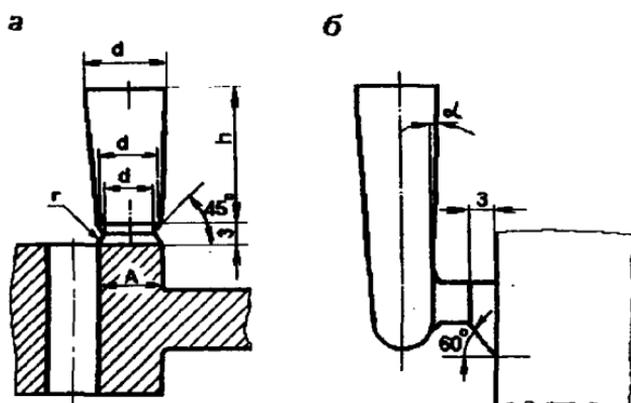


Рис. 4.22. Конструкции питающих выпоров ($\alpha = 10 - 30^\circ$):
а – прямого; б – отводного

Объем боковых прибылей для отливок из стали и цветных сплавов можно определять по формуле Й. Пржибыла.

Размеры бобышки можно определить по диаграмме, приведенной на рис. 4.24. Площадь шейки определяют по табл. 4.7. Схемы применения питающих бобышек для отливок из серого чугуна показаны на

Таблица 4.6

Размеры прямых питающих выпоров для чугунных отливок

Толщина тела отливки в месте сопряжения с питающим выпором A , мм	Размеры питающего выпора, мм				
	d	d_1	d_2	h не менее	r
20 – 25	20	25	30	60	2
50 – 55	50	60	80	130	3
75 – 80	75	90	120	200	4
100 – 105	100	120	170	250	5
125 – 130	125	150	200	300	5
150 – 155	150	180	240	400	5
175 – 180	175	210	280	450	6
200 – 205	200	235	320	500	6
225 – 230	225	270	360	550	6

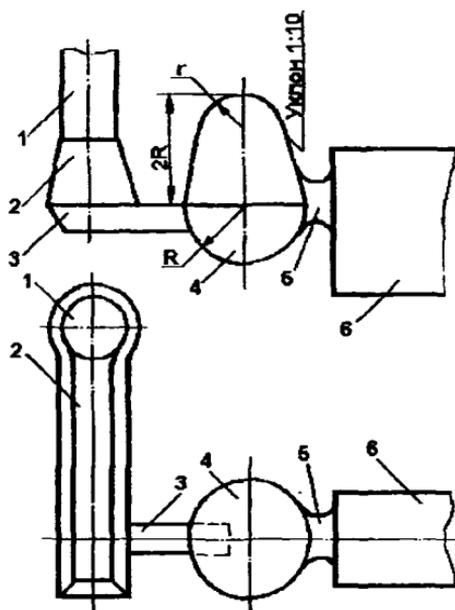


Рис. 4.23. Питающие бобышки для отливок из ковкого чугуна:
 1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – питатель; 4 – бобышка;
 5 – шейка; 6 – отливка

рис. 4.25. Размеры бобышек можно определить по табл. 4.8, разработанной на заводе «Станколит».

На рис. 4.26 приведена схема расположения боковых питающих

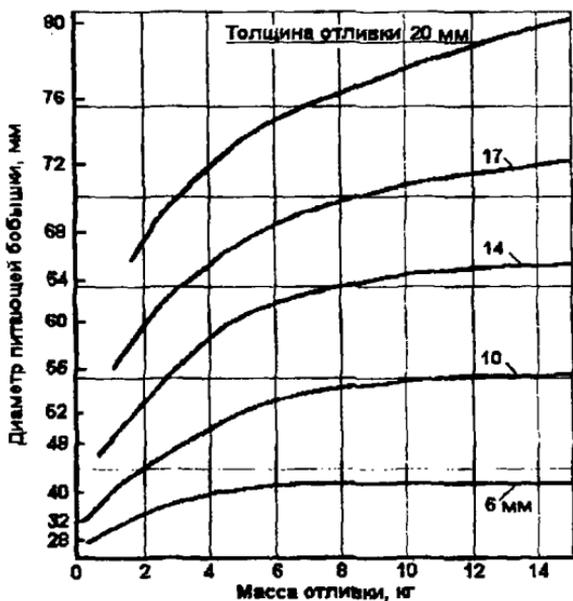


Рис. 4.24. Диаграмма для определения размеров бобышек при производстве отливок из ковкого чугуна

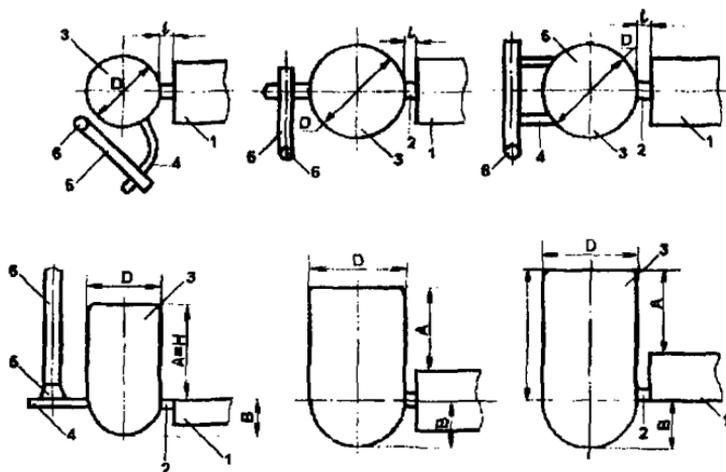


Рис. 4.25. Питающие бобышки для серого чугуна: 1 – отливка; 2 – литниковый канал; 3 – бобышка; 4 – питатель; 5 – шлакоуловитель; 6 – стояк

бобышек при изготовлении картера главной передачи автомобиля из чугуна с шаровидным графитом. Расчет размеров бобышек для отливок из высокопрочного чугуна можно выполнять по следующим формулам:

$$D_{np} = \sqrt{\frac{4}{\pi K} (0,03 \cdot T_{зал} - 20,2) \cdot M_{отл} + 1,2}; \quad (4.19)$$

$$H_{np} = K \cdot D_{np}; \quad (4.20)$$

$$R_{ш} = R_{отл} - \frac{T_{зал} - 1150}{T_{зал} - 920} - \frac{0,445 - 1,144 \cdot 10^{-3} (T_{зал} - 1210)}{1 + 4,33 \cdot 10^{-3} (T_{зал} - 1150)};$$

$$d_{ш} = 4R_{ш}; \quad h_{ш} = D_{np} / 2,$$

где D_{np} , H_{np} – диаметр и высота прибыли, см;

$M_{отл}$ – масса литасмого узла, кг;

K – отношение высоты прибыли к ее диаметру (обычно $K=1-1,5$);

$R_{ш}$, $R_{отл}$ – приведенная толщина шейки и отливки, см;

$T_{зал}$ – температура заливки, °С;

$d_{ш}$, $h_{ш}$ – диаметр и высота шейки, см.

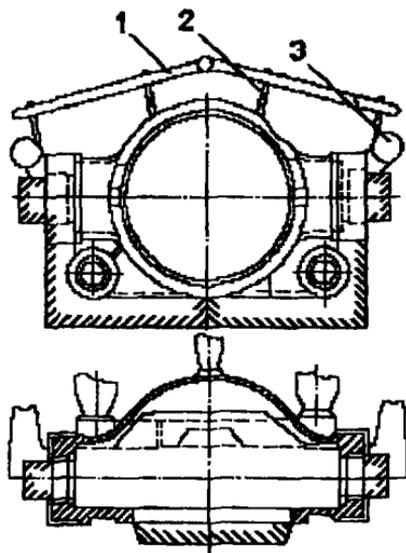


Рис. 4.26. Схема расположения прибылей при получении отливки «Картер главной передачи»: 1 – шлакоуловитель сечением 30 x 25 x 40 мм; 2 – питатель сечением 20 x 10 мм; 3 – прибыль

Таблица 4.7

Значения площади шейки для бобышек при изготовлении
отливок из ковкого чугуна

Радиус основания бобышки R , мм	15,0	18,0	20,0	22,0	24,0	25,0	26,0	27,0	30,0
Площадь сечения шейки, см ²	1,5	2,4	3,3	4,2	4,8	5,6	6,0	6,4	7,2

4.4. Специальные конструкции прибылей

Для повышения коэффициента экономичности прибылей β и уменьшения трудоемкости их удаления с отливок применяют теплоизоляцию и обогрев прибылей, повышают давление на расплав в прибылях, устанавливают перемычки между прибылью и питасмым узлом отливки и т.д.

4.4.1. Применение теплоизоляции и обогрева прибылей

Применяя теплоизоляцию прибылей, можно повысить коэффициент их экономичности β за счет уменьшения объема сплава в прибылях к концу затвердевания отливки.

На рис. 4.27 приведены схемы, иллюстрирующие способы утепления прибылей. В качестве теплоизоляционных материалов применяют

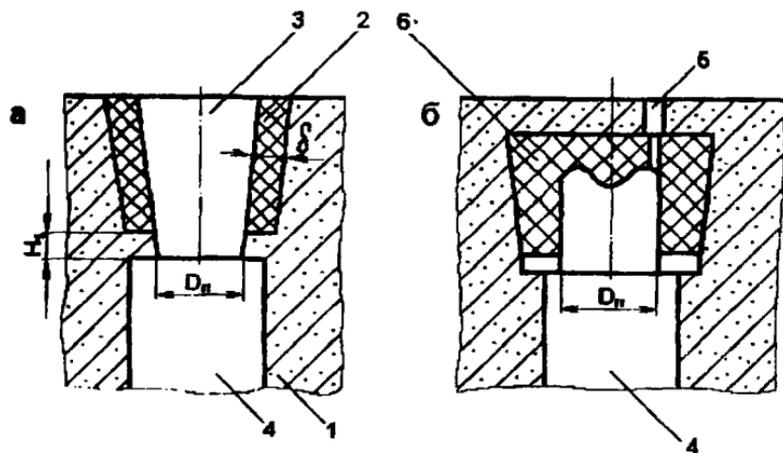


Рис. 4.27. Способы утепления прибылей ($h = 0,1D_{гр}$): 1 – песчаная форма; 2 – облицовка из теплоизоляционной смеси; 3 – прибыль; 4 – отливка; 5 – выпор; 6 – оболочка из теплоизоляционной смеси

Таблица 4.8

Размеры питающих бобышек для серого чугуна

Масса отливки, кг	Площадь сечения бобышки		Глубина нижней части бобышки B , мм	Отношение высоты верхней части бобышки к ее диаметру H/D	Литниковый канал	
	Отношение площадей сечений бобышки и питаемого участка отливки	Рекомендуемый диаметр бобышки D , мм			Длина (не более), мм	Площадь сечения, см^2
До 15	1,0 – 1,2	50	50	1,5 – 2,0	15 – 20	3
		60	60			
		70	70			
16 – 60	0,9 – 1,1	60	60	1,3 – 1,8	15 – 20	5
		80	70			
		100	80			
61 – 300	0,7 – 0,9	80	70	1,1 – 1,6	20 – 25	12
		100	80			
		120	90			
301 – 1500	0,6 – 0,8	100	80	1,0 – 1,4	25 – 30	20
		130	95			
		160	110			
Св. 1500	0,5 – 0,7	150	110	0,9 – 1,2	30 – 35	30
		200	130			
		250	150			

пористые вещества: керамические изделия, асбест, легковесный шамот, гипс, формовочную смесь с добавкой опилок, древесного угля и древесной муки. Толщину облицовки определяют по формуле

$$\delta_{\text{обл}} = 20 + 0,2 \cdot D_{\text{пр}} \quad (4.21)$$

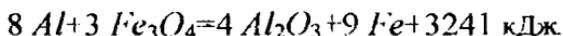
При литье в песчаные формы прибыли обкладывают теплоизоляционным материалом при формовке (рис. 4.27, а) или в прибыльную часть формы вставляют оболочки, изготовленные из теплоизоляционных материалов (рис. 4.27, б). Оболочки изготовляют в стержневых ящиках и подвергают тепловой сушке. Для изготовления оболочек можно применять, например, смесь следующего состава: 100 % кварцевого песка, 5 – 6 % терморезактивной смолы, 0,35 – 0,6 % уротропина, 0,15 % борной кислоты. Толщина оболочки обычно равна 8–12 мм. Рас-

чет прибыли можно осуществлять по методу Й. Пржибыла при увеличенном значении коэффициента β на 0,01 – 0,02

Наиболее эффективно применение обогрева прибылей. Чаще всего его осуществляют, используя для оформления прибылей экзотермические смеси. Основные требования к экзотермическим смесям:

- низкая температура воспламенения;
- стабильное горение смеси с наибольшей скоростью;
- увеличение продолжительности затвердевания прибыли не менее, чем в два раза;
- отсутствие химического взаимодействия с расплавом;
- хорошая фюрмуемость и высокая прочность;
- высокая газопроницаемость;
- недефицитность компонентов смеси;
- обеспечение экологической чистоты.

Любая экзотермическая смесь состоит из горючего, окислителя, основы, ускорителя воспламенения, замедлителя горения и связующего. Теплота выделяется в результате окисления горючего (алюминиевый порошок) кислородом оксида железа (окалина) по алюмотермической реакции



Алюминий используется в виде порошка или стружки, частицы которой должны составлять 0,6–1,5 мм. Окислителем является гематитовая железная руда с содержанием оксидов железа не менее 80 % или окалина. Размер фракции руды или окалины должен быть не более 1 мм. Наполнителем экзотермической смеси при литье любых сплавов служит шамотная крошка, зерна которой имеют размеры 0,5–5 мм (или кварцевый песок при литье алюминисвых сплавов).

Ускорителем (катализатором) воспламенения является калиевая селитра, а замедлителем (регулятором) горения служат шамот, огнеупорная глина, гипс. Горение в экзотермической смеси должно идти спокойно, не вызывая выплесков и кипения расплава в прибыли.

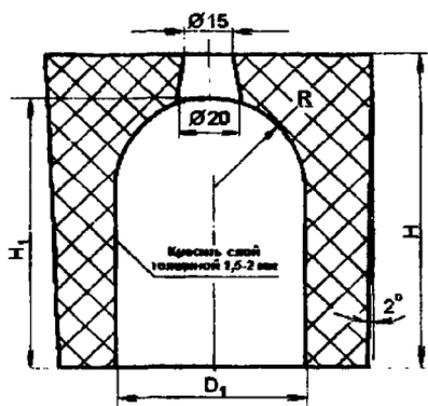
В качестве связующего применяют формовочную глину, жидкое стекло, сульфитно-спиртовую барду и др. Примеры составов экзотермических смесей для прибылей приведены в табл. 4.9. Смеси номеров 1–3 используют для литья стали, чугуна и сплавов тяжелых цветных металлов, смеси 4–5 – для литья легких сплавов.

Экзотермические смеси применяют чаще всего в виде специальных оболочек (стаканов, втулок), изготовляемых в стержневых ящиках. На многих предприятиях имеются нормали на экзотермические оболочки. На рис. 4.28 приведены схема конструкции оболочки и таблица нормали на оболочки для круглых прибылей.

Таблица 4.9

Экзотермические смеси для облицовки прибылей

Номер смеси	Состав, % (массовая доля)							
	Алюминиево-магнийевый сплав	Железная руда (окатина)	Калиевая селитра	Шамот	Огнеупорная глина	Строительный гипс	Древесный уголь	Древесные опилки
1	18	18	15	27	8	10	4	—
2	15	14	13	31	10	12	5	—
3	15	15	30	5	4	20	6	2
4	14	15	1	35	6	15	10	1
5	13	10	1	35	10	15	12	1



Нормаль на экзотермические оболочки для круглых прибылей

№ номер прибыли	Масса прибыли, кг	Размеры, мм				
		D	H	D ₁	r	R
1	4,4	125	125	90	116	40
2	6,8	140	130	100	120	45
3	8,2	170	160	116	136	50
4	12,6	195	176	135	166	60
5	21,0	225	206	160	190	70
6	36,0	260	240	190	210	85
7	67,0	300	280	225	245	100
8	70,0	320	300	235	260	106
9	96,0	366	340	260	286	120
10	130,0	390	360	285	330	130
11	166,0	410	430	300	376	135
12	210,0	420	480	310	420	140

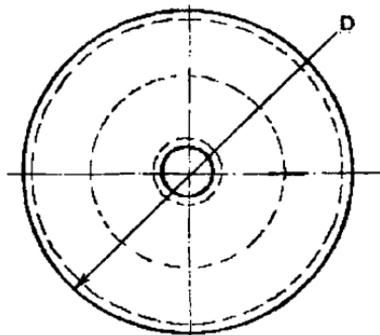


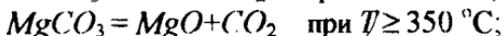
Рис. 4.28. Экзотермическая оболочка для круглой прибыли

Расчет экзотермических прибылей сводится к определению номера нормализованной экзотермической оболочки для оформления прибыли. Массу прибыли находят по специально разработанным номо-

граммам. Принципиально ее можно определить, рассчитав объем прибыли по формуле Й. Пржибыла, приняв $\beta = 0,2 - 0,25$.

4.4.2. Прибыли, работающие под высоким газовым давлением

Выше было сказано о значении перепада давлений, действующего на кристаллизующийся расплав, в повышении эффективности работы прибылей и их экономичности. Так П. И. Ямшановым были предложены прибыли с повышенным газовым давлением, создаваемым диссоциацией мела, карбоната магния или цинка при высоких температурах:



Определенная масса данных веществ помещается в специальный патрон (рис. 4.29), который устанавливается вовнутрь закрытой прибыли. Оболочки и крышки патронов изготавливают уплотнением в металлических ящиках смесей, состоящих из глины, молотого шамота и древесных опилок, добавляемых для повышения газопроницаемости оболочки. Оболочки сушат при $100-110 \text{ } ^\circ\text{C}$ и обжигают при $350 \text{ } ^\circ\text{C}$. Главное требование, предъявляемое к качеству оболочки, сводится к тому, что ее толщина должна обеспечивать прогрев помещенного в нее наполнителя до температуры диссоциации не раньше, чем на стенках прибыли выростет достаточно прочная корка затвердевшего сплава, способная выдержать повышенное давление.

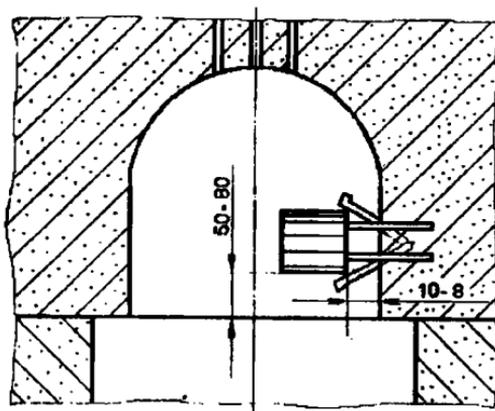


Рис. 4.29. Расположение газового патрона в прибыли

Параметры прибыли, патрона и массу заряда определяют по эмпирическим номограммам. Массу прибыли можно определить по формуле Й. Пржибыла, приняв $\beta = 0,13 - 0,20$. В зависимости от массы прибыли и создаваемого давления массу мела, помещаемого в патрон, определяют по номограмме (рис. 4.30). Толщину стенки патрона и его размеры определяют также по номограммам. Применение прибылей газового давления позволяет не только повысить выход годного, но и существенно снизить пористость отливок.

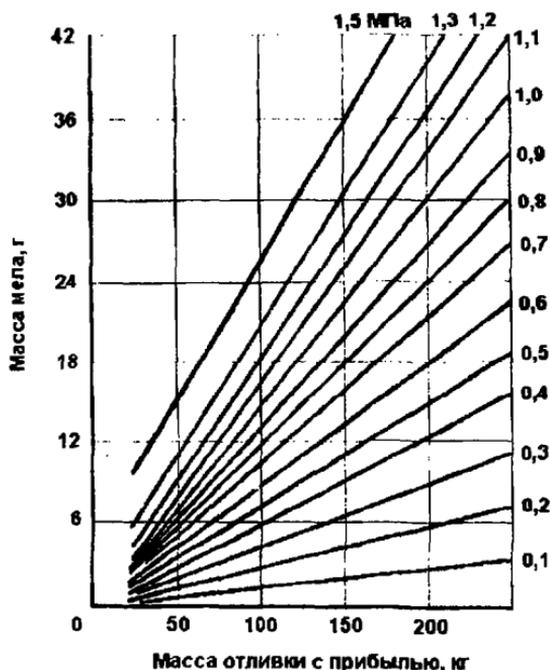


Рис. 4.30. Номограмма для определения массы мелового заряда в зависимости от давления и массы отливки с прибылью

4.4.3. Легкоотделяемые прибыли

Для снижения трудоемкости отделения прибылей от отливок применяют легкоотделяемые прибыли (рис. 4.31). Между прибылью и питаемым узлом устанавливают перегородку в виде керамической пластины. Важнейшим требованием является совпадение оси отверстия в

перегородке с термическими центрами прибыли и отливки. При нарушении этого требования в отливке образуется усадочная раковина. Параметры перегородки и размеры отверстия выбирают таким образом, чтобы перегородка быстро прогревалась до температур, исключающих образование на ее поверхностях затвердевшего металла. Обычно диаметр прибыли определяют по формуле

$$D_{np} = d_{en} + (0,1 \div 0,2) \cdot \sqrt[3]{Q},$$

где d_{en} – диаметр окружности, вписанной в термический узел питаемой отливки, дм;

D_{np} – диаметр прибыли, дм;

Q – масса питаемого узла, кг.

Высоту прибыли принимают равной (1–1,5) D_{np} . Толщину пластины и диаметр отверстия в ней определяют в зависимости от значения диаметра прибыли по соответствующим таблицам. Параметры разделительной пластины можно определить также по следующим соотношениям:

$$d = 0,4 \cdot D_{np}; \quad d_1 = 1,2 \cdot d; \quad D_3 = 1,3 \cdot D_{np}; \quad S = 0,12 \cdot D_{np} + 0,8 \sqrt{D_{np}}.$$

Разность диаметров ($D_1 - D_2$) должна обеспечивать уклон 6 градусов.

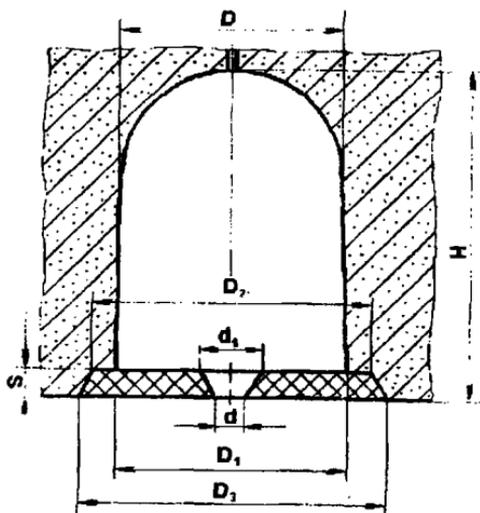


Рис. 4.31. Конструкция легкоотделяемой прибыли

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение процесса питания отливок?
2. Сформулируйте условия обеспечения направленного затвердевания отливок.
3. Назовите методы обеспечения направленного затвердевания отливок.
4. Определите узлы питания и постройте технологические напуски для отливок, приведенных на рис. 4.32.
5. В чем состоит сущность метода вписанных окружностей? Проиллюстрируйте его на примере отливок, показанных рис. 4.32.
6. Определите число узлов питания на отливках, изображенных на рис. 4.32.
7. Что такое внутренние холодильники?
8. Сформулируйте требования к внутренним холодильникам.
9. Выведите и проанализируйте формулу для расчета массы внутренних холодильников.
10. Опишите конструктивные типы внутренних холодильников и способы их установки в форме.
11. Что такое наружные холодильники?
12. Для термических узлов отливок, приведенных на рис. 4.32, определите массу внутренних холодильников, их тип и размеры их элементов.
13. Определите толщину наружных холодильников для термических узлов отливок (см. рис. 4.32).
14. Сформулируйте требования к прибылям.
15. Какие типы прибылей Вы знаете?
16. Что такое зона действия прибыли и как ее рассчитать?
17. Как влияют холодильники на протяженность зоны действия прибылей?
18. Что такое коэффициент экономичности прибыли β ?
19. Как рассчитать количество прибылей для отливки с равномерной толщиной стенки?
20. Назовите способы повышения коэффициента экономичности прибыли.
21. Выведите формулу \dot{Y} . Прибыля для расчета объема прибылей.
22. Опишите порядок расчета прибылей по методу \dot{Y} . Прибыля.
23. В чем сущность метода расчета прибылей В. А. Денисова?
24. Поясните методику расчета продолжительности затвердевания отливок сложных сечений.

25. В чем состоит особенность питания отливок из ковкого чугуна?
26. В чем заключаются особенности конструкции питающих бо-бышек и боковых прибылей?
27. Опишите конструкции прибылей с экзотермическими вставками.
28. Поясните метод расчета экзотермических прибылей.
29. Опишите конструкцию прибылей с повышенным газовым давлением.
30. Как выбрать газообразующий материал для прибыли с повышенным газовым давлением?
31. Каким условиям должна удовлетворять толщина стенки газообразующего патрона?
32. Поясните методику расчета прибылей с повышенным газовым давлением.
33. Опишите конструкции и метод расчета легкоотделяемых прибылей?
34. Определите места установки прибылей для отливок, изображенных на рис. 4.32, выберите типы прибылей, установите протяженность зон действия и количество прибылей.
35. Выполните расчет размеров прибылей с обеспечением направленности затвердевания. При необходимости определите параметры применяемых холодильников. Условия расчетов приведены в табл. 4.10.

Для алюминиевых сплавов расчеты выполните по методу Й. Пржибыла, а для стальных – по методам Й. Пржибыла и В. А. Денисова.

Таблица 4.10

Исходные данные

Номер варианта	Схема отливки	$V_{0,3}$ см ³	$\varepsilon_{V_{\Sigma}}$	$T_{\text{зал}},$ °C	β	Размер, см					
						D_1	D_2	d	H	H_1	H_2
1	Рис. 4.32, а (сталь 35Л)	32000	0,045	1650	0,08	40	30	20	50	20	10
2		61200	0,052	1700	0,15	40	20	10	60	20	15
3		43000	0,059	1750	0,20	40	25	15	50	18	12
4		68800	0,045	1650	0,08	60	50	40	70	30	10
5		163200	0,042	1600	0,15	60	40	20	80	30	20
6		126900	0,045	1650	0,20	60	45	30	90	35	15
7	Рис. 4.32, б (сталь 45Л)	32000	0,052	1700	0,15	40	30	20	50	20	10
8		36000	0,045	1650	0,08	40	30	20	50	30	10
9		64800	0,052	1700	0,15	40	20	10	60	25	15
10		47000	0,059	1750	0,20	40	25	15	50	20	12
11		76000	0,045	1650	0,08	60	50	40	70	40	10
12		184600	0,042	1600	0,15	60	40	20	80	35	20
13		140400	0,045	1650	0,20	60	45	30	90	50	15
14		36000	0,059	1750	0,20	40	30	20	50	30	10
15		47000	0,045	1650	0,15	40	25	15	50	20	12
16	Рис. 4.32, в (сталь 35Л)	32500	0,045	1650	0,08	50	40	30	50	20	10
17		62000	0,052	1700	0,15	50	40	20	60	20	15
18		44500	0,059	1750	0,20	50	40	25	50	18	12
19		70000	0,045	1650	0,08	70	60	50	70	30	10
20		16500	0,042	1600	0,15	80	60	40	80	30	20
21		130000	0,045	1650	0,20	75	60	45	90	35	15
22		32500	0,052	1700	0,15	50	40	30	50	20	10
23		37000	0,066	1500	0,08	50	40	30	50	20	10
24	Рис. 4.32, г (сплав АК7ч)	66000	0,071	1550	0,15	50	40	20	60	20	15
25		50000	0,076	1600	0,20	50	40	25	50	18	12
26		80000	0,066	1500	0,08	70	60	50	70	30	10
27		200000	0,071	1550	0,15	80	60	40	80	30	20
28		150000	0,076	1600	0,20	75	60	45	90	35	15
29		38000	0,071	1550	0,08	50	40	20	50	20	15

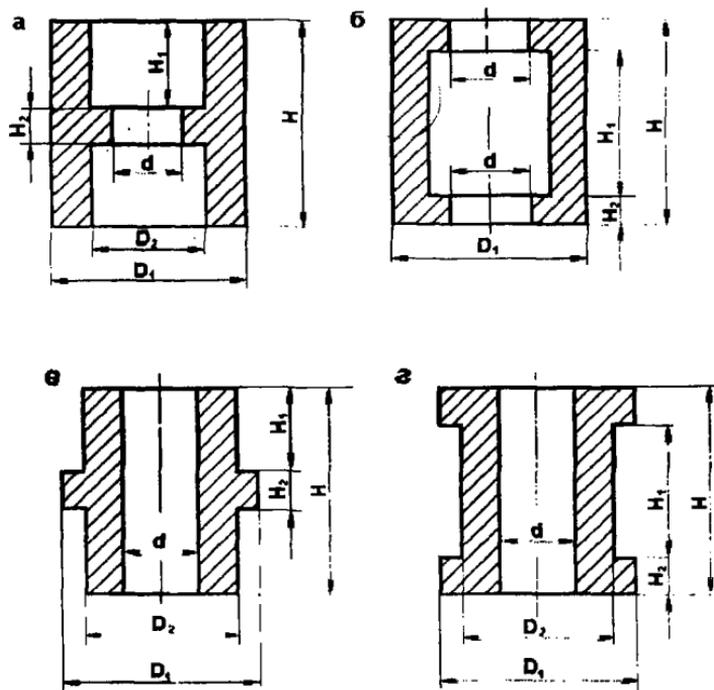


Рис 4.32. Схемы отливок: а, в – отливки из углеродистой стали 35Л; б – отливки из углеродистой стали 45Л; г – отливки из алюминиевого сплава АК7ч (исходные данные приведены в табл. 4.10)

Глава 5. ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СМЕСИ

Для получения качественных отливок в песчаных формах большое значение имеет материал, из которого изготовлена форма. Заданные свойства формовочных смесей и форм обеспечивают прежде всего посредством выбора соответствующих формовочных материалов.

5.1. Классификация формовочных материалов

Для приготовления формовочных смесей применяют различные формовочные материалы. К основным формовочным материалам относят наполнители и связующие. На рис. 5.1 показана схема структуры формовочной смеси. Как видно из схемы, зерна наполнителя образуют каркас смеси. Они покрыты пленкой связующего, которая обеспечивает связь между зернами наполнителя и придает смеси пластичность и прочность.

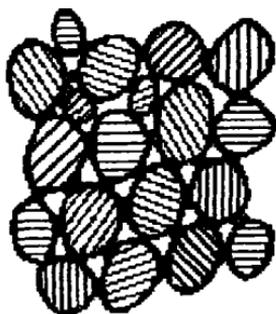


Рис. 5.1. Структура формовочной смеси

Остальные формовочные материалы называют вспомогательными. К ним относят материалы, добавляемые в смесь для обеспечения разнообразных технологических свойств: малой прилипаемости смеси к поверхностям моделей и стержневых ящиков, малой пригоряемости смеси к поверхности отливки, хорошей выбиваемости, податливости и т.д. К вспомогательным материалам относят также отвердители холоднотвердеющих смесей на синтетических смолах.

5.2. Наполнители формовочных смесей

5.2.1. Требования к наполнителям формовочных смесей

Формовочная смесь, образуя литейную форму, испытывает в процессе затвердевания в ней отливки сложные термические, механические и физико-химические воздействия. Наполнители, образующие каркас смеси, должны удовлетворять следующим требованиям:

- высокая огнеупорность, так как температура плавления напол-

нителя должна быть выше температуры плавления заливаемого в форму сплава;

- химическая инертность по отношению к жидкому сплаву и компонентам смеси;
- термостойкость, малая склонность к растрескиванию при нагреве и охлаждении;
- минимальная газотворность;
- отсутствие токсичности;
- возможность многократного использования;
- минимальная гигроскопичность;
- недефицитность;
- низкая себестоимость;
- низкое содержание вредных примесей.

В качестве наполнителей формовочных смесей чаще всего применяют кварцевые пески. В тех случаях, когда к формовочной смеси предъявляются специальные требования, используют магнезит, хромомагнезит, хромистый железняк, циркон, оливин, дистен-силлиманит, муллит, шамот, корунд, графит и др.

5.2.2. Формовочные пески

Происхождение песков и их добыча. Основным материалом, удовлетворяющим сформулированным выше требованиям, является чистый кварцевый песок, состоящий из зерен кварца определенной формы и дисперсности. Чистые кварцевые пески редко встречаются в природе. Природные кварцевые пески содержат различные примеси.

Формовочные пески представляют собой осадочные горные породы, образовавшиеся в результате выветривания, разрушения горных пород в ледниковый период и образования осадков из различных растворов (например, пески морских отложений).

Лучшие формовочные пески образованы в результате выветривания и длительного разрушения и перемещения горных пород. Они имеют однородную зернистость. Высокая однородность и низкое содержание примесей характерны для песков морских отложений. Пески ледникового периода имеют очень неравномерную зернистость и повышенное содержание примесей. Поэтому их применяют после обогащения и классификации по величине зерен.

Добыча формовочных песков производится в карьерах. Среди месторождений песков, образовавшихся при выветривании, можно отметить Басьяновское (Свердловская область), Карасорское (Казахстан). Пески морских отложений добывают в Люберецком (Московская область), Кичигинском (Челябинская область), Балашейском (Самарская

область), Миллеровском (Ростовская область) карьерах. В СССР функционировало 28 карьеров, годовая добыча формовочных песков в которых составляла свыше 21 млн т, в том числе 3 млн т обогащенных песков.

Минералогический и химический состав формовочных песков.

Основу формовочного песка образует кварц. Он представляет собой минерал на основе химического соединения SiO_2 . Плотность кварца 2,5–2,8 г/см³, твердость составляет 7 единиц по шкале Мооса. Температура плавления кварца 1713 °С. Чистый кварц – прозрачный материал. В зависимости от содержания примесей он может иметь различную окраску.

При нагреве в кварце происходят фазовые превращения. При низких температурах кварц имеет модификацию α -кварца. При температуре 573 °С α -кварц переходит в β -кварц с увеличением объема на 2,4 %. При температуре 870 °С β -кварц превращается в тридимит с увеличением объема на 15,1 %. При температуре 1470 °С тридимит переходит в кристобалит при увеличении объема на 4,7 %. Кристобалит плавится при температуре 1713 °С с увеличением объема на 0,1 %.

Превращения кварца из одной модификации в другую при нагреве происходят быстро, а при охлаждении медленно. Поэтому кварц, подвергнутый так называемому тридимитизирующему обжигу, считается термически стабильным материалом. В процессе его нагрева не происходит существенных объемных изменений, приводящих к растрескиванию зерен. В обычных условиях тридимит встречается в смесях лишь после многократных заливок.

Кроме кварца в песках содержатся минеральные примеси: полевые шпаты, слюды, оксиды и гидраты оксидов железа, карбонаты, кальциты, глинистые минералы, рутил, пирит и др.

Полевые шпаты ($MeO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) бывают калиевые и натриево-известковые. Они имеют меньшую твердость, чем кварц (6–6,5 единиц по шкале Мооса), и меньшую температуру плавления (1170–1550 °С).

Слюда ухудшает огнеупорность песка. Она имеет большую плотность (2,7–3,2 г/см³) и низкую температуру плавления (1150–1400 °С). В природе наиболее широко распространены белая калийная слюда – мусковит ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$) и черная железомagneзиальная слюда – биотит ($K_2O \cdot 6(Mg, Fe)O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$).

Оксиды железа встречаются в виде гематита (Fe_2O_3), магнитного железняка ($FeO \cdot Fe_2O_3$) и ильменита ($FeO \cdot TiO_2$). Наибольшей температурой плавления обладает гематит (1560 °С).

Гидраты оксидов железа ($n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$) в зависимости от содержания воды бывают нескольких разновидностей. При нагревании они теряют воду и способствуют образованию в песке легкоплавких силикатных эвтектик, вызывающих пригар на отливках.

Особенно вредными в песках являются примеси карбонатов, которые разлагаются при нагревании до температуры 500–900 °С и способствуют образованию в отливках различных дефектов. Содержание вредных примесей в песках регламентируется ГОСТ 2138–84.

В формовочных песках встречаются несколько глинистых минералов: каолинит, монтмориллонит, гидрослюда.

Поверхность зерен небогатенного песка в большинстве случаев покрыта пленками гидратированного кварца, гидроксидов железа, алюминия и глины. Эти пленки очень тонкие (0,5–20 мкм) и оказывают существенное влияние на адгезию как глинистых, так и органических связующих. Зерна песка обладают большой поверхностной активностью.

От величины зерен песка зависят прочность, газопроницаемость и другие свойства формовочных смесей.

Глинистая составляющая формовочных песков. Глинистой составляющей называют совокупность частиц размером менее 22 мкм независимо от их химического состава.

В зависимости от массовой доли глинистой составляющей формовочные пески подразделяют согласно действующему стандарту (ГОСТ 29234.3–91) на *кварцевые* (К), *тощие* (Т) и *жирные* (Ж). Кварцевые пески содержат не более 2 % глинистой составляющей, в то время как для тощих песков она находится в пределах 2–12 %, а для жирных песков ее диапазон составляет от 12 до 50 %.

Кварцевые и тощие пески подразделяют на группы в зависимости от содержания глинистой составляющей и диоксида кремния SiO_2 , коэффициента однородности и среднего размера зерна. Для жирных песков деление на группы определяется средним размером зерна и пределом прочности при сжатии во влажном состоянии. Эти группы песков приведены в табл. 5.1–5.7.

Определение содержания глинистой составляющей осуществляют по ГОСТ 29234.1–91. Применяемая методика основана на зависимости скорости осаждения V взвешенной в жидкости частицы от ее диаметра d . По формуле Стокса скорость осаждения сферической частицы в воде равна

$$V = g \cdot d^2 \cdot (\rho - \rho_0) / 18\mu, \quad (5.1)$$

где ρ и ρ_0 — плотность частицы и плотности воды;

μ — динамический коэффициент вязкости воды.

Таблица 5.1

Группы кварцевых песков по содержанию глинистой составляющей

Группа	Массовая доля глинистой составляющей, %, не более
1	0,2
2	0,5
3	1,0
4	1,5
5	2,0

Таблица 5.2

Группы кварцевых песков по содержанию диоксида кремния

Группа	Массовая доля диоксида кремния, %, не менее
К ₁	99,0
К ₂	98,0
К ₃	97,0
К ₄	95,0
К ₅	93,0

Таблица 5.3

Группы тощих песков по содержанию глинистой составляющей

Группа	Массовая доля глинистой составляющей, %, не более
1	4,0
2	8,0
2	12,0

Таблица 5.4

Группы тощих песков по содержанию диоксида кремния

Группа	Массовая доля диоксида кремния, %, не менее
Т ₁	96,0
Т ₂	93,0
Т ₃	90,0

Таблица 5.5

Группы песков по коэффициенту однородности

Группа	Массовая доля глинистой составляющей, %, не более
О ₁	Более 80
О ₂	От 70 до 80
О ₃	От 60 до 70
О ₄	От 50 до 60
О ₅	Менее 50

Таблица 5.6

Группы песков по среднему размеру зерна, мм

Группа	Массовая доля диоксида кремния, %, не менее
01	Менее 0,14
016	От 0,14 до 0,18
02	От 0,19 до 0,23
025	От 0,24 до 0,28
03	Более 0,28

Таблица 5.7

Группы жирных песков по прочности

Группа	Предел прочности при сжатии во влажном состоянии, МПа
Ж ₁	Более 0,08
Ж ₂	От 0,05 до 0,08
Ж ₃	Менее 0,05

Если в (5.1) подставить вязкость воды при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\mu=0,01$ пуаз, $\rho_0 = 1\text{ г/см}^3$, $\rho = 2,5\text{ г/см}^3$, то после вычисления получим, что частица диаметром $d = 22\text{ мкм} = 22 \cdot 10^{-4}\text{ см}$ будет опускаться в воде со скоростью $0,042\text{ см/с}$. Частицы с меньшим диаметром станут опускаться медленнее, а с большим – быстрее. Например, на глубину 125 мм частица диаметром 22 мкм опустится за 5 мин .

Рассмотрим методику определения содержания глинистой составляющей в песке. Навеску песка 50 г высушивают при $105\text{--}110\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы, высыпают в литровую банку и заливают 475 см^3 дистиллированной воды и 25 см^3 раствора пирофосфата натрия концентрацией $10\text{ г на } 1\text{ дм}^3$. Банку устанавливают на специальный прибор для взбалтывания, на котором она вращается в течение часа со скоростью 60 об/мин . Затем в банку доливают воду до уровня 150 мм от дна и дают взвеси отстояться в течение 10 мин . За это время на дно банки оседают частицы диаметром больше 22 мкм . На глубину 125 мм от уровня жидкости в банке опускают сифонную трубку (рис. 5.2) и сливают жидкость. Затем доливают воду до уровня 150 мм и снова в течение часа взбалтывают банку. После этого дают взвеси отстояться 10 мин и сливают жидкость. Эти операции повторяют до тех пор, пока вода в банке после взбалтывания не станет прозрачной.

Во всех циклах операций, кроме первых двух, взвесь отстаивают в течение 5 мин . Отстаивание в первых циклах в течение 10 мин производится исходя из следующих соображений. Формула (5.1) получена для опускания одной частицы. Во взвеси песка в воде таких частиц много, поэтому скорость их опускания меньше, чем $0,042\text{ см/с}$. Для того чтобы обеспечить осаждение всех частиц диаметром больше 22 мкм , принято время отстаивания, превышающее расчетное, – 10 мин .

После двух циклов отстаивания содержание глинистой составляющей во взвеси уменьшится, что обеспечит достаточную точность применения формулы (5.1) и возможность пятиминутного отстаивания.

В конце испытания после слива воды на дне банки останется лишь зерновая часть песка. Ее переносят на фильтровальную бумагу и на часовое стекло. После высушивания остатка до постоянной массы его взвешивают. Потеря в мас-

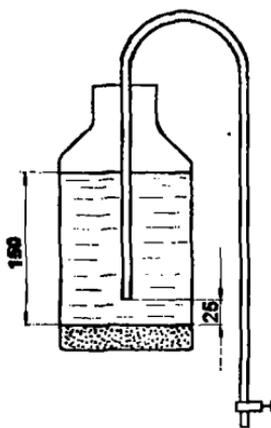


Рис. 5.2 Схема удаления воды сифоном

се после прокаливания по сравнению с предварительно высушенной первоначальной массой (50 г) показывает массу глинистой составляющей. Для выражения ее в процентах число граммов умножают на два.

Зерновой состав песка. Совокупность частиц песка, размеры которых превышают 22 мкм, называется зерновой основой песка. Технологические свойства формовочных смесей существенно зависят от размеров зерен песка, формы зерен и распределения навески песка по размерам зерен.

Для исследования зернового состава песка применяют ситовой анализ, т.е. рассивание части навески песка через набор сит после отмучивания глинистой составляющей. Стандартный набор включает в себя 11 сит. Размеры стороны ячеек и соответствующие номера сит приведены ниже:

Номер сита	2,5	1,6	1	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05
Размер стороны ячейки сита, мм	2,5	1,6	1,0	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05

Перед испытанием сита устанавливаются друг на друга в указанном порядке. При этом номер сита снизу вверх увеличивается. Снизу набора сит предусмотрен тазик. Набор сит устанавливается на специальный прибор, который с помощью эксцентрикового механизма встряхивает в горизонтальной плоскости стопку сит с частотой 300 колебаний в минуту. После просивания песка в течение 15 мин сита снимают с прибора и взвешивают остатки песка на каждом сите и в тазике. Совокупность зерен, оставшихся на каждом сите, составляет отдельную фракцию с размерами частиц в пределах отверстий вышестоящего и данного сита. Зерновой состав песка характеризуется средним размером зерна, коэффициентом однородности и удельной поверхностью зерен.

Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности. Средний размер песка и коэффициент однородности рассчитываются по результатам отсева пробы песка и определения количественного распределения частиц по ситам. Массовую долю остатка на сите X_i вычисляют по формуле, %:

$$X_i = \frac{m_i \cdot 100}{m}$$

где i – порядковый номер сита;

m_i – масса остатка на сите, г;

m – масса исходной навески, г.

Далее строят интегральную кривую распределения частиц по размерам. Для этого по оси абсцисс откладывают в логарифмическом масштабе размер сторон ячеек сетки в свету a_i , а по оси ординат в линейном масштабе – процентную долю массы частиц, имеющих размер меньше a_i . Средний размер зерна D_{cp} соответствует границе, разделяющей значения размеров частиц на две равные части, т.е. характеризующей размер воображаемого сита, через которое прошло бы ровно 50 % песчаной основы.

Для определения коэффициента однородности по интегральной кривой находят процентное содержание частиц размером меньше $4/3 D_{cp}$ и $2/3 D_{cp}$. Коэффициент однородности равен разности этих значений.

Пример обработки данных рессва для определения среднего размера зерна и коэффициента однородности приведен в табл. 5.8 и на рис. 5.3. На нижнюю горизонтальную ось графика в логарифмическом масштабе нанесена шкала размера зерен от 0,01 до 2 мм. На верхней горизонтальной оси нанесены метки, соответствующие индексу сита, через которое не могут пройти зерна большего размера, чем абсцисса метки. Например, метке сита 005 соответствует абсцисса 0,063 мм. Это означает, что частицы, оставшиеся на сите 005, имеют размер, который не

Таблица 5.8

Исходные данные для определения среднего размера зерен и коэффициента однородности песка

Индекс сита	Размер стороны ячейки сита в свету d , мм	Характерный размер фракции δ , мм	Остаток на сите		Доля массы частиц, размер которых меньше сторон ячейки сита, %
			г	%	
2.5	2,5	—	0	0	100
1.6	1,6	2,05	0	0	100
1.0	1	1,3	0,10	0,21	99,8
063	0,63	0,815	0,40	0,82	99,0
04	0,4	0,515	1,80	3,70	95,3
0315	0,315	0,3575	4,60	9,45	85,8
02	0,2	0,2575	18,75	38,50	47,3
016	0,16	0,18	8,90	18,27	29,0
01	0,1	0,13	11,60	23,82	5,2
0063	0,063	0,0815	2,35	4,83	0,4
005	0,05	0,0565	0,15	0,30	0,1
Тагик	--	0,035	0,05	0,10	0
Всего			48,70	100	

превышает 0,063 мм, поскольку они прошли через сито 0063, находящееся над ситом 005. Аналогично метке сита 0063 соответствует абсцисса 0,1 мм. Это означает, что частицы, оставшиеся на сите 0063, имеют размер, который не превышает 0,1 мм, поскольку они прошли через сито 01, находящееся над ситом 0063.

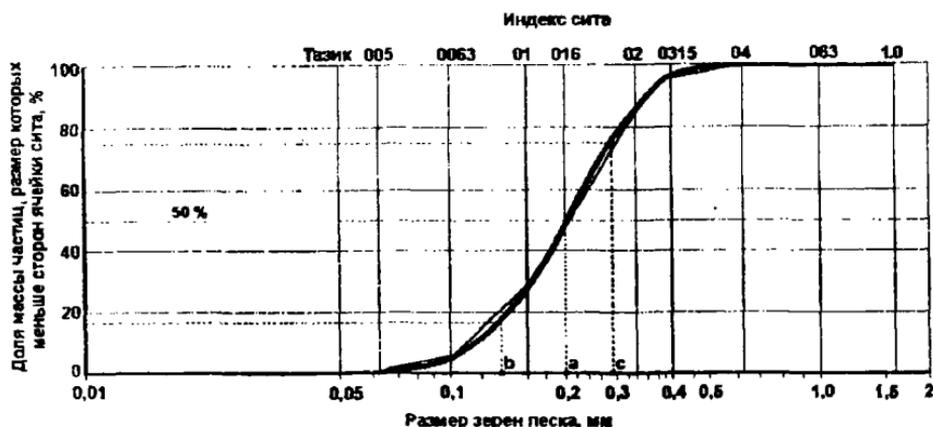


Рис. 5.3. Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности песка графическим способом

В третьей графе табл. 5.8 приведены значения характерного размера каждой фракции, вычисленные по формуле

$$\delta = \frac{d + d_e}{2},$$

где d — размер ячейки сита, мм;

d_e — размер ячейки смежного сита, расположенного выше, мм.

Интегральная кривая (процентная доля массы частиц, размер которых меньше сторон ячейки вышележащего сита) построена по данным последней графы табл. 5.8. Способ построения кривой не оговорен стандартом, хотя это вносит некоторую неопределенность и может привести к существенным погрешностям. На рис. 5.3 видна ломаная линия, соединяющая точки, соответствующие данным таблицы. Кроме того, построена плавная кривая, точно проходящая через те же точки. Поскольку все расчеты и построение графика очень трудоемки, то их рационально выполнять с помощью ЭВМ. В рассматриваемом случае

средний размер зерна составляет 0,2 мм (по результатам компьютерного расчета $D_{cp} = 0,205$ мм), а коэффициент однородности – $O = 75 - 16 = 59$ %. Эта величина равна разности ординат точек на кривой, имеющих абсциссы $4/3 D_{cp}$ и $2/3 D_{cp}$. Таким образом, в обозначение марки рассмотренного песка должно входить в качестве показателя однородности и среднего размера зерна сочетание O_402 (согласно табл. 5.5 и 5.6).

Определение расчетной и фактической удельной поверхности. Расчет коэффициента угловатости. За удельную поверхность принимают площадь поверхности зерен, отнесенную к 1 г песка.

Расчет удельной поверхности S_p производят по формуле

$$S_p = 22,64 \frac{\sum (m_i / \delta_i)}{m}$$

где i – порядковый номер сита;

m_i – масса отдельных фракций песка, г;

m – масса навески песка, г;

δ_i – характерный размер зерен на сите, мм (см. с. 248).

Эта формула справедлива только для сферических частиц, поэтому фактическая удельная поверхность песка всегда превышает расчетную.

Произведем расчет удельной поверхности песка, ситовой анализ которого приведен в табл. 5.8:

$$S_p = \frac{22,64}{48,7} \cdot \left(\frac{0,1}{1,3} + \frac{0,4}{0,815} + \frac{1,8}{0,515} + \frac{4,6}{0,3575} + \frac{18,75}{0,2575} + \frac{8,9}{0,18} + \frac{11,6}{0,13} + \frac{2,35}{0,0815} + \frac{0,15}{0,0565} + \frac{0,05}{0,035} \right) = 121,5.$$

По теоретической (расчетной) удельной поверхности и коэффициенту угловатости пески согласно стандарту подразделяются на группы, приведенные в табл. 5.9 и 5.10. Видно, что при расчетной удельной поверхности $121,5 \text{ см}^2/\text{г}$ песок следует отнести к группе «средняя».

Фактическую удельную поверхность определяют путем лабораторного контроля. Для проведения испытания применяют прибор, схема которого приведена на рис. 5.4.

Таблица 5.9

Группы песков по теоретической удельной поверхности

Группа	Теоретическая удельная поверхность, см ² /г, не менее
Высокая	150
Средняя	100
Низкая	50

Таблица 5.10

Группы песков по коэффициенту угловатости

Группа	Коэффициент угловатости, ед., не более
Округлая	1,10
Полукруглая	1,25
Угловатая	1,40

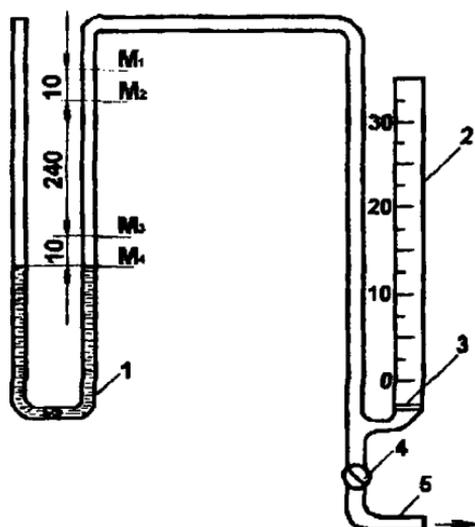


Рис. 5.4. Поверхностемер: 1 – U-образная трубка; 2 – бюретка; 3 – сито; 4 – кран; 5 – выходная трубка

Пробу сухого песка массой 50 г помещают в бюретку 2 диаметром 1,2 см, имеющую вместимость 50 см³, в нижнюю часть которой впаяно сито 3. Песок в бюретке уплотняют легким постукиванием по ней карандашом, пока он не займет постоянный объем. После этого с помощью резиновой груши, соединенной с выходной трубкой 5, отсасывают воздух из U-образной трубки 1 до тех пор, пока уровень жидкости в ней не поднимется до метки M₁. Чтобы исключить попадание воздуха в U-образную трубку, закрывают кран 4. Уровни жидкости в двух коленах трубки постепенно выравниваются за счет притока воздуха через песок в бюретку 2. С помощью секундомера фиксируют время T, за

которое столб жидкости опустится от метки M_2 до метки M_3 .

Для вычисления удельной поверхности требуется экспериментально определить несколько величин или задать их значения: m – навеска песка, г; V – объем песка в бюретке, см^3 ; γ – плотность минеральной основы песка (например, кварца), $\text{г}/\text{см}^3$; S – площадь поперечного сечения бюретки, см^2 .

После этого рассчитывают насыпную плотность песка $D = \frac{m}{V}$,

оценивают относительный объем пор $\varepsilon = \frac{\gamma - D}{\gamma}$ и вычисляют высоту

слоя песка в бюретке $H = \frac{V}{S}$. Далее вычисляют фактическую удельную

поверхность по формуле

$$S_{\phi} = \frac{\gamma}{D} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon^3}{H}} \cdot T,$$

где γ – постоянная прибора, величина которой приводится в сопроводительной документации либо вычисляется по методике, оговоренной стандартом.

Коэффициент угловатости K определяется по формуле

$$K = \frac{S_{\phi}}{S_p}$$

Например, при контроле фактической удельной поверхности рассмотренного выше песка она оказалась равной $149 \text{ см}^2/\text{г}$. Таким образом, коэффициент угловатости составляет

$$K = \frac{149}{121,5} = 1,226,$$

потому в соответствии с табл. 5.10 песок следует отнести к группе формы зрси «полуокруглая».

Обозначение марок песка по ГОСТ 29234.3–91. Обозначение марок кварцевых и тощих песков состоит из обозначений групп по массовой доле глинистой составляющей, массовой доле диоксида кремния,

коэффициенту однородности и размеру зерна. Например, марка $2K_1O_202$ относится к песку, содержащему от 0,2 до 0,5 массовых процентов глинистой составляющей, не менее 99 массовых процентов диоксида кремния, имеющему коэффициент однородности от 60 до 70 % и средний размер зерна от 0,19 до 0,23 мм.

Обозначение марок жирных песков состоит из обозначений групп по пределу прочности на сжатие во влажном состоянии и среднему размеру зерна. Например, марка Ж₂016 относится к жирному песку с пределом прочности при сжатии во влажном состоянии от 0,05 до 0,08 МПа и средним размером зерна от 0,14 до 0,18 мм.

Согласно стандарту существуют и другие признаки, по которым пески подразделяются на группы:

- массовая доля влаги;
- концентрация водородных ионов (рН) в водной вытяжке;
- массовая доля вредных примесей;
- коэффициент угловатости;
- теоретическая удельная поверхность;
- газопроницаемость;
- потеря массы при прокаливании.

Обогащенные пески в зависимости от содержания глинистой составляющей, диоксида кремния и вредных примесей делятся на группы Об1, Об2 и Об3.

Считаем целесообразным для справки привести способ маркировки песков по ГОСТ 2138-84.

В зависимости от содержания глинистой составляющей (ГС) пески делятся на кварцевые (К), $ГС \leq 2\%$; тощие (Т), $2 < ГС \leq 10\%$; полужирные (ПЖ), $10 < ГС \leq 20\%$; жирные (Ж), $20 < ГС \leq 30\%$; очень жирные (ОЖ), $30 < ГС \leq 50\%$. Кварцевые пески в зависимости от содержания SiO_2 обозначаются: 1К (SiO_2 не менее 97 %), 2К (SiO_2 не менее 96 %), 3К (SiO_2 не менее 94 %) и 4К (SiO_2 не менее 90 %).

Зерновой состав формовочного песка оценивается по результатам ситового анализа. Наибольшую сумму остатков песка (массовых процентов) на трех каких-либо смежных ситах, взятых подряд, называют основной фракцией. Формовочные пески по сумме остатков песка, отвечающих основной фракции, подразделяют на пески с концентрированной (сосредоточенной) зерновой структурой, у которых основная фракция составляет не менее 70 %, и пески с рассредоточенной зерновой структурой с основной фракцией не менее 60 %. Формовочные пески с рассредоточенной зерновой структурой делят на крупные (КРК), средние (КРС), мелкие (КРМ) и с общей (на любых ситах) рассредоточенностью (КРО).

Пески, у которых на верхнем из трех смежных сит основной фракции располагается большая массовая доля песка, чем на нижнем, относят к категории А. Если же массовая доля, оставшаяся на нижнем сите, больше, чем на верхнем, то такой песок относится к категории Б.

В маркировку песка включаются обозначения класса (1К, 2К, 3К, 4К, Т, ПЖ, Ж, ОЖ), размера среднего сита основной фракции, категории (например, 3К016А).

5.2.3. Высокоогнеупорные наполнители

При изготовлении крупных отливок из чугуна и стали огнеупорность кварцевых песков может оказаться недостаточной для получения качественных отливок без пригара. Материал формы в данных условиях прогревается на значительную толщину до высоких температур. При этом кварцевые зерна могут не только расплавиться, но и взаимодействовать с оксидами железа и компонентов сплавов (например, с марганцем) с образованием легкоплавких соединений, формирующих пригарный слой на поверхности отливок. Для получения качественных отливок вместо кварцевых песков в данных случаях применяют высокоогнеупорные наполнители. Кроме высокой огнеупорности эти материалы имеют повышенную теплоаккумулирующую способность, что снижает время контакта жидкого сплава с формой при формировании отливки.

Хромит. Химическая формула основного минерала в хромите (хромистом железняке) $FeO \cdot Cr_2O_3$. В природных хромитах содержание Cr_2O_3 в зависимости от содержания примесей колеблется от 36 до 65 %. С повышением содержания Cr_2O_3 огнеупорность хромита увеличивается. При содержании Cr_2O_3 до 40 % температура плавления хромита 1800 °С, а коэффициент аккумуляции тепла в два раза выше, чем у кварцевых песков (2380 Вт·с^{1/2}/(м²·К)), что увеличивает скорость охлаждения расплава и снижает его проникновение в межзеренное пространство в поверхностных слоях формы. Наиболее вредной примесью в хромитах является $CaCO_3$, который при нагревании разлагается с выделением CO_2 , что может привести к образованию газовых раковин в отливках. Поэтому хромит рекомендуется предварительно прокалить при температуре 900–1000 °С.

Хромит применяют для приготовления паст для облицовки форм при получении крупных стальных и чугунных отливок. Считают, что при нагревании поверхности формы залитым сплавом происходит спекание хромита, приводящее к закрытию пор в смеси, что препятствует пригарообразованию.

Магнезит. Это горная порода, содержащая минерал $MgCO_3$. В процессе обжига магнезита происходит диссоциация карбоната с образованием магнезии MgO . Магнезию обжигают до спекания при температуре 1400 °С с добавками оксида железа. В результате получают металлургический магнезит с содержанием MgO более 85 %.

Магнезитовые изделия имеют огнеупорность выше 2000 °С. Наполнители формовочных смесей получают путем дробления магнезитовых изделий. Магнезит целесообразно применять для приготовления

облицовочных смесей и противопригарных красок при получении отливок из высокомарганцовистых и высоколегированных сталей.

Хромомагнезит. Он представляет собой продукт обжига смеси, состоящей из 50–70 % хромитовой руды и 30–50 % магнезита. Химический состав хромомагнезита колеблется в следующих пределах: 40–58% MgO , 16–27 % Cr_2O_3 . Огнеупорность хромомагнезита не менее 2000°C. Для приготовления облицовочных смесей, паст, красок для крупных стальных отливок применяют дробленый бой хромомагнезитового кирпича.

Циркон. Это природный материал, химическая формула которого $ZrO_2 \cdot SiO_2$. Кроме основного минерала в природном цирконе содержатся кварц, ильменит, оксиды железа и др.

Для приготовления формовочных и стержневых смесей применяют молотый обезжелезненный циркон, содержащий не менее 60 % ZrO_2 и не более 0,1 % FeO . Циркон имеет высокую температуру плавления (2430–2450 °C). Он применяется для приготовления противопригарных красок для стального литья, а также для изготовления керамических форм и стержней.

Шамот. Шамот получают путем обжига огнеупорной глины до спекания. Химический состав шамота: 30–45 % Al_2O_3 , 0,54–70 % SiO_2 , а также примеси (TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO и др.). Чем выше содержание Al_2O_3 , тем выше огнеупорность шамота. Обычно она составляет 1670–1750 °C. Чистый Al_2O_3 (корунд) имеет температуру плавления 2047 °C. Основное преимущество шамота состоит в его низком по сравнению с кварцевым песком тепловым расширением, что очень важно с точки зрения устранения таких дефектов поверхности отливок, как ужимины. Шамот применяют для приготовления смесей сухих форм для чугунного и стального литья. Иногда он применяется при изготовлении полупостоянных форм для крупных и средних чугунных и стальных отливок простых конфигураций.

Алюмосиликатные материалы. К ним относят муллит и корунд.

Муллит – высокоогнеупорный материал, имеющий формулу $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Он получается при сплавлении каолина с корундом.

Корунд (Al_2O_3) – минерал синего цвета. Синтетический корунд получают плавлением боксита и чистых высокоглиноземистых глин. Он содержит до 95 % Al_2O_3 и отличается высокой огнеупорностью, малой химической активностью и отсутствием объемных изменений.

Муллит и корунд применяют для изготовления противопригарных красок для стального литья и в качестве наполнителя для изготовления форм при литье по выплавляемым моделям.

Дистен-силлиманит. Дистен и силлиманит являются модифика-

циями химического соединения $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, имеющими различную кристаллическую структуру. Оба эти минерала входят в состав дистен-силлиманита. Дистен не испытывает изменений при нагреве до 1300 °С, а силлиманит – при нагреве до 1545 °С. Дистен-силлиманитовый концентрат содержит не менее 57 % Al_2O_3 и не менее 39 % SiO_2 . Его применяют в противогригарных красках для стального литья.

5.2.4. Подготовка наполнителей

Формовочные пески, поступившие из карьера, после выгрузки на складе подвергают сушке до влажности не более 0,5 %. Для сушки пески применяют различные сушила (барабанные, устройства для сушки в кипящем слое и др.). Для предотвращения растрескивания песка температура сушки не должна превышать 200 °С. При повышении содержания глины в песке температура сушки должна снижаться, чтобы не происходила потеря кристаллогидратной и конституционной влаги глины. После сушки для удаления случайных включений песок просеивают через полигональные сита с размерами ячеек 3–5 мм. Высокоогнеупорные наполнители измельчают и просеивают до обеспечения необходимого зернового состава.

5.3. Связующие материалы

5.3.1. Требования к связующим материалам

Связующие материалы предназначены для обеспечения сил связи между зёрнами наполнителя в формовочной или стержневой смеси. Для того чтобы смесь имела достаточные механические и технологические свойства, связующие должны удовлетворять следующим требованиям:

- придавать высокую удельную прочность, представляющую собой прочность смеси в расчете на 1 % применяемого связующего. Чем больше удельная прочность смеси, тем меньший расход связующего необходим для обеспечения заданной прочности смеси;
- обеспечивать сохранение прочности смеси в процессе ее нагрева после заливки формы на необходимом уровне до тех пор, пока не образуются достаточная с точки зрения обеспечения жесткости твердая корка металла;
- смесь с использованием данного связующего должна обладать текучестью, обеспечивающей при выбранном способе уплотнения необходимое качество форм при наименьших затратах энергии;

- не допускать прилипания смеси к поверхности модели или стержневого ящика;
- обеспечивать получение качественной поверхности отливок без пригара, ужимки и других дефектов;
- обеспечивать максимальное разупрочнение смеси после затвердевания отливки для обеспечения податливости форм и стержней и легкой выбиваемости их из отливок;
- обеспечивать живучесть смеси, возможность ее регенерации и многократного использования;
- обеспечивать необходимый уровень производительности изготовления форм и стержней при соответствующей данному связующему технологии упрочнения;
- иметь низкую стоимость, не требовать дефицитных материалов.

Несмотря на то что количество известных в настоящее время связующих превышает 100 и их число непрерывно увеличивается, практически нет связующих, удовлетворяющих всем указанным требованиям.

5.3.2. Классификация связующих

Связующие материалы можно классифицировать по их химической природе, механизму и способу упрочнения, развиваемой удельной прочности. При этом различают органические и неорганические связующие. В зависимости от растворимости в воде, смачиваемости сую связующие делятся на водные и неводные.

Среди неорганических связующих можно отметить глину, гипс, цемент, жидкое стекло, фосфаты и др. Эти связующие пригодны для литья по-сырому, обладают малой газотворностью, но имеют плохую выбиваемость. Количество органических связующих непрерывно увеличивается. К ним относятся масла, синтетические смолы, лигносульфаты, природные смолы, сахариды и др. Смеси на органических связующих обладают высокой текучестью и удельной прочностью, хорошей выбиваемостью. Однако они имеют повышенную газотворность и многие из них токсичны, что требует четкого соблюдения правил техники безопасности и охраны окружающей среды при работе с ними.

При упрочнении связующих жидкие пленки, покрывающие зерна наполнителя, затвердевают. Их затвердевание может происходить в результате перехода из жидкого состояния в твердое при охлаждении (например, канифоль, битум и др.), путем поликонденсации (смола), окисления (масло, олифа), образования геля при химическом воздействии (жидкое стекло) или высыхания (испарения) растворителя в процессе нагрева (декстрин, лигносульфаты, патока, глина и др.).

Различают обратимо и необратимо затвердевающие связующие. Необратимо затвердевающие связующие (жидкое стекло, смола, масла, олифа, фосфаты и др.) при нагреве испытывают сложные химические превращения и после охлаждения не восстанавливают свои свойства. Обратимо затвердевающие материалы восстанавливают свои свойства после охлаждения (битумы, канифоль, пеки и др.) или при действии растворителя (декстрин, пектиновый клей, лигносульфаты и др.). Если в составе связующих присутствуют как обратимо, так и необратимо затвердевающие компоненты, то связующие относят к затвердевающим по промежуточному типу.

Наибольшее распространение получила классификация связующих, предложенная проф. А. М. Ляссом (табл. 5.11) [42].

Для обеспечения твердения связующих применяют сушку, нагрев, продувку смеси углекислым газом и другие химические воздействия, используют отвердители и др.

Таблица 5.11

Классификация связующих материалов (по А. М. Ляссу)

Удельная прочность, МПа	Характер затвердевания	Класс А (органические исходные связующие)	Класс Б (органические водные связующие)	Класс В (неорганические водные связующие)
0,3	Обратимый	А3 Пеки	Б3 Другие полисахариды, ЛСТ	В3 Глина, цемент
0,3-0,5	Промежуточный	А2 Нефтяные масла	Б2 Комбинированные на основе ЛСТ и других веществ. Полисахариды (декстрин, крахмалит и др.)	В2
0,5	Необратимый	А1 Водонерастворимые органические масла и синтетические смолы, растительные масла и связующие на их основе	Б1 Водорастворимые синтетические смолы	В1 Жидкое стекло, кремнезоль, фосфаты, алюминаты

5.3.3. Роль воды в формовочных смесях

Исходные формовочные материалы и готовые смеси всегда в том или ином количестве содержат воду. Она является необходимым компонентом для придания смеси соответствующих технологических свойств: прочности, пластичности, живучести, текучести, формустойкости и т.п. Вода, обладая высоким значением поверхностного натяжения, служит связующим материалом, обеспечивая прочность смеси в сыром состоянии. В замороженных формах вода является единственным связующим материалом, который при замерзании обеспечивает высокую прочность формы.

Диапазон изменения влажности формовочных смесей составляет 2–8 %, а стержневых – 0–4 %. Для каждого состава формовочной смеси существует оптимальная величина влажности, определяемая экспериментально.

Влажные формовочные и стержневые смеси принадлежат к классу структурно-сложных коллоидных капиллярно-пористых систем. Существуют три формы связи воды с минеральными и органическими компонентами смеси: химическая, физико-химическая и физико-механическая.

По принадлежности к исходным материалам смеси вода подразделяется на входящую и не входящую в состав минералов. Вода, входящая в состав минералов, разделяется на конституционную, кристаллизационную и цеолитную. Конституционная и кристаллизационная вода химически связана с минералами. Конституционная влага имеет наиболее прочную связь, она находится в точном молекулярном соотношении с другими компонентами химического соединения (например, в каолините $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$). Начало выделения конституционной влаги из минералов наблюдается при 300–350 °С, а полная ее потеря происходит при 700 °С. Процесс выделения конституционной влаги из минералов необратим, свойства минерала резко изменяются и не восстанавливаются при последующем увлажнении. Например, потеря конституционной влаги из каолина приводит к необратимому образованию соединения $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, называемому шамотизацией глины.

Кристаллизационная влага входит в состав минерала, но ее количество переменное. Оно зависит от условий выделения минерала из раствора, и в формуле соединения кристаллизационную влагу обозначают nH_2O . При нагревании кристаллизационная влага удаляется при более низких температурах, но при намокании она может возвращаться в состав минерала, сообщая ему исходные свойства.

Цоолитная влага не входит в химический состав минералов (цеолитов), а впитывается внутрь их кристаллических решеток (внутрикристаллическое набухание). Удаление этой влаги – обратимый процесс.

Адсорбированная (пленочная) влага делится на гигроскопическую (прочно связанную с минералами) и осмотическую (рыхло связанную). Различают физическую и физико-химическую адсорбцию влаги. Твердые частицы наполнителя во влажной смеси заряжаются отрицательно, покрываясь гидроксильными *ОН*-группами. За счет водородных связей полярной молекулы воды она взаимодействует с *ОН*-группами, образуя гидратный слой. При этом между частицами минерала и диполями воды возникают силы взаимодействия, достигающие у поверхности частиц значения в сотни мегапаскалей. Они быстро убывают в зависимости от расстояния, приближаясь к нулю на расстоянии между частицами 0,5 мкм. Удерживаемый этими силами тонкий слой прочно связанной влаги отличается по своим свойствам от свободной влаги.

Прочно связанная влага имеет большую вязкость, плотность, упругость и более низкую температуру замерзания. К слою этой влаги примыкает слой рыхло связанной влаги, которая легко может отрываться от частицы минерала.

Свободная влага подразделяется на капиллярную и гравитационную. Капиллярная влага располагается в кольцеобразных контактах стыков зерен (манжетах) и на поверхности зерен. Она не стекает из смеси под действием силы тяжести.

Гравитационная влага располагается в порах смеси. Она отделяет зерна друг от друга и стекает под действием собственного веса (силы тяжести). В формовочных и стержневых смесях такая влага отсутствует.

Капиллярная влага стягивает частицы наполнителя друг с другом за счет сил капиллярного давления, усиливая прочность смеси во влажном состоянии.

Влага улучшает уплотняемость смеси. Поэтому для достижения максимальной прочности в сухом состоянии смеси для заливки по-сырому содержат больше влаги, чем для заливки по-сырому. С точки зрения снижения газотворности смеси и повышения ее текучести при заливке по-сырому стремятся по возможности снизить влажность смеси.

5.3.4. Формовочные глины

Формовочные глины – горные породы, состоящие из тонкодисперсных частиц. Основными минералами в них являются водные алюмосиликаты, обладающие связующей способностью. Глины содержат не менее 50 % глинистой составляющей (совокупность всех частиц любой природы размером менее 22 мкм). Содержание глинистой составляющей

щей отвечает общему глиносодержанию. Собственно глинистые минералы, входящие в глинистую составляющую, называются активной глиной.

По происхождению формовочные глины делят на первичные и вторичные. Первичные глины образуются в результате разложения кристаллических пород и выпадения из водных растворов, содержащих кремнезем и глинозем. Они находятся на месте их образования. Вторичные глины осаждались из водных растворов и были перенесены с места своего образования в район добычи.

Минералогический и зерновой состав глин. Основными минералами в глинах являются каолинит и монтмориллонит.

Каолинит имеет химический состав $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Это водный алюмосиликат, имеющий плотность 2,58–2,60 г/см³ и температуру плавления 1750–1787 °С. При нагревании каолинит претерпевает следующие превращения. Сначала (при температуре 100–140 °С) удаляется гигроскопическая влага, а при температуре 350–580 °С – конституционная влага, входящая в состав молекул. При этом каолинит необратимо переходит в метакаолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) и глина теряет связующие свойства. Данный процесс называется, как было отмечено выше, шамотизацией глины. При температуре 900–1050 °С метакаолинит распадается на смесь аморфных Al_2O_3 и SiO_2 , а при температуре 1200–1280 °С снова образуется минерал $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Монтмориллонит ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$) имеет температуру плавления 1250–1300 °С. Его состав не постоянен. В кристаллической решетке монтмориллонита часть ионов Al^{+3} может быть заменена на Mg^{+2} , а часть ионов Si^{+4} – на Al^{+3} . При этом частицы глины приобретают электрический заряд. Кристаллическая решетка монтмориллонита способна поглощать влагу, расширяясь в направлении одной из кристаллических осей. При нагревании из монтмориллонита выделяется свободная влага, а в интервале температур 500–700 °С – конституционная влага. При 600 °С монтмориллонит утрачивает способность к набуханию, а при 735–900 °С его кристаллическая решетка разрушается.

По минералогическому составу формовочные глины делят на три группы: каолиновые (К), бентонитовые (Б) и полиминеральные (П). В каолиновых глинах основным минералом – каолинит или каолинит с гидрослюдой. Бентонитовые глины содержат в качестве основного минерала монтмориллонит, полиминеральные глины – любой глинистый минерал. Кроме основных минералов, в глинах присутствуют кварц, полевой шпат, гидраты оксидов железа, а также карбонаты, которые являются вредными примесями.

Зерновой состав глин определяют отмучиванием (так же, как это делают для песков). О дисперсности глины судят по ее коллоидальности, которую определяют в соответствии с ГОСТ 3594.10-77.

Навеску глины массой 1 г помещают в пробирку диаметром 15 мм и высотой около 150 мм, заливают 15 мл воды и взбалтывают до получения однородной суспензии. К ней добавляют 0,1 г MgO и снова взбалтывают в течение 1 мин. Полученную суспензию отстаивают в течение 24 ч. После отстаивания замеряют высоту столба осадка. Коллоидальность определяют по отношению высоты столба осадка к общей высоте глины и воды, выраженному в процентах.

По коллоидальности глины классифицируются на группы: В – высококоллоидальные (коллоидальность бентонитовой глины не менее 90 % а каолиновой – не менее 60 %); С – среднеколлоидальные (коллоидальность бентонитовой глины не менее 50 %, а каолиновой – не менее 30 %); Н – низкоколлоидальные (коллоидальность бентонитовой глины не менее 25 %; для каолиновой глины она не нормируется).

По содержанию вредных примесей глины классифицируются на группы T_1 , T_2 и T_3 в соответствии с низким, средним и высоким содержанием примесей.

Физико-химические свойства глин. Для понимания механизма формирования прочности важно ознакомиться с физико-химическими свойствами глин. Формовочные глины представляют собой дисперсную коллоидную систему с сильно развитой поверхно-

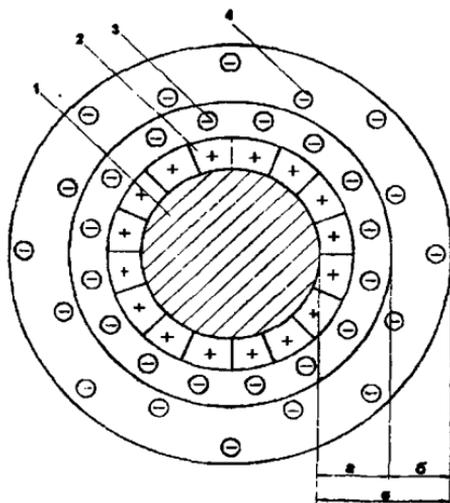


Рис. 5.5. Схемв мицеллы глины: а – адсорбционный слой; б – диффузионный слой; в – двойной элвктрический слой; 1 – ядро (глинистая частица); 2 – ионы; 3 – противоионы; 4 – подвижные противоионы

стью. При смешивании глины с водой в глинистых суспензиях образуется коллоидный раствор. Коллоидные частицы (мицеллы) имеют вид, показанный на рис. 5.5.

Около ядра мицеллы 1, т.е. глинистой частицы, располагаются ионы и возникают адсорбционный (а) и диффузионный (б) слои. Вместе они образуют двойной электрический слой (в). Противоионы 3, 4 находятся под действием электрического поля заряженной частицы и теплового движения жидкой фазы. Это приводит к динамическому распределению противоионов подобно облаку, плотность которого убывает по мере удаления от заряженной поверхности. Ионы располагаются вокруг внешних структурных единиц поверхности глины на ненасыщенных валентностях атомов кислорода в дефектных местах.

Все глины имеют в кристаллической решетке два элемента (рис. 5.6). Один, толщиной 0,5 нм, состоит из двух слоев гидроксидов или ионов кислорода. Между ними на одинаковом расстоянии от шести ионов кислорода (или гидроксидов) в октаэдрической координации расположены ионы алюминия, железа или магния. Другой, толщиной 0,49 нм, состоит из кремнекислородных тетраэдров, в которых расположенный в центре ион кремния Si^{+4} окружен находящимися в вершинах тетраэдра четырьмя ионами кислорода. Тетраэдры образуют повторяющуюся гексагональную сетку (рис. 5.7), из которой формируются слои состава $Si_4O_6(OH)_4$. Все вершины тетраэдра повернуты в одну сторону, а основания лежат в одной и той же плоскости.

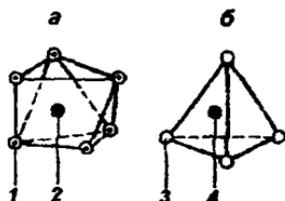


Рис. 5.6. Структурные элементы глин:
1 – гидроксил; 2 – Al, Mg, Fe;
3 – кислород; 4 – Si

В зависимости от способа соединения структурных элементов (октаэдров и тетраэдров) и их числа в элементарной ячейке глинистые минералы подразделяют на два типа. К минералам первого типа относится каолинит. В них число слоев кремнекислородных тетраэдров и алюмосиликатных октаэдров одинаково (рис. 5.7, а). В минералах второго типа, к которым относится монтмориллонит и гидрослюда, в элементарной ячейке имеются три слоя: два слоя тетраэдров с расположенным между ними слоем октаэдров. Эти

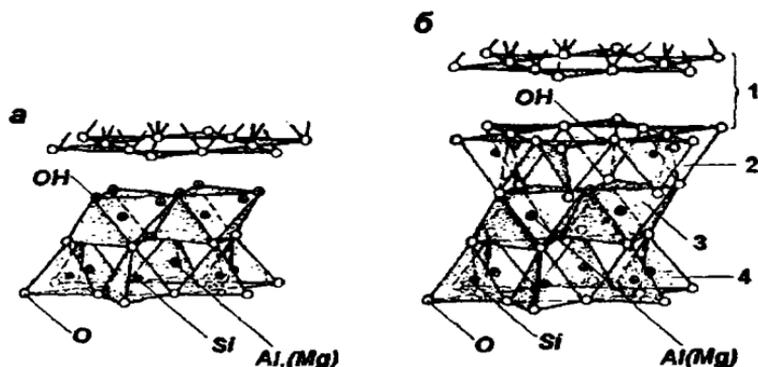


Рис. 5.7. Схемы кристаллических структур каолина (а) и монтмориллонита (б):
1 – расстояние между слоями; 2 и 4 – тетраэдр; 3 – октаэдр

комбинации слоев образуют пакеты. Энергия взаимодействия между слоями составляет $0,45-0,61 \text{ Дж/м}^2$ для каолинита и $0,10-0,13 \text{ Дж/м}^2$ для монтмориллонитов. Проникновение влаги в межслоевое пространство каолинитов невозможно. Соседние пакеты в каолините имеют слабые связи. При увлажнении глины происходит их набухание за счет расположения влаги по краям пакетов у каолинита и между пакетами (внутрикристаллическое набухание) у монтмориллонита. Содержание влаги в монтмориллоните может достигать 30, а иногда и 500 %.

Прочность концентрированной глинистой суспензии имеет коагуляционную природу и реализуется через водородные связи и электростатическое взаимодействие воды с ненасыщенными атомами и гидроксильными глинистыми материалами. Вода, находящаяся на поверхности структурных элементов глины в пределах от 3 до 10 молекулярных слоев (0,8--2,3 нм), под влиянием электрического поля ионов кислорода и гидроксильных групп решетки обладает некоторой упорядоченностью (ориентированной структурой). Эта вода называется жесткой. Она усиливает связь между слоями, осуществляя мостиковую связь между пакетами.

Водные оболочки, расположенные на поверхности частиц глины и находящиеся в поле действия электростатических сил, осуществляют поверхностную связь пакетов. Этот вид влаги называется жидкой водой.

Вклад поверхностных связей в формирование прочности больше, так как они действуют на большой поверхности. Мостиковая связь особенно проявляется в монтмориллонитовых глинах. Они способны сорбировать некоторые катионы и удерживать их в обменном состоянии. Обменными катионами могут быть Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Na^+ . Они замещают в пределах адсорбционного слоя ионы Al^{3+} . Количество обменных ионов тем больше, чем дисперснее глина. Поэтому монтмориллонитовые глины обладают более высокими значениями обменных катионов, чем каолинитовые.

При обмене одних ионов на другие глины приобретают новые свойства. Поэтому свойства глины можно изменять их химической обработкой. Например, при обработке глины содой ионы Ca^{2+} заменяются ионами Na^+ . Согласно ГОСТ 3594.7-77 и ГОСТ 3594.12-77, формовочные глины подвергаются испытаниям для определения химического состава (SiO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , S), влажности и гранулометрического состава.

По отношению $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ различают жирные ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 2,65$) и отощенные ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2,65$) глины. В смесях, предназначенных для формовки по-сырому, целесообразно использовать жирные глины, а для формовки по-сухому — отощенные.

По сумме обменных катионов глины делят на три группы: с высокой суммой катионов в мг-экв. на 100 г сухой глины (не менее 80 — для бентонитовых глины и не менее 35 — для каолиновых); средней суммой катионов (не менее 50 и 20 соответственно для бентонитовых и каолиновых глины) и низкой суммой катионов (не менее 30 для бентонитовых глины).

Механические свойства глины. При приготовлении формовочных смесей глинистая суспензия обволакивает зерна песка. При этом между связующим и песком возникает сцепление за счет сил дисперсионного и химического взаимодействия. Чем больше удельная поверхность песка, тем выше прочность сцепления зерен при условии сохранения удельного содержания связующего на единицу поверхности. Взаимодействие связующего с песком осуществляется за счет гидроксильных групп решетки глины. На рис. 5.8 показана схема такого взаимодействия.

Так как прочность наполнителя больше прочности связующего, то прочность смеси будет определяться прочностью глинистой оболочки. По мере увеличения влажности от нуля до некоторого оптимального

значения прочность смеси увеличивается, а затем падает, снижаясь до нуля при влажности, в 3 раза превышающей оптимальное значение. В пределах влажности ниже оптимального значения прочность обеспечивается за счет поверхностных связей. В глинах, содержащих обменные ионы, прочность при увеличении влажности выше ее оптимального значения возрастает за счет появления мостиковых связей. Она достигает максимума при трехкратном превышении влажности над ее оптимальным значением. Прочность за счет мостиковых связей является наивысшей у глин с одновалентными катионами. Характер влияния влажности на прочность смесей показан на рис. 5.9.

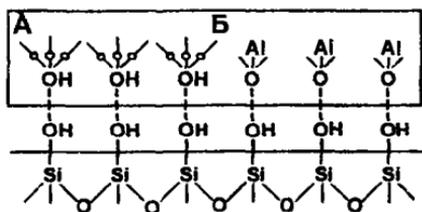


Рис. 5.8. Взаимодействие глины с поверхностью кварца: А – кремнекислородные тетраэдры; Б – октаэдры с алюминием

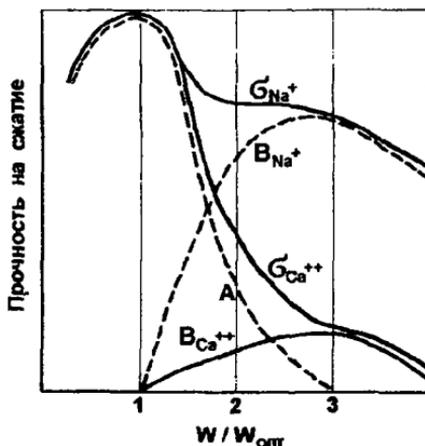


Рис. 5.9. Характер влияния влажности на прочность песчано-глинистых смесей:

σ_{Na^+} – прочность смеси с натриевым бентонитом; $\sigma_{Ca^{++}}$ – прочность смеси с Ca-бентонитом; А – доля прочности, приходящаяся на поверхностные связи; $B_{Ca^{++}}$, B_{Na^+} – доля прочности, приходящаяся на мостиковые связи

При сушке песчано-глинистых смесей при 350–450 °С из глины полностью удаляется связанная влага и прочность обеспечивается межслоевыми электростатическими и водородными связями. С увеличением начальной влажности возрастает и прочность после сушки: при снижении концентрации глинистой суспензии она более изотропна и дисперсна, поэтому после сушки межслоевые связи реализуются полнее.

Важной характеристикой глины является ее пластичность, которая непосредственно определяет формуемость формовочных смесей. Максимальная пластичность глин достигается в определенных диапазонах влажности суспензии. При этом большие значения пластичности бентонитовых глин по сравнению с каолиновыми достигаются при меньших количествах влаги.

Для определения прочности глин во влажном состоянии 1800 г песка и 200 г глины перемешивают в бегунах в течение 2 мин, затем добавляют воду: для бентонитовых глин 60 (3%), 70 (3,5%) и 80 (4%) мл, а для каолиновых глин 2,5; 3,0 и 3,5% (соответственно 50, 60 и 70 мл). Далее смесь перемешивают еще 8 мин. Испытание на сжатие проводят на цилиндрических образцах диаметром и высотой 50 мм, уплотненных тремя ударами копра. Влажность, при которой прочность будет наибольшей, называется оптимальной.

Для определения прочности глин в сухом состоянии готовят смесь, содержащую 1900 г песка и 100 г глины. Влажность обеспечивается на уровнях 6,5; 7,0, 7,5 и 8,0% для бентонитовых и 6,5 и 7% для каолиновых глин. Испытания на сжатие проводят на стандартных цилиндрических образцах после их сушки при 150 °С в течение 1,5 ч.

По пределу прочности на сжатие в сыром и сухом состояниях глины делятся на подгруппы: прочносвязующие, среднесвязующие и малосвязующие (в сыром состоянии эти группы обозначаются соответственно буквами В, С и П, а в сухом состоянии — цифрами 1, 2 и 3). Прочность бентонитовых глин выше прочности каолиновых. Это позволяет снизить глиносодержание смесей при применении бентонитовых глин.

Долговечность — свойство, характеризующее сохранение связующих свойств глины при ее многократном использовании. Ее определяют как отношение прочности при сжатии образцов после третьего нагрева к пределу прочности при сжатии образцов из свежеприготовленной смеси. Для определения долговечности готовят смесь песка с 10% глины и 4% воды, из которой изготавливают 11–12 стандартных образцов. Образцы помещают в нагретую печь и прокаливают при 500 °С. Далее часть образцов испытывают на сжатие, а остальные образцы охлаждают до 20 °С и разрушают. Комья разрушенных образцов перемешивают в бегунах в течение 2 мин и добавляют воду до влажности

4,5%. Из полученной смеси изготавливают стандартные образцы, прокаливают, размельчают их и снова готовят смесь. Этот цикл повторяют 3 раза. После третьего прокаливания образцы испытывают на сжатие.

Пластичность глин определяют по ГОСТ 21216.1–81. По показателю пластичности (ГОСТ 3226–77) глины делят на четыре группы: высокопластичные, среднеспластичные, умереннопластичные и малопластичные. В маркировку глин входит обозначение ее минералогического состава (К или Б), группы прочности во влажном и сухом состояниях и термохимической устойчивости, определяемой содержанием вредных примесей (T_1 – высокая, T_2 – средняя и T_3 – низкая термохимическая устойчивость). Например, глина $КС2T_1$ – каолиновая глина, среднесвязующая во влажном и сухом состояниях, с высокой термохимической устойчивостью.

Применение глин. Чем выше температура заливки, толщина стенки и масса отливки, тем выше должна быть прочность и термохимическая устойчивость глины.

Для формовки по-сырому стальных и чугуновых отливок применяют глины 1-й и 2-й групп по прочности в сухом состоянии, а также групп T_1 – T_3 . При формовке по-сырому применяют глины групп T_1 и T_2 а для толстостенных отливок – глину группы T_1 . В массовом производстве при формовке по-сырому бентонитовые глины используются чаще, чем каолиновые. Наилучшие результаты достигаются при применении бентонитов, обработанных содой.

Глину вводят в бегуны при приготовлении смесей в виде сухого порошка или глинистой водной суспензии. Тонкое измельчение глины осуществляется в шаровых мельницах после ее сушки. При приготовлении водной суспензии ее предварительно доводят в специальном баке до состояния пасты, а затем загружают в мешалку, добавляя воду из расчета получения 30–50 %-й (в пересчете на сухую глину) водной суспензии. Применение суспензии исключает пылевыведение при смешивании, но при этом усложняется процесс регулирования влажности смесей.

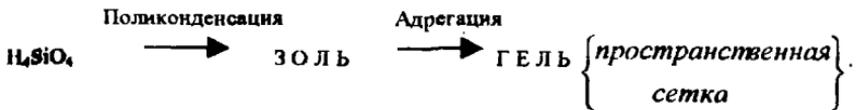
5.3.5. Жидкое стекло

Из неорганических связующих для формовочных и стержневых смесей наиболее широко, кроме глин, используются силикаты. Из группы силикатов чаще всего применяются жидкое стекло и цементы.

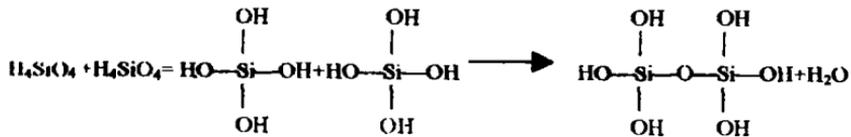
Жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078–81) представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия $Na_2O \cdot n SiO_2 \cdot m H_2O$. Упрощенно его химическую формулу записывают в виде $Na_2Si_2O_5$ или

$Na_2Si_2O_3$. Жидкое стекло имеет сложный химический состав. В него входит молекулы $Na_2Si_2O_5$, $Na_2Si_2O_3$, эвтектика ($Na_2Si_2O_5 + SiO_2$), ионы Na^+ , H^+ , OH^- , SiO_3^{2-} , $Si_2O_5^{2-}$, гидраты $nSiO_2 \cdot kH_2O$, $Na_2O \cdot 2SiO_2 \cdot mH_2O$.

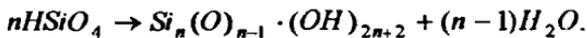
Механизм связывания зерен наполнителя жидким стеклом сложен и до конца не изучен. Сцепление пленки связующего с зернами песка происходит за счет химической адгезии. Главную роль в химическом отверждении смеси играет образование геля ортокремниевой кислоты H_4SiO_4 по следующей схеме:



При поликонденсации происходит сшивка молекул (мономеров) H_4SiO_4 в полимер с выделением воды. Сшивка осуществляется за счет функциональных групп $(-H)$ и $(-OH)$.



Образовавшаяся двойная молекула (димер) взаимодействует с мономерами с образованием тримеров до исчезновения гидроксильных групп.



Гель ортокремниевой кислоты имеет скелетное строение. При этом моно-, ди-, тримеры кремниевой кислоты взаимодействуют не только между собой, но и с поверхностными слоями зерен песка, которые покрыты гидроксильными функциональными группами. Схематически гель ортокремниевой кислоты и его связь с поверхностью зерен песка показаны на рис. 5.10.

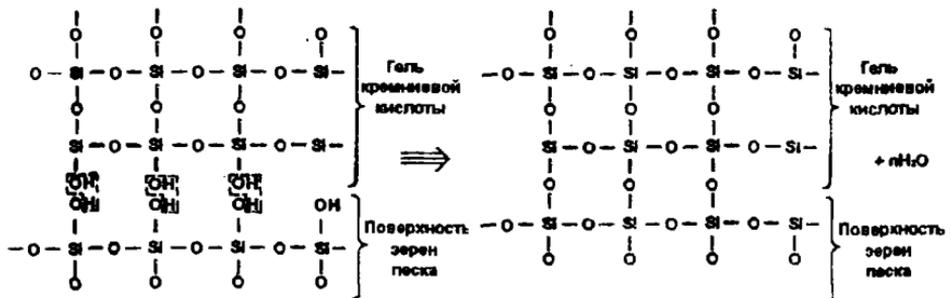


Рис. 5.10. Схема взаимодействия геля кремниевой кислоты с поверхностью зерен песка

Ионы натрия в жидком стекле являются стабилизаторами раствора анионов, препятствующими конденсации и коагуляции жидкого стекла. Важнейшей характеристикой жидкого стекла является его модуль M . Модуль жидкого стекла представляет собой отношение числа молей SiO_2 к числу молей Na_2O , содержащихся в жидком стекле:

$$M = N_{SiO_2} / N_{Na_2O} = 1,032M_{SiO_2} / M_{Na_2O},$$

где M_{SiO_2} , M_{Na_2O} – массы SiO_2 и Na_2O , содержащихся в данном количестве жидкого стекла.

В соответствии с ГОСТ 13078–81 выпускается содовое жидкое стекло с модулем 2,65–3,5 и плотностью 1360–1500 кг/м³, а также содово-сульфатное с модулем 2,6–3,0 и плотностью 1430–1500 кг/м³. Жидкое стекло с модулем 2,6–3,0 называется низкомодульным, а с модулем 3,01–3,5 – высокомодульным.

Обычно в литейные цехи поставляется жидкое стекло с модулем 2,7–3,1. Из технологических соображений необходимо применять более низкомодульное стекло. Чем выше модуль жидкого стекла, тем больше полисиликат-ионов и меньше ионов Na . Поэтому высокомодульное стекло отличается большей степенью полимеризации, большей вязкостью и высокой скоростью твердения. Это снижает живучесть смеси, т.е. при хранении она быстро теряет свои технологические свойства. Поэтому модуль жидкого стекла снижают добавкой $NaOH$. Количество $NaOH$, необходимое для снижения модуля с величины M_1 до величины M_2 , можно определить по формуле

$$M_{NaOH} = \frac{7076,18 \cdot (1,225\rho - 1)}{M_2 \cdot C(M_1 + 1,032)} \cdot (M_1 - M_2),$$

где M_{NaOH} – расход раствора едкого натра на 100 кг жидкого стекла, кг;

C – концентрация раствора $NaOH$, %;

ρ – плотность исходного жидкого стекла, кг/дм³.

Для обеспечения равномерного обволакивания зерен наполнителя при изготовлении смеси необходимо, чтобы вязкость жидкого стекла не превышала 1 МПа·с. Рекомендуемые значения модуля и плотности жидкого стекла при разных способах отверждения смеси приведены в табл. 5.12 [42].

Для более глубокой характеристики жидкого стекла используют значение порога коагуляции Π_2 . Жидкое стекло представляет собой

коллоидную систему, состоящую из кислотной (SiO_2) и щелочной (Na_2O) составляющих. Часть щелочной составляющей связана с SiO_2 , а другая часть является свободной. Именно ионы Na^+ этой свободной части обеспечивают стабильность раствора и препятствует его коагуляции, т.е. переходу в гель.

Таблица 5.12

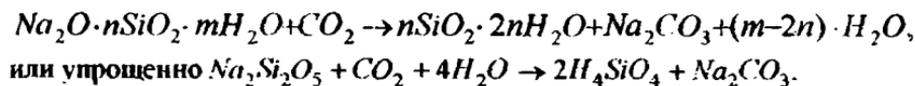
Модуль и плотность жидкого стекла в зависимости от способа отверждения смеси

Способ отверждения	Отвердитель	M	ρ , кг/м ³
ЖСС	Углекислый газ	2,0 – 2,3	1480 – 1520
	Двухкальциевые силикаты (феррохромовый шлак, нефелиновый шлак)	2,7 – 3,1	≥ 1360
ПСС	Двухкальциевые силикаты (феррохромовый шлак, нефелиновый шлак)	2,7 – 3,1	≥ 1420
ХТС	Сложные эфиры	2,4 – 2,6	≥ 1480
	Антипирен	2,3 – 2,5	≥ 1470

Чем больше содержание стабилизирующей части Na_2O , тем устойчивее система, тем выше живучесть смеси. Чем меньше содержание свободной части Na_2O , тем быстрее наступает переход в гель (при меньшем расходе отвердителя) и тем ниже живучесть смеси. Для определения свободной части Na_2O осуществляют титрование жидкого стекла разбавленной соляной кислотой, которая нейтрализует Na_2O . Порог коагуляции определяют по количеству HCl , затраченной на нейтрализацию Na_2O , вызывающую коагуляцию раствора. Он представляет собой отношение массы свободной части Na_2O к общей массе жидкого стекла.

Широкое применение жидкого стекла в качестве связующего в литейном производстве началось в 1950-е гг., главным образом в связи с возможностью быстрого отверждения смесей с жидким стеклом продувкой CO_2 . По существу, это были одни из первых холоднотвердеющих смесей (ХТС).

При продувке смесей на жидком стекле CO_2 образуется ортокремнистая кислота, молекулы которой вступают в процесс поликонденсации и гелесоборазования.



В настоящее время кроме продувки CO_2 применяются различные методы твердения жидкостекольных смесей: тепловая сушка, обработка сложными эфирами, порошкообразными минералами (феррохромовый шлак, нефелиновый шлак) и др. Механизмы и технология различных методов твердения смесей будут рассмотрены в следующих разделах.

Важнейшими недостатками жидкого стекла как связующего являются плохая выбиваемость смесей из отливок и высокая пригорасмость. Эти недостатки связаны с образованием при температурах 793 и 846 °С легкоплавких эвтектик. После расплавления эвтектик при последующем охлаждении они спекаются с формовочной смесью. Для устранения этих недостатков применяются различные мероприятия, рассматриваемые ниже.

Наиболее распространенным способом получения жидкого стекла для литейного производства является двухстадийный способ. Сначала получают силикат-глыбу (сплавлением песка и соды или сульфата натрия в дуговых электропечах), которую затем в измельченном виде (до 0,1–10 мм) растворяют в воде в автоклавах при 120–130 °С и давлении пара 0,3–0,8 МПа. При применении соды получают содовое жидкое стекло, при применении сульфата натрия – сульфатное.

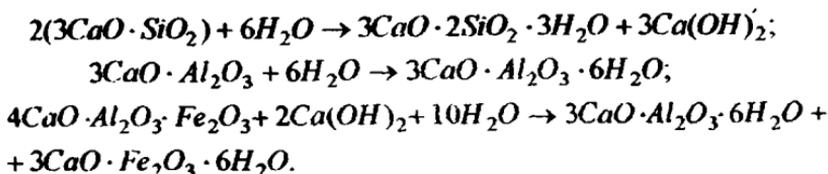
Известны также методы получения жидкого стекла путем выщелачивания едким натром пород, содержащих большое количество аморфного кремнезема (трепел, опал и т.п.).

Цементы. В состав цементов входят трехкальциевый силикат (алит) $3CaO \cdot SiO_2$, двухкальциевый силикат (белит) $2CaO \cdot SiO_2$, трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$ и четырехкальциевый алюмоферрит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$. Цемент получают путем обжига измельченных смесей пород известняка, глины и других минералов при температуре 1300–1450 °С. Получаемый клинкер размалывают с введением гипса и других добавок. Этот цемент называется портландцементом. Основным минералом, определяющим прочность цементных смесей, является трехкальциевый силикат.

В основе отверждения цементных смесей лежит процесс гидратации клинкерных минералов при взаимодействии с водой. Процесс заключается в растворении клинкерных фаз и последующем выделении кристаллогидратов из пересыщенного раствора. Выделяющиеся кристаллогидраты срастаются в конгломерат, т.е. происходит процесс полимеризации. Наряду с этим имеет место механизм твердения, основанный на протекании топохимической (гетерогенной) реакции гидратации материалов.

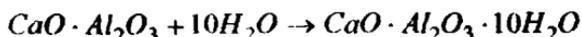
Исследования показали, что вначале идет гетерогенная реакция образования кристаллогидрата, а затем происходит его растворение. На

более поздних стадиях гидратация осуществляется в глубине зерна. Реакции основных минералов с водой имеют вид

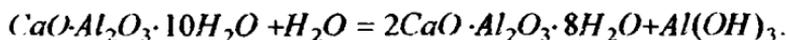


Для приготовления смесей вводят 10–12 % цемента и примерно такое же количество воды. Оптимальное водоцементное отношение составляет 0,6–0,9. Процесс твердения цементных смесей происходит очень медленно, иногда более трех суток. Прочность через 4 ч составляет 0,1–0,15 МПа.

Более быстро твердеют глиноземистые цементы, содержащие минералы: $3CaO \cdot Al_2O_3$, $5CaO \cdot 3Al_2O_3$ и $CaO \cdot 2Al_2O_3$ (основной минерал). Их гидратация идет по реакции



с последующей перекристаллизацией:



Гель $Al(OH)_3$ имеет большую удельную поверхность и упрочняет структуру. Прогрессивным направлением является применение ускорителей твердения. Наиболее распространены такие ускорители, как хлориды ($CaCl_2$, $NaCl$, $AlCl_3$, $BaCl_2$, $FeCl_3$), карбонаты и фториды (K_2CO_3 , Na_2CO_3 , NaF), а также органические материалы (меламиновые смолы, триэтанолламин). Неорганические добавки повышают растворимость клинкерных фаз, а триэтанолламин ускоряет гидратацию.

Широко известным ускорителем затвердевания цементов является шток. Она взаимодействует с $Ca(OH)_2$, ускоряя гидратацию и одновременно образуя сшитый полимер, упрочняющий смесь.

Весьма эффективно комбинирование цементов с лигносульфонатами. Особенно эффективно применение лигносульфонатов в комбинации с цементом-гидраломом, содержащим до 55 % $3CaO \cdot Al_2O_3$, технология получения которого разработана в ЦНИИТМаше и МГУ.

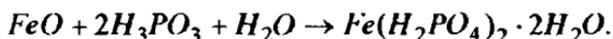
Недостатком цементов является снижение их активности при длительном хранении во влажной атмосфере из-за образования гидрат-

ных оболочек на их частицах. Поэтому цемент следует хранить в сухой атмосфере в герметизированных емкостях.

Холоднотвердеющие смеси с цементом применяют для изготовления крупных отливок в единичном производстве. Цементы позволяют обеспечить лучшую выбиваемость смесей из отливок, так как при нагреве они дегидратируются и смеси разупрочняются.

5.3.6. Фосфаты

Фосфаты представляют собой металлофосфатные композиции, в состав которых входят фосфорная кислота и оксиды металлов (*Fe*, *Mg*, *Al* и др.). При взаимодействии оксидов металлов и фосфорной кислоты образуются кристаллогидраты, обладающие связующими свойствами, например:



Фосфорная кислота может образовывать прочные холоднотвердеющие структуры при взаимодействии со слабоосновными или амфотерными оксидами (*MgO*, *Fe*, *CuO*, *CaO*, *NiO*). Кислые оксиды с фосфорной кислотой не взаимодействуют, а основные реагируют бурно с образованием саморассыпающихся продуктов.

В промышленности для фосфатных смесей используют оксиды магния и железа. В качестве промышленных железосодержащих материалов Е. С. Гамов предлагает использовать железорудный концентрат, крокус, трифолин, порошок магнитный черный и др. Активными фазами в них являются маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и магнетит (Fe_3O_4). Гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) не взаимодействует с фосфорной кислотой.

Затвердевание смесей происходит в результате образования фосфатов двухвалентного и трехвалентного железа: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; $\text{FePO}_4 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$; $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Фосфаты двухвалентного железа неустойчивы и легко окисляются на воздухе до соответствующих трехвалентных соединений (Fe^{3+}). Этот переход приводит к снижению прочности. Железосодержащие порошки с высоким содержанием Fe^{3+} обеспечивают получение ХТС с более высокими и стабильными свойствами.

Промышленными материалами, содержащими *MgO*, являются каустический, плавленый, металлургический магнезит, хромомагнезит и магнезитохромит. Наилучшие результаты получаются при применении плавленого магнезита и магнезиально-шпинельных материалов. Основ-

ной фазой, образующейся при взаимодействии MgO с H_3PO_3 , является двухзамещенный трехводный фосфат магния $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$.

Упрочнение смеси при применении фосфатных связующих основано на идентичности структур фосфатов и силикатов, что обуславливает достраивание кристаллической решетки силикатов и, вследствие этого, высокую прочность формовочной смеси.

Металлофосфатные связующие на основе оксидов железа и магния твердеют при комнатной температуре и могут использоваться в ХТС. Композиции на основе алюминия и хрома твердеют при нагреве. При твердении и нагреве они приобретают полимерные структуры типа $Me_nO_m \cdot P_2O_5 \cdot kH_2O$, а после прокаливания – $Me_nO_m \cdot P_2O_5$. Алюмофосфатные связующие твердеют при 350–400 °С. Если же к ним добавить один из металлов (*Fe, Cr, Mn, Mg, Ca*), то образуются соединения $Me_nO_m \cdot Al_2O_3 \cdot P_2O_5$, которые твердеют при комнатной температуре.

Алюмофосфатные связующие применяются при приготовлении противопожарных красок. Металлофосфатные связующие композиции применяют для получения ХТС, для изготовления стержней, упрочняемых тепловой сушкой и в нагреваемой оснастке.

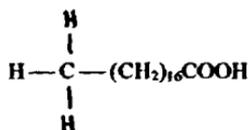
Формовочные смеси с металлофосфатными связующими обладают высокой упрочняющей способностью, термостойкостью, хорошей выбиваемостью, нетоксичностью, высокой долговечностью.

5.3.7. Масла

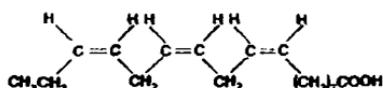
Растительные масла являются первыми органическими связующими, которые начали применяться в литейном производстве. В их состав входят жирные кислоты в виде сложных эфиров, глицерина. Различают насыщенные (предельные) и ненасыщенные (непредельные) жирные кислоты. Общая формула насыщенных жирных кислот $C_nH_{2n+1}COOH$. Состав ненасыщенных жирных кислот выражается формулой $C_nH_{2n-1}COOH$.

В ненасыщенных жирных кислотах, в отличие от насыщенных, имеются кратные углерод-углеродные связи, которые в ходе химических реакций присоединения легко разрываются, превращаясь в простые одинарные. По месту двойных связей может происходить присоединение кислорода (окисление) и сшивание (полимеризация) одинаковых молекул в полимер. В процессе окисления и полимеризации масло отвердевает, обеспечивая прочность сцепления зерен наполнителя.

Приведем для иллюстрации структурную формулу насыщенной жирной стеариновой кислоты, составляющей основу животного жира. В структуре молекулы отсутствуют кратные связи.



Основу применяемого в литейном производстве льняного масла (ГОСТ 5791-81) составляет линолевая кислота, структурная формула которой имеет вид



В структуре молекулы имеется три двойных связи, по которым при окислении присоединяется кислород и происходит сшивка молекул в процессе полимеризации.

Чем больше в составе масла непредельных кислот, тем быстрее происходит его затвердевание. Способность масла к высыханию характеризует йодное число – количество йода, которое поглощается 100 г масла. При йодном числе, большем 150, масло называют высыхающим (льняное, конопляное и др.). Если йодное число находится в интервале 100–150, то такое масло является полувсыхающим (подсолнечное, хлопковое, кукурузное). При йодном числе, меньшем 100, масло слабо-высыхающее (оливковое, касторовое).

Оптимальная добавка масла в стержневые смеси – 1,5 %. Стержни сушат при температуре 200–220 °С. Стержневая смесь с добавкой растительного масла имеет высокую прочность в сухом состоянии, негигроскопична, хорошо податлива и легко выбивается из отливок. Однако стержни из такой смеси имеют низкую прочность в сыром состоянии. Для ее увеличения в смесь вводят глину. При этом снижается прочность в сухом состоянии. Для ее поддержания на прежнем уровне (без ввода глины) необходимо увеличить расход связующего.

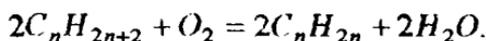
Так как многие растительные масла являются пищевыми продуктами, широкое применение их в литейном производстве прекращено. Для замены льняного масла применяют (в очень ограниченном количестве) натуральную олифу (ГОСТ 7931-76), представляющую собой льняное или конопляное масло, обработанное при температуре 250 °С без доступа воздуха в присутствии сиккативов. Сиккативы – соли тяжелых металлов жирных кислот (например, стеарат кобальта), которые катализируют процесс полимеризации масел. Расход связующего при этом уменьшается.

Для замены масляных связующих применяют олифу-оксоль (ГОСТ 190-78) и связующее 4ГУ. Олифа-оксоль – продукт окисления

растительных масел (55 %) с введением сиккативов и растворением в уайт-спирите (45 %).

Связующее 4ГУ (в) и 4ГУ (и) – раствор сплавов (50 %) высыхающих или полувсыхающих масел с канифолью (3 %) и нефтеполимерной смолой в уайт-спирите (47 %). Эти связующие вводятся в смесь в количестве 1,5–2 %. Масляное связующее ОХМ (обработанное хлопковое масло) вводится в смесь в количестве 3 %. Все рассмотренные связующие относятся к группе непредельных растительных масел.

В 1950–60-е гг. были разработаны связующие на основе продуктов переработки нефти и сланцев, которые практически полностью заменили растительные масла. Для перевода нефтяных продуктов и сланцев в ненасыщенное состояние их подвергают окислению и термической обработке. Среди связующих этой группы можно отметить связующие П, ПТ, ПТА, ГТФ, ПС, СЛК, КО и УСК. Крепитель П, например, представляет собой раствор окисленного петролятума в уайт-спирите в соотношении 1:1. При окислении петролятума предельные углеводороды переходят в непредельные:



Масляные связующие хорошо смешиваются с песком. Смеси не прилипают к оснастке и хорошо выбиваются из отливок. Масляные связующие применяются для изготовления стержней 1-го и 2-го классов сложности. В настоящее время они применяются редко.

5.3.8. Полисахариды

К связующим этого класса относятся патока (меласса), пектиновый клей, декстрины, крахмалит, гидрол. Они представляют собой высокомолекулярные сложные углеводы, являющиеся побочными продуктами переработки сахаросодержащих веществ. При тепловой сушке происходит испарение влаги и полимеризация сахаров, что приводит к отверждению связующих и упрочнению смеси.

Патока – продукт переработки сахарной свеклы. Обычно в ней содержится 45–50 % сахаров. В процессе тепловой сушки патока разжижается и обволакивает зерна наполнителя. После остывания стержни приобретают необходимую прочность. При содержании 2 % патоки и 6 % глины после сушки при температуре 160–180 °С прочность смеси составляет не менее 0,3 МПа. Добавка глины необходима для обеспечения прочности стержня во время сушки, когда патока разжижается.

Декстрины – продукт обработки крахмала слабой кислотой при 120–150 °С. Крахмал состоит из больших молекул $(C_6H_{10}O_5)_n$ и нерас-

творим в воде. В процессе обработки происходит распад полимера. молекулы крахмала уменьшаются, что делает его растворимым в воде.

Декстрин – растворимый в воде крахмал. Растворимость его в воде при 17,5 °С должна быть не менее 60 %. Он вводится в смесь в количестве 0,5–1,5 %. Прочность смеси при температуре сушки 160–180 °С не менее 0,5 МПа. Механизм твердения декстрина аналогичен описанному выше для патоки.

Крахмалит – это связующее, полученное путем специальной обработки крахмала. Он вводится в небольшом количестве (0,015–0,1 %) в формовочные смеси для автоматических формовочных линий.

Пектиновый клей – продукт переработки плодов и овощей. По свойствам он близок к декстрину и является его заменителем.

Недостатком всех рассмотренных полисахаридов является их гигроскопичность, которая приводит к потере прочности при длительном хранении стержней из-за растворения связующего адсорбированной влагой. Кроме того, многие из данных связующих получают из пищевых веществ и поэтому дефицитны.

5.3.9. Лигносульфонаты

Лигносульфонаты – наиболее широко используемые в литейном производстве связующие. По объему применения они уступают только глине и жидкому стеклу. Лигносульфонаты являются побочными продуктами при производстве целлюлозы из древесины сульфитным способом. В результате обработки древесины слабой серной кислотой целлюлоза выпадает в осадок, а хрупкая составляющая древесины – лигнин – переходит в раствор. В раствор переходят также сахара, образовавшиеся при расщеплении гемицеллюлозы древесины. Этот раствор называется сульфитным щелоком.

Качество сульфитного щелока тем выше, чем больше лигнина переходит в раствор (обычно до 30 % от массы древесины). Сульфитный щелок подвергают специальной обработке, при которой его упаривают до содержания сухих веществ 47–50 %.

Концентрат сульфитного щелока стали применять в литейном производстве в начале 1930-х гг. После освоения в конце 1930-х гг. переработки сульфитного щелока в спирт в литейном производстве начали использовать побочный продукт этой переработки – сульфитно-спиртовую барду. В 1950–60-х гг. пентозные сахара сульфитно-спиртовой барды стали перерабатывать в кормовые дрожжи. Отход такой переработки – сульфитно-спиртовая бражка – в соответствии с ОСТ 13 183–83 называется лигносульфонатом техническим (ЛСТ).

ЛСТ является дешевым и недефицитным связующим. Производится ЛСТ марки А (жидкий, содержание сухих веществ не менее 47 %,

плотность не менее 1230 кг/м^3) и марки Т (твердый, более 76 % сухих веществ). Твердый ЛСТ трудно хранить, дозировать и растворять. Поэтому он применяется редко. ЛСТ является типичным олигомером (олигомер – крупная молекула, содержащая несколько одинаковых молекул-мономеров), т.е. полимерной коллоидной системой. При тепловой обработке смесей с ЛСТ поликонденсация идет за счет взаимодействия функциональных групп.

Связующие свойства ЛСТ зависят от наличия в его молекулах функциональных групп, способных к химическому взаимодействию. Их количество зависит от технологии получения ЛСТ, температуры его выпаривания и применяемых при обработке веществ.

Формовочные смеси только с одним ЛСТ не применяются, так как имеют низкую прочность (0,1–0,3 МПа). При сушке ЛСТ происходит значительное уменьшение его объема (в 2,7 раза), что вызывает напряжения в пленке связующего и ее растрескивание. Для уменьшения напряжений применяют добавки, уменьшающие усадку и напряжения при высыхании (глину, маршаллит, мочевины, глицерин).

При содержании 5 % ЛСТ и 3 % глины прочность смеси после сушки при 160–180 °С составляет не менее 0,6 МПа, а при добавке еще 5 % маршаллита – 0,6–0,8 МПа. Если такая прочность недостаточна, то необходимо применять комбинации ЛСТ с другими связующими и веществами (смолами, битумом, петролятумом и др.).

Для приготовления комбинированных связующих с ЛСТ, битумом или петролятумом водный раствор ЛСТ нагревают до 80–85 °С, а второе вещество расплавляют. Затем раствор и расплав сливают при перемешивании. При этом образуются устойчивые эмульсии. Наиболее распространены следующие эмульсионные связующие: СП (95 % ЛСТ и 5 % окисленного петролятума); СБ (80–85 % ЛСТ и 15–20 % связующего ГТФ). Эти связующие менее гигроскопичны, чем ЛСТ, и после сушки при 200–240 °С обеспечивают в смесях с 4–5 %-м содержанием связующего прочность 0,5–0,6 МПа.

Смеси на ЛСТ обладают хорошей выбиваемостью из отливок, но вследствие их гигроскопичности стержни и формы нельзя долго выдерживать после сборки форм до заливки. ЛСТ по классификации А. М. Лясса относятся к классу Б, группе III.

5.3.10. Синтетические смолы

Последние десятилетия характеризуются широкой разработкой и внедрением в литейное производство связующих на основе синтетических смол. Синтетические смолы представляют собой высокомолекулярные соединения с большими молекулярными массами (порядка со-

ген, тысяч и миллионов), молекулы которых построены из множества повторяющихся элементарных звеньев, образующихся в результате взаимодействия и соединения друг с другом одинаковых или разных простых молекул-мономеров. Различают полимеризационные и поликонденсационные смолы. Полимеризационные смолы получают в результате полимеризации одного или нескольких исходных веществ мономеров. При этом происходит сшивка молекул мономеров в огромную молекулу полимера без изменения химического состава по схеме $nA \rightarrow A_n$, где A – молекула мономера. При поликонденсации происходит взаимодействие не менее двух веществ, в результате которого образуется новое высокомолекулярное соединение и низкомолекулярное вещество $n(aAa)+n(bBb) \rightarrow a(AB)_n b + (2n - 1)ab$, где a и b – функциональные группы исходных веществ A и B , обуславливающие процесс поликонденсации; $a(AB)_n b$ – смола, образовавшаяся в результате поликонденсации; $2n - 1$ – число молекул побочного низкомолекулярного вещества ab .

В качестве активных функциональных групп, обуславливающих поликонденсацию, могут выступать гидроксильные группы ($-OH$), альдегидные группы ($-COH$), аминные группы ($-NH_2$), метиленовые группы ($-CH_2$) и др.

В литейном производстве применяют в основном конденсационные смолы. Первой стадией получения смолы является ее синтез из исходных мономеров. Его ведут до получения олигомера (предполимера) – промежуточного продукта, в котором поликонденсация не завершена, т.е. не доведена до сшивки мономеров. Относительная молекулярная масса олигомеров, т.е. отношение молекулярной массы олигомера к массе мономера, не превышает 500+1000. Степень завершенности полимеризации или поликонденсации характеризуется числом мономерных звеньев, образующих макромолекулу. При определенной степени завершенности поликонденсации макромолекула имеет структуру в виде каркаса или сетки (пространственная сшивка мономеров). Такие структуры ограничивают текучесть дисперсной системы и называются гелями.

Полимеры в смолах классифицируют на 3 группы по степени завершенности реакции поликонденсации:

- A – полимер, в котором отношение степени завершенности реакции P к степени завершенности реакции при гелеобразовании P_k меньше единицы (гелеобразования не произошло);
- B – полимер, для которого $P \approx P_k$;
- C – полимер, для которого $P > P_k$;

Полимер A при нагреве расплавляется и растворяется, полимер B

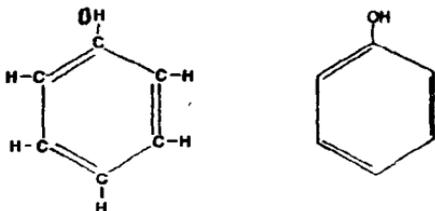
размягчается при нагреве и плохо растворяется, полимер *C* не растворяется и не плавится. Литейные смолы в состоянии поставки представляют собой полимеры типа *A*, а после отверждения они переходят в полимер *C*.

Олигомер, т.е. смолу, получают, прерывая реакцию синтеза путем охлаждения реакционной массы при заданной степени полимеризации $P < P_k$. Для торможения дальнейшей поликонденсации в олигомер вводят растворители: спирт, ацетон, аммиак и т.д.

Завершение синтеза полимера осуществляется непосредственно в формовочной смеси под воздействием катализатора или нагрева либо их комбинации. При этом в процессе сшивки полимера смола затвердевает, обеспечивая прочность формовочной смеси. Сшитые полимеры состоят из элементарных структурных звеньев, многократно повторяющихся в пространстве сетчатой структуры.

Прежде чем дать характеристику различных смол, применяемых в литейном производстве, рассмотрим важнейшие вещества-мономеры, используемые для их приготовления.

Фенол (химическая формула C_6H_5OH). Структурная формула фенола имеет следующий вид (в разных обозначениях):



Фенол представляет собой бесцветные кристаллы с температурой плавления 41°C . У него сильно выражены кислотные свойства гидроксильного водорода, который легко может замещаться щелочными металлами и под действием щелочей. Фенол – токсичное вещество.

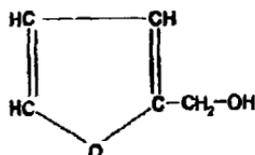
Формальдегид. Формула формальдегида $CH_2 = O$, или $H - C \begin{matrix} \text{=O} \\ \text{-H} \end{matrix}$

Он представляет собой газ с резким неприятным запахом. Водный раствор формальдегида называется формалином.

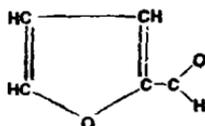
Карбамид (мочевина). Формула карбамида $NH_2 - C \begin{matrix} \text{=O} \\ \text{||} \\ \text{O} \end{matrix} - NH_2$

Он имеет вид кристаллов или гранул белого цвета с температурой плавления 133°C . Карбамид растворим в воде.

Фуриловый спирт ($C_5H_6O_2$). Он неограниченно растворяется в воде, имеет температуру кипения $171^\circ C$, плотность 1129 кг/м^3 . Структурная формула фурилового спирта приведена ниже:

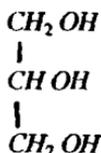


Фуффуrol ($C_5H_4O_2$). Химически чистый фуффуrol – бесцветная жидкость с температурой кипения $162^\circ C$, плотностью 1160 кг/м^3 . Структурная формула фуффуrolа имеет вид

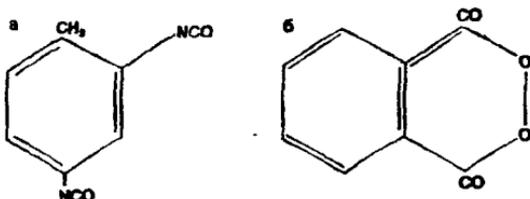


Растворимость фуффуrolа в воде составляет $8,3 \text{ г}$ на 100 г воды, он растворим в органических растворителях (спирте, ацетоне).

Глицерин – жидкость, смешивающаяся с водой в любых соотношениях. Структурная формула глицерина имеет следующий вид:



Кроме описанных выше веществ, для получения смол используют изоцианат (*a*) и фталевый ангидрид (*b*), структурные формулы которых приведены ниже.



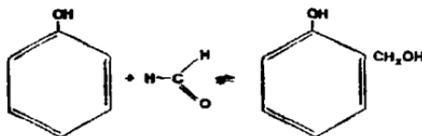
В зависимости от поведения при нагревании смолы подразделяются на термореактивные и термопластичные. Термореактивные смолы при нагревании сначала размягчаются, а затем необратимо затвердева-

ют. Термопластичные смолы представляют собой твердые при обычной температуре вещества, обратимо размягчающиеся при нагреве.

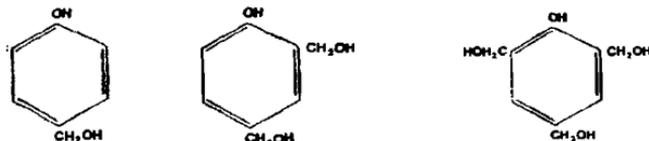
Фенолоформальдегидные смолы (ФФС) образуются в результате поликонденсации фенола с формальдегидом в присутствии кислот (HCl и др.) или щелочей ($NaOH$, NH_4OH) в качестве катализаторов. Поликонденсация происходит по схеме, показанной на рис. 5.9. Процесс сопровождается выделением тепла.

Резольные (термореактивные) смолы получают путем конденсации фенола и формальдегида при мольном соотношении 2÷2,5:1 в присутствии оснований как катализаторов.

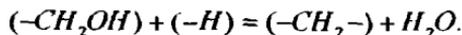
На первой стадии реакции образуются одноядерные метиллфенолы:



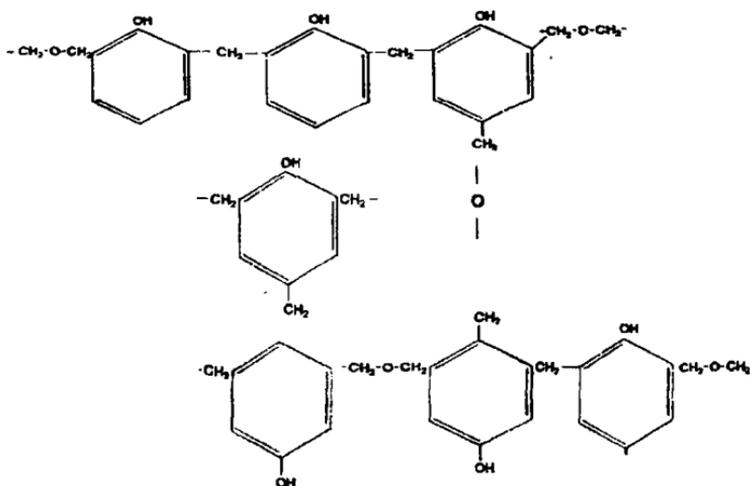
Одновременно образуются и другие виды метиллфенолов:



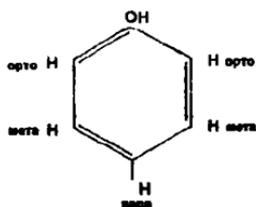
При взаимодействии этих соединений с молекулами фенола за счет взаимодействия метилльных групп ($-CH_2OH$) с атомами водорода фенольных ядер происходит сшивка мономеров с помощью метиленовых (CH_2) мостиков (см. приведенную выше схему), которые образуются по реакции



Состав и технологические свойства олигомера зависят от соотношения мономеров, взятых для синтеза, и pH среды, задаваемого видом катализатора. В процессе твердения происходит пространственная сшивка согласно схеме, приведенной ниже. Идеально подготовленная к холодному отверждению смола должна иметь следующее строение:



Для того чтобы получить смолу для холодного отверждения, при синтезе используют оксиды и гидроксиды двухвалентных металлов (CaO , MgO). Они способствуют ориентации реакции по ортоположениям атомов водорода в фенольных ядрах. Схема, поясняющая названия различных положений водорода в ядре фенола, имеет вид



Отверждаются смолы кислотными катализаторами или при нагреве. При нагреве поликонденсация заканчивается при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве катализаторов для ХТС с ФФС применяют, как правило, сульфоновые кислоты или высококонцентрированную фосфорную кислоту. При отверждении смесей со смолой ОФ-1 бензолсульфокислотой в течение 30 с достигается прочность на сжатие $0,7\text{--}0,8\text{ МПа}$.

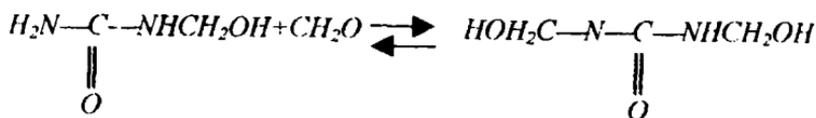
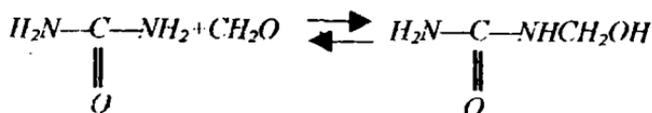
Кроме ОФ-1 применяются смолы СФ-3042, СФ-480, СФЖ-301, СФЖ-30-13. Смолы СФЖ-30-13 (водорастворимая) и СФЖ-301 (водоэмульсионная) позволяют вводить в смесь до 3 % глины и применять глинистые пески.

При небольшом избытке фенола, т.е. при мольном соотношении фенол:формальдегид, равном $1:0,77\pm 0,9$, в присутствии кислотного катализатора (HCl) получают новолачную термопластичную смолу, применяемую для изготовления стержней и форм по нагреваемой оснастке.

В отличие от резольных смол, молекулы новолака не содержат метильных групп CH_2OH , по которым может идти пространственная сшивка. Для образования трехмерной сшитой структуры в новолачную смолу нужно ввести дополнительное количество формальдегида, который стал бы отвердителем. Однако вводить формальдегид технологически неудобно. Поэтому при применении новолачных смол ПК-104 в новолак вводят уротропин. При его термическом разложении высвобождаются вещества, содержащие метиленовые группы, которые сшивают молекулы олигомера. Образование химически активных продуктов начинается при температуре 260–280 °С. Поэтому оснастка для изготовления форм и стержней с использованием новолачных смол нагревается до температуры 260–280 °С.

ФФС обладают повышенной термостойкостью (400–800 °С). Поэтому они пригодны для стального и чугунного литья. Однако при нагреве смесей в процессе термодеструкции смол выделяются вредные вещества (фенол, метанол, формальдегид). Поэтому при работе с этими смесями необходимо иметь мощную местную вентиляцию, процесс необходимо полностью автоматизировать.

Карбамидные смолы. Самыми дешевыми являются карбамидоформальдегидные смолы, которые применяют в литейном производстве с 1958 г. Их получают из карбамида и формальдегида при избытке карбамида в разбавленной щелочной среде. При этом образуются моно- и диметилолмочевина:



Сначала получают эти вещества в нейтральной или слабощелочной среде, а затем проводят поликонденсацию в слабокислой среде, где прелотвращается быстрое нарастание вязкости олигомера. Мольное соотношение карбамид:формальдегид составляет 1:1,5÷2,5. Переход в термораскисленное состояние при кислотном катализаторе и при нагреве происходит в результате образования метиленовых мостиков между соседними молекулами. В качестве катализаторов используют органические (щавелевую, фталевую) и минеральные (фосфорную, соляную) ки-

слоты, металлические соли соляной кислоты ($FeCl_2$, $ZnCl_2$, NH_4Cl). Для этих смол характерна недостаточная разветвленность цепей.

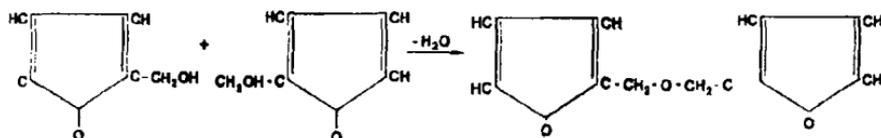
Недостатком карбамидных смол является их низкая термостойкость (220–480 °С), высокая газотворность. Эти смолы применяют в основном для отливок из цветных сплавов и тонкостенного чугуна. Смеси на этих смолах имеют повышенную гигроскопичность. Примеры применяемых марок смол: КФ–Ж, КФ–МГ (для ХТС), КФ–90, КФ–40, фуритол–80, 86, 174 (для изготовления стержней в нагреваемой оснастке).

Фурановые смолы. К классу фурановых связующих для литейного производства относят смолы на основе фурилового спирта, фурфурола и других производных фуурола.

Собственно фурановые смолы представляют собой смолы, полученные методом гомоконденсации фуранового спирта. Гомоконденсацией называется процесс конденсации одноименных молекул (в данном случае молекул фуранового спирта). Рассмотренные выше процессы поликонденсации, в которых участвуют молекулы двух мономеров, называются гетерополиконденсацией. При синтезе в кислой ($pH=1,5-3,5$) среде образуется фуриловый олигомер с молекулами линейного строения, состоящий из фурановых ядер, между которыми возникают метиленовые мостики или диметиленэфирные связи.

Процесс приготовления смолы состоит из конденсации, нейтрализации продукта щелочью и сушки вакуумированием. Синтез проводят в присутствии кислых катализаторов: соляной, серной, фосфорной, а также многоосновных органических кислот и их ангидридов. Смолы ФЛ–2 и ПФС получают путем конденсации в присутствии малеинового ангидрида.

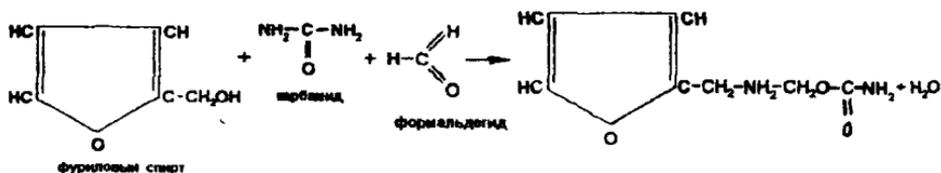
Схема конденсации имеет вид



Механизм отверждения фурановых смол при кислотном отверждении и при нагреве не вполне ясен. Возможно, происходит сшивка метиленовых групп между собой, как показано выше. В качестве катализаторов применяют ортофосфорную кислоту, сульфокислоты (БСК, ПТСК) и их соли, *п*-фенилуретансульфохлорид и *р*-толуолсульфохлорид. При горячем отверждении для увеличения скорости твердения применяют толуолсульфанилхлорид, железную соль БСК и др.

ХТС с чисто фурановыми смолами очень дороги, медленно затвердевают, но обладают высокой прочностью и термостойкостью. Их применяют редко, преимущественно в производстве крупного стального литья.

Карбаминофурановые смолы представляют собой продукт поликонденсации амидов многоосновных кислот с альдегидами и являются терморезистивными смолами. В качестве связующих формовочных композиций широко применяются смолы на основе карбамида (амида угольной кислоты) и формальдегида. Для повышения стойкости карбаминоформальдегидных смол при их синтезе вводят фуриловый спирт $C_5H_6O_2$. Чем больше введено в смолу фурилового спирта, тем выше ее термостойкость. Для чугунного литья необходимо содержание в смоле не менее 30 % фурилового спирта, а для стального – не менее 60 %. Схема реакции полिकонденсации имеет вид



Поликонденсация при взаимодействии фурилового спирта с карбамидом и формальдегидом идет за счет функциональных групп NH_2 и CH_2OH (карбаминоформальдегидный олигомер), HCH_2OH и $C=C$ (фуриловый спирт). Поэтому сшитый полимер может иметь сложную структуру, в которой чередуются карбамидный и фурановый компоненты. Они отличаются по скорости отверждения, прочности сшитого полимера. Поэтому соотношение компонентов определяет все основные технологические свойства смесей. Для карбамидного олигомера характерна высокая реакционная способность и скорость отверждения, но прочность и термостойкость невелики, при отверждении смесей выделяется токсичный формальдегид.

Фуриловый спирт и его олигомеры обладают высокой конечной прочностью, но твердеют медленно и дорого стоят. С увеличением содержания в смоле фурилового спирта при 1,5 % смолы в смеси продолжительность твердения увеличивается с 50 до 180 с при увеличении содержания фурилового спирта с 30 до 60 %. При этом удельная прочность увеличивается с 0,5 до 1 МПа на 1 % связующего.

Возможно использование нескольких вариантов технологии приготовления карбаминофурановой смолы:

1) смешивание готовой карбамидной смолы с фуриловым спиртом (смолы КФ);

2) конденсация готовой карбамидной смолы с фуриловым спиртом (смола фуритол-107);

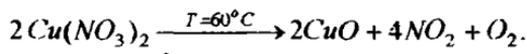
3) двух- или трехстадийная конденсация карбамида, формальдегида и фурилового спирта (смола КФ 35-BC-40);

4) конденсация карбамида с формальдегидом с введением фурилового спирта в охлажденный олигомер (смолы КФ-90, КФ-40).

Смолы, полученные по первым двум вариантам, чаще используют для горячего отверждения. Для ХТС целесообразнее применять смолы, полученные по 3-му варианту.

Содержание фурилового спирта в отечественных смолах, поставляемых в литейное производство, не превышает 40 %, хотя в настоящее время осваиваются смолы с содержанием фурилового спирта 60–70 %. Карбамидофурановые смолы имеют низкую вязкость и стабильны при хранении.

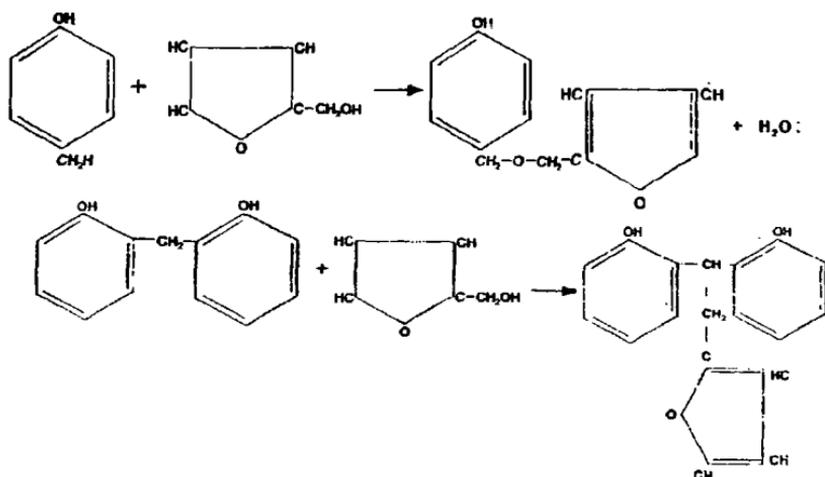
Для ХТС применяют следующие катализаторы (отвердители): H_3PO_4 (при содержании фурилового спирта в смоле 40–50 %), сульфоновые кислоты ПТСК или БСК (при 50–70%), ПТСК+ H_3PO_4 или БСК+ H_3PO_4 (при 70–80 %), ПТСК+ H_2SO_4 или БСК+ H_2SO_4 (при 90%). Для ускоренного отверждения используют смесь сульфоновых и минеральных кислот, например БСК+ H_3PO_4 . Для горячего отверждения стержней из песчано-смоляных смесей применяются многие кислоты или их продукты. В настоящее время используют катализатор $Cu(NO_3)_2$. При низкотемпературном нагреве он разлагается:



В водном растворе образуется азотная кислота ($4NO_2 + 2H_2O + O_2 = 4HNO_3$), которая играет роль катализатора отверждения. Для улучшения пластичности смолы к $Cu(NO_3)_2$ добавляют лигносульфонат. Карбамидофурановые смолы являются наиболее приемлемым связующим на основе синтетических смол для ХТС.

Фурановые фенольные и фенолокарбамидные смолы. Для производства крупных стальных и чугунных отливок выпускают высокотермостойкие фенолофурановые смолы (например, ФФ-1Ф, ФФ-1СМ, ФФ-1ФМ). Эти смолы получают путем конденсации феноло-спиртов с фуриловым спиртом. Они называются фурановыми фенольными или фуриловыми фенолоформальдегидными смолами. Их применяют преимущественно для ХТС. В качестве катализаторов используют те же вещества, что и для фенолоформальдегидных смол, но прочность смесей на фенолофурановых смолах в 1,5–2 раза выше, чем на фенолоформальдегидных.

Отверждение фенолофурановой смолы основано на взаимодействии метиленовых групп фенолоформальдегидного олигомера и функциональных групп фурилового спирта.



Смолы типа ФПР-24, СФ-411 относятся к классу фурановых фенолокарбамидных, предназначенных для горячего отверждения с более высокой скоростью, чем при использовании карбамидофурановых смол. Для отверждения этих смол применяют катализатор ФС-26-6, представляющий собой водный раствор карбамида, NH_4Cl и NH_4Br .

Прочие смолы. Наряду с рассмотренными выше применяются полиуретановые, резолформальдегидные, алкидные и полиэфирные смолы. Широким фронтом идет разработка новых композиций, направленная на улучшение экологических характеристик смол, повышение скорости твердения, прочности и термостойкости.

5.3.11. Сравнительная характеристика связующих материалов

Наиболее обстоятельный анализ применения различных типов связующих выполнен в работе [42].

Изготовление большинства отливок основано на применении глины, синтетических смол и жидкого стекла. В массовом и крупносерийном производстве в основном применяют глину (для форм) и смолы (для стержней и форм). В серийном и индивидуальном производстве при изготовлении формовочных смесей отдают предпочтение глинам, смолам и жидкому стеклу, а при изготовлении стержневых смесей — смолам и жидкому стеклу.

При сравнительной оценке связующих композиций на стадии их выбора для производства важнейшими показателями являются живучесть, продолжительность отверждения, прочность при нормальной и

высокой температурах, остаточная прочность (выбиваемость), а также экологичность.

Приближенно можно установить три относительных уровня оценки свойств смеси: низкий (Н), средний (С) и высокий (В). В табл. 5.13 отражена сравнительная оценка свойств смесей на основе различных связующих, а в табл. 5.14 – значения свойств, отвечающих различным уровням. Как видно из табл. 5.13, органические связующие обеспечивают высокую прочность, хорошую выбиваемость при высокой термостойкости. Для неорганических связующих характерны высокая прочность, термостойкость, но плохая выбиваемость.

Таблица 5.13

Свойства смесей с различными связующими материалами

Связующее (связующая композиция)	Способ упрочнения	Уровень свойств				
		Живучесть	Продолжительность отверждения	Прочность при нормальной температуре	Термостойкость	Остаточная прочность
Органические связующие композиции						
Карбамидоформальдегидное	Самозатверд.	С	С	С	Н	Н
	То же					
Карбамидоформальдегидофурановое	«	В	Н	В	С	Н
Фенолоформальдегидное	Нагрев	В	Н	В	В	Н
Фенолоформальдегидное	Продувка газо- образным ката- лизатором	С	Н-С	С'	В	Н
Карбамидоформальдегидофурановое, фенолоформальдегидофурановое, фенолоформальдегидофурановокарба- мидное		С	Н-С	С	В	Н
Полиуретановое фенолоизоцианатное	То же	В	Н	В	С	Н
Полиуретановое фенолоизоцианатное	Самозатверд.	С	С	В	С	Н
Полвинилловый спирт	Нагрев	В	В	В	Н	Н
Технические лигносульфонаты	Самозатверд.	С	С	С	С	Н
Технические лигносульфонаты	Нагрев	В	В	С	С	Н
Неорганические связующие композиции						
Каолиновая глина – вода	Без упрочн.	В	–	Н	В	Н
Жидкое стекло – силикаты кальция	Самозатверд.	С	С	С	В	В
Жидкое стекло – сложные эфиры	То же	С-В	С-В	В	В	С-В
Жидкое стекло – цемент	«	В		С	В	В
Цемент – вода	«	В	В	С	В	С
Ортофосфорная кислота – оксид маг- ния	«	С	С	С	В	С

Таблица 5.14

Уровни свойств формовочной смеси

Свойство	Уровень		
	низкий	средний	высокий
Живучесть, мин	5	5 – 30	30
Продолжительность отверждения, мин	3	3 – 30	30
Прочность при растяжении при нормальной температуре, МПа	0,1	0,1 – 0,5	0,5
Термостойкость, с	50	50 – 300	300
Остаточная прочность при сжатии, МПа	0,1	0,1 – 1,5	1,5

Примечание. Продолжительность отверждения – время от завершения процесса уплотнения до извлечения стержня или модели.

5.4. Специальные добавки

К специальным добавкам относят вещества, применяемые в смеси в качестве противопригарных, для улучшения газопроницаемости и податливости форм и стержней, повышения пластичности смесей, регулирования их теплоаккумулирующей способности, осуществления твердения смесей на различных связующих и др.

5.4.1. Добавки для улучшения технологических и физико-механических свойств смесей

Противопригарные добавки. Для предотвращения пригара на чугунных отливках при литье в сырые формы в смесь вводят пылевидный каменный уголь. Каменноугольная пыль должна содержать не менее 30 % летучих веществ, не более 11 % золы, не более 1 % серы и иметь выход блестящего углерода не менее 7–10 %. Для улучшения санитарных условий уголь лучше вводить в виде глинугольной суспензии (10–20 % угля, 25–35 % глины, остальное – вода). Вместо каменного угля вводят жидкие и твердые углеродсодержащие вещества (древесный пек, мазут, нефтяной кокс, связующие УСК, КО и др.).

Противопригарное действие угля и углеродсодержащих добавок связывают или с выделением при сгорании угля газов, создающих восстановительную атмосферу на границе металл–форма, которая препятствует образованию оксидов металла, или с выделением пироуглерода (блестящего углерода) при разложении углеродсодержащей добавки, который уменьшает смачиваемость формы чугуном.

Содержание угля в смеси и тонкость его помола зависят от толщины стенки изготавливаемой отливки. Для отливок с толщиной стенки 5–10 мм вводят 3 % угля с тонкостью помола меньше 0,063 мм, а для

отливки с толщиной стенки 50 мм содержание угля в смеси составляет 6–8 % (тонкость помола меньше 0,315 мм).

При получении стальных отливок в облицовочные смеси вводят пылевидный кварц (маршаллит) в количестве 15–40 %. Маршаллит уменьшает пористость поверхностных слоев смеси и препятствует проникновению жидкого металла через капилляры в стенке формы.

Добавки, улучшающие пластичность, податливость и текучесть смесей. Для повышения податливости стержней и уменьшения механического торможения усадки сплавов, вызывающей горячие и холодные трещины в отливках, в смеси добавляют древесные опилки или древесную муку (ГОСТ 16361–87). Применяют опилки поперечной резки. Перед использованием их увлажняют. При сушке стержней происходит высыхание и сухая возгонка опилок. При этом увеличивается пористость смеси. Количество вводимых опилок составляет 10–20 % по объему или до 5 % по массе.

Для повышения текучести песчано-глинистых смесей и снижения вязкости глинистых суспензий применяют добавки поверхностно-активных веществ: полифеиольный лесохимический понизитель вязкости (ПФЛХ), получаемый из растворимой смолы, сульфата натрия и едкого натра; углещелочной реагент УЩР, получаемый при взаимодействии бурого угля с раствором едкого натра; ичтан и оксил – продукты переработки лигнина и лигносульфоната. При деструкции эти вещества выделяют блестящий углерод и поэтому обладают противопопригарными свойствами.

5.4.2. Отвердители

Для изготовления стержней и форм из ХТС и ГТС наряду со связующими применяются отвердители. При взаимодействии со связующими отвердители вызывают гелеобразование или поликонденсацию связующего и его затвердевание. Они должны обеспечивать необходимую скорость твердения смеси, быть нетоксичными, недорогими и недефицитными.

Для отверждения смесей на жидком стекле применяют продувку углекислым газом, добавки двухкальциевого силиката, сложных эфиров ферросилиция и силикокальция. Углекислый газ поступает в литейные цехи в баллонах или от централизованных установок по трубам.

Двухкальциевый силикат ($2CaO \cdot SiO_2$) входит в состав феррохромового или нефелинового шлака. Шлак феррохромового производства содержит до 90 % частиц с размерами меньше 0,05 мм и с большой удельной поверхностью (150–220 м²/кг). Влажность шлака не должна превышать 1,5 %. Хранить его нужно в сухом месте, так как при увлаж-

нении он теряет свою активность из-за образования гидратных оболочек. Нефелиновый шлак – побочный продукт получения глинозема из нефелиновых руд.

Сложные эфиры добавляют в смесь в малом количестве (10 % от массы жидкого стекла). При этом малое содержание жидкого стекла (3–4 % от массы смеси) позволяет достичь высоких значений прочности смеси (до 4 МПа через 24 ч и до 0,5–1 МПа через 1 ч). Применяют жидкие эфиры, получаемые из многоатомных спиртов и уксусной кислоты (диацетин $C_2H_5(OH) (OOCCH_3)_2$, триацетин $C_3P_5(OOCCH_3)_3$, диэтиленгликольдиацетин $(CH_2COO \cdot CH_2CH_2)O$ и др.).

Для отверждения смесей с синтетическими смолами используют неорганические и органические кислоты, кислые соли и смеси кислот и солей. Из неорганических кислот чаще всего применяют фосфорную кислоту. Для твердения ХТС на основе мочевиноформальдегидных и мочевинофурановых смол используют H_3PO_4 (ГОСТ 10678–76Е) с концентрацией 76–85 %. Для отверждения стержней в нагреваемой оснастке концентрация H_3PO_4 составляет 20 %. Из органических кислот для отверждения ХТС со смолами применяют бензолсульфокилоту (БСК), паратолуолсульфокилоту (ПТСК) и др.

5.5. Свойства исходных материалов, формовочных и стержневых смесей

Качество литейной формы и получаемой в ней отливки непосредственно связано со свойствами формовочной и стержневой смесей. Необходимые значения свойств смесей зависят от вида сплава, из которого изготавливается отливка, ее массы, конфигурации и размеров, технических требований к отливке, способов литья и изготовления форм и стержней, технологических особенностей оборудования, характера производства, наличия тех или иных формовочных материалов.

Очевидно, что принципиально невозможно создать универсальную смесь, удовлетворяющую по своим свойствам широкому полю требований, вытекающих из практики литейного производства. Поэтому в зависимости от конкретных условий необходимо уметь для реальных условий производства обоснованно выбирать смесь, обладающую необходимыми свойствами.

Требования к свойствам смесей определяются с учетом процессов, происходящих при их приготовлении, изготовлении форм и стержней, а также при формировании отливки в форме.

5.5.1. Основные процессы в формовочных и стержневых смесях

Приготовление смесей. Идеальная формовочная смесь представляет собой дисперсную систему, состоящую из равномерно распределенных по объему зерен наполнителя, связанных друг с другом жидкими пленками связующего – манжетами, расположенными в местах их контакта – контактных зонах (рис. 5.11, б).

Прочность скелетной системы, образованной зернам и наполнителя, определяется прочностью связи между зернами в местах контакта $\sigma_{св}$ и числом контактов на единицу объема N_v . При приготовлении смеси ее структура формируется в две стадии: перемешивания и обволакивания зерен наполнителя связующим. Механизм образования формовочной смеси зависит от природы связующего. Если его основу составляет вода или молекулярно-коллоидный раствор (масла, жидкое стекло, смолы, лигносульфонаты), определяющую роль играют капиллярные явления на границе связующее–наполнитель (смесь 1-го типа).

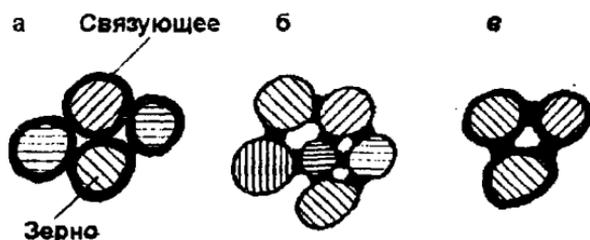


Рис. 5.11. Форма распределения связующего по поверхности зерен наполнителя

Внешняя энергия, которую затрачивает смеситель, идет главным образом на преодоление сил вязкого трения связующего и на перемешивание песка. Реально на зернах образуются пленки связующего, а в местах контактов зерен – манжеты (рис. 5.12).

Прочность смеси во влажном состоянии (сырая прочность) формируется капиллярными силами. Как известно, при смачивании связующим зерен песка (краевой угол $\theta < \pi/2$) давление в жидкости внутри манжеты меньше окружающего давления на величину капиллярного давления

$$P_k = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости (связующего);

R_1 и R_2 – главные радиусы поверхности мениска.

В литературе [29] приведены формулы для расчета силы связи зерен по схеме, изображенной на рис. 5.11, а. Для принципиальной характеристики этой силы получим расчетное выражение для упрощенной схемы взаимодействия между двумя смоченными жидкостью пластинами. В данном случае $R_1 = \rho$ и $R_2 = \infty$, т.е. $P_k = \sigma/\rho$. Так как

$$\rho = r / \cos \theta, \text{ то } P_k = \sigma \frac{\cos \theta}{r}, \text{ а } F = P_k \cdot S = \sigma \cdot S \frac{\cos \theta}{r}, \text{ где } S - \text{ площадь смоченной части пластины.}$$

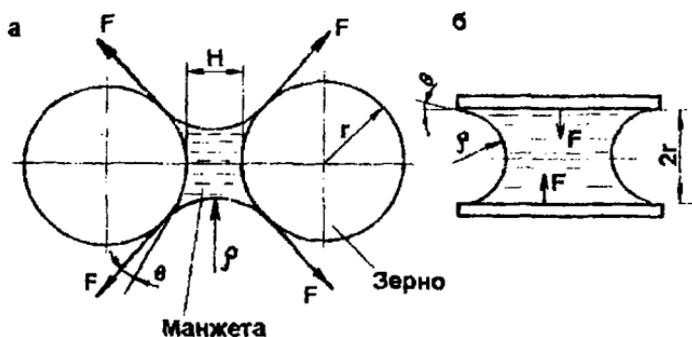


Рис. 5.12. Схемы к расчету сил взаимодействия между зернами (а) и плоскими пластинами (б)

Качественно полученная формула отражает зависимость сырой прочности от σ и количества связующего. Чем меньше σ , тем меньше сырая прочность. Например, сырая прочность смесей на масляном связующем мала, так как σ масла значительно меньше, чем у воды.

При малых толщинах пленок манжеты не образуются и пленка равномерно покрывает поверхность зерен (см. рис. 5.11, а). Манжеты начинают образовываться при некоторой критической толщине пленки. При применяемых на практике расходах связующего (1,5–8 %) толщина пленок в 10–15 раз превышает критическую. Поэтому в смеси всегда имеются манжеты. При перемешивании смеси в смесителе жидкое связующее растекается по зернам, а после завершения процесса растекает-

ся в зоны контакта под действием капиллярных сил. Рсальная смесь имеет структуру, показанную на рис. 5.11, в. При этом толщина манжет в несколько раз больше толщины пленок.

Для достижения максимальной прочности при минимальном расходе связующего необходима минимальная толщина пленок на зернах наполнителя. При этом толщина пленок должна быть больше критической, чтобы образовались манжеты. Лучше всего, чтобы связующее располагалось только в манжетах (см. рис. 5.11, б). Однако при перемешивании такого распределения связующего добиться невозможно.

Очевидно, что с уменьшением размеров зерен песка расход связующего возрастает, так как при этом увеличивается удельная поверхность зерен S_{y0} (m^2/kg смеси). Удельный расход связующего V_{y0} (m^3/kg смеси) можно оценить по формуле

$$V_{y0} = \delta_{opt} \cdot S_{y0},$$

где δ_{opt} — оптимальное значение толщины пленки связующего (в зависимости от вида связующего от 3 до 40 мкм).

Кроме поверхностного натяжения, на распределение связующего по поверхности зерен влияет его вязкость. Чем меньше вязкость, тем при меньшей толщине пленки образуется манжета и тем меньше расход связующего. Кроме того, при увеличении вязкости затрудняется равномерное распределение связующего по поверхности зерен и возрастает затрата энергии на перемешивание и обволакивание зерен.

При введении глины (смеси 2-го рода) при перемешивании происходит образование глинистой пасты, обладающей высокой структурной прочностью и вязкостью. При перемешивании зерен и их обволакивании глинистой пастой энергия затрачивается на насыщение глины влагой, намазывание ее на зерна и деформирование образующихся манжет. При этом в смесителе должно быть обеспечено не только колебательное перемешивание, но и деформирование смеси по типу «уплотнение — разрыхление». В смесях этого типа связующее распределяется по поверхности зерен более равномерно, различие в толщине пленок и манжет невелико.

Свойства формовочных и стержневых смесей зависят от технологии их приготовления, типа смесителя, последовательности загрузки компонентов и времени перемешивания. Конструкции и типы смесителей здесь не рассматриваются, так как они относятся к предмету курса «Оборудование литейных цехов».

Первоначально перемешиваются сухие компоненты (отработанная смесь, песок, сухие добавки) в течение 2–5 мин. Для различных сме-

сей глину вводят по-разному: или перемешивают вместе с остальными сухими компонентами, или сначала вводят воду, а затем глину. После перемешивания сухих компонентов вводят связующие и перемешивают смесь в течение 10–15 мин. Более подробно технология приготовления различных смесей будет рассмотрена в п. 5.6.

Процессы, происходящие при уплотнении и упрочнении смеси.

В разрыхленном состоянии смесь, выпущенная из смесителя, имеет очень малую прочность. В процессе уплотнения смеси ее прочность увеличивается, что дает возможность использовать смеси, упрочненные только уплотнением при формовке по-сырому. В процессе уплотнения, кроме формирования прочности, осуществляется плотное облегание смесью всех участков поверхности модели или стержневого ящика.

Для уплотнения смеси применяют различные способы: уплотнение трамбовками, прессование, вибропрессование, встряхивание, вдвигание и выстреливание смеси (пескодувный и пескострельный способы), метание порций смеси (пескометный способ), вакуумирование форм и др. В процессе уплотнения смеси изменяется ее структура и возрастает плотность. Способность смеси к увеличению плотности при уплотнении называется уплотняемостью.

Уплотнение характеризуют работой, затраченной на уплотнение стандартного образца смеси (диаметром и высотой 50 мм), отнесенной к единице объема образца. Так как уплотнение оказывает влияние на многие свойства смеси, то испытания смесей производят при стандартном уплотнении. Образец уплотняется тремя ударами груза копра массой $M=6,35$ кг, падающего с высоты $h=50$ мм. Работа уплотнения стандартного образца при стандартном уплотнении, отнесенная к единице объема образца V , равна

$$P_{cm} = 3M \frac{g \cdot h}{V} = 3 \cdot 6,35 \frac{9,8 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,05^3/4} = 0,095 \text{ МПа.}$$

Такая величина P_{cm} соответствует применяемым на практике уплотнениям песчано-глинистых смесей. Разрыхленная смесь, поступающая в опоку или стержневой ящик, имеет плотность около 1 г/см^3 и пористость около 60–70 %. Отдельные зерна наполнителя образуют арки, как показано на рис. 5.13, а. При уплотнении разрушаются арки, становится более плотной укладка зерен, переходя в кубическую и гексагональную (рис. 5.13, б, в). Происходит заполнение пор зернами меньшего диаметра и выжимание части объема глинистого связующего из манжет в контактной части зерен. При этом увеличивается площадь контакта связующего в манжетах с поверхностью зерен и изменяется

геометрия манжет. Таким образом, возрастает как число контактов зерен друг с другом, так и сила их взаимодействия, что приводит к увеличению прочности.

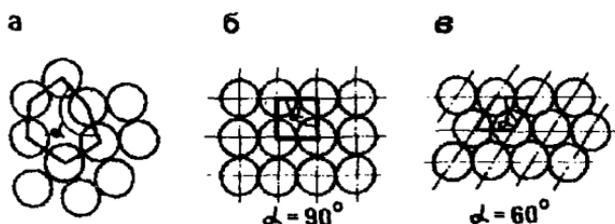


Рис. 5.13. Структура идеальной формовочной смеси: а – в разрыхленном состоянии; б – при кубической упаковке зерен; в – при гексагональной упаковке зерен

Пористость смеси уменьшается до 20–30 %, а плотность возрастает до 1,7–1,8 г/см³. В процессе уплотнения в смесях развиваются как упругие, так и пластические деформации. Упругие деформации после снятия нагрузки исчезают. Способность смеси к пластическим деформациям характеризует ее пластичность и уплотняемость.

Необходимая степень уплотнения определяется в зависимости от рода сплава, массы отливки и группы сложности модели. На рис. 5.14 показаны три группы сложности моделей [43].

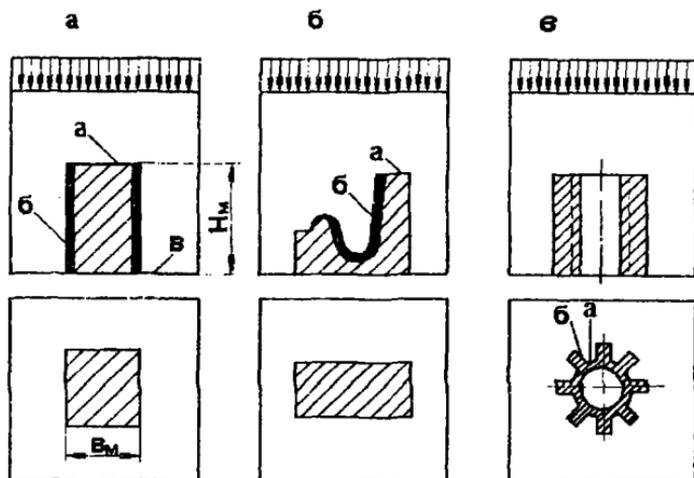


Рис. 5.14. Группы сложности моделей

К группе I отнесены модели с отношением высоты H_m к поперечному размеру b_m : $H_m/b_m \gg 1$ (см. рис. 5.13, а). В этом случае поверхность смеси над моделью окажется пересушенной, а боковые поверхности (б) – недоуплотненными.

К группе II (см. рис. 5.13, б) относятся модели не большой высоты, но сложной конфигурации. В данном случае трудноуплотняемыми местами будут поверхности карманов (б).

Для моделей III группы (см. рис. 5.13, в) трудноуплотняемыми будут межреберные участки (а, б).

Необходимую степень уплотнения следует выбирать по минимально допустимой плотности смеси в трудноуплотняемом месте поверхности модели. При этом отношение минимальной плотности смеси в трудноуплотняемом месте к средней плотности по поверхности разъема не должно быть меньше 0,9–0,95.

Г. М. Орлов для характеристики уплотненного состояния ввел понятие относительной плотности смеси

$$\rho_{отн} = \frac{\rho}{\rho_{max}}$$

где ρ_{max} – максимальная плотность данной смеси, полученная при прессовании под давлением 10 МПа, так как при дальнейшем увеличении плотности смеси начинается дробление зерен песка [33].

Чем меньше $\rho_{отн}$, тем выше способность смеси к дополнительному уплотнению при приложении нагрузки и тем меньше будет точность отливки из-за уплотнения смеси при транспортировке формы, заливке ее сплавом, охлаждении отливки и из-за усадки металла. При давлениях прессования, не превышающих 0,05 МПа, происходит разрушение конгломератов смеси, арок, заполнение мелкими зёрнами крупных пор. При этом $\rho_{отн}$ изменяется от 0,4 до 0,75.

Дальнейшее уплотнение смеси осуществляется за счет выдавливания связующего из мест контактов зерен в поры. При этом происходит изменение типа укладки зерен, сопровождающееся их упругим сжатием. При изменении $\rho_{отн}$ от 0,7 до 0,85 зерна песка сближаются за счет выжимания связующего из компактных зон под давлением прессования до 0,2 МПа. При возрастании давления до 0,5 МПа происходит упругая деформация песчинок и резкое увеличение работы, затрачиваемой на уплотнение. Относительная плотность при этом достигает 0,9. Дальнейший рост $\rho_{отн}$ при повышении давления связан с разрушением выступающих частей, а затем и самих зерен.

Оптимальным значением $\rho_{\text{отп}}$ следует считать такое значение, при котором заканчивается выжимание связующего в поры смеси, т.е. $(\rho_{\text{отп}})_{\text{отп}} = 0,85$. Давление прессования, при котором достигается такая плотность, в зависимости от типа смеси колеблется в пределах от 0,2 до 0,7 МПа [33].

Для форм с моделями группы I рекомендуется давление прессования 0,5–2 МПа, для форм с моделями группы II – 1,5–2,5 МПа [43]. Для форм с моделями группы III уплотнение прессованием не рекомендуется, необходимо применять динамические методы прессования.

Для получения средних и крушых отливок кроме уплотнения необходимо дополнительное упрочнение форм путем их сушки, химического твердения или замораживания. Процессы при дополнительном упрочнении форм и стержней зависят от природы применяемых связующих материалов и будут рассмотрены в разд. 5.6.

Процессы при взаимодействии жидкого сплава с поверхностью формы. В процессе заливки сплава в форму, затвердевания и охлаждения отливки в формовочной смеси и на границе расплав – форма происходят многочисленные физические, физико-химические и химические процессы.

По мере прогрева стенки формы происходит испарение свободной и связанной влаги (при 100–150 °С), выделение кристаллогидратной и конституционной влаги (150–600 °С), деструкция органических и разложение неорганических веществ, спекание смеси, полиморфные превращения в кварце и глине, выделение газов при испарении и деструкции связующих, физико-химические процессы взаимодействия между расплавом и материалом формы, механическое воздействие расплава на поверхностные слои формы и формирование напряжений в них.

В первую очередь эти процессы оказывают влияние на качество поверхности отливок. К наиболее часто встречающимся поверхностным дефектам отливок относят засоры, заливы, просечки, обвалы, плены, ужимины и пригар. Основной причиной возникновения засоров, заливов, просечек, обвалов является разрушение поверхности формы или стержня в процессе заливки или затвердевания сплава. При воздействии потока заливаемого сплава на выступающие поверхностные зерна наполнителя формовочной смеси возникают отрывающие или срезающие усилия. Величина напряжений среза или отрыва зерна зависит от скоростного напора потока сплава в поверхностных слоях $\rho \cdot U^2/2$, где ρ – плотность сплава, а U – скорость потока.

Если $\rho \cdot U^2/2 > \sigma_{\text{ср}}$ (где $\sigma_{\text{ср}}$ – поверхностная прочность формы), то произойдет отрыв и смыв зерна с поверхности. Чаще всего это про-

исходит при движении сплава в литниковых каналах, где скорости U наиболее велики.

Продукты разрушения поверхности формы разносятся потоком сплава по всей отливке, вызывая в ней включения, называемые засорами. В местах размыва поверхности формы на отливке возникают утолщения, называемые наростами.

В процессе прогрева формы происходит разупрочнение ее поверхностных слоев из-за деструкции связующего. Если к моменту разупрочнения формы не образуется достаточно толстая корка затвердевшего сплава, способная выдержать гидростатическое давление расплава, то произойдет деформация корки в сторону формы. Это вызовет появление подутости, т.е. увеличение толщины стенки отливки, или вообще нарушение конфигурационной и размерной точности.

При прогреве форм и стержней в их поверхностных слоях возникают напряжения, вызванные тепловым расширением, особенно в формах и стержнях из ХТС с синтетическими смолами. Эти напряжения могут привести к возникновению трещин. Приливы на поверхности отливки, вызванные затеканием металла в трещины, называют просечками.

Для борьбы с просечками, кроме осуществления мероприятий, направленных на уменьшение развиваемых напряжений, необходимо вводить в смесь добавки, увеличивающие ее теплоаккумулирующую способность, что ускоряет затвердевание металла (например, пылевидную фракцию железных оксидов).

Наибольшие проблемы возникают при появлении дефектов, связанных с поверхностным отслоением формы (рис. 5.15), называемых ужиминами. В процессе заполнения полости формы сплавом ее верхние и боковые стенки прогреваются за счет теплового излучения и конвекции. В процессе прогрева поверхностные слои нагреваются до высоких температур и теряют влагу. Большая часть паров воды фильтруется в толщу формы, где конденсируется в зоне низких температур. Влажность в ней (W) резко возрастает и значительно превышает начальное ее значение (W_0). В этой зоне прочность смеси резко падает. Зона повышенной влажности в процессе прогрева перемещается в глубь стенки формы. При этом увеличивается толщина сухого слоя. В процессе прогрева этого слоя происходит его термическое расширение, которое заторможено более холодными слоями. Поэтому в поверхностном слое возникают сжимающие напряжения. Они особенно велики в слое, прогретом до температур выше 573°C , так как в нем происходит полиморфное превращение α -кварц \rightarrow β -кварц, сопровождающееся увеличением объема.

Поверхностный слой формы испытывает под действием напряжений деформацию продольного изгиба. Если изгибающие напряжения $\sigma = M/W$ (здесь W – момент сопротивления слоя смеси, M – изгибающий момент) превышают прочность сухого слоя на изгиб, то произойдет отслоение слоя смеси и образуется ужимина, вид которой показан на рис. 5.16. Чем больше толщина высушенного слоя, тем больше W и, следовательно, меньше вероятность отслоения. Поэтому повышение теплопроводности смеси – один из методов борьбы с ужиминами. С целью увеличения W на поверхность формы наносят рифление, которое часто используют для предотвращения этого вида брака на практике (рис. 5.17). Для снижения интенсивности прогрева формы в процессе

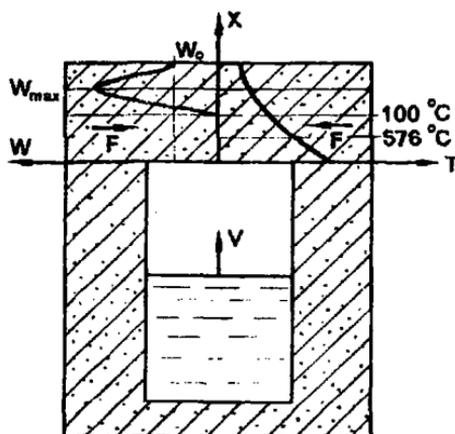


Рис. 5.15. Схема образования ужимин

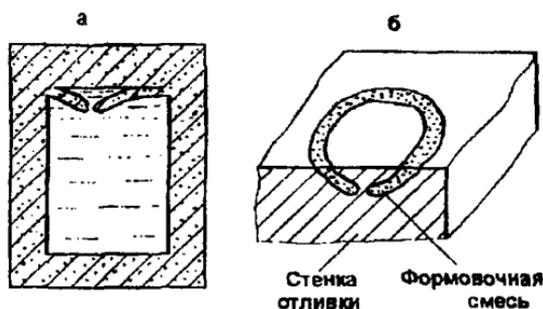


Рис. 5.16. Механизм образования (а) и общий вид (б) ужимины

заливки уменьшают степень черноты поверхности формы, окрапывая ее в белый цвет или покрывая, например, алюминиевой фольгой.

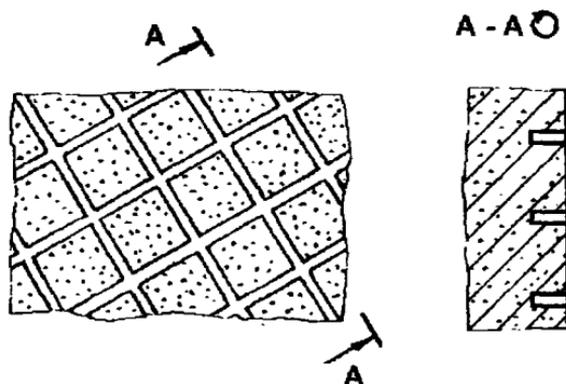


Рис. 5.17. Схема рифления внутренней поверхности формы для предотвращения образования ужимин

Для уменьшения величины напряжений необходимо увеличить пластичность или деформационную способность смеси. Для этой цели применяют песок с рассредоточенной структурой в угловатой формой зерен, который лучше деформируется, чем песок с концентрированной основой и округлыми зёрнами. В смесь добавляют легко выгорающие или плавящиеся добавки (каменный уголь, торф, опилки, древесную муку, битум, мазут, пеки и т.п.).

Необходимо применять смеси с повышенной прочностью в сухом состоянии. Продолжительность заполнения формы должна быть меньше времени отслоения поверхностных слоев. Ужимин чаще всего образуются при литье в сырые формы, но условия для их возникновения сохраняются и при литье в сухие формы.

Физико-химические процессы взаимодействия расплава и поверхностных слоев формы приводят к образованию пригара на поверхности отливки. В результате тепловых, механических и физико-химических процессов на границе расплав-форма на поверхности отливки образуется более или менее прочно связанный с ней пригарный слой, состоящий из прожилок сплава, частиц смеси и продуктов их взаимодействия. Вид брака, связанный с образованием трудноудаляемого пригарного слоя, называется пригаром. Схема пригарного слоя на поверхности отливки показана на рис. 5.18. Видно, что пригарный слой состоит из зерен кварца 1, окруженных пленками расплава 2 соедине-

ний $2FeO \cdot SiO_2$, $MnO \cdot SiO_2$, $2MnO \cdot SiO_2$ и др. Различают три вида пригара: механический, химический и термический. Так как форма представляет собой капиллярно-пористое тело, имеющее сложные по конфигурации капилляры, более или менее открытые для проникновения в них жидкого металла, то на проникающий в капилляры из полости формы жидкий металл действуют следующие силы:

- а) гидростатическое давление столба жидкого металла в форме P_z ;
- б) капиллярное давление, приложенное к свободной поверхности жидкого сплава в капилляре, P_k ;
- в) избыточное давление газов в порах смеси, образующееся при окислении, испарении и деструкции ее составляющих в процессе прогрева формы при заливке и охлаждении сплава, $P_{z.ф}$.

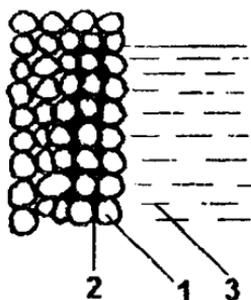


Рис. 5.18. Схема строения пригарного слоя:
1 – зерна кварца; 2 – прожилки расплава;
3 – жидкий расплав

Схема приложения сил к расплаву в капилляре при смачивании формы металлом показана на рис. 5.19. Очевидно, что для проникновения сплава в форму необходимо выполнение неравенства $P_z + P_k > P_{z.ф}$.

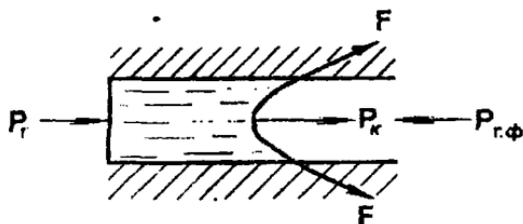


Рис. 5.19. Схема приложения сил к расплаву в капилляре при смачивании формы металлом

При этом следует иметь в виду, что в целях борьбы с газовыми дефектами в отливках состав смеси подбирают так, чтобы она была наименее газотворна, т.е. добиваются минимального уровня давления $P_{r.ф}$. Таким образом, смачивание жидким сплавом формы, как правило, ведет к его проникновению в межзеренные капилляры смеси. В случаях несмачивания формы сплавом условия, исключаящие проникновение сплава ($P_z > P_k + P_{z.ф}$), выполнить проще, но также не всегда возможно.

Если указанные условия проникновения выполнены, то при изотермическом процессе расплав в капилляре под действием перепада давлений будет двигаться как угодно долго. При этом длина заполненного капилляра будет увеличиваться пропорционально $\sqrt{\tau}$, где τ — время движения расплава.

В условиях реальной песчаной формы проникновение сплава в капилляры происходит в неизотермических условиях. В песчаной форме после заливки сплава температура распределена неравномерно. По мере удаления от границы с отливкой она быстро убывает. Поэтому голова потока расплава, в капилляре все время набегает на холодные, непрогретые поверхности зерен песка, что приводит к затвердеванию прожилок расплава и прекращению его проникновения.

Обычно глубина проникновения расплава ограничивается одним или несколькими слоями зерен смеси. Однако в некоторых случаях, особенно в тонких центральных стержнях, со всех сторон омываемых сплавом, металл может заполнить капилляры на всю толщину стержня. В этих случаях происходит, как говорят, сквозная металлизация стержня. Такой стержень практически невозможно выбить из отливки.

В результате проникновения металла в поры смеси на поверхности отливки образуется и удерживается после выбивки более или менее толстый слой пропитанной металлом формовочной смеси, иногда очень трудноудаляемый.

Пригар, образуемый по описанному механизму, называется механическим. Однако на практике чисто механический пригар образуется редко. В условиях окислительной атмосферы формы поверхность металла часто покрыта пленками окислов. Например, при литье железоуглеродистых сплавов важную роль играют оксиды железа и марганца FeO и MnO . С кремнеземом песка эти оксиды вступают во взаимодействие с образованием легкоплавких соединений типа файлита ($2FeO \cdot SiO_2$), родонита ($MnO \cdot SiO_2$), тсфронита ($2MnO \cdot SiO_2$) и др. С возникновением оксидных или силикатных легкоплавких фаз проникновение сплава в поры смеси существенно облегчается. Оксиды хорошо смачивают смесь и сами хорошо смачиваются металлом. Расплав идет по ним в капилляр, как нитка за иголкой. Следует заметить, что оксидные расплавы легко пропитывают поверхностный слой смеси, химически разрушая зерна песка. Иногда вместо зерен песка в пригарном слое обнаруживают монолитную массу, состоящую из указанных выше соединений. При этом образуется наиболее тяжелый вид пригара — химический. Таким образом, необходимой стадией образования химического пригара являются процессы, связанные с механическим пригаром.

К описанным выше процессам следует добавить процессы плавления наиболее легкоплавких составляющих смеси (оксидов щелочных

металлов, зерен полевого шпата, алюмосиликатов глины и др.) и их последующего спекания. Эти процессы характерны для так называемого термического пригара.

Все указанные виды пригара, как правило, сосуществуют. Пригарный слой представляет собой самостоятельную фазу, имеющую свою структуру. Этот слой удерживается на поверхности отливки не только за счет действия проникших в смесь прожилок металла, но и за счет адгезии, чему способствуют спекание слоя и структурные превращения в нем. Для уменьшения адгезии необходимо повысить межфазное натяжение на границе поверхность отливки – пригарный слой. Когда межфазное натяжение на этой границе мало, что имеет место при близких структурах металла и слоя, пригарный слой прочно удерживается на поверхности отливки силами адгезии.

В качестве примера можно привести неожиданный результат, полученный при освоении жидкостекляных смесей на УЗТМ в начале 1950-х гг. Данные смеси, связующим в которых является силикат натрия или калия, содержат большое количество легкоплавких оксидов щелочных металлов и поэтому отличаются большой пригораемостью. К удивлению технологов, смеси относительно легко были внедрены на стальном литье. При этом образовывался достаточно толстый слой пригара, который легко отскакивал от поверхности отливок при их очистке. В то же время на чугунном литье, несмотря на значительную меньшую, чем при стальном литье, температуру заливки, при применении жидкостекляных смесей образовывался трудноудаляемый от поверхности отливок пригарный слой. Минералогический и рентгеноструктурный анализ пригарного слоя показал, что при температурах, характерных для литья чугуна, он имеет кристаллическую структуру, близкую к структуре металла. Это приводит к снижению межфазного натяжения на границе отливка – пригарный слой и, как следствие, к увеличению адгезии. При литье стали пригарный слой имеет вид аморфно-стекловидной массы, что вызывает увеличение межфазного натяжения и снижение адгезии.

Таким образом, поверхностные явления играют важную роль в пригарообразовании. Естественно, такой сложный процесс не исчерпывается только поверхностными явлениями, он является комплексным. С точки же зрения поверхностных явлений борьба с пригаром должна быть направлена на уменьшение как смачиваемости металлом материала формы, так и адгезии слоя к сплаву. Это может быть достигнуто путем подбора формовочных материалов, противопригарных покрытий, раскисления металла, предотвращения его окисления в форме, легирования сплава и т.п.

Ю. П. Васиным для получения хрупкого и легкоудаляемого пригарного слоя для песчано-бентонитовых смесей предложено вводить в

смесь окислителя (Fe_2O_3 , MnO , Na_2SO_4 , $Fe_2(SO_4)_3$ и т.д.). В процессе окисления металлических прожилок получаются оксиды железа (FeO), натрия (Na_2O), марганца (MnO), образующие легкоплавкую эвтектику.

Для борьбы с механическим пригаром необходимо применять мелкозернистые пески (иногда в смесь для центральных стержней при стальном литье вводят до 40 % пылевидного кварца – маршаллита).

Для предотвращения окисления металла в смесь вводят добавки, создающие в форме восстановительную атмосферу. Сухие формы покрывают слоем плотной противопожарной краски. Конкретные меры борьбы с пригаром зависят от вида применяемого связующего и будут рассмотрены в разд. 5.6.

Процессы при охлаждении отливок. В процессе прогрева формы при охлаждении отливки происходят физико-химические явления, вызывающие изменение прочности смеси и объемные изменения в ней. При прогреве песчано-глинистых смесей до 350 °С из глин выделяется связанная, сорбционная и кристаллизационная влага, а при 400–650 °С происходит выделение основной части конституционной влаги. В бентонитовых глинах при нагреве до 350 °С выделяется до 70 % влаги. Дегидратация глин сопровождается усадкой.

При нагреве до 500 °С каолиновые глины сохраняют 55 % своей прочности и 25 % начальной влажности, бентонитовые глины при 500 °С сохраняют лишь 15–18 % прочности и 12–15 % начальной влажности. Потеря связующих свойств бентонитовых глин наблюдается при 600 °С, а каолиновых глин – при 800–900 °С.

Если в случае применения глин и жидкого стекла произошло их расплавление и падение прочности при нагреве, то при последующем охлаждении смесь спекается и увеличивается ее конечная (остаточная) прочность, которая определяет выбиваемость.

При применении органических связующих прочность при нагреве снижается из-за их деструкции. Весь процесс деструкции осуществляется в интервале 20–1500 °С (для синтетических смол). На первой стадии (20–200 °С) происходит удаление связанной влаги и свободных летучих компонентов смол и катализаторов (ацетона, фенола, формальдегида). Вторая стадия соответствует интервалу 200–700 °С. На этой стадии в основном завершается процесс карбонизации полимера, содержание углерода достигает 80–90 %. У смол со средней и высокой термостойкостью карбонизация заканчивается при 700–800 °С. При этом образуется кокс. На третьей стадии (выше 700 °С) угольная структура кокса меняется. В окислительной атмосфере он полностью газифицируется, в восстановительной или нейтральной происходит процесс перехода от структуры кокса к более устойчивой – графиту.

Термостойкость смеси складывается из суммы термостойкостей в двух первых периодах, в конце периода карбонизации сохраняется 10–30 % начальной прочности, которая обеспечивается коксовыми манжетами между зернами. При последующем охлаждении прочность смесей на органических связующих падает, что определяет их хорошую выбиваемость.

В процессе затвердевания отливки происходит ее усадка. Торможение усадки стержнями или участками формы зависит от податливости стержня или формы. При недостаточной податливости в отливках могут возникать горячие и холодные трещины. Кроме того, при низкой податливости стержней увеличивается давление, оказываемое на них со стороны металла. При повышении давления более интенсивно идет процесс спекания смесей, что затрудняет выбивку стержней.

5.5.2. Требования к формовочным смесям

Формовочная смесь в технологическом цикле проходит ряд состояний:

- разрыхленное состояние на выходе из смесителя и из бункера, в котором она хранится;
- уплотненная смесь в форме и в стержнях;
- смесь в форме и в стержнях в термически или химически обработанном состоянии;
- смесь в форме и в стержнях в нагретом и прокаленном состоянии после затвердевания отливки;
- смесь в охлажденном состоянии после охлаждения отливки и выбивки формы.

На каждом этапе формовочная смесь должна удовлетворять многочисленным требованиям. Перед изготовлением формы или стержня смесь должна обладать:

- достаточной текучестью для осуществления принятого метода изготовления форм;
- способностью сохранять текучесть и уплотняемость в течение времени, заданного технологическим процессом;
- хорошей уплотняемостью, отвечающей производительным возможностям формовочного оборудования;
- хорошей пластичностью для обеспечения размерной точности форм;
- способностью не прилипать к поверхностям модели или стержневого ящика;
- низкой стоимостью и недефицитностью входящих в нее компонентов.

После изготовления формы или стержня смесь должна:

- иметь достаточную исходную или сырую прочность для сохранения целостности формы или стержня при их изготовлении, транспортировке и сборке;
- при изготовлении отливок в сырых формах иметь сырую прочность, достаточную для обеспечения размерной и конфигурационной точности отливок;
- обладать поверхностной прочностью, обеспечивающей отсутствие поверхностных дефектов в отливках;
- иметь достаточную прочность после сушки или химического твердения при минимальном расходе связующего;
- обладать комплексом свойств, обеспечивающих непригораемость к отливкам или образование легкоудаляемого пригарного слоя;
- быть негигроскопичной;
- быстро упрочняться в исходном состоянии или в процессе сушки.

При формировании отливки в форме и охлаждении ее до выбивки смесь должна удовлетворять следующим требованиям:

- сохранять механические свойства в процессе прогрева на уровне, обеспечивающем прочность формы, до тех пор, пока не затвердеет достаточно прочная корка сплава в поверхностном слое отливки. Время разупрочнения смеси при ее нагреве должно превышать время образования достаточно толстой корки затвердевшего металла;
- оказывать малое торможение усадки сплава в процессе затвердевания и охлаждения отливки;
- иметь малую газотворность;
- обладать высокой газопроницаемостью, обеспечивающей возможность организации направленного газового потока в стенке формы, исключая образование газовых дефектов в отливках;
- в процессе охлаждения уменьшать свою прочность до значений, обеспечивающих минимальные энергозатраты на выбивку из форм и отливок;
- иметь теплофизические свойства, обеспечивающие заданный тепловой режим затвердевания и охлаждения отдельных элементов отливки, гарантирующий ее направленное затвердевание и формирование заданной кристаллической структуры.

Необходимо также, чтобы смесь была нетоксичной на всех этапах технологического процесса и сохраняла способность к повторному применению в течение как можно большего числа технологических циклов после регенерации. Очевидно, что для удовлетворения указанным требованиям формовочная смесь должна обладать набором соот-

ветствующих свойств. Свойства смеси можно разделить на три группы: общие, технологические и рабочие.

Общие свойства характеризуют смесь как дисперсную многокомпонентную систему. К технологическим относятся свойства, имеющие значение при приготовлении смесей, изготовлении форм и стержней. Рабочие свойства проявляются в процессе заливки форм, затвердевания, охлаждения и выбивки отливки.

Свойства формовочных и стержневых смесей зависят от их состава, свойств формовочных материалов, уплотнения смесей, влажности и режима их термической и химической обработки. Так как свойства формовочных материалов играют определяющую роль в формировании свойств смесей, рассмотрим их характеристику и методы определения.

5.5.3. Свойства материалов

Свойства формовочных материалов определяют по результатам испытаний проб, отобранных в соответствии с ГОСТ 2189-78 (для формовочных песков), ГОСТ 3226-77 (для формовочных глин), ГОСТ 13078-81 (для жидкого стекла), ГОСТ 2517-85 (для фенолоформальдегидных смол) и т.д.

Свойства формовочных песков. Полный анализ свойств песков и наполнителей включает в себя определение содержания глинистой составляющей и потерь при прокаливании; влажности песка; зернового состава; формы зерен; коэффициента угловатости; объемного расширения; спекаемости; концентрации водородных ионов водной вытяжки; газопроницаемости; прочностных характеристик; содержания SiO_2 , Na_2O , K_2O , S , CaO , MgO , Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 ; огнеупорности и минерального состава.

Анализ проводится в специализированных лабораториях. В литейных цехах ограничиваются контролем лишь основных свойств: гранулометрического состава, газопроницаемости, влажности и влагоемкости, спекаемости и концентрации водородных ионов водной выдержки.

Методика исследования гранулометрического состава (глинистой составляющей, зернового состава, формы зерен) описаны в п. 5.2.2.

Влагоемкость песков характеризуется количеством воды, адсорбированной на поверхности зерен песка. Методика определения влагоемкости состоит в насыщении пробы песка водой (иногда с добавками поверхностно-активных веществ) и последующем центрифугировании в стабильных условиях для удаления несвязанной воды. Количество остаточной, связанной на поверхности зерен песка воды определяется взвешиванием.

Для определения влажности песка (связанной и свободной влаги) навеску песка массой 50 г сушат при температуре 105–110 °С до постоянной массы. Для вычисления влажности в процентах потерю массы при сушке умножают на 2. Высушивание до постоянной массы (стандартный метод по ГОСТ 23409.5–78) длится 2–3 ч, поэтому для контроля влажности формовочных смесей в производственных условиях применяют ускоренные методы. К ним относятся методы, основанные на интенсификации сушки (инфракрасная сушка сокращает время сушки навески массой 10–20 г до 5–10 мин), химических реакций с водой и на физических явлениях.

Среди химических методов можно отметить карбидный метод. При реакции карбида кальция с водой образуется ацетилен, избыточное давление которого в замкнутом объеме пропорционально содержанию влаги.

В автоматизированных системах приготовления смесей применяют ускоренные методы определения влажности, основанные на зависимости сопротивления смеси (кондуктометрические методы) и электрической емкости образца смеси (диэлектрические влагомеры) от влажности. Эти методы позволяют осуществлять измерение влажности непрерывно.

Газопроницаемость – свойство капиллярно-пористых тел (песка, смеси), характеризующее их способность пропускать через себя газы. Скорость фильтрации газа через образец можно определить по формуле Дарси

$$V = \Gamma \frac{\Delta P}{\Delta l},$$

где Γ – коэффициент фильтрации, или газопроницаемость, м⁴/(Н·с); $\Delta P/\Delta l$ – градиент давления, Н/м³.

Схема прибора для определения газопроницаемости приведена на рис. 5.20 (ГОСТ 23409.6–78).

Воздух из калиброванного колокола 1, плавающего в баке 2 с водой, через отверстия 3, трубу 4 и трубу 5 с трехходовым краном 6 поступает в полость 9 в металлической гильзе 10 (цилиндр диаметром и высотой 50 мм) с исследуемым стандартным образцом песка или смеси 11, уплотненным стандартным уплотнением. С помощью манометра 15 измеряется избыточное давление воздуха под образцом, под действием которого происходит фильтрация воздуха через образец.

Перед испытанием при открытом положении крана 6, соединяющем колокол с атмосферой, поднимают колокол до нулевой отметки и перекрывают кран 6. При испытании кран 6 ставят в положение, соединяющее полость колокола с полостью 9. При опускании колокола воз-

дух фильтруется через образец. При применении стандартного метода (ГОСТ 23409.6–78) измеряют время T опускания колокола на высоту, отсчитывающую объему вышедшего из него воздуха (2 л), и давление P по манометру 15.

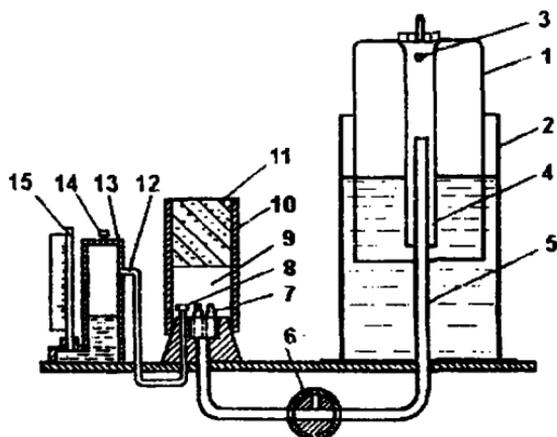


Рис. 5.20. Схема прибора для определения газопроницаемости песков и смесей

Формулу Дарси применительно к условиям испытания можно записать в виде

$$\frac{Q}{S} = \frac{\Gamma \cdot P}{h},$$

где Q – расход воздуха через образец, м³/с;

S – площадь поперечного сечения, м²;

h – высота образца, м.

Так как $Q = V/\tau$, где V – объем газа, прошедшего через образец за время τ , то получаем следующее выражение для определения газопроницаемости:

$$\Gamma = \frac{V \cdot h}{S \cdot P \cdot \tau}.$$

С учетом того что $V=2000$ см³, $S=3,14 \cdot 5^2/4=19,63$ см², $h=5$ см, получаем $\Gamma=509,4 \cdot 10^{-4}/(P \cdot \tau)$, м²/(Па·с). Для практических измерений в литейном производстве принята единица газопроницаемости (ед. г. СИ),

равная $10^{-8} \text{ м}^2/(\text{Па}\cdot\text{с})$, т.е. $K=509,4\cdot 10^4/(P\cdot t)$, ед. г. СИ. В эту формулу давление следует подставлять в паскалях, а время – в секундах. В приборах старого образца градуировка выполнена в единицах газопроницаемости (ед.г.):

$$\begin{aligned} \text{ед.г.} &= \text{см}^2/(\text{г}\cdot\text{мин}/\text{см}^2) = 10^{-4} \text{ м}^2/(0,01 \text{ Па}\cdot\text{с}) = 1,67\cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{Па}\cdot\text{с}) = \\ &= 1,67 \text{ ед. г. СИ, или ед. г. СИ} = 0,6 \text{ ед. г.} \end{aligned}$$

Ускоренный метод определения газопроницаемости основан на применении формулы для нахождения скорости фильтрации газа

$$V = C\sqrt{P_0 - P},$$

где C – коэффициент сопротивления, величину которого регулируют, устанавливая на входе газа в полость 9 калиброванную диафрагму-ниппель 7.

Для песков и смесей с высокой газопроницаемостью применяют ниппель с диаметром отверстия 1,5 мм, а для песков или смесей с газопроницаемостью до 82 ед.г.СИ – ниппель с диаметром отверстия 0,5 мм.

Приравняв выражение для определения V в формуле Дарси и в приведенной выше формуле, получаем

$$\frac{I \cdot P}{h} = C\sqrt{P_0 - P},$$

где P_0 – давление газа под колоколом;

P – давление, измеряемое манометром 15.

Отсюда находим

$$I = C\sqrt{\frac{(P_0 - P) \cdot h}{P}},$$

Давление под колоколом $P_0=1000$ Па. Значения постоянной C для ниппелей с диаметрами отверстий 0,5 и 1,5 мм соответственно равны $1,167\cdot 10^{-1}$ и $1,05\cdot 10^{-3} \text{ м}/(\text{Па}\cdot\text{с})^{1/2}$. С учетом этих значений C и при $h=50$ мм получаем следующее выражение для расчета газопроницаемости I по экспериментально измеренным значениям давления P :

- для ниппеля с диаметром отверстия 0,5 мм

$$\Gamma = 583,5 \sqrt{\frac{1000 - P}{P}} \text{ (ед. г. СИ);}$$

- для ниппеля с диаметром отверстия 1,5 мм

$$\Gamma = 5251 \sqrt{\frac{1000 - P}{P}} \text{ (ед. г. СИ).}$$

В эти формулы давление следует подставлять в паскалях. На ранее выпущенных приборах приведена таблица, по которой можно по измеренному значению P в см вод. ст. определить значение газопроницаемости в ед. г. для каждого диаметра отверстия в ниппеле. Для перевода этих значений в ед. г. СИ необходимо их умножить на 1,67. При использовании ускоренного метода нет необходимости измерять время опускания колокола до отметки 2 л.

На результат измерения газопроницаемости стандартным методом оказывает влияние температура воздуха и его влажность. В соответствии со стандартом газопроницаемость следует определять при температуре 15–20 °С. Стандартные значения газопроницаемости имеют относительное значение, так как в условиях взаимодействия форм и стержней с жидким металлом при высоких температурах коэффициенты фильтрации газа будут иными.

Газопроницаемость можно связать с вязкостью газа μ формулой

$$\Gamma' = \frac{K}{\mu},$$

где K – коэффициент проницаемости, характеризующий структуру пористой среды, через которую фильтруется газ.

Для расчета K можно применить формулу Козени

$$K = \frac{\psi^3 \cdot d^2}{180(1 - \psi)^2},$$

где ψ – пористость среды;

d – средний диаметр зерен наполнителя.

Так как вязкость газов с повышением температуры увеличивается, то газопроницаемость при фильтрации нагретого газа меньше, чем в стандартных условиях.

Газопроницаемость песка зависит от его влажности. Эта зависимость носит экстремальный характер. Сначала с увеличением влажности газопроницаемость возрастает, а затем убывает после достижения максимума при некотором оптимальном значении влажности $W_{\text{опт}}$. Возрастание газопроницаемости связано со снижением гидравлического сопротивления фильтрации из-за смачивания водой поверхности зерен песка и уменьшения их шероховатости. Снижение газопроницаемости начинается, когда вода, покрыв зерна песка пленкой, начинает скапливаться в порах, уменьшая пористость песка.

С уменьшением размеров зерен d газопроницаемость снижается, как это следует из формулы Козени. Так как с уменьшением диаметра зерен увеличивается их суммарная поверхность, оптимальное значение влажности возрастает. Характер зависимости газопроницаемости песка от влажности и размеров зерен показан на рис. 5.21.

Газопроницаемость песка зависит от распределения его по размерам зерен. С увеличением рассредоточенности зернового состава песка газопроницаемость снижается, так как более мелкие зерна, располагаясь между крупными, уменьшают пористость песка. Поэтому в литейном производстве преимущественно применяются пески с концентрированной зерновой структурой. С увеличением содержания глины газопроницаемость уменьшается.

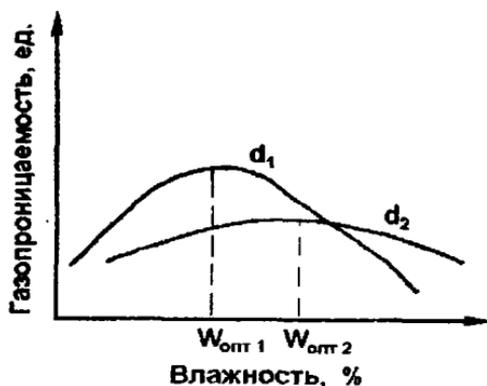


Рис. 5.21. Зависимость газопроницаемости от влажности и размеров d зерен песка ($d_2 < d_1$)

Спекасность формовочных песков служит для оценки их огнеупорности. По ГОСТ 23409.20–78 это свойство песка оценивают по визуальному определению температуры, при которой начинается оплавление зерен.

Свойства формовочных смесей зависят от химического характера песков и других исходных материалов. Показателем химических изменений в смесях является величина $pH = -\log(H^+)$ – отрицательный логарифм концентрации водородных ионов, содержащихся в водной вытяжке песка или другого материала.

В нейтральном растворе (вода) $pH=7$. Если $pH<7$, то среда кислая, так как концентрация водородных ионов больше, чем ионов OH^- . Если $pH>7$, то среда щелочная.

Величина pH оказывает существенное влияние на связующие свойства глин и бентонитов. В очень кислых средах бентониты почти не набухают. Поэтому с увеличением pH возрастает прочность и пластичность песчано-бентонитовых смесей. Влияет pH и на огнеупорность смесей, качество поверхности отливок. Поэтому контроль pH является необходимым для проверки стабильности свойств смесей и исходных материалов (ГОСТ 23409.22–78). При определении pH навеска испытуемых материалов некоторое время взбалтывается в дистиллированной воде, после чего pH определяется pH -метром. Степень разбавления вытяжки водой для разных материалов различна: для песка и смесей на жидком стекле – 1:2, для глин и бентонитов – 1:2,5, а для смесей на органическом связующем – 1:4. После взбалтывания вытяжки в течение 5 мин раствор выстаивают в течение 5–10 мин.

Свойства связующих и вспомогательных материалов. В соответствии со стандартами предусмотрен контроль следующих свойств глин:

- содержания глинистой составляющей (ГОСТ 3594.9–77);
- величины pH водной вытяжки (ГОСТ 3594.5–77);
- содержания SiO_2 , катионов кальция и магния, катионов натрия и калия, серы, оксидов железа, CaO , MgO , Na_2O , K_2O и оксидов углерода:

- предела прочности при сжатии в сухом и влажном состояниях;
- долговечности (ГОСТ 3594.8–77);
- коллоидальности (ГОСТ 3594.10–77);
- влажности (ГОСТ 3594.11–77);
- гранулометрического состава (ГОСТ 3594.12–77);
- пластичности (ГОСТ 21216.1–81);
- потери массы при прокаливании (ГОСТ 2642.1–86);
- минерального состава (ГОСТ 3226–77).

В лаборатории литейного цеха определяют следующие свойства глин: минералогический состав, химический состав, влажность, pH , прочность в сухом и влажном состояниях, долговечность, коллоидаль-

ность и гранулометрический состав. Методики определения основных свойств описаны выше (см. разд. 5.3).

Из-за огромного многообразия связующих материалов невозможно рассмотреть в пределах данного учебника все их свойства и соответствующие методы контроля. О важнейших свойствах связующих было сказано в разд. 5.3.

Все связующие испытываются на удельную прочность. Смесь для технологической пробы готовят в лабораторных бегунах из 3 кг кварцевого песка. Из смеси готовят стандартные цилиндрические образцы и испытывают их на сжатие во влажном и отвержденном состояниях.

Жидкое стекло испытывают на содержание SiO_2 и Na_2O , а также определяют его модуль и плотность. Синтетические смолы контролируются на плотность, условную вязкость, содержание сухого остатка, pH, содержание азота и свободных мономеров (фенола и формальдегида), длительность отверждения (желатинизации). Методика определения этих свойств изложена в ГОСТ 20907-75 (для фенолоформальдегидных смол) и ГОСТ 14231-88 (для карбамидоформальдегидных и других смол).

Вспомогательные материалы, используемые в качестве противопригарных средств для улучшения текучести и податливости смесей, испытываются на зернистость, плотность, вязкость и другие свойства.

Для углеродистых противопригарных материалов (молотый уголь, битумы, масла, древесная мука, крахмал, смолы) важным является установление содержания блестящего углерода, образующегося при термическом разложении углеродистых материалов и влияющего на эффективность действия противопригарной добавки, а также определение выхода летучих при прокаливании без доступа воздуха.

5.5.4. Общие свойства формовочных и стержневых смесей

подавляющее большинство смесей изготавливается с использованием отработанной смеси, т. е. смеси, выдержавшей ряд заливок сплавом. Если при применении смеси, содержащей только исходные материалы (песок, глину, связующие и т.п.), ее свойства определяются свойствами этих материалов, режимом и способом приготовления смеси и точностью дозировки компонентов, то при использовании оборотных, отработанных смесей свойства формовочных смесей зависят от качества оборотных смесей, которые очень нестабильны. В процессе нагрева смеси при ее тепловом взаимодействии с отливкой происходит шамотизация и потеря активности глины, растрескивание зерен песка, выгорание углеродсодержащих веществ. Поэтому возникает необходимость в

контроле свойств смеси с целью корректировки ее состава для стабилизации технологических и рабочих свойств.

К общим свойствам формовочных смесей относятся: содержание глинистой составляющей, содержание активной и неактивной глины, общее содержание глины, потери при прокаливании, потери при прокаливании наполнителя после удаления глинистой составляющей, потери при прокаливании глинистой составляющей, содержание углерода, растворимого в бензоле, степень оолизации смеси и pH смеси. Эти свойства определяются один раз в месяц (при крупносерийном производстве) или один раз в неделю (при индивидуальном и мелкосерийном производстве).

Общее содержание глинистой составляющей не характеризует способность смеси к упрочнению, так как среди частиц, размер которых меньше 22 мкм, кроме активных глинистых частиц, обладающих связующими свойствами, присутствует то или иное количество частиц шамотизированной, т.е. неактивной, глины, а также мелкие фракции углеродсодержащих и других веществ. Поэтому важным свойством смеси является содержание в ней активной глины, т.е. части глинистой составляющей, включающей собственно глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит и др.).

Содержание активной глины определяется по ГОСТ 23409.14-78. Данный метод основан на адсорбции метилена голубого из водного раствора смеси. Наряду с этим методом, требующим для анализа 2-2,5 ч, предложен ряд экспрессных методов, основанных на измерении электропроводности суспензий образцов смеси [42].

Неактивная часть глины — часть глинистой составляющей, которая потеряла свою связующую способность. Ее содержание определяется как разность между общим содержанием глины и содержанием активной глины.

В глинистую составляющую входят также выгорающие и термически разлагающиеся вещества. Их содержание определяется как потери при прокаливании смеси (ГОСТ 23409.18-78). Общее содержание глины $\Gamma_{\text{общ}}$ — совокупность всех глинистых частиц. Оно определяется как разность между содержанием глинистой составляющей $\Gamma_{\text{С}}$ и потерями при прокаливании. Величина $\eta = (\Gamma_{\text{общ}}/\Gamma_{\text{С}})100\%$ называется коэффициентом использования глины в смеси.

В единых песчано-глинистых смесях оптимальное значение η — около 80%. Содержание неактивной глины в смесях для стального литья должно быть на уровне 2,5-3%, а для чугунного литья — 1,5-2%.

В результате термического воздействия может происходить укрупнение частиц выжигаемых веществ и спекание зерен наполнителя. Для характеристики этих процессов определяют потери при прокалива-

нии наполнителя после удаления глинистой составляющей. Если эти потери велики, то необходимо освежение смеси песком.

По разнице потерь при прокаливании смеси и отмытого наполнителя определяют содержание летучих в глинистой составляющей. Оптимальное содержание летучих в смесях для чугунного литья не должно превышать 4 %, а для стального литья – 2 %. При превышении этих значений необходимо освежение смеси активной глиной.

Содержание углерода, растворимого в бензоле, адекватно содержанию блестящего углерода (пироуглерода). Оно позволяет регулировать содержание углеродистых противогригарных веществ в смеси. В зависимости от требований к качеству поверхности отливки содержание этого углерода колеблется в пределах от 0,05 до 0,8 %. Чем выше требования к качеству поверхности, тем больше должно быть содержание углерода, растворимого в бензоле.

При циклическом термическом нагружении смеси происходит образование на поверхности зерен наполнителя шамотизированного слоя. Этот процесс называется оолитизацией смесей. Для отливок из серого чугуна степень оолитизации должна быть в пределах 10–24 %. При оолитизации плотность смеси понижается по сравнению с исходной. Плотность определяют путем взвешивания стандартных образцов. В песчано-бентонитовых образцах кажущаяся плотность должна быть не ниже 1400 кг/м³.

Важной характеристикой смесей является их насыпная плотность, которая определяется как масса единицы объема свободно насыпанной смеси. Определение насыпной плотности формовочной смеси производится по ГОСТ 23409.13–78.

5.5.5. Технологические свойства смесей

Технологические свойства характеризуют способность смеси обеспечивать получение высококачественных форм при различных технологических процессах их изготовления. К наиболее важным технологическим свойствам относятся влажность, текучесть, уплотняемость, формуемость, насыпная плотность, прочность, ударная вязкость, прилипаемость, кажущаяся плотность.

Основной задачей контроля технологических свойств смесей является поддержание их на некоторых уровнях, обеспечивающих получение высококачественных форм.

Влажность определяется непосредственно после приготовления смеси (не позднее чем через 10 мин) по ГОСТ 23409.5–78. Влажность оказывает влияние практически на все технологические и рабочие свойства смесей.

Важным технологическим фактором являются *пластические*

свойства смеси. Они характеризуют способность смесей к необратимым деформациям при приложении определенных внешних нагрузок. Существуют определенные рабочие интервалы пластических свойств, вне которых смеси становятся непригодными для изготовления форм. Они теряют способность воспроизводить точный отпечаток модели (сухая смесь, сухой песок и т.п.) или сохранять отпечаток после удаления модели (разведенная водой глина).

При уплотнении смеси ее пластичность определяется перемещением частиц относительно друг друга и деформацией пленок, покрывающих зерна наполнителя. Способность к пластической деформации смеси определяется влажностью, типом связующего и его вязкостью. Для оценки пластичности смеси различают следующие характеристики: уплотняемость, текучесть, сыпучесть, формуемость, заполняемость. *Уплотняемость* характеризует способность смеси уменьшать свой объем (в замкнутом пространстве) под действием собственного веса или внешней нагрузки. Она определяется по относительному снижению высоты стандартного образца смеси после уплотнения тремя ударами копра (ГОСТ 23409.13-78).

От уплотняемости смеси зависит производительность труда формовщиков и стержневщиков. Величина работы уплотнения стержневой смеси на масляном связующем в 8-10 раз меньше величины работы уплотнения глино-опилочной смеси при одной и той же прочности их на сжатие. Это объясняется лучшей уплотняемостью стержневой смеси на масляном связующем.

Уплотняемость увеличивается с ростом влажности смеси до момента покрытия поверхности зерен влажной пленкой. По мере заполнения водой пор смеси повышение влажности уменьшает уплотняемость. Уплотняемость уменьшается с увеличением вязкости связующего.

От уплотняемости смеси зависит качество и чистота поверхности отливок. Повышение насыпной плотности смеси приводит к уменьшению уплотняемости и при объемном дозировании смеси - к ухудшению качества формы (низкая твердость, осылаемость).

Понятие *текучести* смеси строго определяется понятием пластичности, т. е. характеризует способность смеси получать пластические деформации без нарушения сплошности под действием внешнего давления. Чем большую деформацию при данной нагрузке получает смесь, тем выше ее текучесть. Текучесть можно охарактеризовать как способность смеси к перемещению в направлении, перпендикулярном к уплотняющей силе. Высокая текучесть обеспечивает равномерную степень уплотнения форм. Текучесть характеризуется сопротивлением смеси сдвигу ее слоев. При уплотнении смеси в ней возникают нор-

мальные (σ) и касательные (τ) напряжения. Под действием касательных напряжений происходит течение смеси.

На рис. 5.22, а приведен график зависимости между напряжениями сжатия и сдвига при уплотнении смеси. Если к смеси, расположенной между пластинами, приложить усилие F , создающее нормальное напряжение σ , то величина касательного напряжения τ_s , при котором произойдет срез верхней части образца относительно нижней, будет зависеть от σ в соответствии с графиком, изображенным на рис. 5.22, а. Если $\tau < \tau_s$, то течения смеси не будет. Зависимость $\tau_s = f(\sigma)$ может быть приближенно выражена законом Кулона для связно-сыпучих тел (рис. 5.22, б):

$$\tau_s = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + K,$$

где φ – угол внутреннего трения, характеризующий величину сопротивления сдвигу;

K – напряжение сцепления слоев друг с другом.

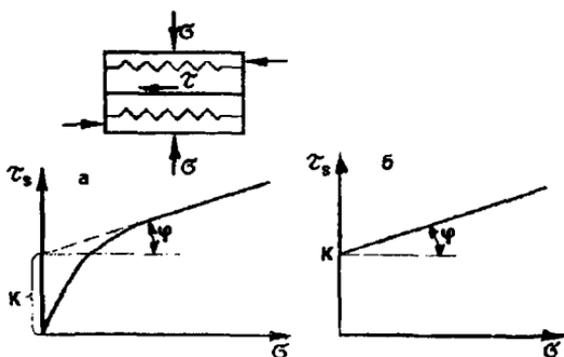


Рис. 5.22. Зависимость предельных касательных напряжений сдвига от нормальных напряжений: а – экспериментальные данные; б – в соответствии с законом Кулона

Величина $\operatorname{tg} \varphi$ является наиболее физически обоснованной характеристикой текучести. Величина внутреннего трения зависит от состава смеси и от уплотнения. Как видно на рис. 5.22, а, $\operatorname{tg} \varphi$ уменьшается с увеличением уплотнения и прочности смеси. Песчано-бentonитовые смеси с добавкой битума, ЛСТ и связующего КВС имеют малый коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi$ и большую удельную силу сцепления K . Эти смеси имеют предел прочности на сжатие в сыром состоянии 0,09–0,12 МПа и текучесть 85–90 % [7].

Текучесть смеси зависит от содержания глины и влажности. Максимальная текучесть достигается при отношении $(W/(W+I))=0,15\pm 0,25$, где W и I – соответственно влажность смеси (%) и содержание в ней глины (%). Различают свободную текучесть и сыпучесть, которая характеризует способность смеси равномерно распределяться по сечению опоки и стержневого ящика под действием собственного веса. Сыпучесть оказывает значительное влияние на зависание смеси в бункерах, качество и длительность перемешивания смеси в бегунах, а также на начальную плотность смеси в опоке, а следовательно, и на ее уплотняемость.

Выделяют 4 группы методов определения текучности, основанных на измерении:

- 1) степени уплотнения образца;
- 2) количества смеси, переместившейся под нагрузкой;
- 3) внутреннего сопротивления смеси ($tg\phi$);
- 4) сил связи между зёрнами неуплотненной смеси (сыпучести).

В нашей стране и за рубежом предложено много методов, основанных на указанных принципах. В соответствии с ГОСТ 23409.17–78 текучесть смесей определяется по ступенчатой пробе Г. М. Орлова. Этот метод основан на перетекании смеси. Количество переместившейся смеси определяется косвенно по твердости образца. Схема технологической пробы Г. М. Орлова показана на рис. 5.23, а. В гильзу засыпают 100–120 г смеси и уплотняют прессованием. После разборки пробы измеряется твердость образца H в точках A и B . Текучесть оценивается по формуле

$$T = \frac{H_B}{H_A} \cdot 100 \%$$

На рис. 5.23, б приведены данные по текучности песчано-глинистой и песчано-бентонитово-битумной смесей, полученные при испытании серии образцов. Физически обоснованные методы определения деформационных свойств смесей будут рассмотрены ниже (п. 5.5.7).

Степень связности песчано-глинистых смесей оценивается по их *формуемости*. Согласно ГОСТ 23409.15–78 формуемость определяют по методу Дитерта путем просеивания пробы смеси за определенное время через вращающийся сетчатый барабан. Ее оценивают как выраженное в процентах отношение массы смеси, прошедшей через ячейки сетки, к исходной массе смеси.

Под формуемостью можно понимать способность смеси сжиматься и изменять свой объем под действием сжимающей силы, которая увеличивается от начального значения до предельной величины. Выше

этой величины смесь практически не уплотняется. Определение формуемости в данном смысле осуществляют следующим образом. В гильзу засыпают навеску смеси и предварительно уплотняют давлением P_0 , образец при этом имеет исходную высоту h_0 . Затем образец сжимают при давлении P_1 до высоты h_1 , а затем при давлении P_2 до высоты h_2 . Формуемость вычисляют по формуле

$$\Phi = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_1 - h_2} \cdot 100 \%$$

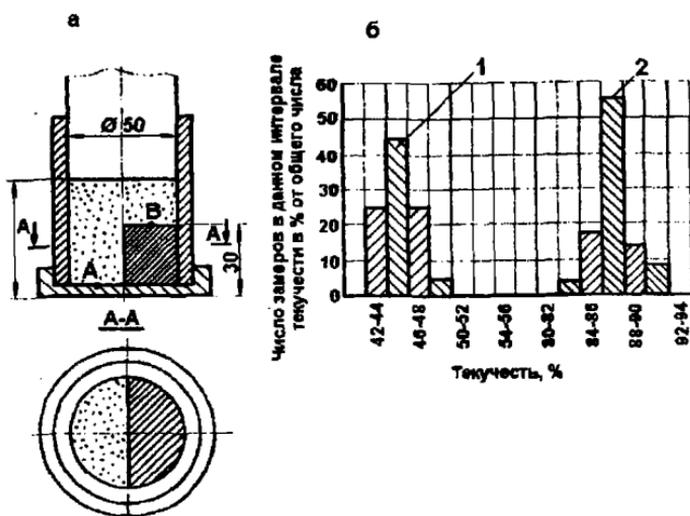


Рис. 5.23. Технологическая проба Г. М. Орлова для определения текущести смеси (а) и результаты замера текущести двух смесей (б): 1 – песчано-глинистая смесь, 2 – бентонито-битумная смесь

Важной характеристикой жидкоподвижных смесей (ЖСС) является *подвижность*, или *текущность*, характеризующая способность смеси заполнять полости стержневых ящиков или модельно-опочной оснастки под действием собственного веса. По ГОСТ 23409.25–78 подвижность ЖСС может определяться по сопротивлению сдвигу или диаметру расплывания определенного объема смеси. Оценка предельного напряжения сдвига τ_s осуществляется по глубине погружения в смесь плоского ножа под действием собственного веса. При этом подвижность измеряется в паскалях.

$$\tau_s = \frac{mg}{2S}$$

где m – масса ножа;

S – площадь погружения в смесь части ножа.

Для определения подвижности ЖСС по диаметру расплывания данного объема смеси под влиянием собственного веса в соответствии с ГОСТ 23409.25–78 применяют гильзу с внутренним диаметром 100 и высотой 50 мм, из которой смесь выливается на горизонтальную пластину. Подвижность измеряется при этом в миллиметрах.

По текучести ЖСС подразделяются на смеси:

- с очень высокой текучестью (сопротивление сдвигу $\tau_s < 140$ Па, диаметр расплывания пробы $d_p > 120$ мм);
- с высокой текучестью ($\tau_s = 140 \div 200$ Па, $d_p = 111–120$ мм);
- со средней текучестью ($\tau_s = 200 \div 300$ Па, $d_p = 101–110$ мм);
- с низкой текучестью ($\tau_s = 300 \div 400$ Па, $d_p = 90–100$ мм);
- с очень низкой текучестью ($\tau_s > 400$ Па, $d_p < 90$ мм).

Прочностные характеристики смесей определяются на стандартных образцах. В соответствии с ГОСТ 23409.7–78 проводятся испытания влажных, сухих и отвержденных образцов при сжатии, растяжении, изгибе и срезе. Прочностные характеристики определяют на образцах смеси, полученных при стандартном уплотнении. Схемы механических испытаний образцов приведены на рис. 5.24.

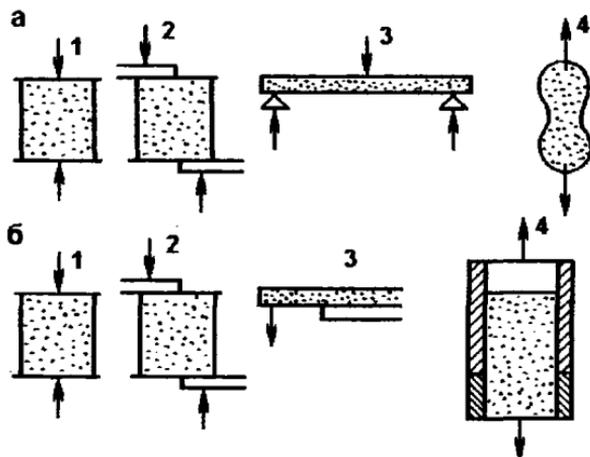


Рис. 5.24. Схемы механических испытаний сухих (а) и влажных (б) образцов: 1 – на сжатие; 2 – на срез; 3 – на изгиб; 4 – на разрыв

Между различными прочностными характеристиками смесей существует зависимость. Отношение прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ к прочно-

сти на срез $\sigma_{ср}$ находится в пределах 3,5÷5,5. Отношение $\sigma_{сж}/\sigma_{ср}$ является характеристикой хрупкости смеси. Для вязких смесей (стальное литье) $\sigma_{сж}/\sigma_{ср}=2,5\div 3$, а для хрупких смесей (чугунное литье) $\sigma_{сж}/\sigma_{ср}\approx 3,75\div 4,5$. Отношение $\sigma_p/\sigma_{сж}=1/8 \div 1/15$, где σ_p – предел прочности на разрыв; отношение $\sigma_{изе}/\sigma_p \approx 1/3$.

Прочность песчано-глинистой смеси во влажном состоянии зависит от зернового состава песка, влажности, содержания связующего, его связующей способности, а также от плотности (степени уплотнения). Характер зависимости прочности от влажности при прочих постоянных условиях показан на рис. 5.25, а.

С увеличением содержания глины (I) и уменьшением размера зерен песка оптимальное значение влажности возрастает, так как увеличивается смачиваемая поверхность и расход влаги на набухание глины (рис. 5.25, б). Уменьшение содержания глины при одновременном снижении влажности улучшает многие технологические и рабочие свойства смесей.

Применение бентонитов вместо каолиновых глин позволяет получить необходимую прочность при более низком содержании глинистых веществ и при меньшей влажности. Зависимость исходной прочности (в необработанном состоянии) от количества связующего имеет характер, аналогичный показанному на рис. 5.25, а. При этом расход связующего возрастает с увеличением дисперсности песка.

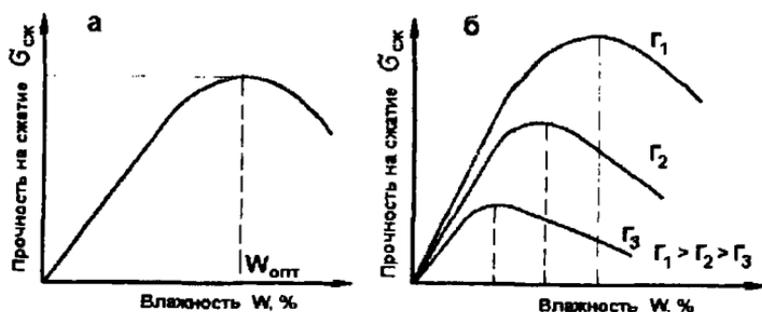


Рис. 5.25. Зависимость прочности смеси от влажности (а) и содержания глины (б)

Характер и механизм влияния различных факторов на прочность в исходном (влажном) и обработанном состояниях зависят от вида при-

меняемого связующего и способа его твердения. Поэтому эти вопросы будут рассмотрены в разд. 5.6.

В зарубежной практике, кроме указанных выше испытаний прочности смесей, применяют испытание стандартных образцов на раскалывание [42]. Схема испытания приведена на рис. 5.26. В контактных зонах образца при сжатии возникают встречные клинья скольжения, внедрение которых в образец вызывает в нем растягивающие напряжения. Как только эти напряжения превзойдут предел прочности, горизонтальный цилиндрический образец разорвется по вертикальной плоскости, проходящей через его продольную ось. Поэтому метод испытания смесей на раскалывание является разновидностью испытания на разрыв.

Предел прочности на раскалывание $\sigma_{раск}$ можно рассчитать по следующей формуле [16]:

$$\sigma_{раск} = \frac{C \cdot P}{dh},$$

где P – разрушающая сила при испытании на раскалывание;

d и h – диаметр и высота образца;

C – эмпирический коэффициент, $C=1,1 \div 1,6$.

Отношение прочности при раскалывании $\sigma_{раск}$ к прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ является характеристикой вязко-пластических свойств смесей. Более высокие значения $\sigma_{раск}/\sigma_{сж}$ указывают на высокие пластические свойства смеси. Для песчано-бентонитовых смесей, например, отношение $\sigma_{раск}/\sigma_{сж}$ должно быть не менее 0,17, чтобы исключить опасность повреждения форм при извлечении модели, транспортировке, сборке и т.п.

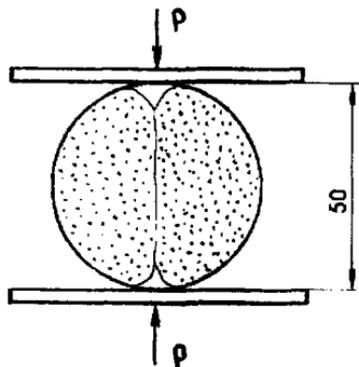


Рис. 5.26. Схема испытания смесей на раскалывание

При обычных испытаниях формовочных смесей определяют общую прочность, т.е. среднюю величину по всему сечению образца. В объеме смеси каждое зерно равномерно со всех сторон связано с окружающими подобными же частицами пленкой связующего. Зерна, находящиеся на поверхности формы или стержня, контактируют только со стороны внутренней части, и поэтому поверхностные слои обладают меньшей прочностью, чем центральные. Поверхностная прочность определяет сопротивляемость формы механическому и термическому воз-

действию. Поверхностная прочность определяет сопротивляемость формы механическому и термическому воз-

действию струи металла при заливке формы и поэтому существенно влияет на качество поверхности отливок. Поверхностную прочность смесей характеризуют величиной осыпаемости.

Определение осыпаемости по ГОСТ 23409.9-78 основано на измерении потери массы стандартного образца смеси в сыром и высушенном состояниях при его трении в течение 1 мин о стенки сетчатого барабана диаметром 110 мм и с размерами ячеек сита 2,5 мм, вращающегося с частотой 1с^{-1} .

Важным технологическим свойством смесей является их *живучесть*, характеризующая время, в течение которого смесь сохраняет свойства, необходимые для принятой технологии изготовления форм или стержней. В процессе хранения смеси происходят процессы испарения влаги, полимеризации или поликонденсации связующего, которые прежде всего приводят к увеличению прочности смеси и снижению ее формустойкости. Живучесть выражают отношением значений прочности смеси, полученных после ее выдержки через определенные промежутки времени и сразу после приготовления.

Для холоднотвердеющих смесей изготавливают стандартный образец и на его верхнем торце через определенные промежутки времени определяют твердость. За показатель живучести принимают время $t_{ж}$ от ввода в смесь отвердителя до достижения значения твердости 30 ед. На этом же образце определяется длительность t_n твердения смеси, за которую принимается время от достижения твердости 30 ед. до достижения твердости 90 ед., обычно отвечающей прочности, достаточной для извлечения стержня из оснастки. В настоящее время разработаны методы определения прочности в обработанном состоянии смесей для изготовления стержней в нагреваемой оснастке и оболочковых форм, а также для жидкоподвижных самотвердеющих смесей.

Твердость – величина, характеризующая сопротивление поверхности проникновению в нее постороннего тела. Твердость форм и стержней косвенно характеризует такие свойства, как прочность и плотность смеси. Простота определения твердости без разрушения формы обеспечила широкое распространение определения твердости как показателя качества формы или стержня. Твердость сырых образцов и форм характеризуется сопротивлением смеси погружению в нее шарикового наконечника твердомера на глубину до 5 мм под нагрузкой от 2 до 10 Н. Вид твердомера показан на рис. 5.27, а. Твердомер прижимается к поверхности формы до тех пор, пока опорная плоскость прибора не коснется ее. При погружении шарика в смесь стрелка прибора отклоняется. Наибольшее полное погружение шарика диаметром 10 мм (на глубину 5 мм) отвечает нулевому положению стрелки. При отсутствии погружения шарика (например, если плоскость твердомера прижать к

прочной твердой поверхности) стрелка отклоняется на полный оборот до деления 100. Встречающиеся на практике значения твердости форм колеблются от 60 до 90 ед. для форм и от 20 до 90 ед. – для стержней.

Вид прибора для контроля твердости сухих форм показан на рис. 5.27, б. Принцип действия прибора аналогичен описанному, но вместо

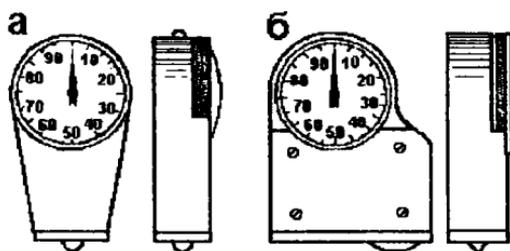


Рис. 5.27. Твердомеры для определения поверхностной твердости литейных форм: а – сырых; б – сухих

шарика в форму погружается круглый ножевой наконечник на глубину 0–2,5 мм под нагрузкой 11–20 Н. При измерении твердости плотно прижатую к поверхности формы нижнюю плоскость прибора равномерно двигают вдоль формы, меняя направление, на расстояние не менее 75 мм.

Прилипаемость – технологическое свойство, характеризующее способность сырой смеси прилипать к ленте транспортера, стенкам бункеров, поверхностям моделей и стержневых ящиков. Прилипаемость – нежелательное свойство смесей.

Прилипание смеси к твердым поверхностям возникает, если силы адгезии (сцепления) смеси с этими поверхностями больше сил когезии, характеризующих сцепление между отдельными частицами смеси. Для уменьшения сил адгезии необходимо снижать смачиваемость поверхностей (например, модели или стержневого ящика) водой или жидким связующим. а также влажность смеси и содержание в ней связующего. С уменьшением поверхностного натяжения связующего сила адгезии и, следовательно, прилипаемость уменьшаются. Поэтому наименьшей прилипаемостью обладают смеси на масляных связующих. Для снижения прилипаемости поверхность модели присыпают порошками, не смачиваемыми водой (например, лycopодием, сербристым графитом), или смазывают модель керосином либо другими жидкостями.

Стандартных методов контроля прилипаемости нет. Из предложенных наиболее соответствуют сущности прилипаемости методы, основанные на измерении силы адгезии образца к стенкам гильзы, в которой он изготовлен, и силы когезии, связанной с прочностью смеси на сдвиг или разрыв во влажном состоянии (методы Гроссмана, Левелинка и Фишера [16]).

Очень важное значение имеет *гигроскопичность* смесей, т. е. их

способность поглощать влагу при хранении стержней и выдержке форм перед заливкой. Гигроскопичность смесей зависит от рода применяемых связующих. Наибольшей гигроскопичностью обладают смеси на лигносульфонатах и жидком стекле (равновесная влажность 4,2 %), а наименьшей – смеси на маслах и смолах (равновесная влажность менее 1 %).

По ГОСТ 23409.10–78 гигроскопичность смесей определяют по нарастанию массы образца, выдержанного в течение 2 ч в эксикаторе на фильтровальной бумаге, помещенной на влажном песке. Технологические свойства ЖСС отличаются рядом специфических особенностей, поэтому они будут рассмотрены отдельно (разд. 5.6).

5.5.6. Рабочие свойства смесей

К рабочим свойствам смесей относятся свойства, характеризующие способность литейных форм противостоять тепловому, механическому, физико-химическому и химическому воздействию сплава в процессе заливки и формирования отливки, а также энергетические затраты на выбивку отливок из форм и удаление стержней. Несмотря на то что испытанию смесей при высоких температурах уделяется все большее внимание, стандартные методы испытаний большинства рабочих свойств смесей отсутствуют.

К наиболее важным рабочим свойствам смесей относятся:

- газотворность;
- спекаемость (ГОСТ 23409.20–78);
- объемное расширение (ГОСТ 23409.19–78);
- предел прочности при сжатии при высоких температурах (ГОСТ 23409.8–78);
- термостойкость;
- пригораемость;
- склонность смесей к образованию ужимин;
- податливость;
- выбиваемость.

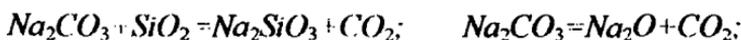
Газотворность формовочных и стержневых смесей определяется путем измерения объема газов, выделяющихся из смеси при ее нагревании. В соответствии с ГОСТ 23409.12–78 газотворность оценивается по объему, количеству выделяющихся при данной температуре газов и кинетике газовыделения. Газообразование при нагреве смесей происходит в ходе следующих процессов:

- 1) испарения влаги и других жидких продуктов;
- 2) сгорания различных органических материалов, входящих в состав смесей. Объем образовавшихся при этом газов составляет незначительную долю в общем объеме выделяющихся газов, так как в порах

смеси практически отсутствует кислород (за исключением начального периода), поэтому основным продуктом является CO ;

3) газификации и перегонки твердых и жидких материалов. При этом выделяются углеводородные соединения C_nH_m и пары воды;

4) выделения влаги, входящей в состав минералов (конституционной, кристаллогидратной и цеолиитной). Цеолитная влага выделяется постепенно, а конституционная и кристаллогидратная – при определенных температурах. Кроме воды из некоторых минералов при нагреве выделяются газы (CO_2 – из карбонатов, SO_3 – из гипса). В жидкостекольных смесях при 300–850 °С может выделяться углекислый газ в результате реакций



5) выделения растворенных в металле газов (главным образом водорода) при понижении температуры сплава;

6) протекания реакций на границе раздела металл – форма, например $FeO + C = Fe + CO$;

7) диссоциации продуктов газовой выделения (например, углеводородов (метана) с образованием водорода и сажистого углерода);

8) расширения при нагревании воздуха, содержащегося в порах смеси и в полости формы. При низких температурах воздух, заключенный в порах смеси, имеет незначительный объем. Однако при нагреве объем воздуха увеличивается, и при отсутствии выпоров и прибылей он может существенно влиять на газовый режим формы;

9) выделения поглощенных сорбционных газов. Например, глины и бентониты способны впитывать до 20 % влаги, жидкое стекло – до 15 %, ЛСТ – до 70 %.

Из всех рассмотренных процессов в сырых формах ведущим является испарение влаги, а в сухих и оболочковых формах – перегонка и разложение органических веществ.

Для характеристики газотворности существенно определены объема образующихся газов, скорости газообразования и химического состава газов. Существующие методы определения газотворности основаны или на определении объема и кинетики выделения газов из нагреваемых формовочных смесей или на определении объема, состава газов, кинетики их выделения и давления при работе смеси в форме в условиях контакта ее с заливаемым сплавом. Эти методы подробно описаны в литературе [24, 38].

Общее количество газов со временем увеличивается, а на кривых изменения скорости газовой выделения обнаруживается несколько пиков, относящихся к различным температурным диапазонам. На рис. 5.28 по-

казаны кривые газовыделения из смесей на глине (а), ЛСТ (б) и карба-мидоформальдегидной смоле (в) [24]. Первый пик скорости газовыделения для смесей с органическими связующими относится к температуре 100–150 °С (испарение воды и других растворителей), второй пик (280–600 °С) связан с частичной деструкцией органического вещества, а третий – с образованием кокса (при 600–1100 °С). У глины второй максимум соответствует выделению конституционной влаги, а третий – кристаллогидратной.

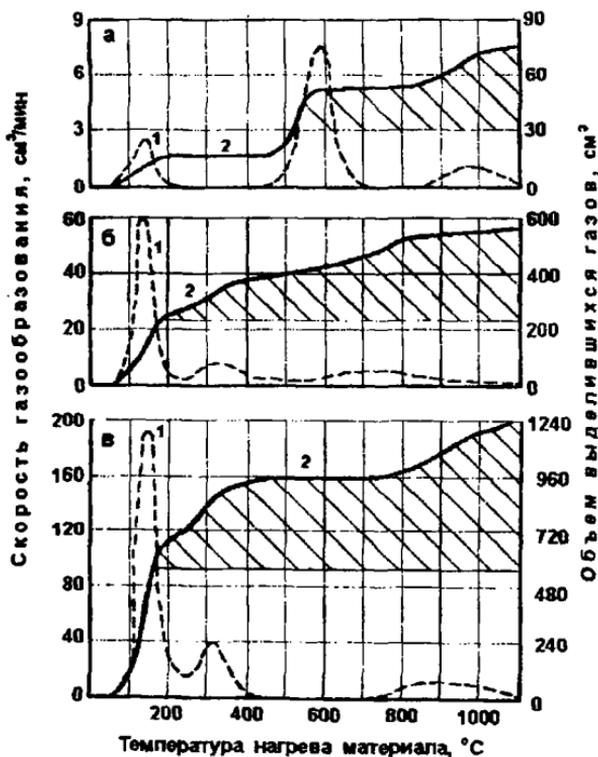


Рис. 5.28. Термодеструкционные кривые смесей на некоторых связующих: а – на глине; б – на ЛСТ; в – на карба-мидоформальдегидной смоле; 1 – скорость газообразования; 2 – объемы (заштрихованная область – объем газов, остающихся в материале после сушки)

После сушки уменьшается газотворность и повышается температура деструкции материала. Газотворность карба-мидоформальдегидной смолы после сушки при 160 °С снижается с 1240 до 700 см³/г, т. е. в 1,75 раза. Формовочная глина менее чувствительна к влиянию сушки на уменьшение газотворности (сушка при 450 °С снижает газотворность

всего на 20 %). Прямые методы исследования газотворности после заливки металла в форму позволяют получить данные, которые можно непосредственно использовать для организации газового режима формы (см. гл. 6).

Способность смеси выдерживать механические нагрузки при высоких температурах называется *термостойкостью*. Ее оценивают по двум показателям: как время сохранения смесью прочности при заданных условиях нагружения и нагрева τ_i или как абсолютное значение прочности на сжатие стандартных цилиндрических образцов $\sigma_{сж}^i$ под нагрузкой 0,15–0,45 МПа после их нагревания при температурах до 1200 °С (ГОСТ 23409.8–78). Обе эти характеристики определяются в основном термостойкостью связующего и теплофизическими свойствами наполнителя.

Рассматривать термостойкость как свойство, имеющее размерность времени (τ_i), удобнее в тех случаях, когда известно, в течение какого времени смесь должна сохранять свою прочность, чтобы при данных тепловых и механических условиях в отливках не возникали дефекты типа зазоров, ужимин, пригара, подутня и т.п. Очевидно, что в данном случае τ_i будет определяться временем образования в отливке достаточно прочной корки затвердевшего металла. Процессы, происходящие в связующих при их нагреве, рассмотрены в п. 5.5.1.

При применении в качестве связующих синтетических смол можно рассмотреть следующий механизм проявления термостойкости. Через несколько секунд после заливки поверхностный слой формы (5–7 мм) прогреется до температуры более 1000 °С (при заливке чугуна и стали), проходя все стадии карбонизации. Между зернами песка сохраняются коксовые манжеты, обеспечивающие прочность, достаточную для сопротивления давлению жидкого металла в течение времени τ_i при применении высокотермостойкой смолы. Для низкотермостойкой смолы количество и прочность кокса малы, и уже при температуре выше 700 °С начнется свободное перемещение зерен песка и проникновение металла в стенку формы. При температуре 700–1200 °С при применении низкотермостойкой смолы произойдет полное разрушение кокса в манжетах и потеря смесью прочности. Термостойкость смеси увеличивается в условиях восстановительной или слабоокислительной газовой среды, так как при этом не происходит выгорание коксовых прослоек.

Испытание образцов на горячую прочность $\sigma_{сж}^i$ проводят при нагревании их в печи или при опускании в тигель с расплавленным металлом. Продолжительность выдержки при нагреве устанавливают рав-

ной времени прогрева центра образца до температуры печи (в случае неорганических связующих) или до 700 °С (в случае песчано-смоляных смесей).

В табл. 5.15 приведены данные по термостойкости τ_t песчано-смоляных ХТС при температуре 1000 °С и нагрузке 0,35 МПа. На рис. 5.29 показана зависимость σ' смесей на различных связующих от температуры [16].

Таблица 5.15

Термостойкость песчано-смоляных ХТС

Связующее	Содержание фурилового спирта, %	τ_t , с	Связующее	Содержание фурилового спирта, %	τ_t , с
Карбамидо-фурановое	28	24	Фенолофурановое	33	135
	34	50		37	140
	43	185	Фенольное	-	107
	47	167			
	52	170			

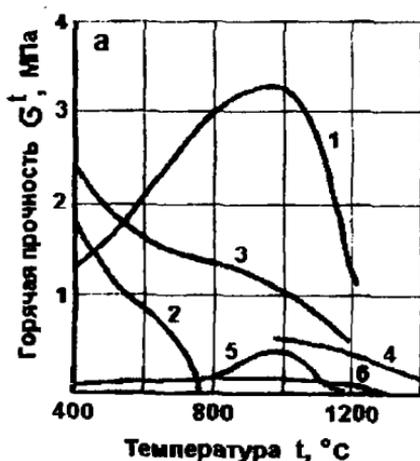


Рис. 5.29. Горячая прочность смесей: 1 – песчано-глинистая (20 % огнеупорной глины); 2 – жидкостекольная, продутая CO_2 ; 3 – жидкостекольная со сложным эфиром; 4 – цементная с меляссой; 5 – песчано-бentonитовая (по методу AFS); 6 – песчано-бentonитовая (по методу BSIRA)

Песчано-бentonитовые смеси 5, 6 испытывались по методу AFS (нагрев с печью до заданной температуры в центре образца диаметром

28 и высотой 50 мм) и по методу BSIRA (диэлектрический нагрев образца диаметром и высотой 50 мм). В первом случае образец в центре нагревается до 1000 °С за 13 мин, а во втором – за 1 мин. Образование максимума при медленном нагреве (около 900 °С) связано со спеканием, далее начинается размягчение связующего. У каолиновых глин максимум лежит в интервале 1100–1200 °С. Горячая прочность у натриевого бентонита выше, чем у кальциевого (соответственно 5–6 МПа и 1–2 МПа).

Из рис. 5.29 видно, что наибольшую прочность имеет песчано-глинистая смесь. Жидкостекольная смесь, обработанная CO_2 , полностью разупрочняется при температуре около 800 °С. Величины τ_t и σ_t связаны зависимостью с исходной прочностью $\sigma_{сж}$. С увеличением $\sigma_{сж}$ возрастают τ_t и σ_t . Термостойкость (как τ_t , так и σ_t) определяется не только видом связующего, но и видом наполнителя. При замене кварцевого песка на дистен-силлиманит, циркон и рутил τ_t увеличивается из-за снижения термических напряжений при нагреве смесей. Аналогично изменяется и σ_t . Смеси с хромитом имеют высокие значения σ_t даже при полной деструкции органического связующего из-за твердофазного спекания при 1050–1300 °С. Методы определения показателей τ_t и σ_t изложены в литературе [16, 24, 42].

К термомеханическим свойствам смесей относится их *трещиностойчивость*. При нагреве смесей из-за различных объемных изменений в них возникают термические напряжения. Величина напряжений зависит от вида и гранулометрического состава наполнителя, поведения связующего при нагреве, режима нагрева, степени уплотнения образца и его размеров. Объемные изменения смеси определяются объемным расширением зерен наполнителя и объемными изменениями в манжетах связующего. Результирующая деформация смеси зависит от знака и абсолютной величины этих двух составляющих. Если происходит усадка манжет связующего, то расширяющиеся зерна наполнителя получают пространство для движения, что компенсирует (уменьшает) расширение смеси. Глины при нагреве высыхают и упрочняются, создавая с зернами жесткий скелет, который сильно расширяется. Расширение зерен наполнителя в основном компенсируется за счет разупрочняющихся манжет жидкостекольного и смоляного связующего.

Термические напряжения в поверхностном слое формы развиваются при возникновении перепада температур и неравномерного расширения смеси. В поверхностных слоях появляются сжимающие на-

пряжения, а в прилегающих, более холодных, – растягивающие. Эти напряжения могут привести к образованию трещин. В качестве критерия трещиностойкости смесей можно принять отношение прочности $\sigma_{гор}$ к термическим напряжениям $\sigma_{н}$ в области критических температур.

$$R_t = \frac{\sigma_{гор}}{\sigma_{н}} = \frac{\sigma_{гор}(1 - \mu)}{E_t(t - t_0) \cdot \alpha_t}$$

где μ – коэффициент Пуассона смеси;

E_t – модуль упругости смеси;

t – критическая температура (при стальном литье 1100 °С);

t_0 – начальная температура формы;

α_t – термический коэффициент расширения смеси.

Повысить R_t можно, заменив кварцевый песок на наполнитель с меньшим термическим коэффициентом расширения (перлит, силлиманит, циркон). Например, замена кварцевого песка в смеси со смолой ОФ-1 на циркон увеличивает R_t с 0,77 до 8. Состав смеси влияет на трещиностойчивость в той же мере, что и на $\sigma_{гор}$, $\sigma_{н}$ и R_t .

Трещиностойчивость смесей связана с их склонностью к образованию ужимин. Исходя из описанного механизма образования ужимин, Паттерсон предложил методику, основанную на определении прочности при разрыве смеси в зоне конденсации влаги и термомеханических напряжений. Прочность при разрыве в зоне конденсации определяется на стандартных образцах, подвергаемых одностороннему нагреву со стороны торцевой поверхности (ГОСТ 23409.16–78). Для непосредственной оценки склонности смеси к образованию ужимин Паттерсоном и Бёнишесом была предложена специальная технологическая проба (рис. 5.29). Она представляет собой плоскую плиту с узкими питателями, которые обеспечивают низкую скорость заливки и длительное воздействие излучения от поверхности металла на верхнюю часть формы. Сначала заливают половину сплава, делают выдержку 20 с, после чего заканчивают заливку формы. Ребра на верхней поверхности отливки предусмотрены для повышения чувствительности пробы к образованию ужимин. Склонность к образованию ужимин оценивается по времени появления трещин на верхней поверхности формы.

Податливость формовочных и стержневых смесей характеризует способность нагретой смеси деформироваться под определенным давлением. От нее зависит вероятность образования трещин в отливках (при малой деформационной способности), а также размерная и конфи-

гурационная точность отливок (при чрезмерной деформационной способности).

Податливость является сложным свойством, определяемым не только составом и свойствами смесей, но и уплотнением, а также конфигурацией и размерами отливки, формы и стержней. Для повышения податливости необходимо, чтобы смесь при тепловом взаимодействии с отливкой разупрочнялась в момент, когда на поверхности отливки образовалась достаточно прочная корка затвердевшего сплава. Очевидно, что степень прогрева смеси, а значит, и характер ее разупрочнения зависят от теплофизических свойств смеси и размеров стержня или формы.

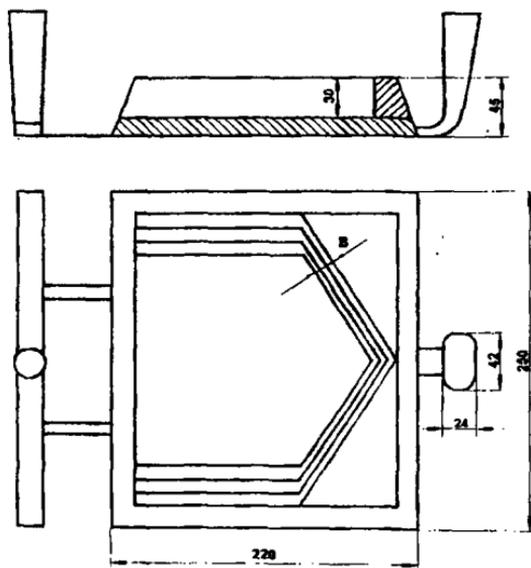


Рис. 5.30. Технологическая проба Бёниша и Паттерсона для определения склонности формовочных смесей к образованию ужимин

При охлаждении отливки уровень напряжений, обусловленных механическим торможением усадки сплава, определяется относительной деформацией растяжения

$$\varepsilon_0 = \alpha_l (T_y - T) - \varepsilon_0.$$

где α_t – термический коэффициент линейного расширения сплава в твердом состоянии;

T_y – температура начала линейной усадки сплава;

\mathcal{E}_δ – деформационная способность стержневой или формовочной смеси, характеризующая ее податливость.

Чем выше \mathcal{E}_δ , тем больше податливость смеси и меньше напряжения в отливках.

При исследовании высокотемпературных деформаций к смеси прикладывают давление при одностороннем ее нагреве. Так, в работах П. Н. Аксенова [2] в смесь вдавливали нагретый до 1200 °С пуансон с максимальной нагрузкой 0,2 МПа. Для исследования податливости с точки зрения ее влияния на образование трещин в отливках проводят эксперименты, в которых заливают отливки, чаще всего полые цилиндры, выполняя в них полости стержнем из исследуемой смеси. В. Р. Калинин и Л. И. Иванова оценивали податливость по размерам образующихся трещин [16].

Разработаны также методы измерения кинетики деформации заторможенной усадки отливок различных конфигураций. В НИИПТмаше (г. Краматорск) предложена методика оценки податливости K_0 по величине удельного давления на поверхность смеси, вызывающего линейную деформацию, равную 1 %. Величина, обратная K_0 , называется модулем податливости. Для испытаний используют приготовленные в цилиндрических гильзах образцы. Смесь в гильзах предварительно уплотняется до заданной плотности и подвергается сушке или твердению. В процессе испытаний образец сжимается на прессе с усилием, вызывающим деформации 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 %. При этом деформации измеряются с помощью индикатора. Величину K_0 находят по формуле

$$K_0 = \frac{P \cdot \delta_0}{F(\delta_0 - \delta) \cdot 100},$$

где P – сила, сжимающая смесь;

F – площадь поверхности образца, на которую действует сила;

δ_0 и δ – начальная и конечная высота образца.

Малой податливостью (деформационной способностью) обладает песчано-глинистая смесь. Способность к деформации этой смеси снижается с увеличением уплотнения и глиносодержания и уменьшением влажности. Для увеличения податливости песчано-глинистых смесей в

них добавляют влажные древесные опилки. Активная деформация жидкостекольной смеси начинается при ее прогреве до 575–650 °С. В целом жидкостекольные смеси характеризуются хорошей податливостью.

Песчано-смоляные смеси деформируются при нагреве под нагрузкой медленно, деформация переходит в их хрупкое разрушение. Вероятность образования трещин в отливках при изготовлении стержней из этих смесей значительно выше, чем при изготовлении стержней из жидкостекольных смесей. Чем выше содержание фурилового спирта в связующем и коксовое число, тем ниже податливость. С увеличением исходной прочности смеси податливость стержня уменьшается из-за сопротивления деформации центральных, не успевших прогреться слоев смеси в стержне.

Выбиваемость формовочных и стержневых смесей характеризует энергетические затраты на разрушение формы и удаление стержней из отливки после ее остывания. Существуют два подхода к определению выбиваемости. При первом подходе выбиваемость оценивают по работе выбивки стержня, времени его сквозного просверливания и т.п. Для исследования выбиваемости при этом пользуются технологическими пробами, в которых образец представляет собой стержень в опытной отливке с переменным соотношением толщин стержня и отливки или уплотненный и охлажденный образец смеси в гильзе, нагретой до высоких температур. Однако в этих испытаниях невозможно воспроизвести условия разрушения смеси в современных методах выбивки стержней.

Поэтому для сравнительной характеристики выбиваемости смесей наиболее простым и воспроизводимым показателем является предел прочности на сжатие стандартного образца, подвергаемого испытаниям после нагрева до высокой температуры и охлаждения смеси. Определяемая при этом остаточная прочность смеси σ^0 является характеристикой смеси данного состава. Принято считать, что при $\sigma^0 < 1,5\text{--}2$ МПа смесь выбивается удовлетворительно, а при $\sigma^0 > 3$ МПа — плохо. Так как смесь по толщине формы или стержня прогревается до разных температур, то исследование остаточной прочности следует проводить при нагреве до температур в интервале 200–1000 °С.

Выбивка стержней и форм из песчано-глинистых смесей и смесей с органическими связующими, как правило, не встречают затруднений. Повышенное внимание, которое уделяется в последние десятилетия проблеме выбиваемости, связано с плохой выбиваемостью форм и особенно стержней, изготовленных из жидкостекольных смесей.

На рис. 5.31 показаны зависимости $\sigma_{сж}^0$ смесей с жидким стеклом от температуры нагрева. Видно, что температурная кривая $\sigma_{сж}^0$ имеет два максимума и два минимума. Первый максимум (при 200 °С)

соответствует формированию геля, связывающего зерна песка. При дальнейшем нагреве происходит разупрочнение и разрушение геля. При температуре около 800 °С происходит увеличение прочности, причем для смесей, продуваемых углекислым газом, или со сложнэфирными отвердителями характерны высокие значения $\sigma_{сж}^0$ в области второго максимума.

Образование второго максимума прочности связывают с расплавлением и последующим затвердеванием силиката. Однако при продувке смесей CO_2 наиболее вероятным является развитие при указанных температурах процесса спекания глобул геля под влиянием карбоната Na_2CO_3 с возможным образованием стекловидного слоя силикатов на поверхности глобул.

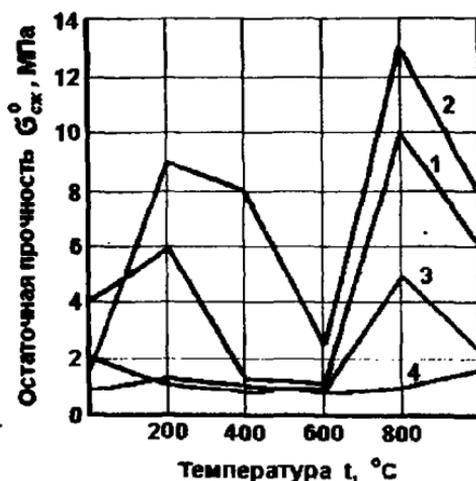


Рис. 5.31. Остаточная прочность жидкостекольных смесей: 1 – смесь с 4 мас. ч. жидкого стекла ($M=2,4$), отвердитель – сложный эфир; 2 – смесь, продуваемая CO_2 , с 6 мас. ч. жидкого стекла ($M=2,4$); 3 – смесь с 5 мас. ч. жидкого стекла ($M=2,6$), 4 мас. ч. феррохромового шлака; 4 – ЖСС с 6 мас. ч. жидкого стекла ($M=2,7$) и 5 мас. ч. феррохромового шлака

Степень спекания можно оценить по удельной поверхности зерен $S_{уд}$. Она зависит от концентрации ионов Na^+ , размера глобул, плотности их упаковки. Эти же факторы определяют исходную прочность смесей $\sigma_{исх}$. Поэтому существует однозначная связь σ^0 с $\sigma_{исх}$. Попытки улучшить выбиваемость снижением содержания в смеси жидкого стекла

при сохранении исходной прочности за счет ввода малых добавок – полиэлектролитов – оказались безуспешными. Процесс спекания катализируется ионами Na^+ . Поэтому σ^0 резко возрастает при снижении модуля жидкого стекла путем введения $NaOH$. При нагреве спекшегося аморфного силикагеля выше 800–900 °С происходит процесс расстекловывания, т.е. кристаллизации кремнезема со значительным падением σ^0 .

При отверждении смеси двухкальциевым силикатом (в жидкоподвижных самотвердеющих смесях) продуктами твердения являются гидросиликаты, не плавящиеся до температуры 1100–1200 °С. Поэтому σ^0 этих смесей мало отличаются от $\sigma_{исх}$.

В смесях, отверждаемых продувкой CO_2 , должно содержаться два вида добавок: упрочняющие добавки, увеличивающие $\sigma_{исх}$, и снижающие σ^0 . Для снижения σ^0 целесообразно применять добавки, препятствующие спеканию. Органические добавки (смолы, крахмал, патока, битум, уголь и т. п.) при нагреве в температурной области спекания выделяют сажистый углерод и другие углеродсодержащие продукты, препятствующие спеканию.

Из неорганических продуктов используют глину, бентонит, алюминаты, хлориды, глинозем, перлит, тринатрийфосфат и др. Они обеспечивают снижение σ^0 в 3–4 раза.

Органические добавки более эффективны при нагреве смеси до температур, не превышающих 500–600 °С, неорганические – при нагреве до 700–800 °С и выше. Поэтому первые используются для чугуна, а вторые – для стального литья.

Работа, затрачиваемая на выбивку стержней, определяется не только величиной σ^0 , но и напряжением σ_1 , возникающим в стержне из-за усадки отливки, которое может значительно превосходить σ^0 .

Теплофизические свойства смесей определяют тепловые процессы в отливке и в форме. Форма предназначена не только для обеспечения заданной конфигурации и размеров отливки, но и для реализации режима ее затвердевания и охлаждения, обеспечивающих получение нужной структуры отливки, отсутствие в ней усадочных и других дефектов. Изменяя теплофизические свойства материала формы, можно в десятки раз изменять скорость затвердевания отливки. К основным теплофизическим свойствам относят удельную теплоемкость, теплопроводность, плотность, коэффициент температуропроводности и коэффициент аккумуляции тепла.

Удельная теплоемкость C – свойство, определяющее количество

тепла, необходимое для изменения температуры единицы массы вещества на один градус. Удельная теплоемкость смесей зависит от состава, влажности, уплотнения и температуры. С увеличением влажности удельная теплоемкость возрастает. С повышением температуры увеличение удельной теплоемкости происходит по линейному закону. Размерность удельной теплоемкости – Дж/(кг·К).

Теплопроводность смеси λ определяется удельным тепловым потоком, передаваемым смесью по нормали к изотермической поверхности при градиенте температуры (dT/dn), равном единице. Размерность теплопроводности в СИ – Вт/(м·К). На основании закона Фурье плотность теплового потока связана с теплопроводностью следующей формулой:

$$|q| = \lambda \cdot \frac{dT}{dn},$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м².

Закон Фурье строго справедлив при механизме теплопередачи теплопроводностью. Теплопередача в стенке песчаной формы является сложным процессом, в котором одновременно в той или иной мере принимают участие, кроме теплопроводности, и конвекция, и тепловое излучение. В сухом песке главная часть теплового потока передается теплопроводностью через стыковые контакты зерен песка. При повышении температуры увеличивается доля тепла, передаваемого излучением в межзеренных пространствах. Во влажной смеси усиливается теплопередача конвекцией за счет переноса по межзеренным капиллярам влаги и пара. С повышением температуры эти процессы интенсифицируются.

Теплопроводность смеси определяется как эффективная, учитывающая все указанные процессы. Она увеличивается с ростом температуры, влажности и уплотнения, а также с повышением содержания связующего. Теплопроводность смеси зависит от теплопроводности наполнителя. Так, теплопроводность магнетитовых смесей выше, чем смесей на основе кварцевого песка.

Распределение температур в стенке формы определяется коэффициентом температуропроводности смеси $a = \lambda / (c \cdot \rho)$. Размерность $|a|$ в СИ – м²/с.

Теплоаккумулирующая способность формы b является основной физической константой, определяющей интенсивность охлаждения отливки. Величина b связана с основными теплофизическими свойствами выражением

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}, \text{ Вт}\cdot\text{с}^{1/2}/(\text{м}^2\cdot\text{К}).$$

Плотность теплового потока от отливки к форме с некоторым приближением можно оценить по формуле

$$q = b \frac{T_{кр} - T_0}{\sqrt{\pi \cdot t}},$$

где $T_{кр}$ – температура кристаллизации металла, °С;

T_0 – начальная температура формы, °С.

Коэффициент аккумуляции тепла смесью зависит от состава смеси, наполнителя, уплотнения, влажности и температуры. С ростом температуры b увеличивается. Изменяя состав смеси и степень уплотнения, можно изменять b в пределах от 1000 до 4000 Вт·с^{1/2}/(м²·К). Как следует из вышеприведенной формулы, скорость затвердевания отливок при изменении b в указанном диапазоне может быть увеличена в 16 раз.

Так как теплофизические свойства смеси существенно зависят от температуры, то их реальные значения в зависимости от степени прогрева в разных точках по толщине стенки формы различны. Поэтому применяемые в расчетах значения теплофизических свойств, представляющие собой некоторые усредненные, эффективные значения, являются характеристикой не только смеси, но и конкретных технологических условий (вида сплава, толщины стенки отливки, степени уплотнения и т.п.).

В табл. 5.16 и 5.17 приведены теплофизические свойства песчано-глинистых смесей в зависимости от вида сплава и толщины стенки отливки. Для определения теплофизических свойств смесей применяют различные стационарные и нестационарные методы [24].

Таблица 5.16

Влияние толщины чугуновой отливки на теплофизические свойства смеси

Толщина стенки отливки, мм	ρ , кг/м ³	a , м ² /с	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(г·К)	b , $\frac{\text{Вт}\cdot\text{с}^{1/2}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$
10	1700	$4,0 \cdot 10^{-5}$	1,100	992	1372
20	1760	$5,0 \cdot 10^{-5}$	1,380	963	1540
30	1720	$5,3 \cdot 10^{-5}$	1,550	1030	1666
50	1670	$5,6 \cdot 10^{-5}$	1,640	1063	1708

Таблица 5.17

Зависимость теплофизических свойств формы от температуры сплава и плотности песчано-глинистой смеси

Заливаемый сплав	Температура кристаллизации, К	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(г·К)	$\frac{h}{\sqrt{t}}$, Вт·с ^{1/2} м ² ·К
Алюминий	933	1400	0,400	1070	775
		1600	0,451	1030	860
		1750	0,518	1000	945
Чугун	1420	1400	0,732	1300	1157
		1600	0,715	1280	1210
		1750	0,707	1237	1300
Сталь (0,3 % С)	1760	1400	0,898	1425	1340
		1600	0,840	1425	1383
		1750	0,828	1380	1420

Пригораемость смесей – технологическое свойство, характеризующее ее склонность к пригарообразованию на поверхности изготавливаемой отливки. Единые количественные характеристики пригораемости не разработаны. Можно характеризовать склонность смеси к образованию пригара относительной площадью поверхности отливки, покрытой пригарным слоем. Однако эта характеристика связана не только со свойствами применяемой смеси, но и с технологическими условиями.

Можно связывать склонность смеси к образованию пригара с величиной критического давления $P_{кр}$, определяющего вероятность проникновения металла в поры смеси:

$$P_{кр} = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r_{эфф}}$$

где σ – поверхностное натяжение расплава;

θ – краевой угол смачивания расплавом поверхности формы;

$r_{эфф}$ – эффективный радиус капилляров смеси, зависящий от ее пористости.

Чем больше $P_{кр}$, тем менее склонна смесь к образованию пригара. Переход на мелкозернистые пески и замена кварцевых песков на другие наполнители (магнезит, циркон, рутил) увеличивает $P_{кр}$ и снижает пригораемость смеси. Например, у смеси на песке 1КО20А и смоле ОФ-1 (2 %) $P_{кр}=0,016$ МПа, а у смеси на рутиле и той же смоле $P_{кр}=0,1$ МПа.

Большое влияние на пригораемость оказывает характер газовой атмосферы, создающейся в порах смеси при ее прогреве после заливки

сплава в форму. Наиболее благоприятные условия складываются при применении песчано-смоляных смесей, в которых при термодеструкции создается восстановительная атмосфера. Однако песчано-смоляные смеси отличаются относительно низкой термостойкостью. Образование пригара при применении этих смесей более коррелирует с термостойкостью, чем с ранее рассмотренными характеристиками. Если отношение времени снятия перегрева сплава и начала его затвердевания на границе с формой τ_0 к времени потери прочности смеси в поверхностном слое

τ_{1000} меньше единицы, то пригораемость минимальна. Данное условие у песчано-смоляных смесей, как правило, не выполняется. Поэтому песчано-смоляные смеси имеют большую пригорасмость, чем жидкостескольные и песчано-глинистые. Вследствие восстановительного характера пригара в данном случае проявляет себя как механический, без образования химических соединений.

При применении жидкостескольных смесей пригар формируется при проникновении расплава, образовании химических соединений оксидов и оплавлении зерен наполнителя.

5.5.7. Реологические свойства смесей

Как показано выше, механическое поведение смесей характеризует целая гамма свойств (прочность, текучесть, формуемость, пластичность, уплотняемость). Измерения этих свойств трудоемки, методики измерений недостаточно отработаны и часто противоречивы. Поэтому целесообразно установить комплексные характеристики механического поведения смесей, позволяющие получить физически обоснованные оценки упругих, вязких и пластических свойств формовочных и стержневых смесей. Эти характеристики можно установить на основании реологии.

Реология – наука, изучающая закономерности развития напряжений и деформаций в телах любой физической природы. Во всех современных способах уплотнения смеси определяющей в материале формы является деформация сдвига. При сдвиговой деформации тела Гука (упругое H -тело) между касательным напряжением τ и деформацией γ существует линейная зависимость $\tau = G\gamma$, где G – модуль упругости при сдвиге. При приложении нагрузки в упругом теле развивается мгновенная деформация $\gamma = \tau / G$, которая при снятии нагрузки полностью и мгновенно исчезает. В реологии тело Гука условно обозначают в виде пружины (рис. 5.33).

Вторым простейшим телом в реологии является тело Сен-Венана

(S -тело), важным свойством которого – наличие элемента трения, характеризующегося предельным напряжением сдвига τ_s (условное обозначение S -тела показано на рис. 5.35). Если раздвигаемые при приложении нагрузки напряжения $\tau < \tau_s$, то тело Сен-Венана не деформируется, т.е. при $\tau < \tau_s$ $\gamma = 0$. При достижении напряжением значения $\tau = \tau_s$ S -тело пластически деформируется при $\tau = \tau_s = \text{const}$, т.е. становится идеально пластичным телом.

Вязкое тело в реологии рассматривается как тело Ньютона (N -тело). Простейшим N -телом является ньютоновская жидкость. Условное обозначение N -тела показано на рис. 5.33. Известно, что для ньютоновской жидкости справедлива следующая зависимость: $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$, где η – динамический коэффициент вязкости, или просто вязкость тела; $\dot{\gamma} = dy/dt$ – скорость деформации.

Принтегрировав это уравнение, получим

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\eta}; \quad \gamma = \frac{\tau}{\eta} \cdot t.$$

Деформация N -тела линейно нарастает во времени и после снятия нагрузки полностью сохраняется как остаточная. Особенность тела Ньютона состоит в том, что в нем ни при какой нагрузке нельзя развить мгновенную деформацию. Характер изменения деформации тела Ньютона со временем показан на рис. 5.32.

Большинство реологических схем, имитирующих механическое поведение различных тел, можно получить с помощью последовательного и параллельного соединения схем рассмотренных трех тел. При последовательном соединении реологических тел деформации складываются, а напряжения во всех элементах одинаковы, т.е.

$$\gamma = \sum_{i=1}^N \gamma_i \quad \text{и} \quad \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_N = \tau.$$

При параллельном соединении деформации всех элементов одинаковы, а напряжения складываются, т.е.

$$\tau = \sum_{i=1}^N \tau_i \quad \text{и} \quad \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_N = \gamma.$$

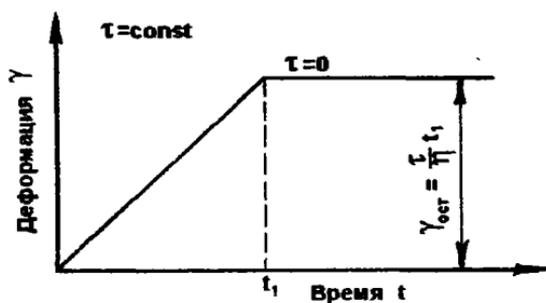


Рис. 5.32. Характер изменения деформации тела Ньютона со временем

Рассмотрим тело Кельвина, представляющее собой модель вязкоупругого тела. Реологическая схема тела Кельвина (*K*-тела) приведена на рис. 5.33. Видно, что *K*-тело включает в себя параллельно соединенные тело Гука с модулем упругости при сдвиге G и тело Ньютона с вязкостью η . Напишем основные реологические уравнения:

$$\tau = \tau_N + \tau_H, \quad \gamma_N = \gamma_H = \gamma,$$

где τ_N и τ_H — соответственно напряжения в телах Ньютона и Гука;

γ_N , γ_H и γ — соответственно деформации тел Ньютона, Гука и Кельвина.

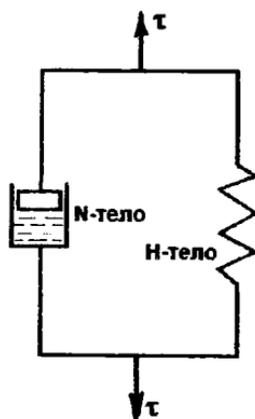


Рис. 5.33. Реологическая схема тела Кельвина

С учетом реологических законов тел Ньютона и Гука запишем

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} + G \cdot \gamma, \text{ или } \dot{\gamma} + \frac{G}{\eta} \cdot \gamma - \frac{\tau}{\eta} = 0.$$

Решение этого линейного уравнения при $\tau = \text{const}$ имеет вид

$$\gamma = \frac{\tau}{G} (1 - \exp(-\frac{G}{\eta} \cdot t)).$$

Характер изменения деформации тела Кельвина при нагружении ($\tau = \text{const}$) и разгрузке ($\tau = 0$) показан на рис. 5.34.

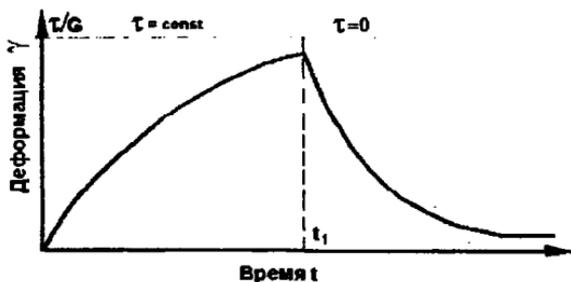


Рис. 5.34. Характер изменения деформации тела Кельвина во времени

Деформацию тела Кельвина называют деформацией упругого последствия. Развитие упругой деформации тела Гука здесь заторможено вязким элементом Ньютона. При снятии нагрузки происходит замедленная релаксация деформации. Примером вязкопластичного тела является тело Бингама (*B*-тело), состоящее из параллельно включенных тел Ньютона и Сен-Венана. Схема тела Бингама приведена на рис. 5.35. Реологические уравнения тела Бингама имеют вид:

$$\text{при } \tau < \tau_s \quad \gamma_N = \gamma_s = \gamma = 0;$$

$$\text{при } \tau \geq \tau_s \quad \gamma_N = \gamma_s = \gamma;$$

$$\text{при } \tau = \tau_s + \tau_N, \text{ или } \tau = \tau_s + \eta \cdot \dot{\gamma}, \quad \dot{\gamma} = \frac{1}{\eta} \cdot (\tau - \tau_s).$$

Интегрируя последнее уравнение при $\tau = \text{const}$, получим

$$\gamma = \frac{\tau - \tau_s}{\eta} \cdot l.$$

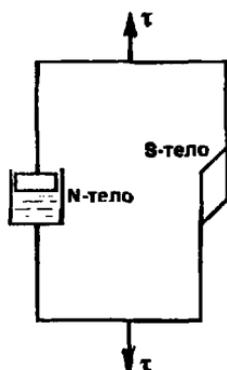


Рис. 5.35. Реологическая схема тела Бингама

На рис. 5.36 приведена зависимость деформации тела Бингама от времени при нагрузке $\tau = \text{const} > \tau_s$ и разгрузке ($\tau = 0$), из которой следует, что тело Бингама при $\tau > \tau_s$ пластически течет и после снятия нагрузки в нем сохраняется остаточная деформация $\gamma_{\text{ост}}$. Величина τ_s представляет собой предел текучести материала. Зависимость скорости деформации тела Бингама $\dot{\gamma}$ от напряжения τ показана на рис. 5.37.

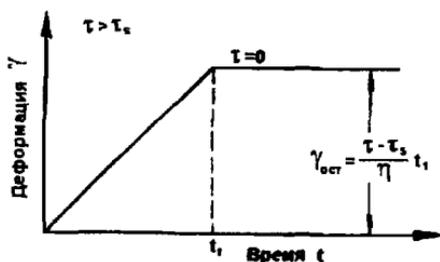


Рис. 5.38. Характер изменения деформации тела Бингама во времени при $\tau > \tau_s$

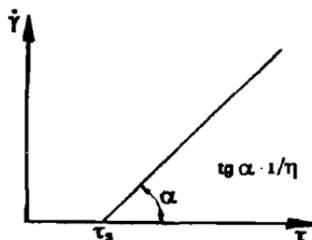


Рис. 5.37. Зависимость скорости деформации тела Бингама от напряжения

Реологическое поведение многих тел описывается моделью тела Шведова (*Sch*-тело), представляющего собой последовательное соеди-

нение тел Гука, Кельвина и Бингама. Схема тела Шведова приведена на рис. 5.38, его основное реологическое уравнение имеет вид

$$\gamma = \gamma_H + \gamma_K + \gamma_B,$$

где γ_H , γ_K , γ_B – деформации тел Гука, Кельвина и Бингама.

При $\tau < \tau_s$ $\gamma_B = 0$ и

$$\gamma = \gamma_H + \gamma_K = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} (1 - \exp(-G_2 \frac{t}{\eta_1})).$$

При $t > \tau_s$

$$\gamma = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} (1 - \exp(-\frac{G_2 t}{\eta_1})) + \frac{\tau - \tau_s t}{\eta_2}.$$

При $\tau > \tau_s$ деформация тела Шведова складывается из упругой $\gamma_{упр} = \frac{\tau}{G_1}$, пласти-

ческой $\gamma_{пл} = \frac{\tau - \tau_s t}{\eta_2}$ деформации и деформации упругого последствия

$$\gamma_{у.п} = \frac{\tau}{G_2} (1 - \exp(-\frac{G_2 t}{\eta_1})).$$

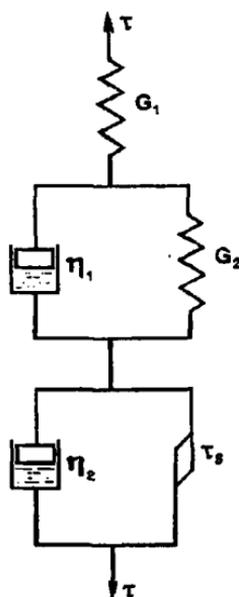


Рис. 5.38. Реологическая схема тела Шведова

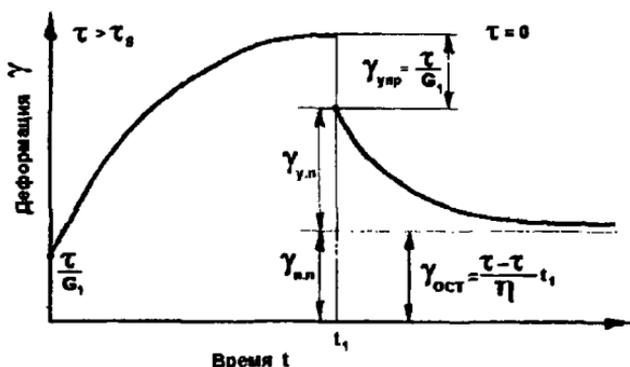


Рис. 5.39. Изменение деформации тела Шведова во времени

На рис. 5.39 приведен график изменения деформации тела Шведова при $\tau > \tau_s = \text{const}$ и при разгрузке ($\tau = 0$). Тело Шведова имеет пять

реологических характеристик: предельное напряжение сдвига τ_s , вязкость η_2 , псевдовязкость η_1 , модули упругости G_1 и G_2 .

Вязкость тела Бингама в отличие от вязкости ньютоновской жидкости называется структурной или пластической вязкостью.

Из реологического уравнения тела Бингама можно получить уравнение для структурной вязкости $\eta = \frac{\tau - \tau_s}{\dot{\gamma}}$. Из него вытекает, что

с ростом скорости деформации $\dot{\gamma}$ пластическая вязкость убывает, что является следствием разрушения коллоидной структуры смеси и увеличения ее подвижности.

Характер поведения смеси и ее реологические свойства определяются механизмом обеспечения связи между зёрнами наполнителя. В связующих типа лигносульфонатов и масел связь обеспечивается капиллярными явлениями. Поэтому эти связующие проявляют себя как ньютоновские или псевдоньютоновские жидкости со слабо выраженными вязкопластичными свойствами.

Предельное напряжение сдвига у смесей на этих связующих близко к нулю. Смеси на вязкопластичных связующих (глина, бентонит) характеризуются наличием у них предельного напряжения сдвига. В табл. 5.18 приведены значения реологических характеристик глинистых суспензий и песчано-глинистых смесей [41].

Таблица 5.18

Реологические свойства смесей и суспензий

Вид материала	Влажность, %	$\tau_s \cdot 10^2$, МПа	$\eta \cdot 10^{-8}$, Па·с	Пластическая прочность σ_p , МПа
Суспензия	68,0	0,050	257	0,014
Смесь с 10% глины	5,6	0,090	720	0,056
Суспензия	50,0	0,060	366	0,023
Смесь с 10% глины	5,0	0,110	780	0,072
Смесь с 12% глины	5,9	0,090	1000	0,078

Из табл. 5.18 видно, что величины τ_s и η смесей в первом приближении пропорциональны тем же характеристикам суспензий. Упругие свойства смесей также определяются упругими свойствами глинистой суспензии. Модуль упругости глинистой суспензии в формовочной смеси составляет 0,2–0,3 МПа и практически равен модулю упругости смеси, в то время как модуль упругости кварцевого песка выше на 2–3 порядка.

Предельное напряжение сдвига, вязкость и модуль упругости являются более строгими физическими характеристиками текучести, уплотняемости и формемости смесей.

Изучая зависимость реологических свойств от состава смеси, ее уплотнения, температуры и технологических факторов, можно обоснованно оценить их влияние на технологические и рабочие свойства смесей. В табл. 5.19 приведены данные о влиянии влажности на реологические свойства сырых песчано-глинистых смесей. В настоящее время разработано много методов контроля реологических свойств смесей [42], однако системные результаты исследований отсутствуют.

Таблица 5.19

Влияние влажности на реологические свойства песчано-глинистых смесей

Влажность, %	Пластическая прочность σ_m МПа	$\tau_s \cdot 10^2$, МПа	$\eta \cdot 10^{-9}$, Па·с
4,1	0,12	0,23	1700
4,4	0,20	0,20	1165
4,8	0,08	0,15	815
5,2	0,06	0,10	820
5,8	0,05	0,08	720

5.6. Формовочные и стержневые смеси

В литейном производстве применяется большое количество типов смесей, отличающихся составом, технологией приготовления, способом и условиями отверждения и способом уплотнения при изготовлении форм и стержней. Многообразие смесей обусловлено многообразием требований, предъявляемых к ним с точки зрения получения качественных отливок из различных сплавов, различной массы, размеров и конфигурации при разных способах формообразования и условиях производства.

Существует много подходов к классификации смесей. На наш взгляд, наиболее удачной является классификация, предложенная С. П. Дорошенко и др. [42], основанная на выделении в качестве классификационных признаков методов упрочнения смесей и специальных методов формообразования. При этом смеси классифицируются на следующие группы:

- смеси для заливки форм по-сырому;
- смеси, упрочняемые тепловой сушкой;
- холоднотвердеющие смеси;
- смеси для изготовления форм и стержней в нагреваемой оснастке;
- керамические смеси;
- формовочные смеси для специальных методов формообразования.

5.6.1. Формовочные смеси для заливки форм по-сырому

Технология изготовления отливок в сырых формах является основной в современном литейном производстве. Доля литья, полученного в сырых формах, в разных странах мира колеблется от 30 до 40 %. Применение литья в сырые формы обеспечивает относительно короткий производственный цикл, увеличивает производительность труда, снижает расход песка до 0,4 т на тонну литья. Ограничением области применения сырых форм является их прочность, исходя из которой максимальная масса изготавливаемых чугуновых отливок должна быть не более 0,5 т, стальных отливок – 0,4 т. Сфера использования сырых форм может быть расширена за счет применения высокопрочных форм с пониженной влажностью и современных методов уплотнения, а также за счет поверхностной подсушки форм.

Широкое распространение литье в сырые формы получило в автомобилестроении и станкостроении, где оно используется для изготовления чугуновых отливок массой до 100 кг.

Виды формовочных смесей. Для изготовления отливок в настоящее время в основном применяются синтетические смеси на основе использования высококачественных исходных материалов. Различают облицовочные, наполнительные и единые смеси.

Из облицовочных смесей изготавливают ответственные отливки с повышенным качеством поверхностей. Они содержат 20–60 % свежих материалов (песка и глинистых добавок), 40–80 % отработанной, оборотной смеси и различные добавки для улучшения их свойств. Эти смеси используют для оформления рабочего слоя формы толщиной, примерно равной толщине стенки отливки. Этот слой непосредственно контактирует с заливаемым жидким металлом. Облицовочные смеси должны обладать низкой пригораемостью, малой пористостью, высокой поверхностной прочностью и относительно низкой газопроницаемостью.

Основная часть формы делается из наполнительной смеси, для приготовления которой в основном используют оборотную смесь, периодически освежаемую добавками свежих материалов для поддержания на заданном уровне газопроницаемости и прочностных свойств.

В крупносерийном и массовом производстве при изготовлении отливок на автоматических и конвейерных линиях применяют единые смеси, основную долю которых (90–95 %) составляет оборотная смесь.

Основные компоненты смесей. Как и любые смеси, смеси для заливки по-сырому включают в себя наполнитель, связующие материалы и специальные добавки. Основным наполнителем смеси является отработанная, оборотная смесь, которую следует применять после соот-

ветствующей регенерации и кондиционирования. Рекомендуется применять песок классов 1К, 2К, групп 016, 02 для мелкого литья и групп 02, 0315 для крупного и среднего литья. При изготовлении отливок из легированных сталей в облицовочных смесях могут быть также цирконовые, магнезитовые и другие наполнители.

Для единых смесей, применяемых на автоматических линиях, содержание глинистых веществ не должно превышать 1 %. Пески должны иметь концентрированную зерновую основу.

Основным связующим для смесей сырых форм является бентонит. Подавляющее большинство отечественных бентонитов являются кальциевыми с содержанием монтмориллонита не более 75–90 %. Для применения в сырых песчаных формах кальциевые бентониты активизируют добавками соды (Na_2CO_3), вводимыми при помоле бентонита. Натриевые бентониты обеспечивают при 10 %-м содержании в смесях прочность на сжатие в сыром состоянии не ниже 0,15 МПа при долговечности смеси не ниже 75–80 %. Для опочной формовки на автоматических линиях прочность смесей на сжатие во влажном состоянии должна составлять 0,14–0,18 МПа, а для безопочной формовки – 0,20–0,22 МПа. Такая прочность обеспечивается при применении бентонитов прочносвязующей группы (ГОСТ 3226–77).

Для улучшения качества отливок и снижения расхода бентонита в единые формовочные смеси вводят поверхностно-активные вещества и вещества, понижающие вязкость, в количестве 0,1–0,5 % (ДС-РАС, контакт Петрова, нитролигнин, КО, УСК и т.п.). Бентонит целесообразно вводить в смесь в виде суспензии (20 % бентонита, 5 % угля, 1 % крахмалита).

В качестве противопригарной добавки в песчано-глинистые смеси вводят камешноугольную пыль в количестве до 8 %. Это обеспечивает предотвращение пригара на отливках массой до 80–150 кг при толщине их стенок 15–30 мм. Увеличение содержания угля сверх 8 % снижает физико-механические свойства смеси. Уголь целесообразно вводить в виде глиноугольных суспензий.

Для замены угля используют продукты переработки нефти (мазут, древесный пек, растворы битумов). В качестве эффективной противопригарной добавки применяют водный раствор хлорида кальция (около 1,4 %).

В песчано-бентонитовых смесях для стабилизации влажности, уменьшения склонности к образованию ужимин, снижения осыпистости применяют добавки крахмалита (до 0,5 %). Добавки крахмалита или экструзионного крахмалорегента (ЭКР) позволяют снизить деформацию смеси в зоне конденсации влаги.

Для повышения пластических свойств в смеси добавляют также декстрин, патоку и древесную муку.

Регулирование свойств смесей. На физико-механические, технологические свойства смесей существенное влияние оказывают их влажность W и глиносодержание G . Наилучшее сочетание свойств обеспечивается при оптимальном содержании влаги, составляющем 4–5 %. Необходимое содержание влаги увеличивается с повышением глиносодержания и при применении мелкозернистых песков с шероховатыми зернами. Колебание содержания влаги может приводить к большим изменениям свойств смеси. Чем больше в смеси содержится мелких частиц, тем больше должна быть влажность и тем сильнее ее колебания влияют на свойства смеси. На 1 % мелких частиц дополнительно расходуется около 0,3 % воды. При содержании мелких частиц выше 9–11 % резко увеличиваются пригар и склонность к образованию ужимин. В отработанной смеси увеличивается количество мелких частиц, поэтому ее приходится освежать, вводя бентонит и свежий песок.

Для определения количества освежающих добавок бентонита и песка для поддержания прочности на сжатие в сыром состоянии на уровне 0,2 МПа в зависимости от содержания в смеси мелких частиц и отношения массы отливки к массе смеси, определяющего термическую нагрузку на форму, Х. Левелинком предложена номограмма, приведенная на рис. 5.40 [42].

На номограмме на шкале «Мелкие фракции, %» показано процентное содержание неорганической доли мелких частиц (глинистых частиц). Общее содержание мелкой фракции, кроме неорганической доли, включает в себя мелкие органические добавки (например, каменноугольную пыль) и продукты их разложения. Содержание этих органических частиц в первом приближении можно оценить как 50 % от потерь при прокаливании.

На номограмме приведен пример определения количества освежающих добавок для следующих условий: отношение массы отливки к массе смеси должно быть 1/6; потери при прокаливании – 7 % и содержание мелких частиц – 14,5 %. Содержание глинистых частиц равно $14,5 - 7 \cdot 0,5 = 11$ % (3,5 % приходится на органические частицы). По отношению масс отливки и смеси (1/6) и содержанию глинистых частиц (11 %), используя номограмму, находим требуемое освежение по бентониту – 0,45 % и песку – 2 %.

Приготовление смесей необходимо осуществлять в катковых смесителях (бегунах), в которых сочетаются смешивание и перетирание компонентов смеси при чередующемся уплотнении катками и рыхлении плужками. Качество смеси зависит от продолжительности перемешивания. Характер изменения прочности смеси на сжатие во влажном состоянии от времени перемешивания показан на рис. 5.41. Видно, что значения прочности, начиная с некоторой продолжительности перемес-

шивания (5–10 мин), стабилизируются. Аналогично изменяются газопроницаемость и влажность смеси.

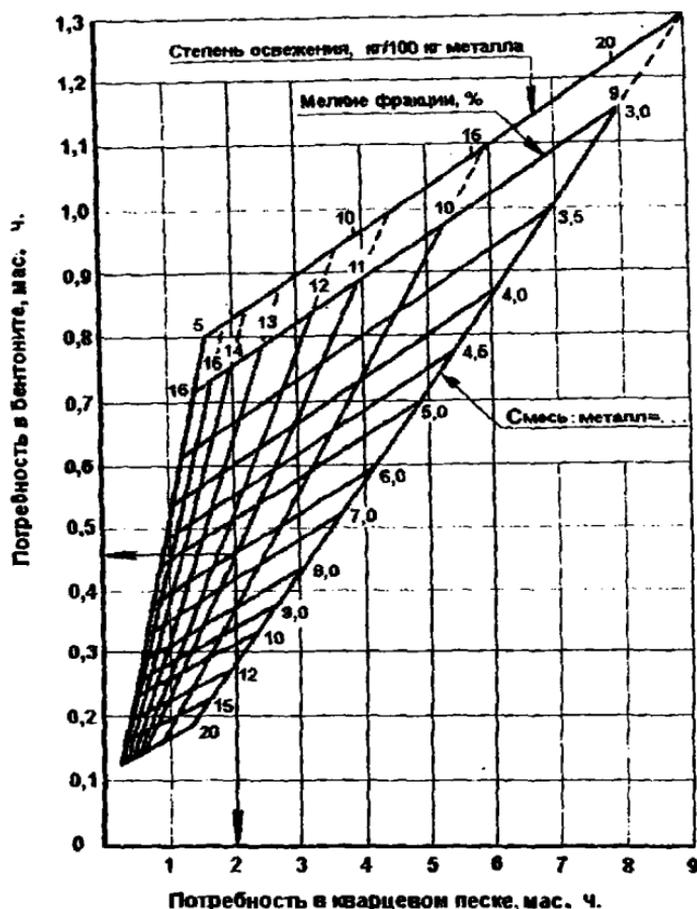


Рис. 5.40. Номограмма для определения количества освежающих добавок при приготовлении смеси с прочностью 0,2 МПа

Готовность смеси можно проверить, проводя последовательный контроль ее прочности и влажности. Если после 5 мин дополнительного перемешивания прочность смеси увеличится не более чем на 10–15 %, а влажность – не более чем на 0,2–0,8 %, то длительность перемешивания достаточна для стабилизации ее свойств.

Влажность смеси, кроме прочности и газопроницаемости, существенно влияет на ее формуемость, текучесть и уплотняемость, поэтому оптимизацию содержания влаги часто проводят по обеспечению требуемого уровня формуемости (70–80 % по ГОСТ 23409.15–78). В применяемых схемах автоматического управления качеством смесей регулирование содержания влаги осуществляется по заданному индексу формуемости, а содержание бентонита – по заданному уровню прочности на сжатие в сыром состоянии [42].

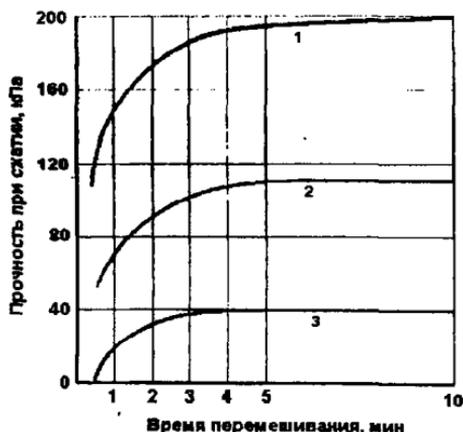


Рис. 5.41. Влияние длительности перемешивания песчано-бентонитовой смеси на ее прочность на сжатие во влажном состоянии при следующем содержании бентонита: 1 – 10 %; 2 – 5 %; 3 – 2,5 %

Определение составов смесей для современных способов изготовления форм осуществляется с учетом обеспечения необходимых технологических свойств при соответствующих способах уплотнения смесей. Поэтому этот вопрос будет дополнительно рассмотрен в гл. 7.

Выбор составов смесей. Типовые составы смесей для формовки по-сырому. Выбор состава смеси для данного типа сплава определяется способом формовки, размерами и конфигурацией отливки, требованиями к отливке, условиями производства.

Для мелких отливок применяют мелкозернистые пески с минимальным содержанием органических добавок. Содержание бентонита в

смесях (5–7 %) зависит от необходимой их прочности. Для мелких отливок прочность единой смеси на сжатие должна быть 50–80 кПа.

В смесях для средних и крупных отливок применяют среднезернистые наполнители. Поверхностная прочность и стойкость к осыпанию повышаются с помощью добавок 0,5–1,5 % декстрина или ЛСТ. Влажность смесей – 3,5–4,5 %. Прочность облицовочных смесей должна быть не менее 90 кПа, а наполнительных – не ниже 70 кПа.

В смесях для цветного литья применяют мелкозернистые пески, в них очень часто повышено содержание глинистой составляющей. В смеси для магниевого литья добавляют присадки для предотвращения возгорания сплава (фтористые присадки, сера и т.д.). При выборе смесей на основе приведенных в табл. 5.20–5.24 типовых составов следует учитывать принятое технологическое оборудование для изготовления форм, метод уплотнения смеси, тип сплава, толщину стенки, массу отливки и характер производства.

В условиях единичного и мелкосерийного производства без применения операций, связанных с динамическими нагрузками, достаточна прочность на сжатие в сыром состоянии 0,06–0,07 МПа. При изготовлении форм на автоматических и высокомеханизированных линиях $\sigma_{сж}$ в сыром состоянии должна быть на уровне 0,15–0,20 МПа.

5.6.2. Смеси, упрочняемые тепловой сушкой

При изготовлении форм для средних и крупных отливок (массой 100 : 500 кг), а также стержней прочность смесей в сыром состоянии недостаточна. Поэтому в данном случае применяют песчано-глинистые смеси, подвергаемые тепловой сушке. При сушке повышаются прочность и газопроницаемость, снижается газотворность. При применении сухих форм улучшается качество поверхности отливок, однако удлиняется производственный цикл и увеличивается себестоимость отливок. При объемной сушке формы и стержни просушивают по всей толщине. Она применяется в мелкосерийном и индивидуальном производстве при изготовлении отливок массой выше 1000 кг.

Для изготовления чугунных и стальных отливок массой от 100 до 2000 кг в поточном производстве и до 5000 кг при заливке на плацу применяют поверхностно подсушенные формы. Данные о необходимой толщине сухого слоя в формах после поверхностной сушки приведены в табл. 5.25.

Таблица 5.20
Состав и свойства единых формовочных смесей для изготовления форм на автоматических линиях

	Массовая доля составляющих, %							Характеристики смеси			Назначение смеси
	Оборотная смесь	Кварцевый песок	Бентонитовая глина	Бентонито-угольная суспензия	Гранулированный уголь	Крахмалит	Влажность, %	Газопроницаемость, ед.	Прочность на сжатие во влажном состоянии, кПа		
Маркировка линии (страна-изготовитель)	91-96	2,5-6,0	-	1,5-3,0	-	0,015-0,05	2,9-3,3	140-180	160-190	Ч	
	95-99	0-2,0	-	1,0-3,0	-	0,015-0,03	3,1-3,5	130-170	160-190		
	92-96	3,0-5,8	0,6-1,0	-	0,4-1,2	-	3,2-3,8	100-125	170-210		
	96	3,3	0,7	-	-	-	3,0-3,8	>100	100-140		
	94-96	3,2-4,1	0,64-0,9	-	0,15-0,85	0,01-0,15	3,2-4,5	90-130	170-210		
	96-94	4,8-8,0	1,15-1,9	-	-	0,05-0,10	3,1-3,5	>70	160-210		
	95-96	3,1-3,8	0,7-0,9	0,1	0,08-0,18	0,015-0,02	3,0-3,8	>100	130-150		
	СПО-1										
	СПО-2; СПО-3;										
	СПО-4 (США)										

Примечание. Ч — для форм чугунных отливок; С — для форм стальных отливок.

Таблица 5.21

Состав и свойства песчано-глинистых смесей, используемых при производстве отливок из чугуна для формовки по-сырому

Массовая доля компонентов смеси, %				Характеристики смеси						Характеристики получаемых отливок			
облицовочной		единой		Оборотная смесь	Свекис материалы	Каменноугольный порошок	Содержание глинистой составляющей, %	Зрелая глина песка	Влажность, %	Газопроницаемость, ед.	Прочность на сжатие во влажном состоянии, кПа	Масса, кг	Толщина стенок, мм
Свекис материалы	Каменноугольный порошок	Оборотная смесь	Свекис материалы										
78-59	20-38	2-3	96,5-94,5	3-5	0,5	8-10	01А	4,5-5,5	25-35	29-49	<20	10	
75-45	22-51	3-4	94,3-92,3	5-7	0,7	7-10	016А	4,0-5,5	40-60	29-49	20-200	25	
70-40	26-55	4-5	93,2-89,2	6-10	0,8	8-10	02А	4,5-5,5	50-70	—	20-200	25	
70-40	26-55	4-5	91,0-86,8	8-12	1,0-1,2	9-11	02Б	4,5-6,0	60-80	39-58	200-1000	40	
70-40	25-52	5-8	88,8-83,5	10-15	1,2-1,5	10-12	02А; 0315Б	4,5-6,5	70-100	44-68	200-1000	40	
60-40	34-52	6-8	—	—	—	11-13	02А	5,0-7,0	100-200	49-78	(1-5)·10 ³	40	
74-52	20-40	6-8	—	—	—	12-14	0315Б; 04А	5,0-7,0	100-130	58-74	(1-5)·10 ³	60	

Таблица 5.22

Назначение смеси	Песчано-глинистые формовочные смеси, применяемые для изготовления форм для стального литья						Характеристики смеси			
	Толщина стенки отливки, мм	Оборотная смесь	Кварцевый песок	Глина	КБЖ	Зерновая группа песка	Влажность, %	Газопроницаемость, сд	Прочность на сжатие во влажном состоянии, кПа	
Облицовочная для формовки по-сырому при массе отливок, кг: <100 100-500 >500	25	80-40	16,5-53,0	3,0-6,0	0,3-0,5	016, 02	3,5-4,0	80-100	30-50	
	25	75-40	20,5-51,5	4,0-8,0	0,3-0,5	02	4,0-5,0	100-120	40-60	
	25	60-40	33,5-51,0	6,0-8,5	0,3-0,5	02, 0315	4,5-5,5	100-130	50-70	
	25	92-90	6,5-8,0	1,0-1,5	0,5-1,0	016, 02	3,4-4,5	80-100	30-50	
Единая для формовки по-сырому при массе отливок до 100 кг										
Облицовочная для формовки по-сырому при массе отливок, кг: <500 500-1000 1001-10000 10000-30000*	50	80-40	15,5-50,5	4,0-9,0	0,3-0,5	02	5,0-7,0	70-100	50-70	
	50	60-40	33,0-49,5	6,5-9,0	0,5-1,5	02, 0315	5,0-8,0	100-120	50-80	
	50	-	91,0-89,0	9,0-11,0	-	0315	6,0-7,0	>80	55-65	
Единая для отливок, склонных к образованию горячих трещин**	80	-	71,0-69,0	9,0-11,0	-	0315	6,0-7,0	>50	55-65	
	-	80-40	12,5-45,5	4,0-9,0	1,5-2,5	02, 0315	5,0-7,0	70-100	35-60	

* В смесь вводят до 20 % пылевидного кварца.

** В смесь вводят 2-4 % древесных опилок.

Таблица 5.23

Формовочные смеси для чугунного литья при формовке по-сухому

Смесь	Отливка		Составляющие смеси	Массовая доля, %	Газопористость, ед.	Влажность, %	Свойства смеси		Температура сушки, °С
	Масса, т	Средняя толщина стенки, мм					на сжатие $\sigma_{см}$	на растяжение σ_p	
1. Облицовочная для среднего литья	До 2	До 30	Оборотная смесь	46-42	100	4-5	0,025-0,035	0,3	160-180
			Песок ЗК02 Глина МПТ ₂ ЛСТ	50-52 2-3 2,5-3,0					
2. Облицовочная для среднего литья	До 2	До 50	Оборотная смесь	60-50	70-100	7-8	0,05-0,06	0,07-0,10	320-330
			Песок ЗК0315 Глина МПТ ₁ Опилки	24-34 4-6 10-12					
3. Облицовочная для крупного литья	2-15	До 50	Оборотная смесь	50-40	70	7-8	0,065-0,08	0,08-0,14	320-330
			Песок ЗК0315 Глина КС2Т ₁ Опилки	31-41 7-9 10-12					
4. Облицовочная для крупного массивного литья (по кирпичной кладке)	10-30	До 80	Оборотная смесь	20	-	12-16	-	0,15-0,25	400
			Песок ЗК04 Глина КПТ ₁ Опилки	47 20 13					
5. Для многократных форм	-	-	Шамот молотый	40	-	10-12	-	0,2-0,35	350-380
			Песок 2К0315 Глина КПТ ₂	47-46 13-14					
6. Наполнительная	-	-	Оборотная смесь Песок П0315	100-95 0-5	80	6-7	0,035-0,045	-	-

Таблица 5.24

Типовые составы песчано-глинистых смесей для отливок из цветных сплавов

Основа сплавов	Смесь	Массовая доля составляющих, %				Характеристики смеси			
		Оборотная смесь	Свежие материалы	Мазут	Фтор-присадка	Влажность, %	Газопроницаемость, ед.	Глинистая составляющая, %	Прочность при растяжении во влажном состоянии, МПа
Cu	Е	92-88,5	7-10	1-1,5	-	4,5-5,5	30	8-12	0,03-0,05
	О	80-40	19,5-59	0,5-1	-	4,5-5,5	30	8-12	0,03-0,05
Al	Е	92-90	8-10	-	-	4,5-5,5	20	8-10	0,03-0,05
	О	80-60	20-40	-	-	4,0-5,0	20	8-12	0,03-0,05
Mg	№1	95-85	5-15	-	5-9	5,0-6,5	20-40	-	0,06-0,12
	№2	90-85	10-15	-	4-8	4,5-6,0	30-70	-	0,06-0,08
	№3	89-82	10-15	-	-	4,5-6,0	30-70	-	0,04-0,08

Примечания:

1. Для отливок из медных сплавов используют пески 016, 01А; из алюминиевых - 01А; из магниевых - 01А, 063 (смеси №1 и №2) и 02, 016А (смесь №3). В формовочную смесь №3 добавляют 1-3 % ЛСТ.

2. Е - единая формовочная смесь; О - облицовочная смесь.

Таблица 5.25

Требуемая толщина сухого слоя в формах после сушки при 300-450 °С

Вид, размер полуформ, мм	Требуемая толщина сухого слоя для поверхностей, мм		
	верхней открытой	нижней открытой	боковой
Плоская без карманов и выступов, от 1200×1100 до 2500×2500	15-25	20-30	20
С карманами и выступами, 1200×1600	30-35	40-45	30
С глубокими карманами, большими выступами, от 1200×1600 до 2500×2500	50-80	60-65	40-50

Сушка форм и стержней из песчано-глинистых смесей проводится при 350-400 °С. При этом из глины полностью удаляется свободная и связанная влага и реализуются межслоевые электростатические связи. С увеличением начальной влажности смеси возрастет прочность после сушки, поэтому влажность смесей для заливки по-сухому выше, чем у смесей для форм, заливаемых во влажном состоянии.

При сушке форм и стержней, изготовленных из смесей с различными связующими, происходит не только собственно процесс удаления влаги, но и наблюдаются различные физико-химические процессы, приводящие к упрочнению смеси. Температура сушки зависит от применяемого связующего (табл. 5.26).

Таблица 5.26

Температура сушки стержней

Вид связующего	Температура, °С		Вид связующего	Температура, °С	
	оптимальная	максимальная		оптимальная	максимальная
КВО	140–160	170	КТ, ДП	220–230	240
Канифоль	140–160	175	КО	220–240	250
Патока	150–170	175	П, ПТ, ПТА	230–240	250
ССБ	160–180	180	Масляное	200–250	250
Декстрин	160–180	180	СДБ	300–350	360
СП, СБ, КВс, ГТФ	180–200	210	Глина	300–400	450
4ГУ(в)	190–200	210	ЛСТ	220–240	240

Песчано-глинистые смеси для формовки по-сухому. Для приготовления этих смесей применяют кварцевые пески средней зернистости группы 02, а для крупных отливок массой свыше 1000 кг – крупные пески групп 0315 и 04. В смесях для чугунного литья используют от 30 до 70 % оборотной смеси. Для крупного и толстостенного стального литья смеси готовят из свежих наполнителей без применения отработанных смесей.

В качестве связующего применяют каолиновые и гидрослюдистые глины (К, П ПТ₁–Т₂). Для улучшения податливости смеси часть глины заменяют бентонитом. Общее глиносодержание составляет 10–16 %. Для получения необходимой прочности при снижении содержания глины целесообразно вводить в смесь дополнительные связующие материалы, например 0,5–3 % лигносульфонатов. Для поверхностно-подсушиваемых форм в качестве облицовочных смесей применяют смеси с добавками жидкого стекла.

Для улучшения податливости и газопроницаемости сухих форм в смеси вводят древесные опилки, торф и другие материалы в количестве 2–15 %. Для крупных стальных отливок, особенно из высоколегированных сталей, используют в качестве наполнителя магнезит, хромит, графит, а также цирконовый концентрат (табл. 5.27, 5.29).

Температура сушки форм и стержней выбирается в зависимости от применяемой глины и других связующих добавок. Типовые составы смесей приведены в табл. 5.23, 5.28. При производстве среднего и крупного литья при изготовлении стержней простой конфигурации (IV–V

классов сложности) применяют песчано-глинистые смеси, данные о которых приведены в табл. 5.30.

Таблица 5.27

Формовочные смеси на основе цирконового концентрата

Номер смеси	Массовая доля составляющих, %						Характеристики смеси		
	Цирконовый концентрат	Песок 1К02Б	Глина	КБЖ	СБ	КВС	Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Прочность при сжатии во влажном состоянии, кПа
1	93	—	2,4	2,2	—	2,4	40	1,8–2,2	12–15
2	68	2,3	2,5	2,8	—	3,7	50	2,6–3,0	16–20
3	95	—	2,6	—	2,4	—	40–130	3,0–5,0	30–45

Стержневые смеси с органическими связующими. Как было отмечено в гл. 2, по геометрическим размерам, конфигурации, условиям работы в литейной форме и требованиям к качеству литой поверхности стержни делят на 5 классов. Стержни первых трех классов должны обладать высокой прочностью, хорошей чистотой поверхности, малой газотворностью и хорошей выбиваемостью. Стержни 4-го и 5-го классов должны обладать прочностью, газопроницаемостью и хорошей податливостью.

Упрочняемые тепловой сушкой смеси могут применяться для изготовления стержней любой из отмеченных групп сложности. Смеси на масляных связующих отличаются в необработанном виде низкой прочностью, высокой текучестью и уплотняемостью. Поэтому сырые стержни нужно предохранять от деформации, вызываемой действием собственного веса, применяя профильные сушильные плиты (драйсы).

Прочность сырых смесей можно повысить, добавляя декстрины, смолы, ЛСТ. Общее количество связующих в этих смесях – 2–4 % от массы кварцевого песка. Типовые составы смесей приведены в табл. 5.30. Наиболее целесообразно эти смеси применять для изготовления стержней первых трех групп при мелкосерийном производстве.

Таблица 5.28

Формовочные смеси для стального литья при формовке по-сухому

Смесь	Масса отливки, т	Средняя толщина стенки отливки, мм	Составляющие смеси	Массовая доля, %	Свойства смеси				Температура сушки, °С
					Запорни-цаяемость, ед.	Влажность, %	на сжатие $\sigma_{сж}$	на растг-жение σ_p	
1. Облицовочная для среднего литья	До 3	До 40	Оборотная смесь Песок 2К02 Глина КС2Т ₁ СП	48-45 48-50 4-5 3,5-4,0	80-100	5-6	0,3-0,04	0,45-0,40	
2. Облицовочная для среднего литья	До 5	До 50	Оборотная смесь Песок 1К0315 Глина КП1Т ₁	88-85 12-14	80	6-7	0,055-0,065	-	
3. Облицовочная для среднего и крупного литья	До 10	До 60	Оборотная смесь Песок 1К0315 Глина КП1Т ₁	12,5-35,5 4-9	70-100	5-7	0,035-0,06	-	
4. Облицовочная для крупного массивного литья	10-30	До 80	Оборотная смесь Песок 0315 Глина КС2Т ₁ ЛСТ	80-75 0-5	-	-	-	-	
5. Облицовочная для отливок, склонных к горячим трещинам	-	-	Облицовочная смесь Песок 0315 Опилки	80-75 0-5	-	-	-	-	
6. Наполнительная	-	-	Облицовочная смесь Песок 0315 Опилки	80-75 0-5	-	-	-	-	-

Таблица 5.29

Формовочные смеси на основе хромита

Массовая доля составляющих, %		Характеристики смеси		
Хромит	КВЖ	Влажность, %	Газопроницаемость, ед.	Прочность*, кПа
97	3,0	4,5-5,5	30	(50-60)/(150-400)
89**	-	3,2-4,2	40-120	(25-50)/(800-1000)
98	2,0	4,5-6,5	30	(35-60)/(300-400)
91	9,0	5,0-6,0	30	(40-60)/ -
89**	-	5,0-6,0	40-120	(30-50)/(800-1000)
90	10,0	5,0-6,0	20	(45-65)/ -
94	6,0	4,0-5,0	40	(53-45)/(400-500)
97	3,0	4,5-5,5	-	(25-40)/(200-300)
95	5,0	6,5-8,5	-	(60-80)/(250-450)
97	3,0	5,5-6,5	30	(50-60)/(400-500)
97	3,0	5,0-6,0	30	(30-40)/(300-500)
97	3,0	5,0-6,0	-	(50-60)/(400-600)
95	5,0	4,0-5,0	20	(35-40)/(600-800)

* В числителе приведена прочность смеси при сжатии в сыром состоянии, в знаменателе - при растяжении в сухом состоянии.

** В качестве связующего используют 11 % жидкого стекла с низким силикатным модулем.

5.6.3. Смеси для изготовления форм и стержней в горячей оснастке

В условиях массового и крупносерийного производства отливок повышенной точности применяют изготовление стержней из смесей, упрочняющихся в контакте с горячей оснасткой. Применение такой технологии (по сравнению с формовкой по-сухому) позволяет повысить производительность труда, снизить расход смеси, повысить чистоту поверхности отливок ($R_a=1,6\div 12,5$ мкм).

Различают два типа смесей для изготовления стержней по горячей оснастке: сухие (сыпучие) и пластичные, т.е. обладающие прочностью во влажном состоянии.

Сухие сыпучие смеси для изготовления оболочковых форм и стержней. Смесь состоит из песка и синтетической терморезистивной смолы с добавками разных веществ для повышения технологических и рабочих свойств. В качестве наполнителей применяют мелкозернистые кварцевые пески (от 1К0063 до 1К02). Для снижения расхода связующе-

Таблица 5.30

Песчано-глинистые смеси для стержней

Смесь	Средняя толщина стенки отливки, мм	Составляющие смеси	Массовая доля, %	Газопрон-паяемость, ед.	Влаж-ность, %	Свойства смеси		Температу-ра сушки, °С
						Прочность, МПа на сжатие $\sigma_{сж}$	на растяжение $\sigma_{р}$	
1. Для стержней чугуного среднего литья	До 50	Оборотная смесь Песок 1К0315, 2К0315 Глина КС2Г ₁ Опалки	40-50	70	7-8	0,065-0,08	0,09-0,15	280-320
			28-38 8-10 12-14.					
2. Для стержней крупного чугуного литья	До 80	Оборотная смесь Песок 1К0315, 2К0315 Глина КПП ₂ Кокс молотый	35-44	60	7-8	0,065-0,08	-	280-320
			27-37 9-11 5-6 12-14					
3. Для стержней крупного чугуного литья	>80	Оборотная смесь Песок 1К0315, 1К04 Глина КПП ₂ Кокс молотый	33-41	60	7-8	0,065-0,08	0,09-0,15	280-320
			26-36 10-12 5-6					
4. Для стержней стального литья, склеянного к трещинам	До 25	Оборотная смесь Песок 2К02, 2К0315 Глина КС2Г ₁ Опалки	2-3	80	7-8	0,04-0,05	0,1-0,15	280-320
			12-14 20-30 42-50 8-10 20					
5. Для стержней стального среднего и крупного литья	До 50	Песок 1К0315 Глина КПП ₁ , КС1Г ₁	1,0	80	6-7	0,055-0,065	0,1-0,16	280-320
			89-86 11-14					
6. Для стержней стального крупного литья	80-100	Песок Глина КПП ₁ Маршалит	68-85	50	6-7	0,055-0,065	0,1-0,16	280-320
			12-15 20 2					

го применяют комбинацию из песков разных фракций. С точки зрения обеспечения высокой текучести смеси и повышения прочности содержания глинистой составляющей в песках ограничивается 0,5 %. Влажность песка допускается не более 0,2 %.

В качестве связующего в основном применяют новолачные фенолоформальдегидные смолы (СФ-010, СФ-011, СФ-015, СФ-260, СФЛ-012В, СФП-011Л), для перевода которых в термораскисное состояние вводят 7–15 % уротропина. Чаще всего применяется смола СФП-011Л (прежнее обозначение ПК104). Кроме перечисленных применяют смолы ВР-1, ВРБ, КФ-90, КФА-66, КФС-120 (для чугуновых и стальных отливок) и КФ-40, КФС-250 (для отливок из алюминиевых сплавов). Количество смолы в смеси должно составлять 4–6 %.

Для уменьшения прилипаемости, увеличения текучести и живучести смесей в них вводят стearат кальция или цинка в количестве 0,05–0,2 %. Для увеличения теплопроводности и ускорения твердения смесей в них добавляют до 1,5 % оксидов железа и до 0,1–0,2 % кристаллического графита. Для уменьшения взаимодействия легированных сталей со смесью используют добавки оксидов марганца (до 0,75 %).

Для приготовления смесей применяют песок и порошкообразную смолу или предварительно плакированный смолой песок. Плакированная смесь обеспечивает большую прочность, чем неплакированная. Прочность смеси после отверждения составляет не менее 2,5 МПа на разрыв и не менее 4 МПа на изгиб. В первом случае для улучшения перемешивания песка с порошкообразной смолой сначала перемешивают песок, увлажненный керосином или машинным маслом, а затем вводят порошок смолы. При плакировании песка происходит обволакивание его зерен тонкой пленкой смолы. Различают холодный, теплый и горячий способы плакирования песка.

При холодном способе смолу предварительно растворяют в фурфуроле, спирте или ацетоне, а затем вводят в смеситель для перемешивания с песком. Возможно одновременное перемешивание песка, смолы и растворителя. Растворитель удаляется из смеси продувкой воздухом.

При теплом плакировании смесь продувают воздухом, нагретым до 100 °С. При горячем плакировании песок, нагретый до 150–200 °С, смешивают со смолой. При этом смола плавится и обволакивает зерна песка. Этот способ исключает применение растворителя. Для оболочек толщиной 10 мм отверждение ведут при 300–350 °С в течение 2–2,5 мин.

Сухие неплакированные смеси применяются при бункерном способе получения форм, когда смесь из бункера высыпается на подогретую модель. Плакированные смеси пригодны при пескоструйно-пескострельном способе изготовления форм и стержней, когда смесь выдувается или выстреливается в полость оснастки.

Таблица 5.31

Стержневые смеси для стального и чугунного литья на органических связующих

Класс стержней	Составляющие смеси	Массовая доля, %	Свойства смеси				Температура сушки стержней, °С
			Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Прочность, МПа		
					при сжатии $\sigma_{сж}$	при растяжении σ_p	
I	Песок 1К016, 2К016	100	130	2,0-3,0	0,003-0,006	0,6-0,9	200-220
I	Растительное масло или олифа	1,0-1,5					
	Песок 1К016, 2К016 ОХМ	100 2,0-3,0	140	2,0-3,0	0,005-0,007	1,2-2,4	200-220
I-II	Песок 1К02, 2К02 УСК1	100 3	100	1,2-1,5	0,005-0,0055	1,0-1,2	200-220
I-II	ГТФ	3					
	Песок 1К02, 2К02	97	100	3,0-4,0	0,006-0,01	0,5-0,7	(4ГУ) 200-220 (ГТФ) 180-200
	Глина КПТ ₂	3					
	4ГУ или ГТФ	2,0-4,0					
III	ЛСТ	2,0-4,0	100	3,0-4,5	0,01-0,016	0,30-0,35	220-240
	Песок 2К02, 3К02	96-97					
	Глина КПТ ₂	4-3					
IV-V	ЛСТ	2,5-3,5	70	4,0-5,5	0,015-0,025	0,2-0,3	160-180
	Оборотная смесь	0-40					
	Песок 1К0315, 2К0315	56-95					
	Глина КПТ ₂ , КПТ ₂ ЛСТ	4-5 2-3					

Для предупреждения прилипания смеси к оснастке, поверхность оснастки покрывают разделительным покрытием, образующим нейтральную полимерную пленку (силиконовая жидкость, озокерит, минеральные масла и т.п.). Составы сыпучих песчано-смоляных смесей приведены в табл. 5.32.

Таблица 5.32
Составы сыпучих песчано-смоляных смесей для изготовления стержней в нагретой оснастке

Составляющие смесей	Массовая доля составляющих, %, для отливок					
	из углеродистой стали		из легированной стали		из серого чугуна	
	1	2	3	4	5	6
Песок: Об1К02	100	80	70	80	—	—
Об1К01	—	—	30	20	—	—
1К02	—	—	—	—	70	70
1К01	—	—	—	—	30	30
Смола СФП-11Л	4	5	6	5,5	4,5	5
Карбонат кальция	—	20	—	—	—	—
Пропитанный бентонит*	—	—	—	2	—	2
Оксид марганца(IV)	—	—	—	0,75	—	—
Оксид железа (III)	0,75	—	1,5	—	—	0,75
Уротропин	—	—	—	—	0,6	—
Борная кислота	—	—	—	—	0,15	—
Фторборат аммония	—	—	—	—	0,15	—
Стеарат кальция	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

* Обработка состоит в смешивании 100 % по массе бентонита с 17 % по массе жидкого стекла, последующей сушке и дроблении.

Пластичные смеси. В пластичных смесях применяются жидкие смолы и катализаторы. Вследствие меньшей текучести этих смесей для изготовления стержней пескострельным способом необходимо более высокое давление воздуха (0,5–0,7 МПа). Смесь выстреливается в нагретый стержневой ящик и быстро (5–20 с) затвердевает. При этом получают сплошные стержни. Так как при данном способе применяются более дешевые смолы, то рассматриваемый технологический процесс вполне конкурентоспособен по сравнению с получением оболочковых стержней.

Для изготовления стержней используют кварцевые пески (1К0063, 1К02) с содержанием глинистой составляющей не более 0,1 % и малым содержанием примесей. В качестве связующих применяют

различные смолы (фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, фурановые), а также органические связующие (КВС, ЛСТ и др.). Катализаторы отверждения смол бывают неорганические (соляная, серная, фосфорная и борная кислоты, сульфат и нитрат железа), органические (сульфо кислоты, щавелевая кислота) и комплексные (например, ЛСФ-А – смесь ортофосфорной кислоты с ЛСТ).

Выбор составов смесей зависит от вида сплава, массы и толщины стенки отливки, а также от необходимой длительности твердения стержней и их прочности. Примеры составов смесей приведены в табл. 5.26. Прочность смесей на разрыв в сухом состоянии для составов 1–7 составляет не менее 1,2 МПа, а для составов 8–9 – не менее 0,8 МПа.

При изготовлении стержней для стальных отливок используют наиболее термостойкие безазотистые смолы, к которым относят фенолоформальдегидные или фенольные, фенолоформальдегидофурановые или фенолофурановые смолы.

При изготовлении отливок из чугуна для изготовления стержней по горячей оснастке применяют карбамидофурановые смолы (КФ 90, КФ 40, фуритол–107, фуритол–125 и др.).

Для отливок из цветных сплавов в стержневых смесях для изготовления стержней в горячих ящиках применяют карбамидоформальдегидные или карбамидные смолы (МЗ, ВК1). Эти смолы можно использовать в стержневых смесях для тонкостенных чугунных отливок.

Приготовление смесей производится в бегунах или лопастных смесителях. Длительность перемешивания составляет 8 мин. Изготовление стержней производится пескодувным или пескострельным способами. Температура нагрева оснастки в зависимости от вида связующих составляет 220–300 °С. Длительность твердения подбирается опытным путем, исходя из получения затвердевшего поверхностного слоя стержня толщиной 3–10 мм, обеспечивающего прочность и жесткость стержня.

Составы смесей непрерывно совершенствуются с точки зрения повышения прочности стержней, ускорения твердения, повышения экологической чистоты процесса и снижения необходимой температуры нагрева оснастки. В настоящее время разработаны смеси для изготовления стержней в теплых ящиках при температуре их нагрева около 150 °С. Смеси содержат смолу, в состав которой входит 70 % фурилового спирта. В качестве катализаторов применяют воднометанольные растворы солей сульфокислот. Они при нагревании разлагаются и выделяют сильные кислоты.

5.6.4. Холоднотвердеющие формовочные и стержневые смеси

В настоящее время разработано более 100 составов ХТС для изготовления форм и стержней. ХТС можно классифицировать по виду применяемого связующего, по применяемому способу отверждения (ввод катализатора в смесь при ее приготовлении, продувка формы или стержня реагентами), по длительности цикла отверждения (с длительным циклом – 30–45 мин и коротким циклом – 5–180 с) и по реологическим свойствам смеси (пластичные, сыпучие, жидкоподвижные).

По типу связующего можно выделить смеси с неорганическими (жидкое стекло, фосфаты, кристаллогидраты), органическими (смолы, ЛСТ и др.) и комбинированными связующими (органическими и неорганическими).

Жидкостеклянные смеси – наиболее широко применяемые ХТС. Для обеспечения твердения смесей с жидким стеклом используются: продувка CO_2 , ввод в смесь двухвалентных силикатов, жидких эфиров, ферросилиция, выдержка на воздухе.

CO_2 -процесс. Освоение жидкостеклянных смесей, отверждаемых продувкой CO_2 , было начато в 1950-х гг. Эти смеси явились первыми ХТС, позволившими во многих случаях исключить сушку форм и стержней, повысить производительность труда и качество отливок, снизить их себестоимость.

На практике применяются следующие способы продувки форм и стержней углекислым газом:

- продувка через отверстия в модели и стенках стержневого ящика;
- продувка через каналы в форме по контуру модели или в знаковой части стержня (до извлечения из оснастки);
- установка на полуформу или стержневой ящик со стержнем герметизированной камеры, из которой CO_2 поступает в рабочее пространство формы или стержень;
- выдержка стержней в камере, наполненной CO_2 .

Для продувки форм и стержней применяют чистый, пищевой углекислый газ или углекислый газ, разбавленный воздухом или дымовыми газами (до концентрации CO_2 50–60 %). Прочность смеси и скорость твердения увеличиваются при повышении температуры газа.

Важными параметрами смесей являются модуль и плотность жидкого стекла, а также его содержание в смеси. В процессе продувки прочность смеси увеличивается до некоторой величины, а затем уменьшается. С увеличением модуля жидкого стекла длительность продувки до достижения максимальной прочности сокращается, но при этом сни-

Таблица 5.33

Примеры составов смесей для изготовления стержней в горячих ящиках

№мер смеси	Содержание составляющих, % по массе										Физико-механические свойства				Область применения						
	Связующие			Катализаторы				Добавки			Влажность, %	Газопроницаемость, г/л	Предел прочности образца, МПа								
	ФМС	ФФ-1С	КФ 90	КФ 35	К-27	М-3 (БК-1)	10%-й раствор НС	М	ЖСФ А	Борная кислота			Оксид железа	Серапат кальция		Серебристый графит	«Нивол»	Керосин или уайт-спирит	Масло «Вз»	сырого	отвержденного
1	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,0054	2,5-3,1	До 48	С, Ч
2	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,005	2,0-2,5	До 48	С, Ч
3	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,045	1,3-1,6	До 48	С, Ч
4	-	2,2	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0052	1,6-1,9	До 8	С, Ч
5	-	4,0	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,8	-	-	0,003	-	0,1	-	0,004	1,2-1,7	До 4	С, Ч
6	-	-	2,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	2,2-2,7	До 74	Ч
7	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-	2,4	0,7	0,1	10	10,1	-	-	0,02	2,0-2,7	До 4	А
8	-	-	-	3,0	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	1,6-1,8	До 14	А
9	-	-	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	2,5-3,2	До 4	А

Примечания:

1. Смесей № 1, 6, 7 предназначены для стержней I - III классов, смеси № 2, 3 - для стержней II-III классов, остальные смеси универсальны.

2. Области применения: С - для стального литья, Ч - для чугунного литья, А - для отливок из алюминиевых сплавов.

жаются величина максимальной прочности. Поэтому при необходимости быстрого отверждения форм и стержней при малом сроке их хранения следует применять жидкое стекло с модулем 2,6–3.

С увеличением модуля жидкого стекла падает живучесть смеси. Для сохранения пластических свойств смеси в течение нескольких суток целесообразно применять жидкое стекло с модулем 2,3–2,6. При изготовлении крупных форм и стержней, обладающих высокой прочностью, следует использовать жидкое стекло с модулем 2–2,3.

Оптимальная вязкость и содержание влаги в жидком стекле обеспечиваются при его плотности 1480–1520 кг/м³. При большей плотности ухудшается распределение жидкого стекла по зернам песка, а при меньшей плотности – снижается прочность смеси.

Обычно в смесях содержится 5–7 % жидкого стекла. При меньшем содержании стекла прочность смесей мала, а при большем – ухудшается выбиваемость смеси. Для CO_2 -процесса следует применять пески с минимальным содержанием глины, которая снижает прочность в обработанном состоянии.

ХТС с жидким стеклом истоксичны, обладают хорошей податливостью. На стальном литье при их применении получается легкоудаляемый пригар, даже без окраски формы. К недостаткам этих смесей следует отнести их плохую выбиваемость и затрудненную регенерацию. Составы и свойства типичных жидкостекольных смесей приведены в табл. 5.34.

Твердение смеси при тепловой сушке и провяливание. При сушке ХТС на жидком стекле образуется прочная структура стекловидной пленки силикатов натрия. Оптимальная температура сушки 150 °С, длительность 0,5–1,5 ч. Максимальная прочность (11 МПа) достигается при остаточной влажности 0,3 %. При пропуске горячего воздуха через смесь длительность сушки сокращается до 30–40 мин. При высушивании смеси жидкое стекло теряет влагу. При 200 °С потери влаги составляют 93 %. По мере обезвоживания жидкого стекла формируется весьма прочная стекловидная структура в виде кремнекислородного каркаса.

На практике применяют комбинацию продувки смесей CO_2 с последующей тепловой обработкой при 200 °С. При этом с повышением длительности продувки CO_2 эффективность последующей сушки падает, что приводит к уменьшению прочности и увеличению продолжительности предварительной продувки CO_2 . При выдержке на воздухе ХТС с жидким стеклом твердеют медленно (от 7 до 24 ч). Сравнительные данные А. М. Лясса по прочности и продолжительности отверждения ХТС различными способами приведены в табл. 5.35 [17].

Отверждение двухкальцевыми силикатами. Жидкостекольные ХТС, в которых для отверждения применяют двухкальцевые силикаты

Таблица 5.34

Составы и свойства быстротвердеющих смесей на жидком стекле

Номер смеси**	Массовая доля компонентов, %					Характеристики смеси			Назначение
	Кварцевый песок	Оборотная смесь	Жидкое стекло	Раствор едкого натра	Прочие	Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Прочность*, кПа	
1	95,0-94,7	-	4,0-3,3	0,5-1,5	0,5 мазута	120	3,0	(4-7)/(980-1470)	Для стержней, изготовляемых механизированным способом
2	90,5-85,0	3-6	4,5-6,0	0,5-1,5	1,5 древесных опилок	80	3,0-4,5	(11-24)/(784-1176)	Для стержней, требующих повышенной податливости
3	88,5-84,5	3-7	4,5	1,0	3 боксита	80	3,3-4,2	(5-8)/(490)	Для стержней с облегченной выбивкой из отливок
4	85,0-80,0	5-10	5,0	-	5 асбеста	120	2,8-3,0	(10-15)/(490-784)	То же
	70,0-50,0	24-43	5,0	0,5-1,5	0,5 мазута	80	3,5-4,5	(11-24)/(784-980)	»

* В числителе приведена прочность на сжатие во влажном состоянии, в знаменателе - на растяжение после продувки CO_2 .

** Смесь №2 используют при производстве отливок из чугуна, стали и цветных сплавов; остальные смеси - при производстве отливок из чугуна и стали.

(феррохромовый шлак и нефелиновый шлак), бывают двух видов: пластичные и жидкие самотвердеющие смеси.

Таблица 5.35

Прочность и продолжительность отверждения ХТС различными способами

Способ отверждения	Прочность на сжатие, МПа	Продолжительность отверждения, мин, для достижения	
		максимальной прочности	прочности 1,5–1,8 МПа
Продувка CO_2	1,6–1,8	1	1
Нагрев при 200 °С	>10	10–15	5–7
Продувка сжатым воздухом	7–8	10–15	5–7
Вакуумирование	7–8	90–120	30–40
Выдержка на воздухе при нормальных температурах	7–8	4320–5760 (3–4 сут)	420–540 (7–9 ч)

Жидкие самотвердеющие смеси обладают высокой жидкотекучестью, позволяющей им качественно заполнять стержневые ящики и пространство между опокой и моделью под действием собственного веса без применения внешних воздействий. Обеспечение высокой текучести основано на применении поверхностно-активных веществ (ПАВ). Все поверхностно-активные по отношению к воде вещества имеют асимметричную молекулярную структуру. Их молекула состоит из двух значительно отличающихся по своим свойствам частей: полярной гидрофильной группы с большим сродством к воде – на одном конце молекулы и длинной неполярной гидрофобной углеводородной группы – на другом.

Полярные группы чаще всего имеют вид $-OH$, $-NH_2$, $-COOH$, $-SO_2OH$, SO_3Na , $-O-SO_2OH$ и др. Молекулы ПАВ самопроизвольно адсорбируются из растворов на различных поверхностях раздела жидких, газообразных и твердых фаз. Адсорбция ПАВ на границе жидкость–газ приводит к снижению поверхностного натяжения жидкости и при замешивании воздуха – к пенообразованию. На рис. 5.42 схематично показаны строение молекул ПАВ, их расположение на поверхности воды и процесс образования пены [5].

Текучесть смеси при применении ПАВ объясняется пенообразованием и снижением поверхностного натяжения воды, приводящим к уменьшению сил связи между смоченными зернами наполнителя. К ПАВ, применяемым в ЖСС, предъявляются следующие основные требования: высокая пенообразующая способность и умеренная устойчивость пены (пена должна опадать за относительно короткое время, 5–20 мин).

Пенообразующая способность и устойчивость пены зависят от длины углеводородного радикала и количества содержащихся в нем атомов углерода. Низкомолекулярные ПАВ (при малом числе атомов углерода в углеводородном радикале) обладают низкой пенообразующей способностью с малой устойчивостью пены, а высокомолекулярные – высокой пенообразующей способностью с высокой устойчивостью пены. Поэтому для получения пенообразователей с оптимальными свойствами необходимо сочетать по крайней мере два вещества, выбираемые из низших и высших гомологов ПАВ.

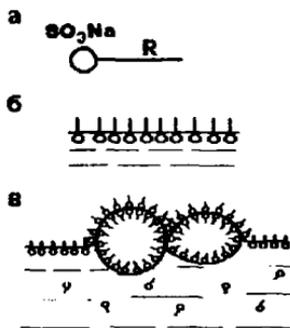
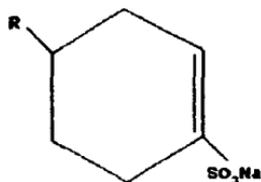


Рис. 5.42. Схемы строения молекулы ПАВ (а), расположения молекул ПАВ на поверхности воды (б) и образования пены (в)

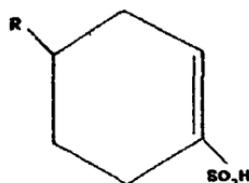
В практике приготовления ЖСС используют следующие пенообразователи:

- натриевые соли сульфокислот, получаемые из продуктов персгонки нефти (ДС-РАС – детергент советский рафинированный алкиларилсульфонат). Структурная формула ДС-РАС показана ниже. В этой формуле R – углеводородный радикал, содержащий 8–12 атомов углерода;

- смесь сульфокислот, получаемых при сульфировании керосинового или газойлевого дистиллята (контакт Петрова). В структурной формуле контакта Петрова R – радикал, содержащий 8–20 атомов углерода;



ДС-РАС



Контакт Петрова

- мылонафт (нерастворимые в воде натриевые мыла нафтеновых кислот). Формула мылонафта $C_nH_{2n-2}O_2Na$ (n колеблется от 8 до 20);
- смачиватель НВ (некаль) – натриевая соль сульфированного продукта конденсации нафталина с бутиловым спиртом;

- КЧНР – контакт черный нейтрализованный (получается из ксилола гудрона);
- НЧК – нейтральный черный контакт, по структуре близкий к ДС–РАС.

ДС–РАС обладает высокой пенообразующей способностью с повышенной устойчивостью пены. Для снижения устойчивости пены (уменьшения времени ее опадания) ДС–РАС комбинируют с НЧК, который образует быстропадающую пену и является пеногасителем. Контакт Петрова имеет повышенную, но меньшую, чем ДС–РАС, пенообразующую способность с малой устойчивостью пены. Для повышения устойчивости пены контакт Петрова комбинируют с мылонафтом. ПАВ КЧНР обладает оптимальной устойчивостью пены. Для повышения устойчивости пены при применении НЧК его комбинируют со смачивателем НБ.

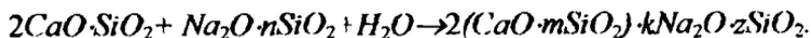
В состав ЖСС входят жидкая композиция (ПАВ, жидкое стекло и вода), наполнитель, отвердитель и различные добавки для регулирования технологических и рабочих свойств смеси.

Состав и количество жидкой композиции должны обеспечивать общую влажность смеси в пределах 4,5–5 %. Содержание жидкого стекла в смесях составляет 6–7 % при применении в качестве отвердителя феррохромового шлака и 3,5–4,5 % при использовании нефелинового шлака. В качестве пенообразователей применяют следующие ПАВ: контакт Петрова (0,5 %) + мылонафт (до 0,15 %) или ДС–РАС (0,1–0,15 %). В состав жидкой композиции вводят 1,5–2 % воды. Жидкое стекло должно иметь модуль 2,6–2,9 при плотности 1,46–1,52 г/см³. Общее содержание жидкой композиции в смесях – 5,5–10 % (сверх 100 % твердой составляющей).

В качестве наполнителей для ЖСС используют кварцевые пески групп 016–04 с содержанием глинистой составляющей не более 2 %. Могут применяться и другие наполнители указанного гранулометрического состава. Для обеспечения твердения смесей в них вводят 3–5 % феррохромового шлака или нефелинового шлака. Феррохромовый шлак имеет следующий минералогический состав: $2CaO \cdot SiO_2$ – 70 %, $MgO \cdot Al_2O_3$ и $FeO \cdot (Al, Cr)_2O_3$ – 20–25 %. Содержание CaO в феррохромовом шлаке должно быть не менее 48 %, влажность – не более 1,5 %, удельная поверхность частиц шлака – не ниже 1800–2000 см²/г.

Нефелиновый шлак (побочный продукт производства глинозема из нефелиновых руд) содержит 80–85 % $2CaO \cdot SiO_2$. В нем должно содержаться не менее 53 % CaO (удельная поверхность зерен – 7500–8000 см²/г).

Твердение смесей является следствием обменных реакций между жидким стеклом и силикатом кальция. На первом этапе силикат кальция растворяется в жидком стекле. В растворе происходит взаимодействие в соответствии с реакцией



Раствор оказывается пересыщенным образующимися гидросиликатами, которые, выделяясь из раствора, обеспечивают связку зерен наполнителя. Состав гидросиликатов по мере твердения смеси изменяется в сторону повышения их основности, постепенно приближаясь к равновесному составу. Одновременно изменяется состав жидкой фазы, модуль которой M понижается. Равновесные составы образуются после длительного периода твердения — 1–3 суток. Образование гидросиликатов в процессе твердения смеси сопровождается поглощением SiO_2 из жидкой фазы. Поэтому ее модуль изменяется от 2,9 (при модуле жидкого стекла 2,9) в начале твердения до 0,5 — в конце. Величина прочности смеси находится в прямой зависимости от количества образовавшегося гидросиликата.

Наращение прочности ЖСС во времени характеризуется наличием инкубационного периода τ_n , величина которого зависит от продолжительности достижения предельной растворимости гидросиликатов в жидком стекле. С увеличением концентрации жидкого стекла в смеси эта продолжительность увеличивается, что приводит к возрастанию τ_n . Увеличение количества отвердителя и его удельной поверхности приводит к снижению τ_n . С величиной τ_n связана живучесть смеси. Для обеспечения качественного заполнения опок и стержневых ящиков живучесть смеси должна быть не менее 2–3 мин. Характер изменения пластической прочности ЖСС в процессе твердения показан на рис. 5.43.

Для обеспечения необходимых технологических свойств ЖСС нужно, чтобы длительность опадания пены (устойчивость пе-

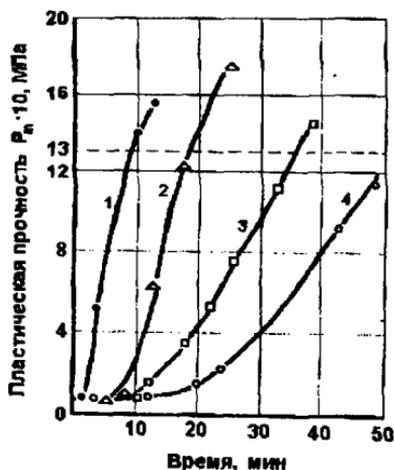


Рис. 5.43. Кинетика изменения пластической прочности ЖСС при различной удельной поверхности феррохромового шлака

ны) τ_y была несколько выше длительности инкубационного периода твердения τ_u [5]. При этом исключается усадка смеси, так как пена начинает опадать в период твердения смеси. Если τ_y несомненно больше τ_u , то газопроницаемость смеси в процессе опадания пены увеличивается относительно быстро. Если же $\tau_y \gg \tau_u$, то газопроницаемость нарастает медленно, что технологически нецелесообразно. Кроме того, с увеличением устойчивости пены плотность и прочность ЖСС снижаются. Для ускорения твердения в смеси вводят фенолоформальдегидные смолы (0,3–0,4 %) при применении низко- и среднемодульного жидкого стекла ($M < 2,8$). К недостаткам ЖСС относятся высокая прилипаемость к поверхностям модели или стержневого ящика, трудная выбиваемость, хотя и лучшая, чем у обычных жидкостекольных смесей, большая пригораемость из-за высокой пористости форм. ЖСС имеет повышенную склонность к деформации и разрушению при температуре выше 900 °С, поэтому во избежание обгара формы время заливки форм для отливок толщиной 80–100 мм не должно превышать 2,5 мин, а при толщине 100–200 мм – 2 мин.

Для уменьшения прилипаемости ЖСС к оснастке ее рабочие поверхности окрашивают краской или покрывают лаком и применяют разделительные покрытия (мазут, керосин и т.п.). Для устранения прилипания к металлической оснастке используют разделительное покрытие, состоящее из 94–97 % дизельного топлива, стеариновой кислоты и церезина.

Для обеспечения получения качественной поверхности отливок применяют водные противопожарные краски, а для борьбы с пригаром на поверхности массивных узлов наносят 2 слоя краски: проникающую краску на основе дисперсных (10–20 мкм) огнеупорных материалов, а затем – обычную покровную краску.

Вопросы улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей будут рассмотрены ниже. Типичные составы ЖСС приведены в табл. 5.36, а их основные характеристики – в табл. 5.37.

ЖСС широко применяются в индивидуальном и крупносерийном производстве для изготовления стержней, режее – форм. Изготавливают ЖСС в лопастных смесителях, которые обеспечивают захват воздуха, необходимого для пенообразования.

Пластичные самотвердеющие смеси (табл. 5.38, 5.39) готовят в две стадии. Сначала готовят базовую смесь без феррохромового шлака. На участке формовки ее в количестве, необходимом для изготовления одной формы, подают в смеситель, где перемешивают с 2–5 % феррохромового шлака. Затем смесь в течение 45–60 с подается в опоку и распределяется по модели как облицовочная. После заполнения опоки наполнительной смесью форма уплотняется встряхиванием. Через

30 мин после удаления модели на поверхность формы наносят покрытие, а через 4–6 ч заливают форму сплавом.

Таблица 5.36

Составы ЖСС				
Компоненты смеси	Номер смеси, массовая доля компонентов, %			
	1	2	3	4
Кварцевый песок	95–97	95–97	97	97
Феррохромовый шлак ($S_{\text{уд}}=2000\div 2500 \text{ см}^2/\text{г}$)	3–5	3–5	–	–
Нефелиновый шлак ($S_{\text{уд}}=7000\div 2500 \text{ см}^2/\text{г}$)	–	–	3	3
Жидкое стекло ($M=2,6\div 2,8$, $\rho=1,48\text{--}1,50 \text{ г/см}^3$)	6–7	6–7	3,5–4,5	3,5–4,5
Вода	1,5–2,0	1,5–2,0	1,5–2,0	1,5–2,0
Пеииобразователь: контакт Петрова	0,5	–	0,5	–
мылонафт	0–0,15	–	0–0,15	–
ДС-РАС	–	0,1–0,15	–	0,1–0,15

Таблица 5.37

Характеристики ЖСС

Показатель	Номер смеси			
	1	2	3	4
Прочность при сжатии, МПа, через: 1 ч 3 ч 24 ч	0,25–0,55	0,25–0,55	0,20–0,35	0,20–0,35
	0,50–0,85	0,50–0,85	0,50–0,65	0,50–0,65
	0,80–1,30	0,80–1,30	0,70–1,25	0,70–1,25
Устойчивость пены, мин	3–20	3–20	3–5	3–5
Газопроницаемость, сд. через: 1 ч 24 ч	200–250	70–80	200–250	70–80
	400–500	300–500	400–500	400–500

Жидкостекольные ЖТС с жидкими отвердителями. Прочие виды отвердителей. Рассмотренные выше способы отверждения жидкостекольных смесей обеспечивают их необходимую прочность при повышенных (5–7 %) расходах жидкого стекла, что приводит к ухудшению выбиваемости смеси и увеличению ее пригораемости к отливкам.

Применение жидких отвердителей (сложных органических эфиров, или альдегидов, фтористых отвердителей, кремниевой кислоты и т.д.) позволяет снизить расход жидкого стекла до 2,5–4 % и в 1,5–2 раза улучшить выбиваемость форм и стержней. С использованием этой тех-

нологии в Англии изготавливается 600 тыс. т отливок в год, а в США – 150 тыс. т.

Таблица 5.38

Составы пластичных жидкостекольных самотвердеющих смесей

Компоненты смеси	Номер смеси, массовая доля компонентов, %		
	1	2	3
Кварцевый песок*	87,5–80,5	85,5–80,0	89,5–80,0
Формовочная глина	2–4	4–5	–
Каменноугольная пыль	–	3–4	0–4
Жидкое стекло	6–8	5–7	4–6
Раствор едкого натра ($\rho=1,48-1,50 \text{ г/см}^3$)	0,5–1,5	0,5–1,0	0,5–1,0
Феррохромовый шлак	4–6	2–3	4–6

* При изготовлении формовочных смесей допускается замена части кварцевого песка регенератом.

Таблица 5.39

Характеристики ЖСС

Наименование	Номер смеси		
	1	2	3
Влажность, %	3,5–4,0	3,5–4,0	3,4–3,8
Газопроницаемость, ед.	120	100	120
Прочность при сжатии, кПа:			
до введения шлака	12	12	7
после введения шлака	20	20	13
Прочность при растяжении, кПа, через:			
1 ч	80	70	100
2 ч	150	130	150
3 ч	230	200	250
Назначение смеси	Облицовочная для стальных отливок	Облицовочная для чугунных отливок	Стержневая для стальных и чугунных отливок

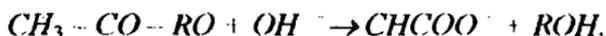
Наиболее распространенными жидкими отвердителями являются сложные органические эфиры, или альдегиды. Такие отвердители, как диацетин, триацетин, люноацетин, – эфиры уксусной кислоты и глицерина или этиленгликоля. Отвердитель пропиленкарбонат представляет собой сложный эфир угольной кислоты и пропиленгликоля. Живучесть ХТС с этим отвердителем – 7–15 мин, прочность на сжатие через 1 ч твердения при содержании жидкого стекла 3–2,5 % составляет 1–1,5 МПа. Смеси с эфирами отличаются высокой текучестью и хорошо уплотняются с применением вибрации. Эти смеси могут быть жидкопод-

вижными и пластичными. К недостаткам смесей с жидкими отвердителями относится их относительно малая живучесть, а также повышенная гигроскопичность.

Механизм действия сложных эфиров сводится к следующему. В щелочной среде происходит гидролиз (омыление) сложного эфира с образованием спирта и кислоты. Кислота вызывает гелеобразование жидкого стекла. При применении пропиленкарбоната получится угольная кислота, которая при взаимодействии с жидким стеклом образует гель кремниевой кислоты $Si(OH)_4$:



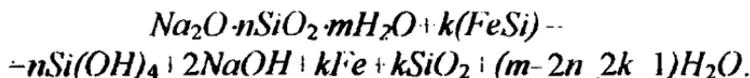
В общем виде реакцию гидролиза сложного эфира можно записать следующим образом:



где R – углеводородный радикал.

Расход жидкого отвердителя в смесях составляет 10–12 % от массы жидкого стекла. Номенклатура жидких отвердителей непрерывно растет. В качестве примера можно привести следующий состав жидкостекляной смеси с жидким эфиром: 96–97 % кварцевого песка, 3–4 % жидкого стекла, 0,3–0,4 % жидкого эфира. Через 1 ч твердения прочность этой смеси на сжатие достигает 0,3–0,7 МПа.

Среди простых методов отверждения жидкостекляных смесей следует отметить продувку смеси нагретым воздухом, вакуумирование, применение в качестве отвердителей ферросилиция, микрокапсул с водным раствором $CaCl_2$, натриевых квасцов, продувку HCl , SO_2 , SO_3 и др. Механизм действия всех отвердителей сводится к образованию при взаимодействии с жидким стеклом геля кремниевой кислоты $Si(OH)_4$. Например, при применении ферросилиция реакция образования геля имеет вид



Важной проблемой при использовании жидкостекляных смесей является улучшение их выбываемости. Для этого применяют ввод специальных добавок в смесь и изготовление пустотелых (оболочковых) стержней. Неорганические добавки (глина, оксиды и гидроксиды алюминия, шамот, боксит, фосфаты, перлит, вермикулит и др.) повышают

температуру начала спекания смеси. Добавки применяют в количестве 0,5–0,2 %.

Большинство органических добавок снижают прочность смесей после прогрева до 800 °С и улучшают выбиваемость чугунных отливок. Чаще всего применяются: каменноугольный порошок, кокс, древесные опилки, графит, смолы, ЛСТ, различные нефтепродукты. Такие органические добавки, как резольные и каменноугольные смолы, мазут, при содержании в смесях в количестве 0,5–1 % снижают их прочность при нагреве до 1200 °С и улучшают выбиваемость стержней из чугунных отливок. В настоящее время разработано много способов улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей [42].

Холоднотвердеющие смеси с лигносульфонатами. ХТС с лигносульфонатами обладают, в отличие от жидкостекольных смесей, хорошей выбиваемостью. Чаще всего применяются ХТС с лигносульфонатами, отверждаемые хромовым ангидридом CrO_3 . Под действием окислителя CrO_3 возникают свободные феноксирадикалы лигносульфонатов, которые образуют сетчатую структуру, связывающую зерна наполнителя. Чаще всего применяются жидкоподвижные самотвердеющие смеси. Для повышения термостойкости смеси в нее добавляют глину в количестве до 3 %. При большом глиносодержании снижается текучесть ЖСС. По этой же причине содержание отработанной нерегенерированной смеси не должно превышать 30 %.

Предварительно готовят две жидкие композиции смеси, состоящие:

- 1) из ЛСТ, ПАВ и воды (плотность композиции 1130–1150 кг/м³);
- 2) раствора CrO_3 в воде в соотношении 1:2 (плотность раствора 1290 кг/м³).

Хромовый ангидрид является токсичным веществом, поэтому подготовка композиции должна осуществляться в отдельном помещении при применении высокомеханизированного и автоматизированного оборудования.

ЖСС с ЛСТ готовят в смесителях периодического и непрерывного действия, отдавая предпочтение последним. Во время приготовления ЖСС сначала в течение 1–2 мин перемешивают песок, глину, отработанную смесь, затем заливают композицию 1, а через 1–2 мин заливают композицию 2 и перемешивают 1–1,5 мин до достижения смесью текучести.

Для восстановления газопроницаемости стержни и формы подвергают сушке при 160–180 °С до остаточной влажности 1,5 %. При сушке гель обезвоживается и становится хрупким, а плески пены растрескиваются, что повышает газопроницаемость. Прочность смеси уве-

личивается не сразу, а через 10–20 мин. Примеры составов ЖСС с ЛСТ и CrO_3 и их характеристики приведены в табл. 5.40, 5.41.

Таблица 5.40

Примеры составов ЖСС с ЛСТ

Компоненты смеси	Номер смеси, массовая доля компонентов, %				
	1	2	3	4	5
Кварцевый песок 02, 0315	97–98	100	97–98	100	100
Глина	2–3	–	2–3	–	–
ЛСТ ($\rho = 1260 \text{ кг/м}^3$)	5	5	5	5	5
Хромовый ангидрид	0,5–0,6	0,5–0,6	0,5–0,6	0,3–0,4	–
Вода	3,0–3,5	3,0–3,5	3,0–3,5	3,0–3,5	3,0–3,5
КЧНР	0,3–0,5	0,3–0,5	0,3–0,6	0,3–0,6	0,3–0,6
Катализатор $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ или др.	–	–	–	0,1–0,4	0,2
Феррохромовый шлак	–	–	–	–	0,5–1,0
Персульфат аммония	–	–	–	–	0,6–0,7

Таблица 5.41

Характеристики смесей ЖСС с ЛСТ

Показатель	Номер смеси				
	1	2	3	4	5
Текучесть	95–105	104–110	105–108	100–110	100–110
Прочность при сжатии					
МПа, через: 1 ч	0,19–0,22	0,18–0,19	0,16–0,24	0,16–0,24	0,16–0,22
2 ч	0,25–0,30	0,21–0,25	–	–	–
3 ч	–	–	0,35–0,45	0,35–0,45	0,35–0,45
4 ч	0,39–0,45	0,33–0,40	–	–	–
Газопроницаемость через 1 ч, ед.	180–300	107–300	80–160	180–300	80–160

Для уменьшения количества или исключения из состава смесей токсичного хромового ангидрида разрабатываются новые отвердители этих смесей. Например, при добавке хлорида меди $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, сульфата меди $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и хлорида железа $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ в количествах соответственно 0,1; 0,2; 0,4 % можно снизить содержание CrO_3 в два раза. При применении в качестве отвердителя смеси персульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$ и феррохромового шлака CrO_3 вообще исключается из состава смесей.

Холоднотвердеющие смеси с синтетическими смолами. Широкое применение синтетических смол в качестве связующих материаль-

лов для формовочных и, главным образом, стержневых смесей при любом характере производства объясняется возможностью получать высокую прочность при минимальном (1–2 %) расходе связующего, а также в широких пределах регулировать прочность и скорость твердения смеси. ХТС со смолами обладают высокой текучестью и легко уплотняются на пескоструйных и пескострельных машинах, вибрацией и прессованием при небольшом давлении. Стержни из этих смесей имеют хорошую податливость, выбиваемость, регенерируемость и малую гигроскопичность. При применении ХТС со смолами сокращается цикл производства и улучшается качество поверхности отливок. Для исключения их прилипания к оснастке ее защищают фторолоновым или кремнийорганическим покрытием.

С точки зрения термостойкости смесей, уменьшения их газотворности и обеспечения высокой прочности при минимальном расходе связующего предпочтительными являются фенолоформальдегидные и карбидоформальдегидные смолы с высоким содержанием фурилового спирта.

Для приготовления смесей применяют обогащенные кварцевые пески с содержанием глинистой составляющей менее 0,1 %. Для снижения расхода смолы ее активируют, вводя в нее 0,1–0,2 % силана, этилсиликата, обрабатывая электрическими полями. Для уменьшения расхода смолы целесообразно предварительно перемешивать песок с отвердителем, затем высушивать до влажности 0,2–0,4 % и после этого вводить смолу.

Недостатком ХТС со смолами является высокая стоимость смесей. При применении этих смесей выделяются токсичные вещества (фенол, формальдегид), что повышает требования к соблюдению условий обеспечения безопасности жизнедеятельности работников.

Продолжительность отверждения зависит от реакционной способности смолы, вида и количества отвердителя, их соотношения и температуры. Обычно она колеблется от нескольких секунд до 1–3 ч. Для отверждения смесей применяются следующие способы:

1. Добавка в смесь 65–85 % растворов кислот: ортофосфорной (ОК), бензосульфокислоты (БСК), паратолуолсульфоновой кислоты и др. Фосфорная кислота применяется в ХТС с карбамидоформальдегидными и карбамидофурановыми смолами. ХТС с фенольными и фенолофурановыми смолами отверждаются сульфокислотами. Продолжительность твердения смеси – 20–60 мин. Содержание отвердителя – 40–70 % от массы смолы.

Отверждение ХТС сопровождается значительным тепловым эффектом (42–63 Дж/г смеси). Поэтому продолжительность отверждения зависит от массы стержня и материала оснастки. Лучше сохраняется тепло, а следовательно, и выше скорость твердения смеси при примене-

нии деревянной оснастки. Для ускорения отверждения ХТС металлическую оснастку целесообразно нагревать до 30–40 °С.

2. Отверждение аминами. Этот метод применяется при использовании фенолоформальдегидных смол и сводится к продувке стержня третичными аминами, например триэтиламиноом ($(C_2H_5)_3N$ или триметиламиноом ($(CH_3)_3N$), либо смесью аминов в течение 5–15 с. Расход амина составляет 0,07 % от массы стержня. В смесь, кроме смол, вводят изоцианаты. В результате взаимодействия смолы с изоцианатом и амином образуются полиуретаны.

3. Продувка смеси сухим воздухом. При этом из смолы удаляются растворитель и низкомолекулярные продукты поликонденсации. Время продувки – 1,5–4,5 мин. Влажность воздуха должна быть не более 75 %. Этот способ применяется для изготовления стержней массой 6–50 кг.

4. Вакуумирование. При использовании данного метода происходит отсос продуктов, образующихся при поликонденсации смолы.

5. Продувка SO_2 (SO_2 -процесс). В смесь, кроме фурановой и эпоксидной смол, вводится перекисное соединение, которое окисляет SO_2 до SO_3 . В качестве перекисных соединений применяют пероксид водорода, простой эфир, альдегид и др.

Существуют и другие методы отверждения ХТС со смолами [17].

Наиболее широко применяются ХТС с фурановыми смолами (мочевиноформальдегидные, карбамидоформальдегидные смолы, модифицированные фуриловым спиртом). Из фурановых смол наиболее распространены мочевиноформальдегидные смолы, модифицированные 40–90 %-м раствором фурилового спирта. В качестве отвердителей чаще всего используют фосфорную кислоту, реже – органические сульфокислоты.

На практике применяются также ХТС с фенолоформальдегидными, алкидными, полиэфирными и другими смолами. Для обеспечения повышенной живучести, что очень важно для индивидуального и мелкосерийного производства, разработаны составы ХТС с водоземulsionной смолой марки СФЖ–301 и глиной (табл. 5.42, 5.43), которые обеспечивают живучесть в пределах 30–100 мин. Типичные составы ХТС на основе различных смол, их характеристики приведены в табл. 5.44, 5.45.

Для изготовления стержней стальных и чугуновых отливок наиболее часто используют фенольные, фенолофурановые и карбамидофурановые, карбамидоформальдегидные смолы. Карбамидные смолы из-за низкой термостойкости и высокого содержания азота в чистом виде при изготовлении ХТС для чугуновых и стальных отливок не применяются.

Приготовление ХТС со смолами осуществляют в смесителях периодического и непрерывного действия. При приготовлении смеси в

Таблица 5.42

Составы пластичных ХТС

Компоненты смеси	Номер смеси, массовая доля компонентов, %		
	1	2	3
Кварцевый песок 2К0315	97	97	97
Глина формовочная КП2Т ₂	3	3	3
Смола марки СФЖ-301	2,5	2,5	2,5
Катализатор ПТСК (70 %-й водный раствор)	0,5-0,6	0,5	0,5-0,6
Вода	0,5-1,0	0,5	0,5-1,0
Нитрит натрия	-	0,02-0,04	-
Гидрокарбонат натрия	-	-	0,02-0,04

Таблица 5.43

Характеристики пластичных ХТС

Наименование	Номер смеси		
	1	2	3
Живучесть смеси, мин	32-50	60-75	93-100
Прочность при сжатии в период живучести, МПа	0,12-0,20	0,15-0,19	0,15-0,19
Прочность при разрыве через 24 ч, МПа	0,56-0,80	0,56-0,72	0,56-0,72
Газопроницаемость, ед.	80-100	80-100	80-100
Осыпаемость, %	0,08-0,12	0,18	0,17

Таблица 5.44

Составы песчано-смоляных холоднотвердеющих смесей

Номер смеси	Массовая доля компонентов, %		
	Песок марок Об1К, Об2К, 1К	Связующее	Катализатор
1	97,6-96,8	2,0-2,5 ФФ-1ФМ	0,4-0,7 БСК, ПТСК
2	97,4-96,6	2,0-2,5 ФФ-1Ф	0,6-0,9 БСК, ПТСК
3	97,8-96,1	2,0-2,5 ОФ-1	1,2-1,4 БСК, ПТСК
4	97,4-96,6	2,0-2,5 СФ-3042	0,6-0,9 БСК
5	96,6	2,0 ОФ-1	1,5 БСКМ
6	96,1-95,9	2,5 ФФ-1Ф	1,4-1,6 БСКМ*
7	97,0-96,9	1,9-2,0 БС-40	1,1 ОК
8	97,3-97,2	1,9-2,0 БС-40	0,8 ОК
9	97,5-97,4	1,9-2,0 БС-40	0,6 ОК
10	97,3-97,2	2,0 фуритола-107	0,7-0,8 ОК
11	97,5-96,9	2,0-2,5 ОФ-1, М-3,УСК	0,5-0,6 ОК

* Вводят в смесь с 0,2-0,4 % силана 112 23.

Таблица 5.45

Характеристики песчано-смоляных холоднотвердеющих смесей

Номер смеси	Живучесть, мин	Время отверждения, мин	Прочность на сжатие*, кПа	Область применения
1	10-12	15-30	(400-600)/>3500	В мелкосерийном производстве отливок из чугуна и стали
2	5-6	10-15	(400-600)/ -	То же
3	8-9	-	(1000-1200)/(2400-2600)	«
4	-	40	600/2000	«
5	0,1-0,2	0,5-0,7	2100/2000	В крупносерийном и массовом производстве отливок из чугуна и стали
6	0,1-0,2	0,5-0,7	3300/>4200	То же
7	2	4	(900-1300)/(1100-1400)	При производстве чугунных отливок до 40 кг
8	3	10	(800-1100)/(1200-1500)	То же, массой 41-250 кг
9	5-8	35-40	(600-800)/(1300-1600)	То же, массой 251-1500 кг
10	5-8	35-40	(50-60)/(280-300)	То же, массой более 1500 кг
11	3-5	6-8	(150-250)/(500-600)	При производстве отливок из сплавов цветных металлов

* В числителе приведена прочность после выдержки в течение 1 ч, в знаменателе - после выдержки в течение 24 ч.

смесителях периодического действия сначала перемешивают песок с отвердителем (до 2 мин), затем добавляют смолу и перемешивают еще 1-3 мин. Для приготовления ХТС с фурановыми смолами применяют двухстадийные смесители. На первой стадии в двух смесителях перемешивается песок с отвердителем и песок со смолой. На второй стадии в третьем смесителе осуществляется окончательное приготовление смеси путем перемешивания содержимого первых двух смесителей.

При работе со смолами необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Смолы и отвердители должны храниться в герметичной таре при температуре не ниже 10 °С. При работе необходимо пользоваться защитными очками и перчатками. Так как при отвержде-

нии ХТС и при контакте ее с металлом выделяются токсичные газы, должны применяться эффективные методы очистки воздуха.

Холоднотвердеющие смеси с фосфатными связующими. ХТС с железосфатными, магнийсфатными и алюмосфатными связующими все шире применяются для изготовления песчаных форм для чугунного и стального литья. Эти смеси имеют высокую термостойкость (до 1150 °С), выделяют мало газов, хорошо выбиваются из отливок, нетоксичны, недефицитны, легко регенерируются. Характеристика различных фосфатных связующих дана в п. 5.3.6. Наибольшую термостойкость (до 1380 °С) имеют магнийсфатные связующие. Они пригодны для изготовления крупных стальных отливок. Типичные составы смесей на фосфатных связующих и их характеристики приведены в табл. 5.46 – 5.48.

Таблица 5.46
Типичные составы железосфатных и магнийсфатных ХТС

Компоненты смеси	Номер смеси, массовая доля компонентов, %			
	1	2	3	4
Кварцевый песок	100	–	100	100
Циркон	–	100	–	–
Металлургический порошок пассивированный	1,2–1,6	–	–	–
Плавный магнезит	–	1,2–1,6	–	–
Магнезитохромит	–	–	6–7	–
Фосфорная кислота	2,5–3,2	2,0–2,2	5–6	3–5
Оксиды железа	–	–	–	4–7

5.6.5. Смеси для специальных технологических процессов

В последние десятилетия разработаны новые методы литья и формообразования: литье по газифицируемым моделям, вакуумно-пленочная формовка, литье в замороженные формы и др. При реализации этих методов применяются соответствующие формовочные смеси.

Смеси для литья по газифицируемым моделям. При литье по газифицируемым моделям материал модели (пенополистирол) выжигается перед заливкой или газифицируется в процессе заливки формы сплавом. В единичном производстве отливок применяются обычные смеси. Противопригарные покрытия наносятся на газифицируемую модель.

Для изготовления мелкого и среднего литья из железоуглеродистых (до 500 кг) и алюминиевых (до 100 кг) сплавов используют формы

Таблица 5.47

Физико-механические свойства ХТС

Показатель	Номер смеси			
	1	2	3	4
Живучесть, мин	14-16	35-40	10-12	-
Прочность на сжатие, МПа, через:	1 ч	0,8-1,0	0,7-0,8	0,7-0,9
	4 ч	2,0-2,2	2,5-2,8	1,9-2,1
	24 ч	3,0-3,2	5,0-5,6	2,7-3,0

Таблица 5.48

Типичные составы ХТС с алюмофосфатным и алюмомагнийфосфатным связующими

Компоненты смеси	Номер смеси, массовая доля компонентов, %	
	1	2
Кварцевый песок К02, К0315	93,5	93,5
Свяшующее: алюмофосфатное магнийалюмофосфатное	3,5	-
	-	3,5
Отходы электросталеплавильного производства	3,0	3,0

Таблица 5.49

Физико-механические свойства ХТС

Показатель	Номер смеси	
	1	2
Живучесть, мин	10	13
Прочность при растяжении, МПа, через:	1 ч	0,44
	24 ч	1,00
Осыпаемость, %	0,05	0,01
Газотворность при 100 °С, см ³ /г	2,0	2,0

из сыпучих огнеупорных материалов, уплотняемых вибрацией. Для отливок массой до 150 кг применяют ферромагнитные материалы (литую стальную или чугунную дробь) с фиксированием рабочей полости формы магнитным полем.

При вакуумировании формы изготавливают по пенополистироловым моделям из песка без добавки связующего.

При вакуумно-пленочной формовке формовочным материалом служат огнеупорные мелкозернистые наполнители, зерновой состав которых выбирают, исходя из требований чистоты поверхности отливок и требуемой газопроницаемости формы. Для обеспечения высокой текучести рекомендуются пески с округлой формой зерен. Уплотнение песка производится вибрацией.

Для предотвращения пригара пленку, наложенную на модель, окрашивают противопригарными красками в 2–3 слоя с засыпкой сухим материалом слоем толщиной более 4 мм.

Формовочные смеси для замороженных форм. Основным связующим в замороженных формах является вода, которая при охлаждении до отрицательных температур затвердевает, прочно связывая зерна песка. Замороженная форма должна сохранять свою прочность в течение времени, необходимого для сборки и заливки формы, а также образования достаточно жесткой корки затвердевшего сплава в отливках. Так как в процессе заливки в поверхностных слоях формы лед быстро расплавляется и испаряется, в формовочной смеси должно содержаться не менее 0,5 % глины. Влажность формовочных песков для получения замороженных форм выбирают в пределах 3–6 %. При температуре замороженных форм $(-40) \div (-50)^\circ\text{C}$ обеспечивается прочность на сжатие не ниже 1–2 МПа.

Формовочные смеси обладают высокой газопроницаемостью во всем диапазоне отрицательных температур. Уплотнять формы можно вибрацией и пескоструельным способом с подпрессовкой.

5.6.6. Регенерация формовочных смесей и песков

В среднем на каждую тонну изготавливаемых отливок расходуется до 5 т формовочных и стержневых смесей. Отработанная смесь, пройдя некоторую регенерацию, используется многократно, образуя главную составляющую многих формовочных смесей. Максимальное использование отработанных смесей в литейном производстве не только обусловлено экономическими и технологическими соображениями, но и необходимо с экологической точки зрения, так как многие смеси содержат вредные вещества и хранение их в отвалах недопустимо.

Хотя содержание свежих материалов в рецептуре песчано-глинистых смесей невелико, расход песков на 1 т литья составляет в среднем 810 кг (по данным 1984 г.) и непрерывно увеличивается (на некоторых заводах он достигает 1500 кг на 1 т литья). Увеличение расхода песка связано с внедрением процессов получения отливок с использованием жидкостекольных смесей, жидких самотвердеющих смесей и ХТС с синтетическими смолами. Например, при применении ХТС со смолами расход песка увеличивается до 3 т, а при использовании ЖСС – даже до 6 т на 1 т литья.

Указанная тенденция находится в противоречии со снижением разведанных запасов песка и ростом его дефицитности. Поэтому в настоящее время большое значение придается регенерации песков, под которой понимают извлечение зерновой основы песка из отработанной смеси.

Регенерация и повторное использование отработанных смесей. В процессе теплового и физико-химического взаимодействия смеси с формирующейся отливкой смесь претерпевает ряд изменений (растрескивание зерен песка, шамотизация глины, накопление пыли, образование комков, появление сплесков и включений заливаемого в форму сплава и т.д.). При многократном использовании отработанной смеси в ней накапливаются различные технологически и экологически вредные примеси (например, Na_2O в жидкостекольных смесях).

Процесс подготовки отработанной смеси к повторному использованию называется *регенерацией* смеси. Он включает в себя охлаждение смеси после выбивки отливок, удаление включений металла (чаще всего путем магнитной сепарации), размалывание комков, просеивание, обеспыливание и аэрацию отработанной смеси.

Толщина слоя формовочной и стержневой смеси, в котором происходят необратимые изменения, зависит от температуры заливаемого сплава, толщины стенки отливки, теплофизических свойств формовочной смеси, времени выдержки отливок до выбивки. Для средних машиностроительных отливок толщина этого слоя составляет 25–30 мм, или около 5 % от объема формы. Основная масса смеси практически не претерпевает изменений и может быть использована повторно после частичной регенерации.

Наиболее просто повторно использовать пески при изготовлении форм вакуумно-пленочной формовкой и применении замороженных форм, так как в данных смесях практически отсутствуют связующие материалы. При изготовлении отливок в сырых песчано-глинистых формах в состав единых смесей включают 90–95 % частично регенерированной оборотной смеси, в облицовочных смесях содержание оборотной смеси составляет 20–60 %, наполнительная смесь почти на 100 % состоит из оборотной смеси. В песчано-глинистых смесях для формовки по-сухому повторно используется 40–60 % оборотных смесей в облицовочных смесях и 75–100 % – в наполнительных.

При применении жидкого стекла на зернах песка образуется прочная пленка геля кремниевой кислоты, что делает невозможным повторное использование такой смеси без полной регенерации песка. В стержневых смесях оборотная смесь в данном случае не используется, а в облицовочных смесях ее содержание не превышает 30 %. Особенно сильно ухудшаются свойства ЖСС на жидком стекле (увеличивается осыпаемость, снижаются прочность и текучесть) при применении отработанных смесей. В ХТС с ЛСТ можно использовать до 50–60 % оборотной смеси или 25–30 % возврата песчано-глинистых смесей.

В смесях с органическими связующими, особенно с синтетическими смолами, связующее частично выгорает, а частично коксуеться, образуя золу и мелкие частицы углерода. Эти вещества покрывают зер-

на песка, заполняют поры смеси, снижая ее газопроницаемость. Поэтому в ХТС с синтетическими смолами оборотные смеси не используются. Если в цехе одновременно применяются смеси на разных связующих, то смешивание оборотных смесей может привести к резкому снижению качества формовочных и стержневых смесей. Недопустимо смешение оборотных песчано-глинистых, жидкостекольных и песчано-смоляных смесей.

Широкое внедрение песчано-смоляных смесей невозможно без повторного использования регенерированных отработанных смесей. Это снижает потребность в свежем кварцевом песке и исключает выбрасывание токсичных отработанных смесей в отвалы. Таким образом, жидкостекольные и песчано-глинистые смеси необходимо подвергать регенерации.

Регенерация песка. В ходе регенерации песка производится извлечение его зерновой основы из отработанной смеси. Различают механическую, гидравлическую, термическую, химическую и естественную регенерацию, а также их комбинации. Укрупненно весь технологический процесс регенерации можно разделить на четыре этапа:

- подготовка отработанной смеси, включающая описанные выше операции, применяемые при регенерации смеси;
- отделение пленки связующего от поверхности зерен песка;
- удаление пылевидных фракций из зерновой основы песка, т.е. сепарация;
- классификация зерен песка по фракциям.

При механической регенерации отделение пленки связующего от зерен песка осуществляется путем разрушения пленки механическим перетиранием, механическим ударом или пневмоударом. Для этого используются установки валкового типа, бегуны с катками, облицованными резиной, шаровые мельницы. В них происходит трение частиц песка друг о друга и о рабочие органы установок. При регенерации ударом или пневмоударом удаление пленки происходит за счет развития напряжений при столкновении разогнанных до больших скоростей частиц песка с преградой. Применяют оттирку кипящего слоя зерен песка при их трении о вращающиеся абразивные круги.

При термической регенерации смесь нагревают в печах (барабанных, шахтных, кипящего слоя) до температуры 650–1000 °С в окислительной атмосфере, выдерживают ее при этой температуре и охлаждают. При такой температуре выгорают углеродсодержащие составляющие песчано-смоляных смесей, а коксовый остаток и другие мелкие примеси удаляются при последующей сепарации.

При гидрорегенерации пленка связующего отмывается в оттирочных машинах (смесь и вода интенсивно перемешиваются в проточной воде в гидроциклонах). Иногда этот процесс совмещают с химическим воздействием кислоты или щелочи. После обработки песка производится его обезвоживание выстаиванием в специальных резервуарах, центрифугированием, вакуумированием. Полностью вода удаляется при сушке во вращающихся барабанах или в кипящем слое.

При естественной регенерации смесь вылеживается в атмосферных условиях несколько лет. При этом происходят термическое (вызванное колебаниями температуры воздуха) и биологическое удаление пленки связующего.

К комбинированным методам регенерации относятся гидротермический, термомеханический, гидротермомеханический и др.

Заключительным этапом регенерации является сепарация, т. е. разделение зерновой основы песка и пылевидных фракций. Чаще всего для этого используют пневмосепараторы. Смесь через трубу снизу подается воздухом со скоростью 18–20 м/с. По выходе из трубы при расширении потока скорость воздуха резко снижается (до 4–6 м/с). При этом крупные частицы падают в сборник, а более мелкие уносятся вверх, где с помощью лопаток получают вращательное движение. Крупные частицы этой фракции вследствие центрифугирования отбрасываются на периферию и удаляются. Мелкие же частицы задерживаются воздухофильтрами. Для этих же целей применяются методы электросепарации. Более подробно установки для регенерации смесей рассматриваются в курсе «Оборудование литейных цехов».

Эффективность регенерации. Показателем процесса регенерации является выход регенерата – выраженное в процентах отношение массы регенерата к массе исходной отработанной смеси. В первом приближении выход регенерата характеризуется следующими значениями: при механической регенерации – 50 % (для неорганических связующих) и 70 % (для органических связующих), при гидравлической регенерации – 80 % и при термической – 90 %.

Легче всего регенерируются песчано-глинистые смеси механическими методами, а также гидрорегенерацией. Наиболее трудно регенерировать жидкостекольные смеси. При этом чаще всего используют механические и термомеханические методы регенерации.

Отработанные ЖСС могут быть подвержены механической и гидравлической регенерации. Однако при регенерации ЖСС увеличивается содержание Na_2O , что служит причиной снижения выбиваемости смесей с применением регенерата. Свойства ЖСС остаются на необходимом уровне при введении в смесь до 65 % регенерата. Регенерируе-

мость жидкостекольных смесей, отверждаемых сложными эфирами, выше, чем продуваемых CO_2 .

Наиболее эффективной является регенерация смесей с органическими связующими. Полная деструкция связующего в процессе заливки форм и охлаждения отливок имеет место лишь в тонком прилегающем к отливке слое смеси. Для смеси, связующее которой не прошло деструкции, механическая регенерация неэффективна. Поэтому для регенерации применяют термическую регенерацию.

Регенерат ХТС с синтетическими смолами можно использовать при приготовлении песчано-глинистых смесей в качестве освежающей добавки. Нельзя одновременно использовать регенераты жидкостекольной и песчано-смоляной смесей, так как они содержат несовместимые кислоты и основания. При применении регенерата для песчано-смоляных ХТС необходимо добавлять 10–20 % свежего песка.

Термическая регенерация кварцевого песка приводит к уменьшению его объемных изменений при последующих нагревах, что снижает брак форм и стержней по трещинам.

С экономической точки зрения целесообразна централизация процессов регенерации, которую следует проводить на специализированных предприятиях. Наиболее дешевой является механическая регенерация, а наиболее дорогой – термическая.

При контроле качества регенерата определяют его зерновой состав, содержание пылевидных фракций, рН водных вытяжек, потери при прокаливании. Соответствующие характеристики сравнивают с характеристиками отработанной смеси и исходного песка. В табл. 5.50 приведены рекомендации по выбору способов регенерации и использованию регенерата в различных смесях [42].

5.6.7. Выбор рациональных составов смесей

Выбор состава смеси для изготовления форм и стержней является сложной задачей. Состав смеси и режим ее отверждения определяются размерами и конфигурацией формы и стержня, характером производства, методами уплотнения смеси, способами извлечения модели и стержня, видом сплава и температурой его заливки, требованиями к качеству отливки, экономическими, экологическими факторами и т.д. Математические основы оптимизации составов смеси в настоящее время еще не созданы.

В качестве ориентировочных рекомендаций при выборе той или иной смеси можно использовать предъявляемые на производстве требования к ее прочностным и технологическим характеристикам.

Важнейшей механической характеристикой смеси является проч-

Таблица 5.50

Выбор способов регенерации и использования регенерата в формовочных смесях

Исходная смесь	Особенности исходной смеси	Способ регенерации	Назначение регенерата	Массовая доля регенерата, % не более, при литье					
				из чугуна		из стали		из цвет. сплавов	
				I	II	I	II	I	II
Холоднотвердеющая с органическими связующими	Содержит спекающиеся добавки (катализатор – до 0,3 % H_3PO_4) То же, с содержанием $H_3PO_4 > 0,7\%$ То же, без спекающихся добавок	M	Для ХТС	70	50**	50	НР	70	50
		T	Для любых форм и стержней	90	90	90	90	90	90
		M	Для ХТС	70	50**	50	НР	70	50
		M	То же	70	50	50	НР	70	50
Горячелетучая с органическими связующими	Не содержит спекающихся добавок Содержит спекающиеся добавки	T	Для любых форм и стержней	100	100	100	100	100	100
		T	То же	100	100	100	100	100	100
		T	Для терморактивных смесей	НР	НР	100	100	НР	НР
		T	в качестве огнеупорной зерновой основы						
Жидкостеклянная ППС*	Различные способы отверждения Содержит $\leq 20\%$ стержневых смесей с органическими связующими Содержит $> 20\%$ стержневых смесей с органическими связующими	M	Для жидкостеклянных смесей	70	50	70	50	НР	НР
		M	Для освежения единых формовочных смесей; для изготовления облицовочных ППС	100	НР	100	НР	100	НР
		TM	Для любых форм и стержней	100	100	100	100	100	100
		TM	То же	100	100	100	100	100	100

* В ППС пернодрезки вводят 2-3 % свежего песка для восполнения его потерь.

** Для крупных стержней.

Примечание. НР - не рекомендуется, НИ - не применяется.

ность, необходимая для получения качественной формы или стержня (без их разрушения) при принятых методах уплотнения смеси, извлечения модели или стержня, транспортировки полуформ и стержней, сборки форм. Данную прочность принято называть манипуляторной [16]. Величина σ_m зависит от размеров и сложности форм и стержней. Для форм с размером опок до 1000×1000 мм $\sigma_m = 0,1-0,15$ МПа, до 1000×2000 мм – $0,15-0,20$ МПа, до 2000×2000 мм – $0,2-0,3$ МПа, для более крупных форм $\sigma_m = 1-1,2$ МПа. Для стержней в зависимости от их сложности и размеров $\sigma_m = 0,5-1,5$ МПа. Манипуляторная прочность должна быть достигнута при отверждении смеси за время τ_m , зависящее от характера производства. При массовом производстве $\tau_m = 40-60$ с, при крупносерийном $\tau_m = 5-10$ мин, при индивидуальном и мелкосерийном $\tau_m = 30-40$ мин [16].

Важной характеристикой является живучесть смесей, оцениваемая по времени τ_m , за которое прочность при выдержке смеси падает на 30 % по отношению к максимальной. Оптимальная живучесть смеси, при которой можно успеть выполнить все операции по наполнению смесью опоки или стержневого ящика и провести ее уплотнение без существенного падения прочности, равна 6–10 мин. Прочность смеси во влажном состоянии определяется методом уплотнения смеси, сложностью форм и стержней и степенью механизации производства.

При $\sigma_{сж}$ в сыром состоянии $0,005-0,01$ МПа смеси находятся в сыпучем состоянии и уплотняются виброуплотнением, при $\sigma_{сж}$ больше $0,01$ МПа смеси находятся в пластичном состоянии и уплотняются прессованием, встряхиванием и другими методами. В зависимости от способа уплотнения смесь может иметь следующие значения прочности в сыром состоянии:

- $0,04-0,06$ МПа (уплотнение встряхиванием);
- $0,05-0,016$ МПа (уплотнение встряхиванием с прессованием);
- $0,10-0,22$ МПа (пескодувно-прессовое уплотнение);
- $0,6-0,12$ МПа (уплотнение прессованием);
- $0,05-0,10$ МПа (воздушно-импульсное уплотнение).

При изготовлении форм и стержней на автоматизированных и высокомеханизированных линиях $\sigma_{сж}$ в сыром состоянии должна быть больше $0,15$ МПа. Для ориентировочного определения минимально допустимого значения предела прочности смеси на сжатие в сыром состоянии можно применить формулу И. Д. Чудновского

$$\sigma_{мин} = \frac{1,94F}{0,424G},$$

$$\text{где } G = \frac{G_{см}}{G_m}; F = \frac{F_0}{U \cdot H};$$

$G_{см}$ – масса смеси в опоке;

G_m – масса отливки;

F_0 – площадь опоки в свету;

U – периметр стенок опоки;

H – высота опоки.

Прочность смеси, необходимая для того, чтобы изготовленные из нее форма или стержень противостояли силовому воздействию формирующейся отливки, называется рабочей $\sigma_{раб}$. Для средних и крупных форм рабочая прочность при сжатии для облицовочных смесей должна быть не ниже 0,5–1 МПа, а для наполнительных смесей – не менее 0,2–0,4 МПа. Для тяжелых отливок $\sigma_{раб} \geq 0,6$ –1,2 МПа. При применении безопочных форм $\sigma_{раб}$ на 40–50 % выше указанных значений.

Для стержней, изготавливаемых в индивидуальном и мелкосерийном производстве, в зависимости от размеров и конфигурации $\sigma_{раб} = 1,5$ –3 МПа. Очевидно, что время $\tau_{раб}$ достижения заданных значений $\sigma_{раб}$ должно быть подобрано таким образом, чтобы обеспечивался производственный цикл с заданной производительностью.

Кроме удовлетворения требованиям по прочности в сыром состоянии, рабочей прочности, времени ее достижения и живучести, при выборе состава смесей необходимо учитывать их термостойкость, обеспечение экологической чистоты, податливость и выбиваемость смесей, стоимость и дефицитность их составляющих.

Наилучшими технологическими и прочностными характеристиками обладают песчано-смоляные смеси. Однако при их применении трудно, а иногда и невозможно обеспечить экологическую чистоту технологии. Применение этих смесей связано с использованием дорогих смол и большим расходом кварцевых песков. Поэтому во многих странах применение смол в литейном производстве начало сокращаться.

Смеси на неорганических связующих нетоксичны и недороги, но они, особенно жидкостекольные, обладают плохой выбиваемостью, плохо регенерируются. В настоящее время интенсивно ведутся работы по улучшению технологических свойств этих смесей. Особенно перспективным является применение смесей на фосфатных связующих.

Выбор составов смесей в условиях производства осуществляется с использованием разработанных в заводских или отраслевых нормалях (стандартах) типовых составов применительно к действующему в цехе формовочному и стержневому оборудованию.

В учебных проектах, а также при технологической разработке

проектов новых или реконструируемых цехов в первом приближении можно использовать следующие рекомендации.

В табл. 5.51, 5.52 приведены области применения и требования к различным типам формовочных смесей по прочности. В табл. 5.53 содержатся аналогичные данные для стержневых смесей. Конкретные составы смесей приведены выше. В зависимости от марки сплава, характеристик отливки, характера производства, применяемых методов изготовления форм и стержней, класса и размеров стержней по табл. 5.51 – 5.53 можно определить возможные типы смесей.

Таблица 5.51

Области применения различных типов формовочных смесей

Тип формовочной смеси	Область применения
Песчано-глинистые смеси для формовки по-сырому (табл. 5.20 – 5.22)	Для чугунных отливок массой до 500 кг и с толщиной стенки до 40 мм (для неотвественных отливок массой до 100 кг) Для стальных отливок массой до 400 кг и с толщиной стенки до 25 мм (для неотвественных отливок массой до 1000 кг) Для отливок из цветных сплавов (для отливок массой менее 100 кг применяется единая смесь)
Песчано-глинистые смеси для формовки по-сухому (табл. 5.23, 5.28)	Для чугунных и стальных отливок массой более 1000 кг. Для отливок массой от 500 до 2000 кг при формовке в опоках и до 5000 кг при заливке на плацу применяется поверхностная подсушка
На основе цирконового концентрата или хромита (табл. 5.27, 5.29)	Крупные стальные отливки из легированных сталей массой более 5000 кг и с толщиной стенки более 60 мм
Жидкостекольные (табл. 5.34)	Для облицовки крупных форм чугунных и стальных отливок с поверхностной подсушкой
Жидкие самотвердеющие (табл. 5.36, 5.40)	Редко для изготовления форм для чугунного и стального литья в индивидуальном производстве
Холоднотвердеющие на фосфатных связующих (табл. 5.46, 5.48)	Для отливок из различных сплавов и стержней в условиях индивидуального и крупносерийного производства

Выбор конкретного состава формовочной смеси осуществляется в зависимости от требуемой прочности во влажном состоянии σ_w , а также рабочей прочности σ_p . При этом необходимо учитывать эконо-

мические и экологические факторы, требования по выбиваемости смесей и другим технологическим свойствам, вытекающие из условий производства и особенностей изготавливаемой отливки.

Для стержневой состав смесей выбирается в зависимости от сплава, из которого изготавливается отливка, класса стержня, характера производства, применяемого способа изготовления стержней и других требований. При конкретном выборе состава стержневой смеси необходимо учесть требования по необходимой при данном способе уплотнения смеси прочности во влажном состоянии, а также по рабочей прочности (см. табл. 5.52). Рабочая прочность стержневой смеси на сжатие равна в общем случае $\sigma_p = 1,5-3,0$ МПа в зависимости от размеров стержня

Таблица 5.52

Требования по прочности к формовочным смесям

Способ уплотнения смеси и изготовления форм, размеры опок и масса отливок	Прочность в сыром состоянии σ_w , МПа	Рабочая прочность σ_p , МПа
Уплотнение:		
встряхиванием	0,04-0,06	-
встряхиванием и прессованием	0,03-0,16	-
прессованием	0,06-0,12	-
пескодуювно-прессовое	0,10-0,22	-
воздушно-импульсное	0,05-0,10	-
пескодуювное, пескострельное	0,008-0,01	-
Изготовление форм на автоматических линиях при размерах опок, мм:		
до 1000×1500,	0,1-0,15	-
до 1000×2000,	0,15-0,20	-
до 2000×2000,	0,20-0,30	-
более 2000×2000	1,00-1,20	-
Чугунные и стальные отливки массой, кг:		
500 - 1000,	-	0,3-0,5
1000 - 5000,	-	0,5-0,8
более 5000	-	0,8-1,2

При применении ХТС необходимо обеспечить время твердения и требуемую живучесть смеси. Следует учесть экономические требования и наличие условий для обеспечения экологической чистоты технологии.

Для примера рассмотрим выбор составов формовочной и стержневой смесей для изготовления приведенной на рис. 2.11 отливки «Крышка» (отливка из стали 35Л массой 6,8 кг с толщиной стенки 17 мм; из-

готовляется в форме с размерами опок в свету 500х600 мм в условиях крупносерийного производства). Требования к чистоте поверхности центрального отверстия, выполняемого стержнем, повышенные. Для изготовления формы применяется встряхивающе-прессовая машина, стержней – автоматическая машина с отверждением стержней в нагреваемой оснастке.

Таблица 5.53

Области применения стержневых смесей

Тип стержневой смеси	Область применения
Песчано-глинистые (табл. 5.30)	Для изготовления средних и крупных стержней IV и V классов при индивидуальном и мелкосерийном производстве
На органических связующих: масле, ЛСТ и т.д. (табл. 5.31)	Для изготовления стержней классов I–III при мелкосерийном производстве
Песчано-смоляные для стержней, изготавливаемых в нагреваемой оснастке (табл. 5.32, 5.33)	Для изготовления стержней всех классов при крупносерийном и массовом производстве и повышенных требованиях по чистоте поверхности отливок ($R_a=1,6-12,5$ мкм)
Жидкие самотвердеющие (табл. 5.36, 5.40)	Для изготовления стержней II–V классов, в основном массой более 500 кг, при индивидуальном и крупносерийном производстве.
Жидкостекольные быстротвердеющие (табл. 5.34, 5.38)	Для изготовления стержней II–IV классов при индивидуальном и крупносерийном производстве
Холоднотвердеющие на синтетических смолах (табл. 5.44):	
с повышенной живучестью (30–100 мин)	Для изготовления стержней любых классов при индивидуальном и мелкосерийном производстве
с длительным отверждением (35–40 мин)	При мелкосерийном и индивидуальном производстве отливок из чугуна и стали массой до 1500 кг и более
с ускоренным отверждением (0,5–4 мин)	При крупносерийном и массовом производстве отливок из чугуна, стали и цветных металлов

В соответствии с этими данными по табл. 5.51 находим, что им удовлетворяет песчано-глинистая смесь для формовки по-сырому и песчано-смоляная смесь для изготовления стержней в нагреваемой оснастке. По табл. 5.21 выбираем единую смесь для формовки по-сырому:

оборотная смесь – 90–92 %; кварцевый песок (группа 016, 02) – 6,5–8 %; глина – 1–1,5 %; КВЖ – 0,5–1 %. Влажность смеси 3,4–4,5 %, газопроницаемость 80–100 ед., $\sigma_w = 30–50$ кПа. Приведенное значение σ_w отвечает требованиям при уплотнении смеси встряхиванием с прессованием (см. табл. 5.51).

Состав смеси для стержня выбираем по табл. 5.30 (принимам смесь № 4). Прочность этой смеси σ_w отвечает условиям изготовления стержня пескодувным способом. Стержень относится к III классу сложности, к оформляемой им поверхности предъявляются повышенные требования.

5.7. Противопригарные краски и покрытия

Для борьбы с пригаром при литье в сырые формы в смесь вводят противопригарные добавки или наносят на поверхность формы припылы и порошковые покрытия. При чугунном литье в качестве противопригарных добавок применяют углеродсодержащие вещества (каменноугольный порошок, мазут, масла), а в смесь для стального литья вводят пылевидный кварц (маршаллит), который заполняет поры смеси, или добавляют вещества, способствующие спеканию смеси, окислению металла и образованию легкоотделимого пригарного слоя (оксиды железа, сульфаты). Для предотвращения пригара при изготовлении отливок в сухих формах применяют противопригарные покрытия в виде красок, паст и натиров.

Противопригарные краски представляют собой суспензии, состоящие из порошкообразного огнеупорного наполнителя, связующего и стабилизатора, распределенных в дисперсной среде – воде или органической жидкости. Краска должна обладать высокой огнеупорностью, химической нейтральностью по отношению к расплаву и его оксидам, высокой седиментационной устойчивостью, высокой прочностью сцепления с поверхностью формы. Необходимо, чтобы слой краски после высыхания был негигроскопичным, негазотворным, сохранял прочность до образования в отливке достаточно жесткой твердой корки.

В качестве наполнителя в красках для чугунного литья применяется кристаллический (сересбристый) и скрытокристаллический (черный) графит. Кристаллический графит поставляется трех марок: ГЛ-1, ГЛ-2 и ГЛ-3 (ГОСТ 17022–81), отличающихся зольностью. Для получения отливок с высокими требованиями к чистоте поверхности в красках и пастах применяется графит ГЛ-1 (зольность менее 13 %). Для отливок средней сложности применяется графит ГЛ-2 (зольность не более 18 %). Графит марки ГЛ-3 применяется для припылов при получении отливок без особых требований к чистоте поверхности.

Скрытнокристаллический графит – горная порода черного цвета плотностью 1500–2000 кг/м³. Он поставляется шести марок: ГЛС–1 – ГЛС–4, ТК4 и ТКС (ГОСТ 17022–81 и ГОСТ 5420–74). Для красок применяют графит марок ГЛС–1 и ГЛС–2.

Одной из важных характеристик краски является ее кроющая способность, определяемая площадью поверхности, покрытой единицей массы наполнителя, содержащегося в краске. Наилучшей кроющей способностью обладают краски при соотношении в наполнителе содержания черного и серебристого графита 3:1.

В красках для стального литья наполнителями являются маршаллит, дистен-силлиманит, хромит, циркон, магнезит, электрокорунд и т.п. Для тонкостенного чугунного и цветного литья в качестве наполнителя применяют порошок талька ($4SiO_2 \cdot 3MgO \cdot H_2O$).

В качестве связующего в красках применяют органические (ЛСТ, патока, смолы и др.) и неорганические (жидкое стекло, сульфаты, фосфаты) вещества. В зависимости от растворителя краски подразделяются на водные и неводные. Водные краски после их нанесения на поверхности формы или стержня требуют подсушки. Неводные краски изготавливаются на органических растворителях (спирты, ацетон, уайт-спирит, бензин и т.д.). При испарении растворителя при выдержке формы и стержня происходит упрочнение краски. Эти краски являются самовысыхающими и не требуют подсушки.

Седиментационную устойчивость красок (поддержание наполнителя во взвешенном состоянии) обеспечивают стабилизаторы (бентонит и эфиры целлюлозы, ПАВ для водных красок и поливинилбутираль (ПВБ) для красок на спиртовых растворителях). Бентонит не обеспечивает высокой седиментационной устойчивости красок с высокоплотными наполнителями (цирконом, дистен-силлиманитом и др.). При повышении содержания бентонита более 2 % краски расслаиваются. ПАВ не позволяют существенно повысить седиментационную устойчивость.

Применение в качестве стабилизаторов водных красок высокомолекулярных эфиров целлюлозы (карбоксилитилцеллюлозы (КМЦ), оксигилцеллюлозы (ОЭЦ), оксипропилцеллюлозы (ОПЦ), альгината натрия, поливинилового спирта (ПВС) и др.) при небольшой концентрации (3–5 %) существенно повышает вязкость и седиментационную устойчивость красок и увеличивает толщину образующегося слоя краски (до 0,6–0,7 мм).

Для водных противопожарных красок используют органические (ЛСТ, меласса) и неорганические связующие (жидкое стекло, фосфаты). Наибольшая термостойкость красок обеспечивается при применении фосфатных связующих (до 1200 °С), сульфата алюминия и сульфата магния (до 1100 °С).

Кроме указанных выше компонентов в случае применения органических связующих в краску вводятся антисептики (40 %-й раствор формальдегида – формалин) для предотвращения брожения.

Во избежание растрескивания краски при быстрой сушке в нее можно вводить огнеупорные волокнистые материалы (минеральную вату, алюмосиликаты) в количестве 0,5–5 %.

Самовысыхающие краски на органических растворителях применяют для форм и стержней из ХТС, а также для стержней, упрочняемых в нагреваемой оснастке. Растворители из этих красок должны быстро испаряться. Время испарения 1 см³ растворителя с часового стекла (диаметром 5 мм) при 20 °С должно составлять 40–70 мин. Этому условию отвечает этиловый спирт. Из всех органических растворителей он применяется наиболее широко. Вместо него чаще всего используют его отходы и растворители на его основе (эфироальдегидную фракцию, растворитель гранитоля и др.).

В качестве связующих применяют термостойкие кремнийорганические полимеры (этилсиликаты, смолы и лаки), растворяющиеся в органических растворителях. В качестве стабилизатора применяют ПВБ. Однако краски при этом имеют низкую прочность при температуре выше 180–200 °С. Для повышения термостойкости красок с ПВБ в их состав вводят дополнительное высокотермостойкое связующее, например фенолоформальдегидную смолу ОФ–1.

Недостатком красок с ПВБ и смолой ОФ–1 является потеря ими прочности при 600–700 °С и высокая газотворность. При введении в краски фосфатов (триполифосфата натрия) обеспечивается термостойкость покрытий до 1000 °С. Для повышения прочности сцепления самовысыхающих красок с поверхностью формы или стержня целесообразно проводить поверхностное упрочнение форм и стержней, например, раствором смолы ОФ–1.

Краски готовят в краскомешалках путем разбавления до необходимой плотности централизованно поставляемых паст или порошков либо смешивания в необходимом соотношении исходных компонентов. Влажность паст составляет 16–35 %. Централизованно, поставляемые пасты имеют марки: ГП–1, ГП–2, ТП–1, ТП–2, ДП–2, ЦП–2, а порошки – ГС–1, ТС–1 и ЦС–1. Примеры составов красок приведены в табл. 5.54–5.58. Противопожарные краски наносят на поверхность форм и стержней кистью, окунанием стержней и пульверизацией. Самовысыхающие краски целесообразно наносить на стержни или формы в закрытых камерах, имеющих вентиляционные устройства для отсоса аэрозоля краски.

Таблица 5.54

Состав и плотность водных красок с органическими связующими

Номер краски	Марка пасты	Массовая доля компонентов, %										Плотность краски, кг/м ³				
		Пылевидный кварц	Циркон	Графит	Тальк	КБЖ	Бентонит	Лекстрин	Крепитель КВ	Патока	Крахмалит		Крепитель ДП (вода)	Растворитель		
1С	СТ	76,0-72,8	-	-	-	1,6-4,8	2,4	-	-	-	-	-	-	-	20,0	1400-1450
2СЧ	ЦБ	-	82,8-79,3	-	-	1,7-5,2	1,7	-	-	-	-	-	-	-	13,8	1800-2000
3Ч	ГП-2	-	-	62,1/-	-	-	3,7	-	-	4,1	-	-	-	-	26,0	1300-1350
4Ч	ГП-2	-	-	66,1/2,4	-	2,4	2,3	-	-	-	-	-	0,8	-	26,0	1280-1300
5Ц	ТП-2	-	-	-	68,4	-	1,3	2,5	-	-	-	-	-	-	26,0	1400-1420
6Ц	ТП-1	-	-	-	68,4	-	2,3	-	-	-	-	-	1,2	-	26,0	1350-1400

Примечания:

1. С - для стальных отливок, Ч - для чугуновых отливок, Ц - для отливок из цветных сплавов.
2. В числителе - массовая доля графита скрытокристаллического, в знаменателе - кристаллического.
3. Для предупреждения процесса брожения в состав красок вводят формалин из расчета 40 г на 100 кг пасты.

Таблица 5.55

Состав и плотность водных противопопригарных красок с неорганическими связующими

Номер краски	Состав, %	Плотность, кг/м ³
1	Циркон – 68; жидкос стекло – 5; водный раствор ПВС или КМЦ – 27	1900–1950
2	Циркон – 68; бентонит – 2; водный раствора сульфата алюминия – 20; вода – 10	1950–2000
3	Циркон – 68; водный раствор сульфата магния – 15; водный раствор ПВС или КМЦ – 17	1900–1950
4	Дистен–силлиманит – 45; водный раствор ПВС или КМЦ – 40; водный раствор сульфата магния – 15;	1450–1500
5	Циркон – 63–73; водный раствор триполифосфата натрия – 15–20; водный раствор ПВС или КМЦ – 12–17	1900–1950

Таблица 5.56

Состав и плотность самотвердеющих водных противопопригарных красок

Номер краски*	Массовая доля составляющих, %								Плотность, кг/м ³
	Циркон	Пылевидный кварц	Графит**	КБЖ	Техническая мочеви́на	Оксид цинка	Персульфат аммония	Растворитель (вода)	
1С	74,0–63,5	–	–	8	0–5	0–0,5	4,0	14–19	2000–2200
2С	50	24,0–13,5	–	8	0–5	0–0,5	4,0	14–19	1800–2000
3Ч	–	–	36,0–25,5 16,5	10	10–15	0–0,5	2,5	25–30	1350–1400
4Ч	–	–	–	10	10–15	0–0,5	2,5	25–30	1350–1400

* С – для стальных отливок, Ч – для чугунных отливок.

** В числителе – массовая доля графита скрытокристаллического, в знаменателе – кристаллического.

При изготовлении крупных и толстостенных стальных отливок применение красок оказывается неэффективным. Поэтому для предотвращения пригара поверхности форм и стержней покрывают *противопригарными пастами*.

Пасты готовят из высокоогнеупорных наполнителей (хромита, циркона, хромомagnesита и др.). Их готовят густыми и специальными пульверизаторами в несколько слоев наносят на поверхность фор-

мы или стержня до толщины слоя 3–6 мм. Для увеличения сцепления пасты с формой или стержнем на их поверхностях делают наколы на глубину до 20 мм или прошивают их гвоздями, выставляя головки на толщину слоя покрытия. Пасты готовят в бегунах и хранят в закрытых коробах не более двух суток.

Приведем состав пасты на основе хромита и хромомagnesита: наполнителя, просеянного через сито с размерами ячеек 1×1 мм, – 88 %; ЛСТ или мелассы – 10–12 %; декстрина – 1–2 %; воды – до плотности 2300–2400 кг/м³. Для получения гладкой поверхности пасту после нанесения выравнивают гладилкой. Формы и стержни проваливают в течение 1,5–2 ч на воздухе, а затем сушат при температуре 360–380 °С.

Таблица 5.57

Состав красок на фосфатных связующих

Номер краски	Состав, %
1	Глинистое связующее – 5–10; хром-алюминий фосфорнокислый (АХФС) – 25–45; остальное – вода
2	Пирофиллит – 9–12; тальк – 9–12; АХФС – 7–10; борная кислота – 0,8–1,2; остальное – вода
3	Молотый асбест – 14–16; каолин или формовочная глина – 11–12; АХФС – 3–6; остальное – вода
4	Бентонит – 2–3; водный раствор фосфата магния – 40–45; остальное – огнеупорный наполнитель

Таблица 5.58

Состав и плотность красок с органическими связующими

Номер краски*	Массовая доля составляющих, %									Плотность, кг/м ³	
	Циркон	Графит**	Тальк	Древесный пек	Нитролак		Поливинил-бутираль	Растворитель 646	Этиловый спирт		Уайт-спирит
					644	68					
1С	53	–	–	–	10	–	–	37	–	–	1800–1900
2С	60	–	–	–	–	–	2,5	–	37,5	–	1750–1850
3Ч	–	37/13	–	–	–	37	–	–	–	13	1250–1300
4Ч	–	30/12	–	–	–	41	–	17	–	–	1250–1280
5Ч	–	45/5	–	5,5	–	–	–	–	44,5	–	1250–1280
6Ч	10	35/–	–	–	–	–	2,5	–	52,5	–	1150–1250
7Ц	–	–	42	–	–	–	2,5	–	55,5	–	1750–1850

* С – для стальных отливок, Ч – для чугуновых отливок, Ц – для отливок из цветных сплавов.

** В числителе – массовая доля графита скрытокристаллического, в знаменателе – кристаллического.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое глинистая составляющая песков? Каков ее минералогический состав?
2. Назовите полиморфные превращения кварца.
3. Как по ГОСТ 2138–84 определяется зерновой состав песка? Какие пески называются песками с сосредоточенной и рассредоточенной зерновой основой?
4. Расшифруйте марки песков: $3K_1O_302$, $3K_2O_20315$, $Ж_2016$.
5. Дайте характеристику высокоогнеупорных наполнителей.
6. По каким критериям осуществляется классификация связующих материалов?
7. Сформулируйте требования к связующим материалам.
8. Расскажите о классификации глин по ГОСТ 3226–77, о минералогическом составе глин.
9. Дайте характеристику строения каолинита и монтмориллонита.
10. В чем сущность и различие взаимодействия с водой каолинита и монтмориллонита?
11. Какие силы связывают частицы наполнителя в песчано-глинистых смесях? Как зависит прочность песчано-глинистых смесей от влажности при применении каолиновых глин, натриевых и кальциевых бентонитов?
12. Какие превращения происходят в каолиновых и бентонитовых глинах при нагревании?
13. Расскажите о классификации глин и их маркировке по ГОСТ 3226–77. Расшифруйте марки глин: $БП2Т_2$, $КС2Т_3$, $КП1Т_1$.
14. Что такое коллоидальность и рН глины? Как их определить?
15. Дайте характеристики жидкого стекла: химического состава, строения.
16. Что такое модуль жидкого стекла, как можно его регулировать? Как он влияет на свойства смесей?
17. В чем заключается механизм связующего действия жидкого стекла?
18. Что такое порог коагуляции жидкого стекла?
19. Расскажите о способах получения жидкого стекла.
20. В чем заключается механизм твердения жидкостекольных смесей при их продувке углекислым газом, тепловой сушке, применении эфиров и ферросилиция?
21. Что представляют собой цементы?
22. В чем заключаются особенности взаимодействия цементов с водой? Расскажите о механизме и кинетике твердения цементов.

23. Дайте характеристику фосфатных связующих, их технологических свойств.
24. Дайте характеристику масляных связующих, их технологических свойств, механизма их отверждения.
25. Дайте характеристику полисахаридов как литейных связующих.
26. Что такое литносульфонаты?
27. Расскажите о классификации синтетических смол.
28. В чем сущность реакций поликонденсации и полимеризации?
29. Охарактеризуйте фенолоформальдегидные смолы.
30. Дайте характеристику карбамидоформальдегидных смол.
31. Расскажите о фурановых смолах.
32. Дайте характеристику отвердителей смол.
33. Какие добавки применяются для улучшения технологических свойств смесей?
34. Охарактеризуйте роль воды в формировании свойств смесей. Какие виды влаги Вы знаете?
35. Дайте характеристику процессов, происходящих при приготовлении смесей.
36. Назовите особенности формирования прочности смесей в исходном (сыром) состоянии. В чем заключается влияние вязкости и поверхностного натяжения связующих?
37. Дайте характеристику теплофизических свойств смесей.
38. Опишите закономерности формирования пригара. Назовите методы борьбы с ним.
39. Опишите закономерности формирования ужимки. Назовите методы борьбы с ними.
40. Что такое газопроницаемость песков и смесей? Опишите способы определения газопроницаемости.
41. Перечислите общие свойства формовочных и стержневых смесей. Дайте их характеристику. Назовите способы регулирования общих свойств смесей.
42. Перечислите рабочие свойства смесей, дайте их характеристику. Назовите способы регулирования рабочих свойств смесей.
43. Дайте характеристику песчано-глинистых смесей для формовки по-сырому.
44. Дайте характеристику песчано-глинистых смесей для формовки по-сухому.
45. Охарактеризуйте стержневые смеси на органических связующих.
46. Охарактеризуйте смеси для изготовления стержней в нагреваемой оснастке.

47. Опишите ХТС на жидком стекле, методы улучшения технологических и рабочих свойств жидкостекольных смесей.

48. Дайте характеристику ХТС на фосфатных связующих.

49. Охарактеризуйте жидкие самотвердеющие смеси. Опишите механизм формирования текучести смесей.

50. Изложите требования к ПАВ ЖСС. Как производится регулирование живучести пены в смесях?

51. Опишите методы отверждения ЖСС. Как регулируется продолжительность твердения ЖСС?

52. Опишите типовые составы ЖСС.

53. Расскажите о технологических и рабочих свойствах ЖСС, способах их регулирования.

54. Охарактеризуйте смеси на синтетических смолах. Опишите их классификацию, технологические и рабочие свойства.

55. Сформулируйте принципы выбора типа и состава смесей.

56. Что такое регенерация смесей? Опишите ее сущность и технологию.

57. Дайте характеристику противопригарных красок. Опишите их составы и свойства.

58. Опишите поведение смесей на различных связующих при нагреве и в процессе охлаждения отливки в форме.

59. Для условий, приведенных в табл. 5.59, выберите и обоснуйте составы формовочных и стержневых смесей. Дайте характеристику назначения компонентов смеси, методов контроля и испытания смесей. Обоснуйте и опишите технологию приготовления смесей. Обоснуйте режим твердения смесей (кроме литья по-сырому). Подберите состав красок для форм и стержней.

Таблица 5.59

Исходные данные для выполнения контрольного задания

Номер варианта	Сплав	Масса огли-вки, кг	Толщи-на на стенке, мм	Размеры опок в свету, мм	Класс стержня	Масса стержня, кг	Способ изготовления		Характер производства	Требования к качеству поверхности отливки
							формы	стержня		
1	Сталь	50	20	800×700	III	10	Встряхивание	Пескодувный	Крупносерийн.	Повышен.
2	Сталь	1000	40	1800×1200	IV	500	Встряхивание	Прессование	Мелкосерийн.	Не предьяв
3	Сталь	500	25	1200×1000	III	250	Встряхивание	Встряхивание	Мелкосерийн.	Не предьяв
4	Сталь	80	20	500×400	II	20	Встрях.-прес. автом. линия	Пескодувный	Массовое	Повышен.
5	Сталь	5000	60	3000×2500	Y	600	Встряхивание	Встряхивание	Индивидуал.	Не предьяв.
6	Сталь	2000	50	2000×1600	IV	300	Встряхивание	Вибрация	Крупносерийн.	Не предьяв
7	Сталь	30	15	500×400	II	5	Встрях.-прес. поточ. линия	Вибрация	Массовое	Повышен.
8	Сталь	60	15	800×700	I	5	Прессование	Пескодувный	Массовое	Повышен.
9	Сталь	80	25	800×700	II	8	Встряхивание	Бункерный	Массовое	Повышен.
10	Сталь	120	40	1000×800	III	15	Встряхивание	Встряхивание	Мелкосерийн.	Не предьяв
11	Al-спл.	5	20	500×400	I	3	Встряхивание	Встряхивание	Крупносерийн.	Повышен.
12	Al-спл.	10	25	800×700	II	4	Встрях.-прес.	Пескодувный	Массовое	Повышен.
13	Al-спл.	20	20	800×700	III	3	Вибростол	Вибростол	Массовое	Повышен.
14	Al-спл.	25	25	800×700	IV	5	Бункерный	Бункерный	Массовое	Повышен.
15	Al-спл.	40	40	1000×800	Y	8	Встряхивание	Встряхивание	Индивидуал.	Не предьяв.

Глава 6. ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Формирование отливки в литейной форме сопровождается газодинамическими явлениями, связанными с образованием газов при прогреве формовочной смеси. Основные источники газообразования в смесях рассмотрены в гл. 5. Под газовым режимом формы понимают совокупность характеристик газовых потоков (давление газа, массовый расход, направление потока) в стенках формы и стержнях в процессе заливки сплава и затвердевания отливки.

При правильно организованном газовом режиме газовый поток направлен в знаковые части стержней в направлении наружных поверхностей формы и в незаполненную сплавом часть полости формы. При этом давление газов в поверхностных слоях формы на границе с расплавом не должно превышать критических значений, при которых происходит проникновение газов в расплав.

Управление газовым режимом формы осуществляется с учетом кинетики газовыделения и прогрева формы путем обеспечения необходимой пропускной способности форм и стержней. Газовый режим форм и стержней непосредственно связан со скоростью заполнения формы сплавом.

Газовые явления при формировании отливок обуславливают образование в них газовых раковин и проявление пористости. Поэтому оптимизация газового режима литейных форм является одним из важнейших этапов разработки технологии изготовления отливок.

6.1. Кинетика газообразования при нагреве форм и стержней

Интенсивное газообразование начинается при прогреве смеси выше 100°C . С повышением температуры объем выделившихся газов непрерывно увеличивается. Можно принять, что газовыделение прекращается при прогреве смеси до температур $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$. Скорость выделения газов v_2 в интервале от 100 до 1200°C непостоянна. На кривых $v_2(T)$ можно выделить три пика скорости. В интервале $100\text{--}150^{\circ}\text{C}$ пик скорости обусловлен испарением влаги и растворителей. Второй ($280\text{--}600^{\circ}\text{C}$) и третий ($600\text{--}1100^{\circ}\text{C}$) пики связаны в смесях с органическими связующими, с уплотнением и частичным разрушением структуры вещества и с образованием кокса. В песчано-глинистых смесях второй и третий максимумы v_2 связаны с выделением конституционной и кристаллогидратной влаги из глины.

В табл. 6.1 приведены данные по термодеструкционным характеристикам различных связующих и добавок [24]. На рис. 5.27 показаны термодеструкционные кривые некоторых связующих, характеризующие кинетику газовыделения при прогреве смеси [24].

Таблица 6.1
Термодеструкционные характеристики связующих и добавок
в формовочных и стержневых смесях [24]

Газотворный материал	Температурные пики, °С			T_{cp} , °С	АГ, см ³ /г
	I	II	III		
Декстрин	90-110	280-300	800-900	300	830
Смола ПК-104	170-180	430-460	600-700	640	560
Сульфитно-спиртовая барда	130-150	300-310	700-800	320	500
Связующее КВС	120-140	280-320	650-750	400	900
Мочевиноформальдегидная смола	110-130	290-300	900-1000	150	1250
Фенолоспирт	110-120	-	500-1100	130	690
Связующее П	140-160	450-500	850-950	460	145
Жидкое стекло	110-120	630-680	900-1000	150	610
Бентонит (высушенный)	170-190	700-740	950-1000	720	110
Бентонит сырой	120-190	700-720	930-950	210	190
Формовочная глина (высушенная)	150-170	570-600	1000-1100	530-750	75
Полистирол	-	380-420	1000-1200	550	375
Разделительный состав СКТ-Р	-	450-500	900-1000	850	210
Облицовочная смесь	100-130	-	600-900	320-480	140
Разделительный состав КМ-11	100-120	480-500	850-950	120	840

Важной характеристикой смесей является средняя температура термодеструкции (газообразования) T_{cp} , представляющая собой температуру, при нагреве до которой выделится половина объема генерируемых смесью газов, приведенных к нормальным условиям. Данные по T_{cp} приведены в табл. 6.1. На рис. 5.27 индекс 1 относится к сырым смесям, а индекс 2 – к предварительно высушенным.

Чем ниже температура T_{cp} , тем быстрее и в большем объеме будет происходить газификация, т. е. интенсивнее будут выделяться газы. С повышением T_{cp} интенсивность газовыделения уменьшается.

Если принять, что объем газов VS в см³ на грамм смеси выделяется при прогреве смеси до данной температуры T в полном соответствии с деструкционной кривой) $VS(T)$ (сплошные кривые на рис. 5.27), то

количество газов V_g (в см^3 , отнесенных к нормальным условиям), выделившихся при толщине поверхностного слоя формы X_{100} , прогретого до температуры $T=100^\circ\text{C}$, можно вычислить по формуле

$$V_g = \rho_{см} \cdot S \cdot \int_0^{X_{100}} IC(T) \cdot dx, \quad (6.1)$$

где $\rho_{см}$ – плотность смеси;

S – площадь поверхности формы, контактирующей с расплавом.

Из формулы (6.1) видно, что кинетика газовой выделенности при данном составе смеси определяется кинетикой прогресса формы. Для определения зависимости от времени толщины слоя формы, прогретого до $T=100^\circ\text{C}$, $X_{100}(t)$, и распределения температуры в этом слое $T(x)$ применим метод А. И. Вейника. Для распределения температуры в слое формы, прогретом выше ее начальной температуры T_0 , примем степенную зависимость

$$T(x) - T_0 = A(x - x_0)^n,$$

где x_0 – толщина прогретого слоя;

n – показатель степени.

При $x=0$ $T=T_n$. С учетом этого коэффициент A равен

$$A = \frac{T_n - T_0}{x_0^n} \text{ и } T(x) - T_0 = (T_n - T_0) \left(1 - \frac{x}{x_0}\right)^n. \quad (6.2)$$

Напишем следующее уравнение теплового баланса:

$$\lambda \left| \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x=0} \right| \cdot S \cdot dt = dH, \quad (6.3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности смеси;

dH – изменение теплосодержания прогретого слоя за время dt .

Дифференцируя (6.2) по x , находим

$$\left| \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \right| = \frac{(T_n - T_0) \cdot n}{x_0}. \quad (6.4)$$

Изменение теплосодержания dH можно вычислить по формуле

$$dH = [T''_{cp}(x_0 + dx_0) - T'_{cp} \cdot x_0] \cdot c \cdot \rho_{см} \cdot S,$$

где T''_{cp} и T'_{cp} – средние по толщине слоя значения температуры в моменты t и $t+dt$;

dx_0 – увеличение толщины прогретого слоя за время dt ;

c – удельная теплоемкость смеси.

$$T'_{cp} = \frac{1}{x_0} \int_0^{x_0} (T(x) - T_0) \cdot dx = \frac{1}{x_0} \int_0^{x_0} (T_n - T_0) \left(1 - \frac{x}{x_0}\right)^n dx = \frac{T_n - T_0}{n+1}.$$

$$\text{Аналогично } T''_{cp} = \frac{T_n - T_0}{n+1}, \quad dH = c \cdot \rho \cdot S \frac{T_n - T_0}{n+1} \cdot dx_0. \quad (6.5)$$

С учетом (6.5) и (6.4) уравнение (6.3) принимает вид

$$\frac{\lambda(T_n - T_0) \cdot n}{x_0} dt = c \cdot \rho_{см} \frac{T_n - T_0}{n+1} dx_0.$$

Интегрируя это уравнение, получаем известную формулу А.И.Вейника

$$x_0 = \sqrt{2n(n+1) \cdot at}, \quad (6.6)$$

где $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho_{см}}$ – коэффициент температуропроводности смеси.

С учетом (6.6) уравнение (6.2) принимает вид

$$T(x) - T_0 = (T_n - T_0) \left(1 - \frac{x}{\sqrt{2n(n+1) \cdot at}}\right)^n.$$

Приняв $T(x)=100$, а $x=x_{100}$ и решив это уравнение относительно x_{100} , получим формулу, описывающую кинетику прогресса формы до температуры $T=100$ °С:

$$x_{100} = \sqrt{2n(n+1) \cdot at} \cdot \left(1 - \sqrt[n]{\frac{100 - T_0}{T_n - T_0}}\right), \quad (6.7)$$

$$\text{или } x_{100} = m\sqrt{t}, \text{ где } m = \sqrt{2n(n+1) \cdot a} \cdot \left(1 - \sqrt[n]{\frac{100 - T_0}{T_n - T_0}}\right). \quad (6.8)$$

В первом приближении можно принять $n=2$, а

$$T_n = T_0 + (T_{кр} - T_0) \cdot \frac{b_c}{b_c + b_\phi},$$

где $T_{кр}$ – температура кристаллизации сплава;

b_c и b_ϕ – коэффициенты аккумуляции тепла сплавом и материалом формы.

$$\text{С учетом этого } m = \sqrt{12} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{(100 - T_0)(b_c + b_\phi)}{(T_{кр} - T_0) \cdot b_c}}\right).$$

Приняв некоторое среднее значение ΓS_{cp} абсолютной газотворности $\Gamma S(T)$, отнесенное, например, к средней температуре газообразования T_{cp} , запишем уравнение (6.1) в виде

$$V_z = \rho_{см} \cdot S \cdot \Gamma S_{cp} \cdot x_{100} = \rho_{см} \cdot S \cdot \Gamma S_{cp} \cdot m\sqrt{t}, \quad (6.9)$$

$$\text{или } V_z = b \cdot S \cdot \sqrt{t}, \quad (6.10)$$

где b – коэффициент газообразования, $b = \rho_{см} \cdot \Gamma S_{cp} \cdot m$.

Продифференцировав (6.10) по времени, получим выражение для абсолютной скорости газообразования:

$$v_z = \frac{b \cdot S}{2\sqrt{t}}. \quad (6.11)$$

По данным Я. И. Медведова, коэффициент газообразования стер-

жневых смесей в зависимости от связующего колеблется в пределах $2-6 \text{ см}^3/\text{с}^{1/2}$, а для формовочных смесей, заливаемых по-сырому, – в пределах $12-21 \text{ см}^3/\text{с}^{1/2}$.

На рис. 6.1 приведены данные по значению b для смесей на разных связующих (4 % связующего в смеси) [24]. До содержания 3–4 % связующего b увеличивается пропорционально содержанию связующего в смесях.

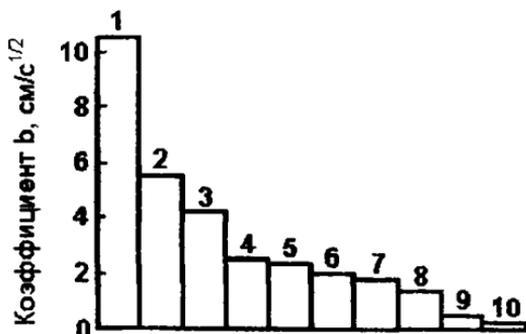


Рис. 6.1. Значения коэффициента b при содержании 4 % связующего в смесях: 1 – вода; 2 – мочевиноформальдегидная смола; 3 – КВС; 4 – фенолоформальдегидная смола; 5 – олифа оксоль; 6 – крепитель ПТ; 7 – крепитель П; 8 – опилки древесные; 9 – жидкое стекло; 10 – прокаленные смеси на этилсиликате

На рис. 6.2 приведены кривые изменения скорости газообразования в зависимости от времени для смесей на различных связующих [24].

6.2. Пропускная способность форм и стержней

Характер движения газов при их фильтрации через слой формовочной или стержневой смеси зависит от вязкости газов и от фильтрационных характеристик, которые обобщенно, по предложению Я.И. Медведова, называют пропускной способностью форм и стержней. В отличие от газопроницаемости I' , которая определяется при фильтрации воздуха с помощью стандартных образцов в стандартных условиях, пропускная способность M характеризует способность реальных пористых тел пропускать через себя газы. Она зависит не только от газопроницаемости смеси, но и от геометрических характеристик и размеров изготавливаемых из нее форм и стержней.

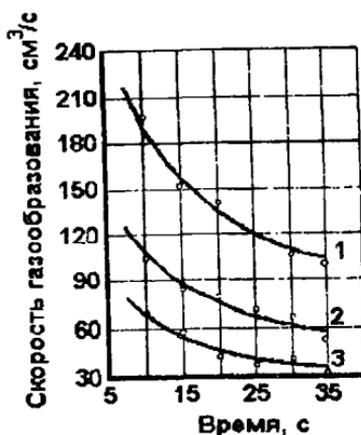


Рис. 6.2. Изменение скорости газообразования во времени при содержании в смесях: 1 — 4 % мочевиноформальдегидной смолы, 2 — ЛСТ; 3 — крепитель П

В общем виде расход газа через стенку формы или поверхность стержня можно определить по формуле

$$Q = M(P_{\phi} - P_a), \quad (6.12)$$

где M — пропускная способность формы или стержня, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{МПа})$;

P_{ϕ} — давление газов на границе форма (стержень) — расплав, МПа;

P_a — атмосферное давление, МПа.

Рассмотрим плоскопараллельный газовый поток через стенку формы с толщиной стенки l и площадью поверхности S . Расход газа через стенку равен

$$Q = F \frac{P_{\phi} - P_a}{l} S,$$

Сравнивая эту формулу с (6.12), находим, что для плоскопараллельного потока пропускная способность $M = F \cdot S / l$. Очевидно, что газопроницаемость смеси однозначно не определяет расход газа. Он зависит от площади потока S и от длины фильтрации l . В реальных формах, и особенно в стержнях, газовый поток редко бывает плоскопараллельным.

На рис. 6.3 показаны некоторые примерные схемы фильтрации газов через стержни и стенки формы.

Рассмотрим газовый поток в канале, схема которого показана на рис. 6.4. Из схемы видно, что площадь поперечного сечения канала вдоль потока переменная, т. е. $S = S(x)$. По закону Дарси расход газа через сечение с координатой x равен

$$Q = l' \left| \frac{dP}{dx} \right| \cdot S(x).$$

Так как скорость движения газов относительно невелика, примем, что расход вдоль потока постоянен. Из уравнения находим, что

$$dP = - \frac{Q}{l'} \cdot \frac{dx}{S(x)}.$$

Выполним интегрирование:

$$- \int_0^l dP = \frac{Q}{l'} \int_0^l \frac{dx}{S(x)} \quad \text{или} \quad (P_\phi - P_a) = \frac{Q}{l'} \int_0^l \frac{dx}{S(x)}.$$

Отсюда находим

$$Q = \frac{l'}{l} \cdot \frac{l}{\int_0^l \frac{dx}{S(x)}} (P_\phi - P_a).$$

Сравнивая это выражение с (6.12), получаем формулу для расчета пропускной способности:

$$M = \frac{l'}{l} S_{np} \quad (6.13) \quad \text{при} \quad S_{np} = \frac{l}{\int_0^l \frac{dx}{S(x)}}, \quad (6.14)$$

где S_{np} – приведенная площадь сечения газового потока.

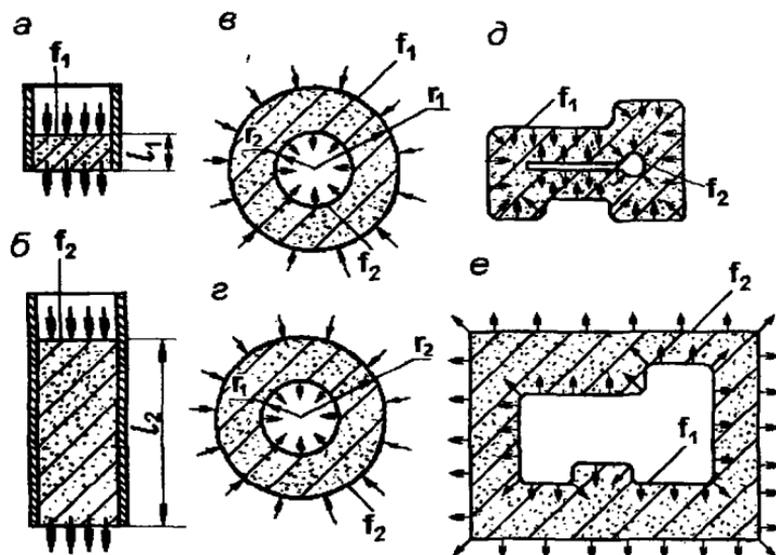


Рис. 6.3. Схемы фильтрации газов [24]: а, б – плоскопараллельные потоки; в, г – радиальный сходящийся и расходящийся потоки; д – поток в пустотелом стержне; е – поток через стенку формы

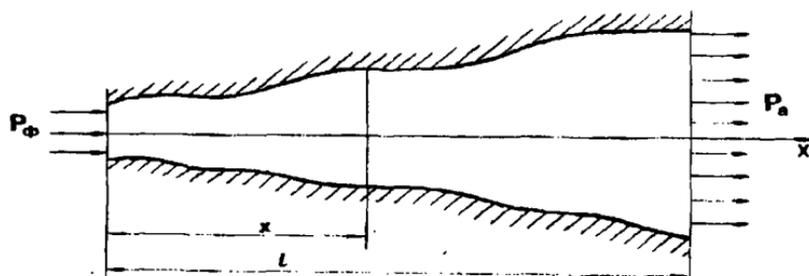


Рис. 6.4. Схема газового потока

Для круглых цилиндрических стержней (рис. 6.3, в)

$$S_{np} = \frac{r_1 - r_2}{\int_{r_2}^{r_1} \frac{dr}{2\pi r \cdot l}} = \frac{(r_1 - r_2) \cdot 2\pi l}{\ln r_1 - \ln r_2},$$

где l – длина стержня.

$$M = \frac{2\pi \cdot l \cdot I'}{\ln(r_1/r_2)} \quad (6.15)$$

Для сферических полых стержней

$$S_{np} = \frac{r_1 - r_2}{\int_{r_2}^{r_1} \frac{dr}{4\pi \cdot r^2}} = 4\pi \cdot r_1 \cdot r_2, \quad M = \frac{4\pi \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot I'}{r_1 - r_2} \quad (6.16)$$

Для стержней и форм произвольных конфигураций непосредственное определение S_{np} по формуле (6.14) затруднительно. Я. И. Медведь предлагает для расчета S_{np} графический метод, его сущность поясним на примере стержней, конфигурация которых приведена на рис. 6.5.

Высота стержня разбивается на отрезки Δl_i , проводятся (ориентировочно) поверхности сечений газового потока. Величина S_{np} вычисляется по формуле

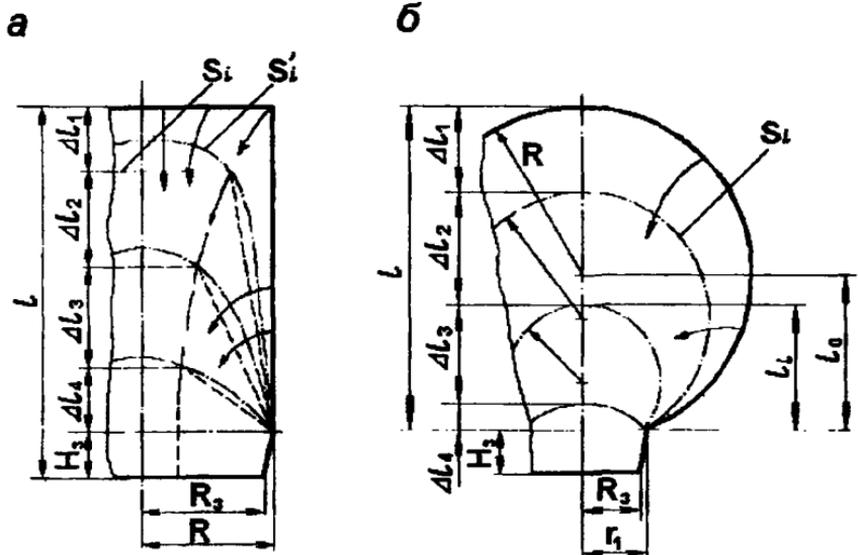


Рис. 6.5. Схемы к расчету S_{np} стержней

$$S_{np} = \frac{l}{\sum \frac{\Delta l_i}{S_i}} \quad (6.17)$$

В цилиндрическом стержне (рис. 6.5, а) истинные поверхности потока S'_i заменяются поверхностями усеченного конуса S_i . В шаровом стержне (рис. 6.5, б) поверхности S_i представляют собой сферы, опирающиеся на знак радиусом r_i .

Для иллюстрации выполним расчет S_{np} для шарового стержня при следующих условиях: $R=20$ см, $H_s=10$ см, $r_1=10$ см. Поверхность S_i вычисляется по формуле $S_i = 4\pi \cdot r_i^2 - 2\pi \cdot r_i \cdot h_i$, где h_i - высота сегмента внизу сферы радиусом r_i , $h_i = r_i - \sqrt{r_i^2 - r_1^2}$.

Разобьем высоту стержня вместе со знаком на 4 равных отрезка, т. е. $\Delta l_i = \frac{l + H_s}{4}$.

$$l = R + l_0 = R + \sqrt{R^2 - r_1^2} = 20\sqrt{400 - 100} = 37,2 \text{ см,}$$

$$\Delta l_i = (37,2 + 10)/4 = 11,8 \text{ см.}$$

Результаты расчетов сведем в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Результаты расчетов пропускной способности шарового стержня

Номер участка	l_i , см	r_i , см	h_i , см	S_i , см	$\frac{\Delta l_i}{S_i}$
1	37,2	20,0	2,7	4685	$2,519 \cdot 10^{-3}$
2	25,4	14,7	3,9	2354	$5,013 \cdot 10^{-3}$
3	13,6	10,5	7,3	1842	$6,406 \cdot 10^{-3}$
4	1,8	28,7	1,8	324,4	$36,37 \cdot 10^{-3}$
$\sum_{i=1}^4 \frac{\Delta l_i}{S_i}$					$50,31 \cdot 10^{-3}$

$$S_{np} = \frac{l + H_s}{\sum_{i=1}^4 \frac{\Delta l_i}{S_i}} = \frac{47,2}{50,31 \cdot 10^{-3}} = 938,2 \text{ см}^2.$$

Расчеты r_i выполнялись по формуле $r_i = \frac{l_i^2 + r_1^2}{2l_i}$. S_4 рассчитывали по формуле $S_4 = 2\pi \cdot r_4 \cdot h_4$,

где $l_i = l - \Delta l_i(i-1)$.

Приняв газопроницаемость стержневой смеси $\Gamma = 120 \cdot 10^{-8}$ м²/(с·Па), рассчитаем пропускную способность стержня по формуле (6.15):

$$M = \frac{120 \cdot 10^{-8}}{0,472} \cdot 938,2 \cdot 1 \cdot 10^4 = 240 \cdot 10^9 \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па}).$$

Области фильтрации в форме могут состоять из нескольких участков. При последовательном соединении участков газовый поток полностью переходит из одного участка в другой (например, газовый поток при выходе из знаковой части полностью переходит в форму). В случае, если газовый поток разветвляется по отдельным частям формы (например, стержень с двумя знаками), то участки располагаются параллельно.

При последовательном соединении участков результирующая пропускная способность M_p может быть рассчитана по формуле

$$\frac{1}{M_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{M_i},$$

где M_i – пропускная способность отдельных элементов.

При параллельном соединении частей пропускная результирующая способность равна сумме пропускных способностей элементов, т. е.

$$M_p = \sum_{i=1}^n M_i.$$

Следует отметить, что газопроницаемость смесей в реальных условиях работы литейной формы отличается от газопроницаемости, определенной при фильтрации воздуха в стандартных условиях. По данным Я. И. Медведова, вязкость воздуха при 20 °С в 1,5–1,7 раза выше вязкости газов, образующихся при заливке форм. Поэтому сразу после заливки формы фактическая газопроницаемость, определяющая процесс фильтрации выделившихся газов, в 1,4–1,8 раза выше стандартной газопроницаемости. В процессе прогресса формы вязкость газов увеличивается.

ется, что приводит к снижению газопроницаемости по сравнению с исходной в зависимости от теплофизических условий в 1,5–2,5 раза.

Формула (6.13) не учитывает влияние наколов и других способов вентиляции стержней и форм на пропускную способность. Она справедлива для мгновенной заливки форм, когда по всей поверхности стержня создается одинаковое давление газов P_{ϕ} .

На практике в зависимости от продолжительности заливки условия для фильтрации газа в разных точках по высоте стержня или формы могут существенно различаться. В процессе заливки формы часть выделяющихся газов поступает в полость формы, находящуюся выше уровня поднимающегося в ней сплава, а другая часть фильтруется через стенку формы и знаковую часть стержня (рис. 6.6).

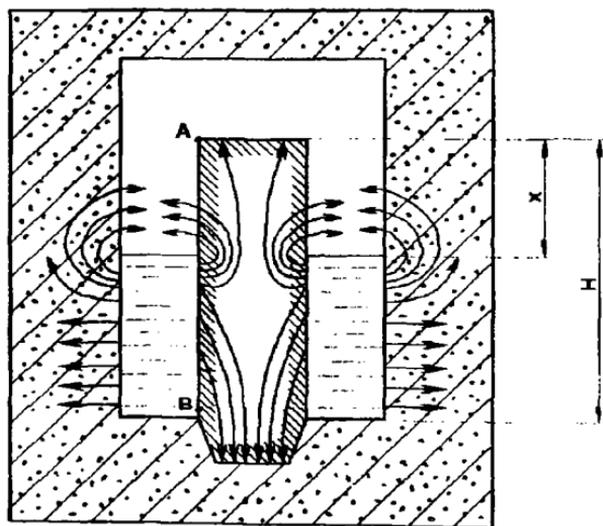


Рис. 6.6. Схема газовых потоков при заполнении формы сплавом

Количество газов, выделившихся в полость формы, уменьшается с сокращением времени протекания жидкого сплава мимо данного уровня стержня с координатой x до заполнения всего стержня сплавом, т. е. с уменьшением $\tau = x/v$, где v – скорость подъема уровня сплава в форме. При $v = const$ количество газов, выделившихся в полость формы, снижается с уменьшением координаты x , т. е. при переходе от нижних сечений стержня к верхним.

Наибольшая доля газов, выделившихся при контакте сплава со стержнем, будет выведена в полость формы из нижних сечений стержня (точка *B* на рис. 6.6), а наименьшая – из верхних сечений (точка *A*). Практически весь газ, выделяющийся при контакте сплава с верхними сечениями стержня, будет отводиться через знаковую часть при наибольшей длине путей фильтрации.

С увеличением продолжительности заливки формы растет количество газов, выделяющихся из стенок формы и стержня в полость формы. Как видно из формулы (6.13), пропускную способность M можно увеличить не только применяя более газопроницаемые смеси, но и увеличивая отношение S_{np}/l . Как показал О. А. Бондарев, величину S_{np} можно сделать больше, только увеличивая поверхность стока газов при применении полых стержней (рис. 6.7), так как поверхность контакта стержня с расплавом задана чертежом отливки [4]. Изменяя конфигурацию поверхности стока газов, т. е. полости в стержне, можно существенно увеличить пропускную способность стержня за счет сокращения длины фильтрации и увеличения поверхности стока газов.

При этом путем подбора соответствующей конфигурации полости в стержне можно обеспечить равнонапряженный газовый режим на различных участках поверхности стержня, предполагающий приближенное выполнение условия $S/l_i = const$, где S_i и l_i – поверхности и пути фильтрации газов в разных точках поверхности стержня.

На рис. 6.7 приведены различные сечения стержней с полостями, обеспечивающими равнонапряженный газовый режим.

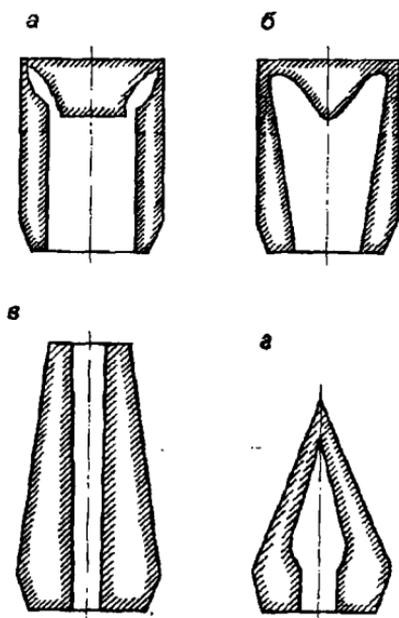


Рис. 6.7. Сечения различных стержней

6.3. Закономерности изменения давления газов в полости и стенках формы при заливке ее сплавом и затвердевании отливки

При контакте расплава с формой или стержнем на границе расплав-форма (или стержень) формируется газовое давление P_{ϕ} , величина которого определяется интенсивностью газовыделения b и пропускной способностью M .

Я. И. Медведевым получена следующая формула, описывающая изменение избыточного давления газа на границе отливка-форма (или стержень):

$$P_{\phi} = \frac{\alpha \cdot b \cdot S \sqrt{t}}{\frac{V_n \cdot T_n}{P \cdot T_0} + M \cdot t}, \quad (6.18)$$

где V_n – объем пор в поверхностном слое формы (или стержня);

α – коэффициент, учитывающий скорость заполнения формы сплавом, $\alpha \leq 1$.

Из этой формулы следует, что при $t = \frac{V_n \cdot T_n}{P_a \cdot T_0 \cdot M}$ давление

достигает максимума, а затем убывает, при этом максимальное давление газа будет равно

$$P_{\phi, \max} = \frac{b \cdot S}{\sqrt{M} \cdot \sqrt{\frac{V_n \cdot T_n}{P_a \cdot T_0}}}. \quad (6.19)$$

Формулы (6.18) и (6.19) качественно правильно описывают изменение давления. Однако, количественное их применение затруднительно, так как остаются неопределенными величины V_n и α . Из (6.19) видно, что избыточное давление тем больше, чем больше газотворность смеси и меньше пропускная способность формы или стержня.

Характер изменения давления газа на границе расплава с формой или стержнем после заливки неоднократно исследовался экспериментально. На рис. 6.8 показана типичная экспериментальная кривая изменения давления P_2 . Как следует из рис. 6.8, на этой кривой наблюдаются

два максимума. Второй максимум, который возникает через 30–300 с после первого, объясняют падением газопроницаемости смеси из-за образования на некотором удалении от поверхности отливки зоны конденсации влаги.

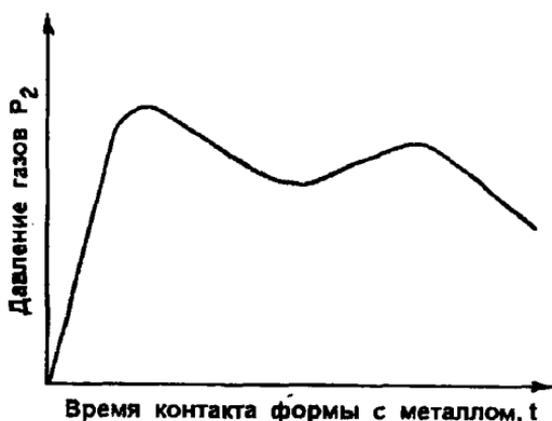


Рис. 6.8. Характер изменения давления газа P_2 после заливки формы

В зависимости от конкретных условий (тип связующего, газопроницаемость смесей, геометрические характеристики форм и стержней, теплофизические условия и т.п.) величина $P_{2\max}$ может принимать значения от 0,5 до 30 кПа.

Давление газа P_2 и характер его изменения зависят от положения рассматриваемой точки на поверхности стержня и продолжительности заливки (рис. 6.9 и 6.10). Эти зависимости объясняются характером газовых потоков в стержнях и болванах формы, описанным выше (п. 6.2).

Из рис. 6.10 следует, что давление на нижней поверхности формы мало зависит от продолжительности заливки. Чем больше скорость заливки, тем раньше давление в верхней точке стержня достигает максимума и тем больше его величина.

В. С. Серебро приводит формулы для расчета максимального давления газа $P_{2\max}$ на границе расплав–стержень в зависимости от ориентации стержня в форме [35]. Для горизонтальных стержней оно равно

$$P_{2\max} = \frac{I_0 \cdot l^2}{2\Gamma}, \quad (6.20)$$

где I_0 – удельная мощность газовыделения в стержнях в начальный момент времени, см^3 газа на см^3 смеси в секунду;

l – половина длины рабочей части стержня;

Γ – газопроницаемость смеси.

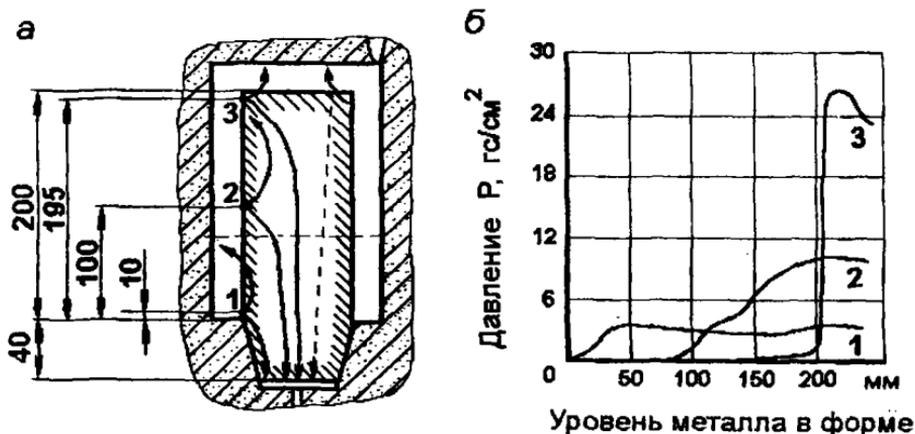


Рис. 6.9. Характер газовых потоков (а) и изменение давления газа (б) в различных точках стержня при заливке формы

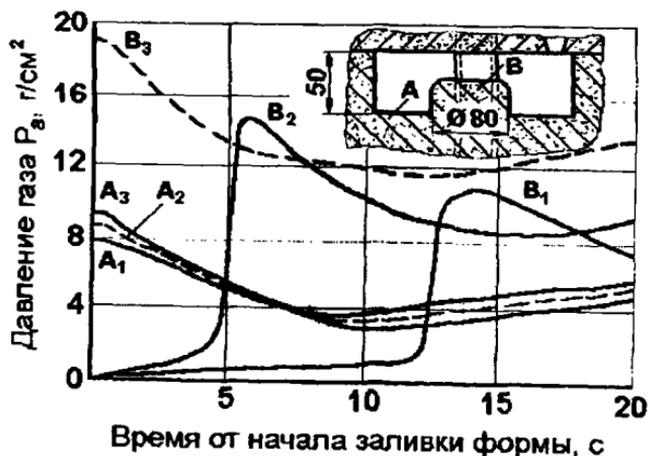


Рис. 6.10. Влияние времени заливки на газовое давление в сырой песчано-глинистой форме ($W=4\%$): $A_1, B_1 - t_{\text{зал}} = 12$ с; $A_2, B_2 - t_{\text{зал}} = 5$ с; A_3, B_3 – мгновенная заливка

Для вертикально расположенных стержней

$$P_{z\max} = \frac{v \cdot \Gamma S \cdot l \cdot \rho_{см}}{l}, \quad (6.21)$$

где v – линейная скорость поднятия уровня сплава в форме (скорость затопления стержня), см/с;

l – глубина затопления стержня, см;

ΓS – предельная газотворность единицы объема смеси, см³ газа на см³ смеси.

Формулы (6.20) и (6.21) справедливы для плоскопараллельного установившегося газового потока.

6.4. Объемные газовые раковины

Объемные газовые раковины представляют собой распределенные по объему отливки округлые пустоты, имеющие, как правило, неокисленную поверхность. Эти дефекты могут возникать как по вине газов, выделяющихся из расплава при его затвердевании, так и за счет проникновения в расплав газов, выделяющихся при прогреве формы.

Для проникновения газа из капилляров формы в жидкий расплав необходимо, чтобы давление газов на границе отливка–форма P_z удовлетворяло условию (рис. 6.11)

$$P_z > P_{вн} + P_n + \rho \cdot g \cdot H, \quad (6.22)$$

где $P_{вн}$ – внешнее избыточное давление в полости формы над расплавом;

P_n – давление газа, необходимое для прохождения им границы раздела металл–форма;

P_m – гидростатическое давление жидкого сплава, $\rho g H = P_m$.

При достаточной газопроницаемости смеси и наличии выпоров и прибылей внешнее давление $P_{вн}$ невелико (не более 0,3 кПа). Однако, при переуплотнении формы и отсутствии выпоров и прибылей оно может достигать 2 кПа. Для проникновения в жидкий расплав газа из капилляра с радиусом r необходимо преодолеть капиллярное давление в образующемся пузырьке:

$$P_n = \frac{2\sigma \cdot \sin \theta}{r},$$

где σ – поверхностное натяжение расплава;

r – радиус капилляра, образованного порами смеси;

θ – краевой угол смачивания (см. рис. 6.11).

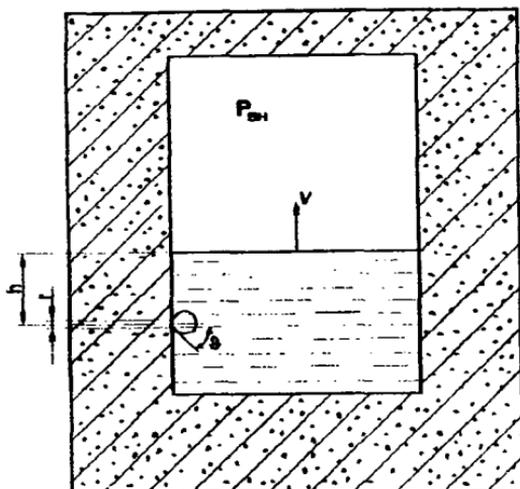


Рис. 6.11. Схема к формулировке условия проникновения газа в расплав

Для жидкого чугуна $P_n=10$ кПа. После образования на поверхности отливки твердой корки P_n быстро увеличивается, стремясь к бесконечности.

В процессе заливки уровень сплава в форме H увеличивается. Поэтому гидростатическое давление расплава P_m в процессе заливки растет и при постоянной скорости подъема сплава в форме v изменяется в соответствии с формулой $P_m = \rho \cdot g \cdot v \cdot t$.

На рис. 6.12 приведены кривые изменения давления на границе металл–форма: $P_z, P_m, P_n, P_{газ}$ и $P_{\Sigma} = P_m + P_n + P_{газ}$. Видно, что условие (6.18) выполняется в интервале времени $t_1 \leq t \leq t_2$. Продолжительность времени $t_2 - t_1$ называют длительностью вскипа. В зависимости от t_2 различают слабые вскипы ($t_2 = 0,5-3$ с) и сильные вскипы (t_2 до 50 с). Слабые вскипы характеризуются проникновением одиночных пузырей. Обычно они возникают в процессе заливки и до конца заливки успевают выделиться из расплава, тогда газовых раковин в отливках нет.

При большой длительности вскипа и большой разнице между P_z и P_{Σ} могут возникать выбросы металла. В этом случае пузырей настоль-

ко много, что они сливаются вместе, образуя сплошную газовую рубашку. На рис. 6.12, *в* приведен пример, когда вскип отсутствует ($P_g < P_{\Sigma}$). На рис. 6.12, *а* и *б* показаны условия заливки форм при разной продолжительности заливки $t_{зал1}$ и $t_{зал2}$. Из графиков видно, что если время заливки равно $t_{зал2}$ (быстрая заливка), то в отливке будут газовые

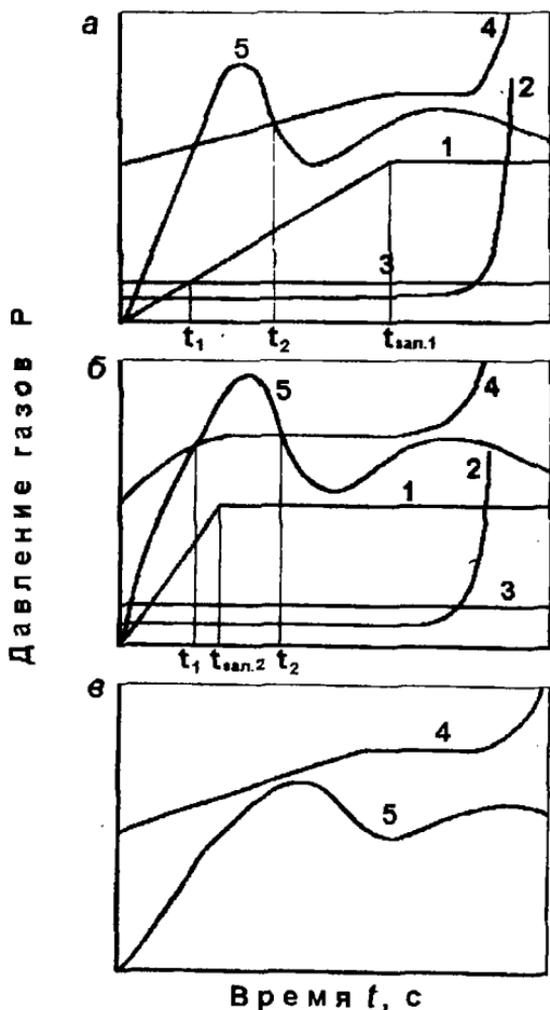


Рис. 6.12. Изменение давления газов P_g и противодействия P_{Σ} при разной продолжительности заливки ($t_{зал.1} > t_{зал.2}$) и условиях газовой выделении: 1 — $P_{ж}$; 2 — $P_{н}$; 3 — $P_{от}$; 4 — P_{Σ} ; 5 — P_g .

раковины, так как газы проникают в этом случае в сплав и после заполнения формы ($t_2 > t_{заг2}$, см. рис. 6.12, б). При $t_{заг1} > t_2$ (см. рис. 6.12, а) газовые раковины в отливках могут отсутствовать, если за время $t_{заг1} - t_2$ газы успевают всплыть и выделиться из расплава.

Для борьбы с газовыми раковинами необходимо принимать меры, снижающие P_2 (увеличивать газопроницаемость и вентиляцию форм и стержней, увеличивать пористость формы, уменьшать длину фильтрационных путей и газотворность форм, увеличивать сечение газового потока в стержне или форме S и т.д.) и увеличивающие P_2 .

С точки зрения влияния режима заполнения формы необходимо, чтобы скорость заполнения формы обеспечивала нормальный отвод газов, образующихся в стержнях и стенках формы. Для предотвращения газовых раковин необходимо, чтобы выполнялось условие

$$t_{заг} \geq (t_2 + t_{пуз}) = t_{мин}, \quad (6.23)$$

где t_2 — время окончания вскипа в наиболее опасной с этой точки зрения зоне формы;

$t_{пуз}$ — время всплывания пузыря.

Как следует из вышесказанного, с уменьшением скорости заливки снижается P_2 и уменьшается t_2 , что благоприятно сказывается на качестве отливок. Чтобы вообще исключить возможность проникновения газов в расплав, необходимо участки формы с наибольшим количеством стержней заполнять как можно медленнее. После закрытия сплавом поверхности стержней скорость следует увеличить, так как это приведет к увеличению h и правой части в условии (6.21).

На рис. 6.13 приведены изменения максимумов давлений P_2 и $P_2 = P_n + P_{ан} + \gamma h$ в зависимости от положения рассматриваемых точек на поверхности стержня. Из рисунка видно, что условие $P_2 > P_2$ выполняется между точками В и З. Увеличение P_2 при переходе от точки А к Г и от И к Е объясняется увеличением длины фильтрации. Таким образом, опасными с точки зрения вскипов являются части поверхности стержня и формы, наиболее удаленные от нижней поверхности полости формы. Строгие аналитические методы определения $t_{мин}$ в настоящее время не разработаны.

В заключение отметим большое влияние вентиляции формы на ее заполняемость сплавом. При плохой вентиляции формы в процессе заливки происходит значительное увеличение давления газа над зеркалом расплава. Это приведет к снижению расхода (M_2 уменьшается), что может вызвать появление спаев и недоливов в отливках.

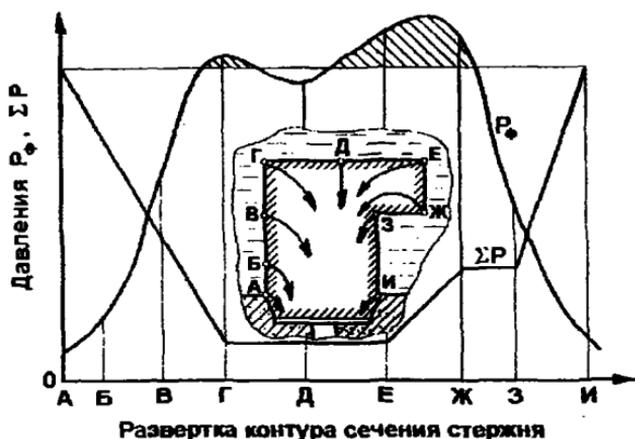


Рис. 6.13. Соотношение минимального газового давления P_g и противодействия P_z на различных участках стержня

В. С. Серебро принимает, что для исключения проникновения газов в расплав необходимо выполнение условия $P_z \leq nP_{дон}$, где $P_{дон}$ – допустимое давление газа в стержне; n – коэффициент запаса [35]. С учетом формул (6.20) и (6.21) он получил следующие критерии, определяющие условия, которые исключают проникновение газа в расплав:

для горизонтально расположенного стержня

$$W_1 = \frac{2n \cdot P_{дон} \cdot \Gamma}{I_0 \cdot l^2} \geq 1; \quad (6.24)$$

для вертикального стержня

$$W_2 = \frac{n \cdot P_{дон} \cdot \Gamma}{v \cdot \Gamma S \cdot l \cdot \rho_{см}} \geq 1. \quad (6.25)$$

Величину допустимого давления $P_{дон}$ В. С. Серебро приравнивает к гидростатическому давлению $P_M = \rho \cdot g \cdot h$. С учетом этого критерии принимают вид

$$W_1 = \frac{2n \cdot \rho \cdot g \cdot \Gamma \cdot h}{I_0 \cdot l^2} \geq 1; \quad (6.26)$$

$$W_2 = \frac{n \cdot g \cdot \rho \cdot \Gamma}{v \cdot I S \cdot \rho_{cm}} \geq 1. \quad (6.27)$$

Формулы (6.26) и (6.27) можно в первом приближении использовать для определения технологических параметров, исключающих проникновение газа в расплав. Приведем примеры, данные в [35].

Пример 1. Каково должно быть значение газопроницаемости песчано-смоляной смеси ($I_0=1,56 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$), если стержень длиной $2l=100 \text{ мм}$ используется для получения горизонтального отверстия в чугунной отливке ($\rho=7000 \text{ кг/м}^3$) при заглублении стержня $h=25 \text{ мм}$?

Приняв $n=1$, из (6.26) находим

$$\Gamma \geq \frac{I_0 \cdot l^2}{2\rho \cdot g \cdot h} = \frac{1,56 \cdot 0,05^2}{2 \cdot 7000 \cdot 9,8 \cdot 0,025} = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 / (\text{Н} \cdot \text{с}) = 67 \text{ ед. г.}$$

Пример 2. С какой скоростью можно заливать отливку, рассмотренную в предыдущем примере, если в ней имеется вертикальное отверстие и $I S=0,028 \text{ м}^3/\text{кг}$?

При $n=1$ из (6.27) получаем

$$v \leq \frac{g \cdot \rho \cdot \Gamma}{I S \cdot \rho_{cm}} = \frac{9,8 \cdot 7000 \cdot 1,14 \cdot 10^{-6}}{0,028 \cdot 1800} = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 1,56 \text{ мм/с.}$$

Проникновение газов в расплав не обязательно приводит к образованию газовых раковин, так как при соответствующих условиях они могут выделиться из расплава до его затвердевания. Из практики известно, что мощным средством борьбы с газовыми раковинами является увеличение температуры заливки, так как при этом увеличивается продолжительность затвердевания отливки и снижается вязкость газа.

П. П. Берг различает объемные и поверхностные газовые раковины [3]. Поверхностные газовые раковины расположены в верхних, подкорковых слоях отливки и имеют вид взрывных камер (рис. 6.14). Их образование вызвано резким возрастанием давления газов в момент, когда образуется твердая корка и увеличивается вязкость сплава. Твердая корка прорывается газом, а газовый пузырь, проникший в расплав, не может всплыть. Эти раковины образуются в зоне второго максимума (вторичный вскип). При этом повышение давления может быть вызвано, например, выделением конституционной влаги при нагреве смеси. Поэтому одним из способов борьбы с поверхностными раковинами является снижение содержания глины в смеси.

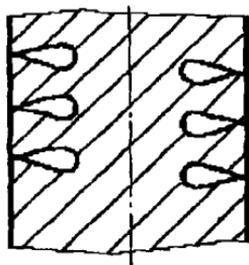


Рис. 6.14. Вид поверхностных газовых раковин в отливке

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте особенности газовой выделении при нагреве смесей с различными связующими. Чем обусловлены пики на кинетических кривых газовой выделении?
2. Что такое средняя температура газовой выделении? Как она влияет на интенсивность газовой выделении при прогреве смеси?
3. Как со временем изменяется объем газов, выделяющихся из формы (или стержня) в процессе ее прогрева?
4. Каков физический смысл коэффициента газообразования? Как он зависит от типа и содержания связующего?
5. Дайте определение пропускной способности форм и стержней.
6. Как рассчитать пропускную способность форм и стержней сложной конфигурации?
7. Как можно управлять пропускной способностью стержней?
8. Дайте характеристику газовым потокам при заполнении вертикально расположенного стержня.
9. Как изменяется давление газа в разных точках вертикально расположенного стержня в зависимости от скорости заливки формы?
10. Поясните характер изменения газового давления в поверхностных слоях формы или стержня после заливки формы.
11. Назовите мероприятия, направленные на снижение газового давления.
12. Сформулируйте условия проникновения газа в расплав.
13. Каков механизм образования объемных газовых раковин?
14. Как влияют скорость и температура заливки на образование газовых раковин?
15. Как определить максимально допустимую скорость заливки с точки зрения образования газовых раковин?

16. Охарактеризуйте механизм образования поверхностных газовых раковин в отливках?

17. Для условий, приведенных в табл. 6.3, определите максимально допустимую скорость заполнения формы с вертикально расположенным стержнем. Как можно увеличить эту скорость вдвое?

Таблица 6.3.

Условия для выполнения задания

Номер варианта	Сплав	Газотворность ГС, м ³ /кг	Газопроницаемость Г, ед. г.	Связующее	Плотность, кг/м ³	
					сплава	смеси
1	Чугун	0,056	100	ФФС	7000	1800
2	«	0,028	100	«	«	«
3	«	0,074	70	«	«	«
4	«	0,064	70	ЖС	«	«
5	«	0,040	120	«	«	«
6	Сталь	0,040	130	ФФС	7200	«
7	«	0,064	130	«	«	«
8	«	0,080	100	«	«	«
9	«	0,050	100	ЖС	«	«
10	«	0,030	80	«	«	«
11	Чугун	0,018	100	Бентонит	7000	«
12	«	0,010	100	«	«	«
13	«	0,024	120	«	«	«
14	«	0,028	120	ЛСТ	«	«
15	«	0,056	70	«	«	«
16	Сталь	0,024	100	Бентонит	7200	«
17	«	0,020	100	«	«	«
18	«	0,030	130	«	«	«
19	«	0,036	130	ЛСТ	«	«
20	«	0,064	80	«	«	«

Примечание. ФФС - фенолоформальдегидная смола; ЖС - жидкое стекло.

7.1. Сущность процесса формовки

7.1.1. Классификация формовочных процессов

Приготовление формовочных и стержневых смесей, получение литейных форм, упрочнение смесей, взаимодействие форм и стержней с отливками при их формировании называют формовочными процессами. Формовочные процессы можно классифицировать по следующим признакам [18]:

- 1) по способу изготовления форм (формовка уплотнением смеси, по CO_2 -процессу, по газифицируемым моделям, вакуумно-пленочная формовка и наливная формовка);
- 2) используемой модельной оснастке (формовка по модели, формовка по шаблону);
- 3) наличию опоки (опочная и безопочная формовка, формовка в съёмных опоках, в почве, в стержнях);
- 4) подготовке форм к заливке (стопочная и этажная формовка).

Формовкой называется процесс изготовления литейных форм и стержней с помощью модельно-опочной оснастки из формовочных и стержневых смесей [12]. Этот процесс включает в себя выполнение следующих операций:

- подготовку оснастки и формовочной смеси;
- доставку смеси к рабочему месту;
- заполнение рабочей полости (опоки, стержневого ящика) смесью;
- уплотнение смеси для придания ей необходимых технологических свойств (прочности, газопроницаемости, податливости, получения точного отпечатка модели в форме);
- организацию вентиляции формы для облегчения выхода из ее полости газов, образующихся при заливке (устройство вентиляционных каналов);
- извлечение модели из формы;
- отделку формы;
- установку жеребеек, стержней, холодильников (если они предусмотрены технологией изготовления конкретной отливки);
- сборку и скрепление формы;
- загрузку формы перед заливкой.

После формовки литейная форма должна отвечать следующим требованиям и иметь:

- малую трудоемкость;
- хорошую транспортабельность и способность к манипуляции литейной формой;
- точность размеров и конфигурацию рабочей полости литейной формы, гарантирующие получение конфигурации и размеров отливки в соответствии с чертежом;
- прочность и жесткость элементов литейной формы на всех этапах ее изготовления и при взаимодействии с заливочным сплавом;
- возможность обеспечения точности сборки элементов формы;
- гладкость рабочих поверхностей элементов литейной формы, позволяющих получать поверхности отливки требуемого качества;
- вентиляцию элементов литейной формы, гарантирующую отсутствие газовых дефектов в отливке на стадиях заливки и затвердевания;
- обладать податливостью элементов формы, обеспечивающей отсутствие трещин и напряжений в отливке.

В зависимости от вида формовочной смеси и способа формовки заполнение рабочей полости формы (опока, стержневой ящик) производится различными способами:

1) в случае применения сыпучих формовочных смесей производится их засыпка из бункера (при машинной формовке) или засыпка лопатой (при ручной формовке);

2) при изготовлении форм на пескометах смесь поступает в форму с ускорением (бросание смеси), уплотнение смеси здесь происходит одновременно с заполнением формы;

3) при изготовлении стержней смесь поступает в стержневой ящик вдуванием с большой скоростью под действием сжатого воздуха (пескодувный и пескострельный процессы);

4) формы и стержни, изготавливаемые из жидкоподвижной самоотвердеющей смеси, заполняются наливанием в опоку текучей смеси. Такая смесь в некоторых случаях доуплотняется вибрацией.

Уплотнение формовочной смеси приводит к увеличению числа контактов между зернами основы и расширению контактной площади за счет деформации слоя связующего материала. Для лучшего представления механизма уплотнения смеси рассмотрим ее структуру.

7.1.2. Структура формовочной смеси

Структура – это взаимное расположение и характер связей между элементами смеси, которые при более внимательном изучении сами

оказываются системами, состоящими из более мелких частей (элементов). Поэтому структурные уровни формовочной смеси различаются своими размерами [12].

Макроровень (10^0 – 10^3 м) характеризуется тем, что элементами являются слои стенки формы (в общем случае стенка формы состоит из четырех слоев): опока (или кожух), обеспечивающая прочность и возможность манипулирования с формой; наполнительная смесь, создающая жесткость формы как целого; облицовочная смесь, позволяющая сохранить размеры и конфигурацию отливки в условиях взаимодействия формы с жидким сплавом; покрытие, которое должно обладать высокой огнеупорностью и обеспечивать высокое качество поверхности отливки.

Элементами *микроуровня* (10^{-3} – 10^{-5} м) являются зерна огнеупорной основы смеси. Для уяснения микроструктуры смеси представим ее модель, состоящую из жестких сфер одинакового размера, скрепленных между собой точечными контактами через пленку связующей добавки. Расстояние между центрами любой пары соприкасающихся сфер равно их удвоенному радиусу.

В неуплотненном состоянии сферы образуют рыхлую систему, пористость которой составляет 70 % и более. В этом случае общая плотность смеси при плотности кварцевых зерен $2,6 \text{ г/см}^3$ будет около 1 г/см^3 . Смежные сферы могут создавать многочисленные «арки» (см. рис. 5.13, а). При элементарном уплотнении сферы образуют кубическую систему. Ромбоэдр, построенный в плоскости, пересекающей центры соприкасающихся сфер, в этом случае является квадратом с углом 90° (см. рис. 5.13, б). При гексагональной упаковке ромбоэдр имеет острые углы 60° (см. рис. 5.13, в).

Пористость уплотненной системы m зависит от угла ромбоэдра θ следующим образом:

$$m = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos \theta) \cdot \sqrt{1 + \cos \theta}} \quad (7.1)$$

Расчеты показывают, что при кубической упаковке пористость составляет 0,476, а плотность смеси равна $1,3 \text{ г/см}^3$; при гексагональной упаковке соответственно 0,259 и $1,85 \text{ г/см}^3$. Приведенные цифры соответствуют реальной плотности формовочных смесей.

Увеличение степени уплотнения смеси повышает число контактов между зёрнами на единицу сечения, а значит, прочность смеси, и уменьшает сечение каналов между зёрнами, следовательно, и газопро-

нищаемость смеси. Площадь просвета между зёрнами n зависит также от угла ромбоэдра θ :

$$n = 1 - \frac{\pi}{4 \sin \theta}.$$

Газопроницаемость I' связана с характеристиками смеси следующим образом:

$$I' = \frac{d^2 \cdot n^2}{96(1-m) \cdot \eta}, \quad (7.2)$$

где d — диаметр зёрна;

η — динамическая вязкость газа.

Из выражения (7.2) видно, что газопроницаемость смеси пропорциональна квадрату диаметра зёрна, т.е. резко падает при измельчении зёрен.

Реальная формовочная смесь отличается от идеальной модели: зёрна не являются строго сферическими; они не имеют строго одинаковых размеров; контакты между зёрнами не точечные, а образуют площадки; в пределах одного микрообъёма различные ячейки имеют разные размеры и углы ромбоэдра.

Упаковка реальных формовочных смесей в ячейках носит статистический характер. В разрыхленных смесях имеется много ячеек, в которых не все соседние частицы соприкасаются между собой. Это значит, что ромбоэдр превращается в многоугольник и среднее значение его угла в этом случае больше 90° . Если размеры зёрен смеси сильно различаются между собой, то плотность упаковки оказывается больше, чем в системе из одинаковых зёрен, а газопроницаемость меньше.

Субмикроруровень (10^5 – 10^7 м) характеризуется тем, что элементами являются частицы глины, связующих добавок и молекулярные кристаллы (детали плёнок связующих добавок).

Элементы субмикроруровня определяют прочность связи между зёрнами песка, а особенно между частицами глины и других высушающих, затвердевающих и химически твердеющих добавок. К этому же уровню относятся частицы пылевидного кварца, составляющие зерновую основу огнеупорного покрытия и молотого угля. В свою очередь, их связующие добавки должны иметь более тонкую структуру. Этот структурный уровень до сих пор остается слабо изученным, хотя силы, действующие между его частицами, играют весьма важную роль в обеспечении прочности и жаростойкости смесей.

Элементами *мезоруровня* (10^7 – 10^9 м) являются коллоидные час-

тицы кремнекислоты, действие которых проявляется в керамизируемых смесях; ультрадисперсные порошки, молекулы высокомолекулярных соединений, из которых состоит все виды смол. В зернах основы смеси к этому уровню относятся атомно-кристаллические решетки, образуемые оксидом кремния или иными химическими соединениями; их блоки, дислокации и другие дефекты решеток. Их значения проявляются в процессах разрушения зерен, ведущих к появлению пыли и сокращению долговечности смесей.

Элементами *атомного уровня* (10^{-9} м и меньше) являются сами атомы, их электронные орбиты, молекулы неорганических соединений. Эти элементы в конечном счете образуют все частицы вышележащих уровней.

Ввиду огромной разницы в размерах и строении элементов различных уровней средства воздействия на их характеристики редко выходят за пределы смежных уровней. Следовательно, для получения максимальных эффектов целесообразно воздействовать одновременно на несколько уровней и для каждого из уровней предусматривать свои средства.

Таким образом, сущность процесса формовки состоит в связывании разрозненных зерен наполнителя в единую смесь связующей добавкой. Для проявления своего действия связующая добавка должна первоначально находиться в жидком состоянии, затем образовать на поверхности зерен пленку, далее при уплотнении создать вокруг точек контакта между зернами манжеты (см. рис. 5.11) и, наконец, перейти в твердое состояние, превратив сыпучую смесь в монолитную среду.

Прочностные свойства формовочной смеси определяются влиянием адгезии и когезии связующих материалов.

Адгезия – прилипание двух конденсированных тел на границе раздела фаз. *Когезия* – прочность тела, вступившего в контакт, т. е. материала жидкой или затвердевшей пленки. Силы когезии тем больше, чем тоньше пленка приставшего вещества. Разрушение формовочной смеси может происходить тремя путями:

- если силы когезии превышают силы адгезии, происходит отрыв пленки от зерна;
- если силы адгезии превышают силы когезии, происходит разрыв пленки связующего;
- если силы адгезии и когезии соизмеримы, то разрыв происходит частично по пленке, частично путем отрыва пленки от зерна.

Формовочная смесь должна обладать достаточной прочностью после изготовления, необходимой для обеспечения операций сборки, транспортировки и заливки жидкого металла.

7.2. Характеристика способов уплотнения форм и стержней

Процесс уплотнения формы зависит от способа силового воздействия на смесь. Исследования показали, что на поведение смеси при уплотнении существенно влияет скорость изменения сжимающих усилий, поэтому все способы уплотнения нужно разделить на статические и динамические.

К статическим относятся все способы прессования литейных форм. Для этих способов характерно относительно медленное увеличение сжимающей нагрузки, процесс уплотнения длится несколько секунд.

Способы уплотнения, при которых время приложения нагрузки не превышает 0,1–0,2 с, а сжимающие напряжения в смеси быстро растут и так же быстро уменьшаются, являются динамическими. Для них характерна высокая скорость деформации смеси. Существенную роль, а в некоторых случаях решающую, играют инерционные силы. При уплотнении смеси происходит сжатие воздуха, находящегося в порах смеси.

Классификация способов уплотнения формовочных смесей приведена на рис. 7.1 [12]. В ряде случаев применяется комбинированное уплотнение, сочетающее в себе некоторые из перечисленных способов.

7.2.1. Уплотнение трамбованием

Уплотнение трамбованием применяют только при ручной формовке. Трамбовка воздействует одновременно на большую часть поверхности уплотняемой смеси, место ее воздействия систематически меняется и охватывает всю уплотняемую поверхность. Формовочную смесь засыпают в рабочее пространство оснастки слоями, которые последовательно уплотняются. Уплотнение получается не вполне равномерным на микроскопическом уровне и достаточно равномерным на макроскопическом уровне.

В России ручной формовкой в настоящее время изготавливают около 24 % отливок (от суммы машинной и ручной формовки). Объем ручной формовки систематически снижается, но в будущем она сохранится в малых всемеханизированных цехах и при единичном изготовлении очень крупных отливок. Ручное изготовление форм – трудоемкая операция, и ее всемерное сокращение представляет собой социальную проблему.

Извлечение модели из уплотненной смеси является трудной операцией при ручной формовке и может приводить к частичному разру-



Рис. 7.1. Классификация способов уплотнения формовочных смесей

шению формы. Извлечению модели из формы препятствуют ее выступающие части. В связи с этим при разработке технологии ручной формовки изобретено большое число средств и способов для преодоления этого недостатка. К ним относятся:

1) изготовление отъемных частей у моделей, т.е. основная часть модели извлекается через разъем, а выступающая, отъемная часть – через полость, образовавшуюся после извлечения основной части;

2) размещение выступающих частей в плоскости разъема полуформ;

3) применение подрезки, т.е. в полуформах изготавливается с одной стороны углубление, с другой стороны – выступ, пересекающий поверхность разъема и называемый болваном;

4) применение перекидных болванов, которые входят в углубление, имеющееся в обеих полуформах; перекидные болваны не связаны с полуформами и составляют самостоятельные элементы, эти элементы остаются лежать при переворачивании полуформ на той из них, которая размещается внизу.

Ручная формовка трамбованием обычно используется в мелкосерийном и единичном производстве и осуществляется по моделям, шаблонам, в почве, в опоках, в стержнях.

7.2.2. Формовка в почве

Формовку в почве применяют в единичном или мелкосерийном производстве преимущественно при изготовлении крупных отливок. Ее осуществляют в ямах, которые делают в земляном полу цеха, или в кессонах – глубоких ямах в полу цеха, выложенных кирпичом с применением газоотводных формовочных постелей. В зависимости от массы и высоты отливки используют мягкие и твердые постели. Мягкие постели применяют для формовки плоских отливок небольшой высоты, твердые постели – для крупных отливок большой высоты.

Формовка в почве проста, не требует специального оборудования, однако она имеет следующие недостатки:

- рытье ям и изготовление газоотводной постели (высокая трудоемкость операций);
- значительный объем ручных работ;
- необходимость формовщиков высокой квалификации;
- тяжелые санитарно-гигиенические условия работы (пыль, высокая температура и т.д.);
- малый съём годных отливок с 1 м² формовочной площади.

Формовка по мягкой постели. На рис. 7.2 приведена схема изготовления в почве формы для отливки «Диск» по мягкой постели. В полу литейного цеха роют яму глубиной 200 мм (рис. 7.2, а) и заполняют ее наполнительной смесью. Ширина и длина ямы несколько больше ширины и длины модели. На два массивных металлических бруса 1, выверенных ватерпасом по длине и относительно друг друга, устанавливают деревянные рейки 2, между которыми засыпают слой облицовочной смеси 5 толщиной 20–30 мм. Разравнивают смесь линейкой 3, а затем, сняв рейки 2, этой же линейкой уплотняют ее вровень с плоскостью, образованной металлическими брусками (рис. 7.2, б).

Модель 6 отливки осторожно осаживают легкими ударами молотка 8 по деревянному брусу 7. Горизонтальное положение верхней плоскости модели проверяют ватерпасом 9 (рис. 7.2, в). После этого формовочную смесь уплотняют вокруг модели и излишек ее линейкой сгребают вровень с верхней плоскостью модели. Для отвода газов вентиляционной иглой 10 в форме делают наколы, а затем вынимают модель 6. Для предохранения формы от размыва струей расплава литниковую чашу 11 делают так, как показано на рис. 7.2, г. От литниковой чаши к модели прорезают литник для подвода расплава. С противоположной литнику стороны предусматривают сливной канал 12.

Формовка по твердой постели. Яму 5 выкапывают глубиной на 300–500 мм больше высоты модели (рис. 7.3, а). На уплотненное дно ямы насыпают слой кокса или коксовой гари 4 толщиной 100–250 мм (размер кусков 50–70 мм). Слой кокса уплотняют и сверху насыпают более мелкий кокс 2, который слегка утрамбовывают и покрывают сверху асбестовым полотном. Для вывода газов устанавливают трубы 1, верхний конец которых расположен несколько выше уровня пола цеха. В слое 3 формовочной смеси делают вентиляционные наколы.

На твердую постель насыпают формовочную смесь, которую после установки модели 6 уплотняют (рис. 7.3, б). Поверхность формы выравнивают и накрывают опокой 7. В опоке устанавливают модели 9 элементов литниковой системы (питатель, стояк, шлаковик, выпора) и крючки 10. В опоку засыпают формовочную смесь и трамбуют ее.

После этого опоку поднимают краном и извлекают из формы модель. После отделки форму собирают по центрирующим кольшкам 8 и устанавливают груз 13, литниковую чашу 12 и выпорную чашу 11 (рис. 7.3, в). Если в верхней опоке имеются болваны, то для их лучшего удержания в верхнюю опоку устанавливают проволоочные крючки 10. Их концы, обращенные к модели, смачивают жидкой глиной или сульфитной бардой, чтобы обеспечить прилипание к ним формовочной смеси. Крючки навешиваются на крестовины или ребра опоки. Расстояние между крючками и моделью должно быть 70–100 мм.

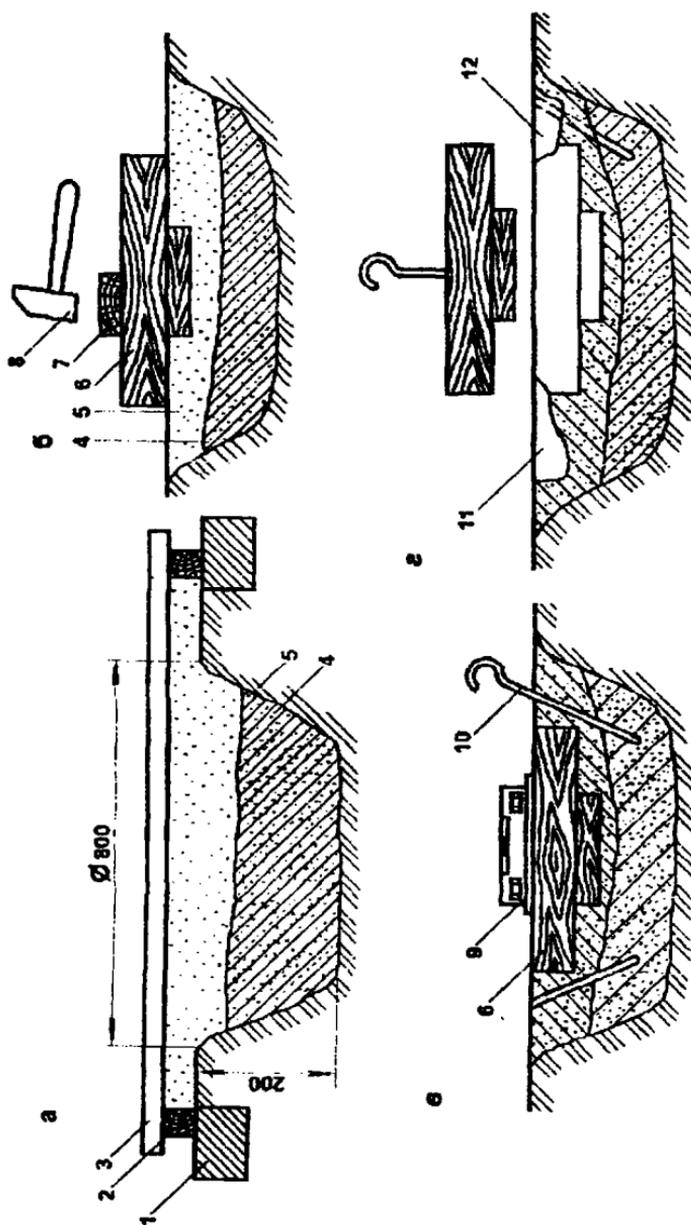


Рис. 7.2. Формовка в почве отливки «Диск» по мягкой постели

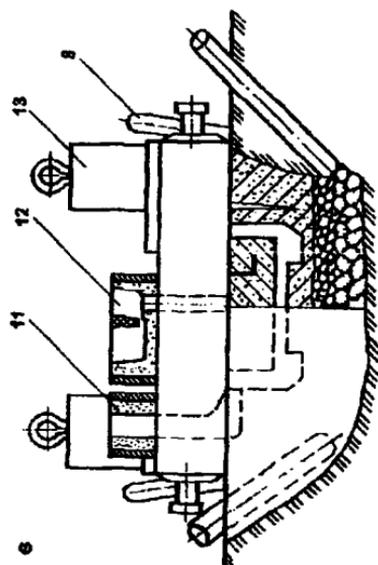
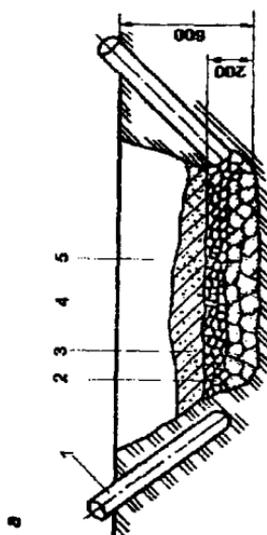
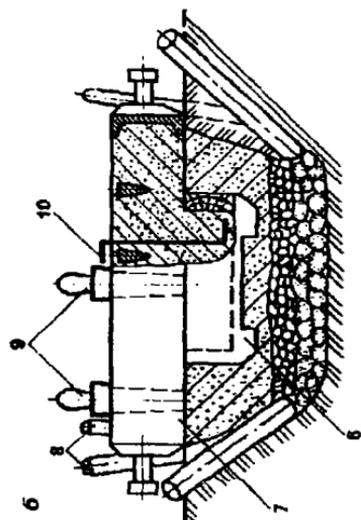


Рис. 7.3. Формовка по твердой постели

Формовка в кессонах. Формы особо крупных отливок изготавливают в кессонах с использованием твердой постели. Основное назначение кессона – создать безопасные условия при заливке формы крупной отливки без выброса и ухода металла из формы. Кессоны – это глубокие ямы в полу цеха с прочными железобетонными стенами и дном. Изнутри стены кессона облицовывают огнеупорным кирпичом. Стены кессона должны иметь хорошую гидроизоляцию, чтобы грунтовые воды не просочились в форму и не привели к ее взрыву при заливке металлом. Для формовки в кессонах используют песчано-глинистые, жидкие самотвердеющие, а также быстротвердеющие смеси.

7.2.3. Формовка в опоках

При формовке в опоках отливки получаются более точными, чем при формовке в почве, так как опоки центрируют с помощью штырей. Формовка в опоках производительнее формовки в почве.

Формовку в опоках выполняют по разъемным и неразъемным моделям. При этом используют различные приемы: формовку с подрезкой, с фальшивой опокой, с перекидным болваном, с отъемными частями и т.д. Основное назначение этих приемов формовки состоит в том, чтобы при заданной конструкции отливки и серийности ее изготовления обеспечить необходимое качество при минимальных затратах. Например, при формовке с подрезкой или с перекидным болваном в условиях единичного производства во многих случаях можно исключить изготовление стержневых ящиков, что снижает стоимость отливки при практически неизменном качестве.

Формовка в опоках по разъемной модели. Изготовление формы начинают с установки модели или ее половины 2 (если модель разъемная) на модельную плиту 1 (рис. 7.4, а). Затем на плиту ставят нижнюю опоку 3. Расстояние между моделью и стенкой опоки должно быть 25–50 мм. Модель протирают смесью керосина с мазутом (50 % керосина, 50 % мазута) или припыливают модельной пудрой (рис. 7.4, б). После этого через сито 4 просеивают облицовочную смесь (рис. 7.4, в).

Толщина слоя облицовочной смеси для мелких отливок составляет 15–30 мм, а для крупных – 30–40 мм. При формовке крупных отливок с высокими отвесными стенками облицовочную смесь просеивают через сито только для покрытия горизонтальной плоскости модели. Обкладку отвесных стенок выполняют той же облицовочной смесью.

В опоку насыпают наполнительную смесь слоями (50–75 мм) и уплотняют трамбовкой 5 (рис. 7.4, г, д, е). При уплотнении нельзя сильно ударять трамбовкой по смеси, так как формовочная смесь в местах ударов будет сильно уплотнена и в отливках могут образоваться газо-

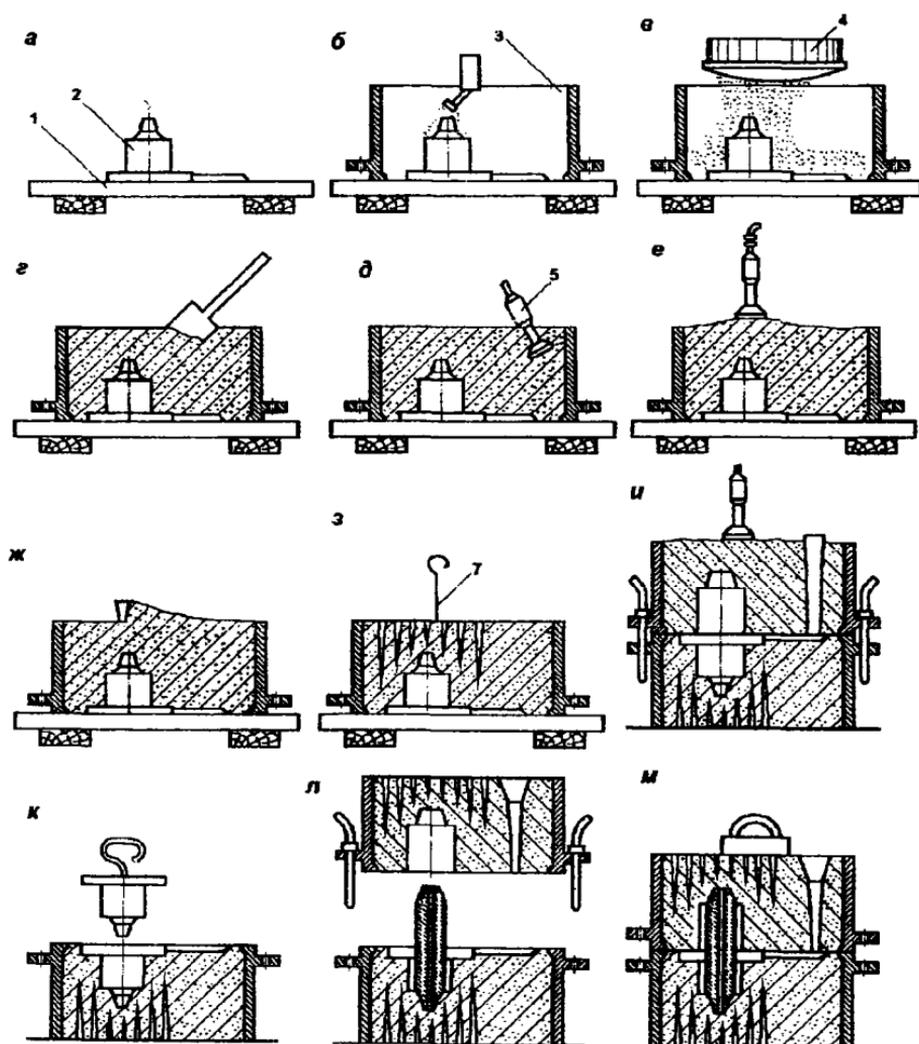


Рис. 7.4. Последовательность технологических операций при изготовлении формы в двух опоках

выс раковины. Особенно тщательно уплотняют смесь в углах и у стенок опоки.

Излишек смеси после уплотнения срезают линейкой *б* вровень с кромками опоки (рис. 7.4, *ж*). Затем в форме иглой *7* прокалывают вентиляционные каналы так, чтобы они не доходили до модели (рис. 7.4, *з*) на 10–15 мм. После этого полуформу вместе с модельной плитой поворачивают на 180° и устанавливают вторую половину модели.

Чтобы устранять прилипание формовочной смеси верхней полуформы к нижней, плоскость разъема присыпают сухим разделительным песком или тальком. Этот песок сдувают с поверхности сжатым воздухом. Верхнюю опоку ставят на нижнюю и через сито насыпают на модель слой облицовочной смеси, устанавливают модель стояк и насыпают в опоку наполнительную смесь. Затем уплотняют смесь трамбовкой (рис. 7.4, *и*). Излишки смеси сгребают и делают наколы иглой. Форму раскрывают и смачивают ее поверхность вблизи модели водой. В модель ввертывают подъем, ее слегка расталкивают ударами молотка по подъему и извлекают из формы, сохраняя вертикальное положение подъема и модели (рис. 7.4, *к*). Из формы извлекают также модели стояка, выпора, питателя.

Извлечение модели из формы является ответственной операцией. Выполнять ее нужно осторожно, чтобы не разрушить форму. После извлечения модели отделяют поверхность формы. Поврежденные места формы исправляют гладилками, ложечками, ланцетами. Некоторые части формы укрепляют шпильками. Для предупреждения ухода расплава из формы при заливке на плоскости разъема формы наносят риски (подрезки) вокруг отпечатка модели на расстоянии 50–70 мм от нее. Отделанную форму, изготовленную по-сырому, перед сборкой присыпают порошком графита или древесного угля. При формовке по-сырому поверхность формы не припыливают, а окрашивают. Делается это после сушки, когда она еще не остыла. Иногда формы красят два раза: до и после сушки. Затем устанавливают стержень и собирают форму (рис. 7.4, *л, м*).

Формовка с подрезкой. При формовке в опоках по неразъемной модели, не имеющей плоскости, пригодной для укладки модели (относительно плоскости разъема опоки), применяют формовку с подрезкой.

Модель прилегает к плите не всей нижней поверхностью, а только выступом, поэтому при уплотнении нижней полуформы в полость *1* попадает формовочная смесь (рис. 7.5, *а*). Чтобы вынуть модель, формовочную смесь из этой полости срезают гладилкой или ланцетом (рис. 7.5, *б*). Образующуюся поверхность тщательно заглаживают. Эту операцию называют подрезкой. Разъем формы будет уже не плоский, а фасонный.

Поверхность разъема нижней полуформы, в том числе и поверхность подрезки, посыпают разделительным песком или (при глубокой подрезке) застилают бумагой; устанавливают верхнюю опоку

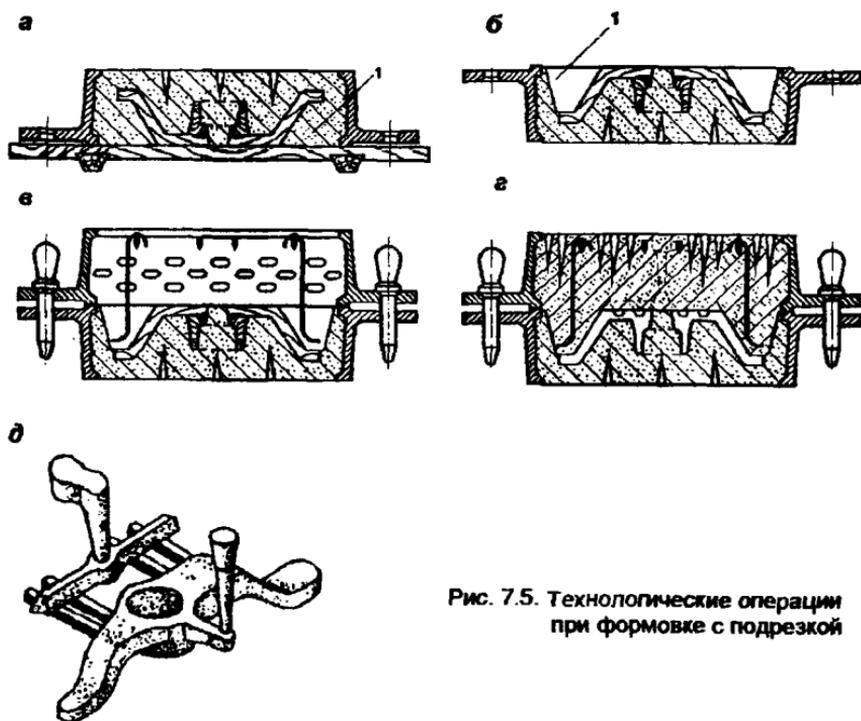


Рис. 7.5. Технологические операции при формовке с подрезкой

(рис. 7.5, а), засыпают смесь и уплотняют ее. Форму разбирают, извлекают модель, затем снова собирают для заливки (рис. 7.5, б). На рис. 7.5, д показана отливка с литниками. Подрезку применяют лишь при изготовлении небольшого числа отливок по данной модели.

Формовка с фальшивой опокой. При изготовлении форм по неразъемным моделям со сложной поверхностью применяют фасонные модельные плиты 1 из гипса, дерева, в которые при формовке вкладывают модель 2 (рис. 7.6). Плиты используют для изготовления относительно большой (до нескольких десятков штук) серии отливок. При этом отпадает необходимость в подрезках разъемов каждой изготавливаемой формы.

На деревянную фасонную плиту 1 с моделью 2 ставят нижнюю опоку и уплотняют в ней формовочную смесь (рис. 7.6, б). Полуформу с

плитой переворачивают и снимают фасонную плиту (рис. 7.6, в). При этом модель остается в нижней полуформе, на которую ставят верхнюю опоку и уплотняют. Затем форму разбирают, извлекают модель и форму собирают под заливку (рис. 7.6, з).

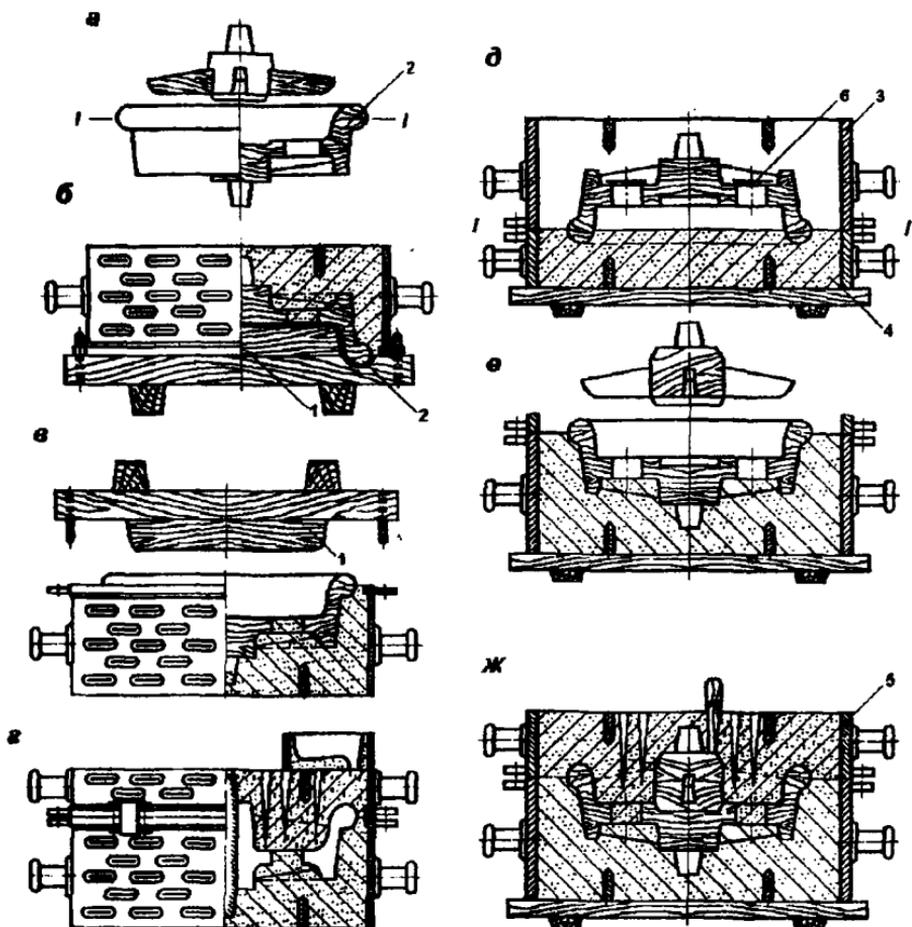


Рис. 7.6. Технология формовки: б, в, г – с фасонной модельной плитой; д, е, ж – с использованием фальшивой опоки

При изготовлении трех-пяти отливок вместо фасонной модельной плиты используют фальшивую опоку (полуформу). Ее изготавливают из обычной формовочной смеси. Для этого смесь в опоке уплотняют, делают в ней углубление до плоскости 1-1 и устанавливают в него модель

(рис. 7.6, д), закрывая отверстия в ней жестяными шайбами 6. Таким образом изготовили фасонную модельную плиту – фальшивую опоку 4 (полуформу). На фальшивую опоку с моделью устанавливают опоку 3, уплотняют в ней смесь, переворачивают и снимают фальшивую опоку (рис. 7.6, е). На ее место ставят опоку 5 (рис. 7.6, ж), уплотняют в ней смесь, разнимают форму, извлекают модель и шайбы, собирают форму. Фальшивую опоку 4 (полуформу используют) повторно как фасонную модельную плиту.

Формовка с перекидным болваном по разъемной модели. При единичном производстве мелких отливок, имеющих поднутрения или полости, выполняемые песчаным болваном взамен стержня, применяют формовку с перекидным болваном.

Формовка по разъемной модели канатной о блока (рис. 7.7, а), состоящей из двух частей, производится следующим образом. Половину модели 2 кладут на плиту 3; на ступицу блока устанавливают модель стояка 1; устанавливают верхнюю опоку, наполняют ее формовочной смесью, уплотняют и выполняют вентиляционные наколы (рис. 7.7, б). Затем извлекают модель стояка, накрывают полуформу плитой и вместе с ней переворачивают на 180°; модельную плиту снимают.

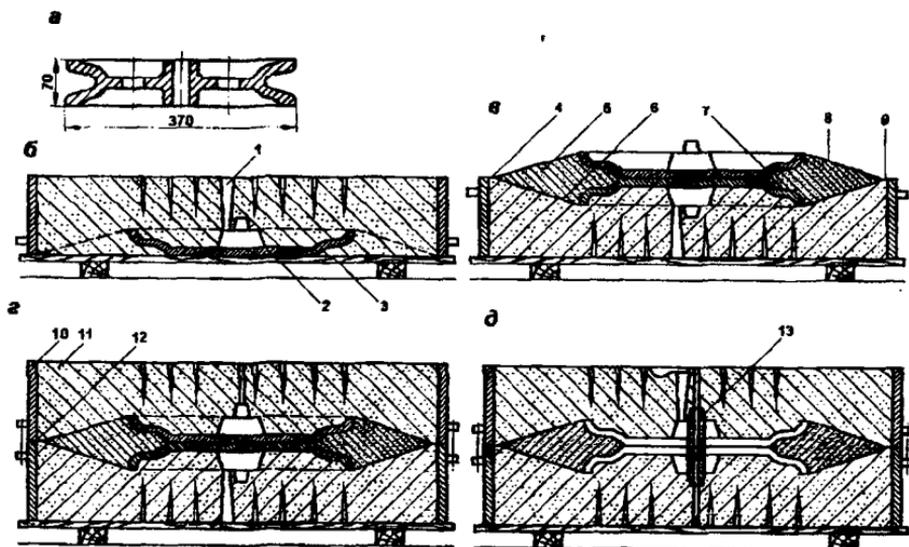


Рис. 7.7. Технология формовки с перекидным болваном

Для извлечения модели из формы по окружности блока по линии 4 – 9 делают подрезку и образовавшуюся поверхность присыпают разделительным песком (рис. 7.7, в). Устанавливают вторую половину 7 модели и уплотняют перекидной болван 5 (кольцо). Полученное таким образом кольцо из формовочной смеси называют перекидным болваном. Поверхность этого болвана приглаживают гладилкой, посыпают разделительным песком, устанавливают опоку 10 и уплотняют в ней смесь (рис. 7.7, г). Снимают полуформу 11, извлекают одну половину модели и возвращают полуформу 11 на прежнее место. Форму переворачивают на 180° и снимают полуформу 12, извлекают половину модели и продувают форму сжатым воздухом. После этого устанавливают стержень 13 и форму собирают для заливки (рис. 7.7, д).

Формовка в нескольких опоках. Такую формовку применяют при условии, если отливка высокая и не уместится в двух опоках, а также если для сложных частей модели требуется не одна, а две или более плоскостей разъема, иначе модель не извлекается из формы. Формовку в трех опоках выполняют так же, как и в двух. Формовку «Барабан»

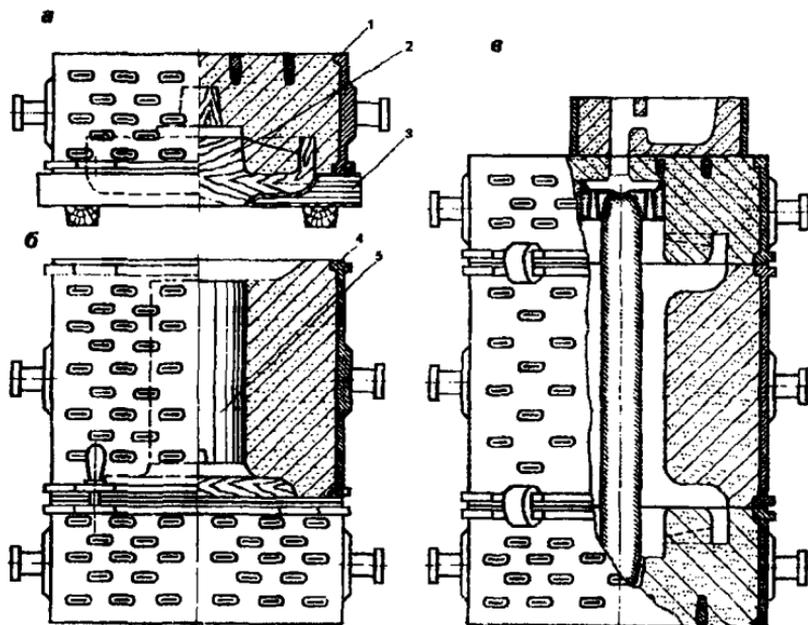


Рис. 7.8. Технология формовки отливки «Барабан» в трех опоках:
1 – нижняя опока; 2 – отъемные части модели; 3 – фасонная плита; 4 – вторая опока; 5 – цилиндрическая часть модели

бана» начинают с нижней опоки 1 (рис. 7.8, а). Модель в этом случае применяют разъемную, т.е. с двумя отъемными частями 2, установленными на фасонную плиту 3. После уплотнения нижней полуформы ее переворачивают, ставят на нее цилиндрическую часть 5 модели и уплотняют вторую полуформу 4 (рис. 7.8, б). Затем устанавливают верхнюю отъемную часть модели и формируют третью полуформу. После этого полуформы разнимают и извлекают части модели, устанавливают стержень и собирают форму под заливку (рис. 7.8, в).

Формовка по модели с отъемными частями. Такая формовка применяется в тех случаях, когда на модели имеются выступы, не позволяющие извлечь ее из формы после уплотнения. Эти выступы и делаются отъемными частями модели.

Формовка производится следующим образом (рис. 7.9). На подмодельную плиту с моделью б, имеющей отъемные части 1 и 2, ставится

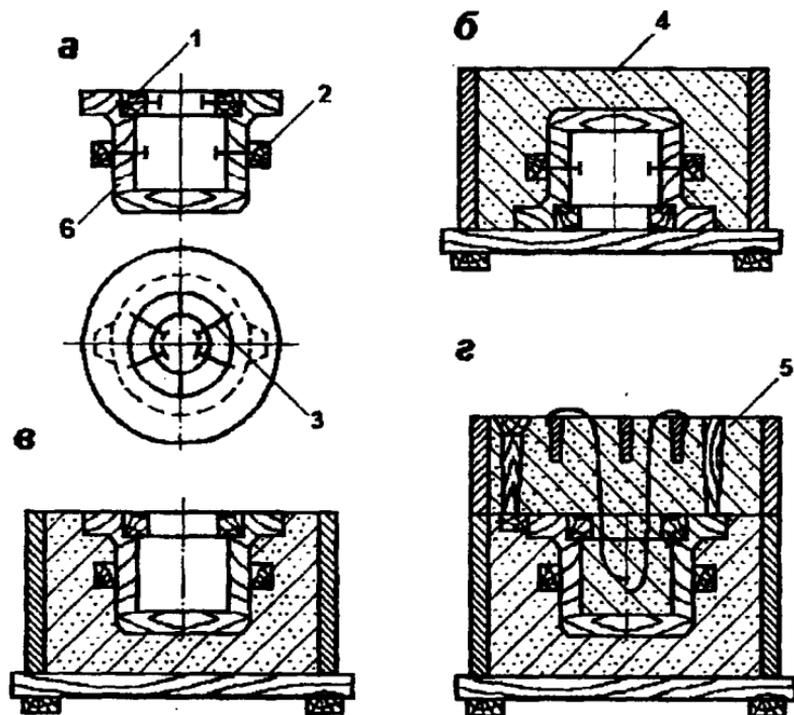


Рис. 7.9. Технология формовки по модели с отъемными частями: а – модель с отъемными частями; б – формовка нижней полуформы; в – нижняя полуформа с извлеченными крепежными деталями; а – формовка верхней полуформы

опока, и производится уплотнение смеси трамбовкой. После срезания излишков смеси и выполнения вентиляционных наколов полуформа 4 переворачивается на 180°. Убираются крепления 3 отъемных частей. Устанавливается модель стойка и выпора, верхняя опока, и засыпается формовочная смесь. Для уплотнения болвана в верхнюю опоку устанавливаются крючки. После этого форма разбирается. При этом отъемная часть модели 1 в виде двух полуколец остается в верхней полуформе 5 и легко удаляется в стороны.

После извлечения модели из нижней полуформы 4 отъемные части 2 остаются в ней и легко извлекаются внутрь полуформы (рис. 7.9, г). Далее форма собирается для заливки.

Формовка по шаблону. Формовкой по шаблону называют способ изготовления форм, полости которых получают с помощью профильных досок-шаблонов, вращающихся вокруг оси или движущихся по направляющим. Полость формы получается либо удалением шаблоном предварительно уплотненной формовочной смеси, либо выравниванием шаблоном накладываемой и уплотняемой смеси.

Формовку по шаблону применяют преимущественно для отливок, имеющих форму тела вращения (штулки, цилиндры, трубы, шпильки, маховики и др.), а также для отливок, очертания которых получают протягиванием шаблона по направляющей (протяжные шаблоны). При формовке с помощью шаблонов не пользуются моделями, изготовление которых требует длительного времени и значительного расхода дерева. Однако на изготовление формы затрачивается значительно больше времени, чем при формовке по моделям. Кроме того, необходим труд формовщиков высокой квалификации. Поэтому такую формовку применяют редко и только для изготовления одной или нескольких отливок.

Чаще используют шаблоны, вращающиеся вокруг вертикального шпинделя (рис. 7.10). Рассмотрим изготовление отливки крышки по шаблону вращения (рис. 7.10, а). Металлический шпиндель 2 устанавливают в подпятник. На шпинделе укрепляют стопорное кольцо и шаблон №1, проверив с помощью ватерпаса его горизонтальность. Сверху устанавливают нижнюю опоку и уплотняют в ней формовочную смесь вокруг шпинделя. После этого шаблоном №1 срезают формовочную смесь до тех пор, пока шаблон не опустится до стопорного кольца. Полученную полуформу, которая является моделью для верхней полуформы, посыпают разделительным песком. На нее устанавливают верхнюю опоку, модель питателя и стойка и проводят уплотнение верхней полуформы. После этого в верхней полуформе делают вентиляционные наколы, вынимают модели литниковой системы. Готовую полуформу отставляют в сторону. Шаблоном №2 оформляют нижнюю полуформу, срезая излишек уплотненной формовочной смеси. После этого снимают

нижнюю полуформу со шпинделя и заделывают отверстие от него формовочной смесью. Форму собирают к заливке (рис. 7.10, з).

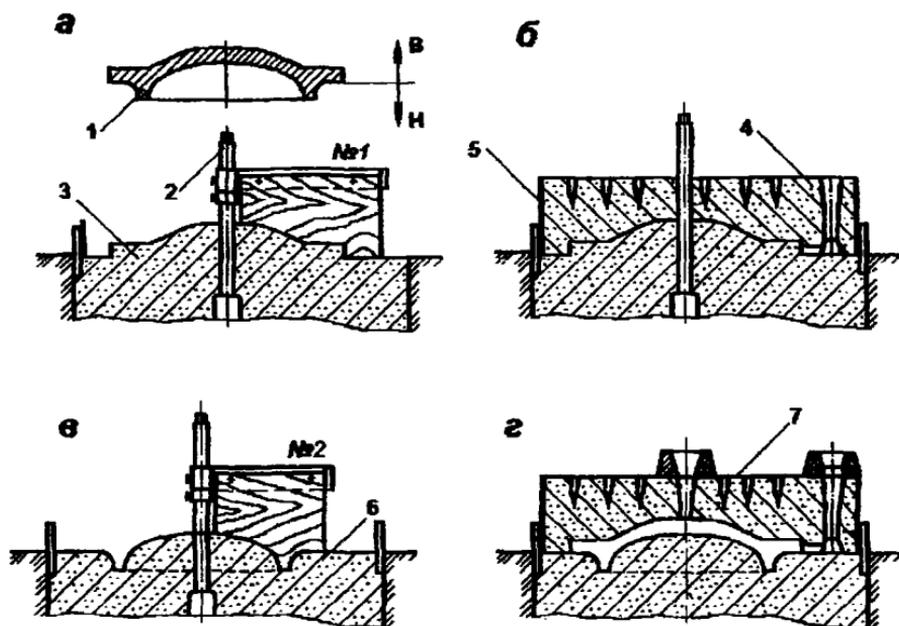


Рис. 7.10. Технология формовки по шаблону с вертикальной осью вращения: 1 – конфигурация отливки «Крышка»; 2 – шпиндель; 3 – нижняя промежуточная полуформа; 4 – верхняя полуформа; 5 – опока; 6 – нижняя полуформа; 7 – форма в сборе

При формовке по протяжным шаблонам смесь удаляют шаблонами, направляемыми по рамке. В форме же с помощью шаблонов можно изготовить и стержень. Таким образом, отпадает необходимость изготовления модели и стержневого ящика. Этот способ применяют для получения крупных и средних отливок (патрубки, колена труб большого диаметра и др.).

На рис. 7.11 приведена схема формовки патрубка с фланцами и с двумя отводами (рис. 7.11, а) с помощью протяжных шаблонов. Модели фланцев 3, 5 и отводов 2, 4 изготовлены разъемными из двух половин. Деревянная рамка 6 имеет две отъемные планки 1, соответствующие толщине тела патрубка (рис. 7.11, б). По рамке с вставными планками 1 направляют шаблоны, выполняющие стержень, а по рамке без планок – шаблон для формы.

На горизонтальную поверхность твердой постели укладывают рамку *б* вместе с съемными планками *1*, затем осаживают в почву нижние половины модели фланцев и шаблоном №1 *11* удаляют профиль по размерам внутренней поверхности патрубка (рис.7.11, *а*). Полученную таким образом из песчаной смеси поверхность будущего стержня (стержневого ящика) обкладывают бумагой и уплотняют стержень. Сверху его заглаживают шаблоном №2 *9*, имеющим контуры внешней поверхности трубы (рис. 7.11, *з*). Затем укладывают модели фланцев и двух отводов, ставят верхнюю полуформу, засыпают формовочную смесь и уплотняют ее. снимают и отделяют полуформу. После этого стержню придают окончательные размеры, т.е. шаблоном №3 *7* снимают с верхней его половины слой смеси *8* толщиной, равной толщине стенки патрубка.

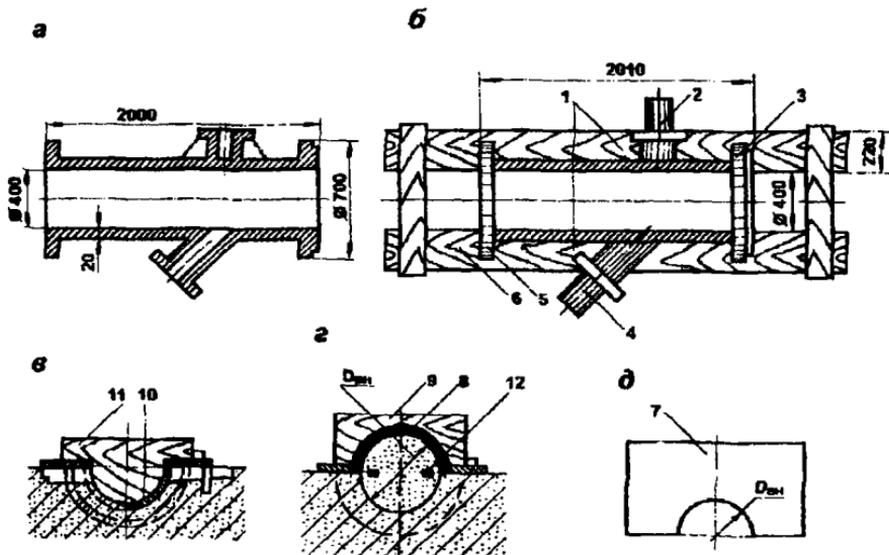


Рис. 7.11. Технология формовки отливки «Патрубков» протяжным шаблоном: *а* – общий вид патрубка с двумя отводами; *б* – деревянная рамка с моделями отводов; *в* – протяжка шаблоном №1 (*11*); *з* – протяжка шаблоном №2 (*9*); *д* – шаблон №3 (*7*)

Стержень поднимают за каркас *12*, заложенный в него при уплотнении, отделяют, красят и сушат. С поверхности нижней части формы снимают лишний слой смеси *10* толщиной, равной толщине стенки патрубка. Стержни для отводов изготавливают отдельно в стерж-

новых ящиках, ставят в форму на знаках и прикрепляют шпильками к основному стержню. Затем форму собирают под заливку.

Формовка по скелетным моделям. Формовка по скелетным моделям представляет собой комбинацию формовки по моделям и протяжным шаблонам. Применяют ее крайне редко и только для изготовления крупных единичных отливок с переменным сечением. Этот способ позволяет значительно уменьшить расходы древесины на модельный комплект, снизить трудоемкость ее изготовления. По скелетной модели можно получить не только форму, но и стержень.

В нижней части формы (рис. 7.12, а) заформовывают половину скелетной модели, изготовленной из брусков толщиной, равной толщине стенок будущей отливки (положение I). Шаблоном №1 / из внутрен-

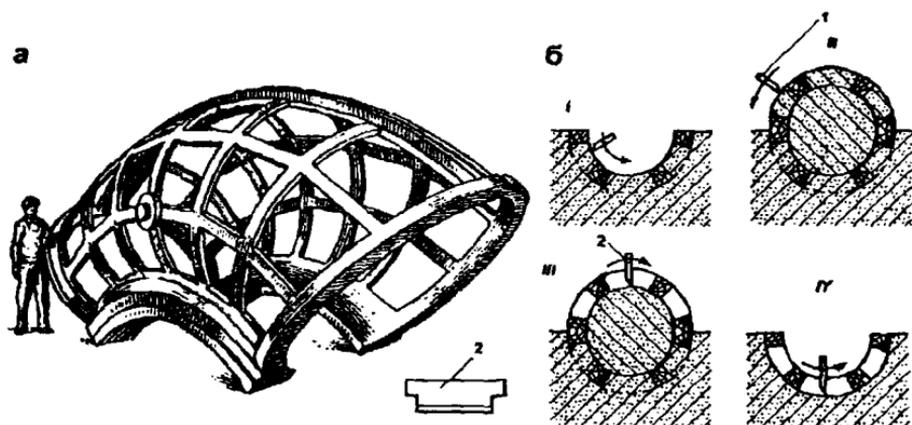


Рис. 7.12. Технология формовки по скелетной модели: а – общий вид скелетной модели кожуха водяной турбины; б – последовательность операций формовки

ней части модели удаляют смесь, при этом образуется стержневой ящик, в котором получают нижнюю часть стержня. Верхнюю часть стержня выполняют по наружной поверхности модели (положение II). После этого ставят опоку, засыпают смесью и уплотняют. Снимают форму с верхней половины стержня и протяжным шаблоном 2 удаляют лишний слой смеси между ребрами модели (положение III). Затем поднимают верхнюю половину модели и стержень. Тем же шаблоном 2 удаляют лишний слой смеси между ребрами половины модели нижней

части формы (положение *IV*), вынимают половину модели. Форму отделяют, сушат и собирают под заливку.

Формовка по газифицируемым моделям. Особенность формовки заключается в том, что модель не извлекается из формы перед заливкой, а во время заливки плавится и газифицируется под действием теплоты расплава. При этом освобождается полость формы, которая заполняется расплавом. Газифицируемая модель имеет конфигурацию, в точности повторяющую отливку, а размеры ее учитывают усадку металла и припуска на обработку. Это позволяет не изготавливать стержни для выполнения полостей, отверстий, выступающих частей. Отсутствие плоскостей разъема и операции извлечения модели снижает трудоемкость формовки, повышает точность отливки, исключает заливки и уменьшает трудоемкость обрубки отливок.

Для устранения пригара на отливке модель покрывают противопригарным покрытием, состоящим из пылевидного циркона и раствора поливинилбутирала в спирте. Окрашенную модель с приклеенной литниковой системой устанавливают в контейнер, в который насыпана формовочная смесь (или сухой песок) на уровне, предотвращающем уход металла вниз. После этого модель засыпают формовочной смесью, постепенно уплотняя ее трамбовкой, стараясь не повредить модель, которая имеет небольшую прочность.

В качестве материала формы выбирают высокогазопроницаемые формовочные смеси — жидкие самоотвердеющие (ЖСС), фурановые смеси, полученные по CO_2 -процессу, на основе кварцевых, цирконовых, металлических и других песков. Однако наиболее предпочтительными являются жидкие самоотвердеющие смеси, а в ряде случаев (для получения мелких отливок из цветных сплавов) — чистый кварцевый песок крупностью 0,16 или 0,2 мм, уплотненный вибрацией формы.

Модель в форме располагают так, чтобы отношение площади поперечного сечения ее (относительно направления подъема металла в форме) к периметру в этом сечении было минимальным, т. е. располагать ее необходимо вертикально или наклонно по отношению к плоскости большего размера. Применяется, как правило, нижняя литниковая система с питателями, рассредоточенными по всей поверхности отливки равномерно.

В форме с газифицируемой моделью не делают открытых выходов и прибылей, чтобы устранить выделение в атмосферу цеха газов и сажи от разложения модели. Заливку форм с газифицируемыми моделями следует выполнять на участках с хорошей вытяжной вентиляцией.

Формовка в кусках. Этот способ применяют для изготовления художественных отливок, которые не имеют необходимых формовоч-

ных уклонов на боковых стенках. На боковых поверхностях модели таких изделий есть впадины, выступы или рисунки, затрудняющие процесс извлечения модели из формы без повреждения последней. Поэтому для изготовления форм по этим моделям нельзя применить описанные выше способы формовки. При изготовлении бюстов, статуэток и других сложных художественных отливок используются более сложные способы формовки. Одним из наиболее распространенных способов формовки сложных отливок является формовка в кусках, описанная в учебниках по технологии художественного литья.

Вакуумно-пленочная формовка (рис. 7.13). Сущность вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) изготовления сухих песчаных форм без связующего заключается в искусственном создании избыточного напряжения сжатия между песчинками, которое определяется величиной вакуума или разницей между атмосферным давлением и давлением в сыпучем огнеупорном наполнителе. Для реализации способа ВПФ применяют специальную модельно-опочную оснастку и синтетическую пленку. Тонкая (0,05–0,1 мм) полимерная пленка изолирует лад и контрлад формы и не позволяет атмосферному воздуху проникнуть в полость формы. Изолированная полость формы вакуумируется, в ре-

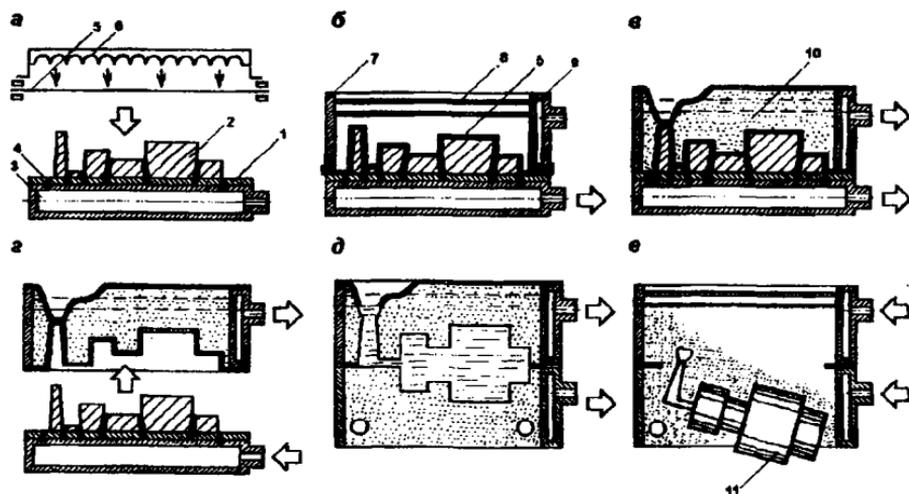


Рис. 7.13. Схема получения отливки вакуумно-пленочным процессом:

1 – модельная плита; 2 – модель; 3 – поддон; 4 – сквозные каналы; 5 – синтетическая полимерная пленка; 6 – электрический нагреватель; 7 – опока; 8 – отсасывающие фильтры; 9 – воздушный коллектор; 10 – наполнитель (песок); 11 – отливка

зультате чего песок уплотняется, и создается прочная форма. Для выбивки формы достаточно снять вакуум.

Процесс ВПФ выполняют в следующей последовательности (рис. 7.13). На вакуумном поддоне 3, полость которого соединена сквозными каналами 4 с поверхностью модельной плиты и модели, устанавливают модельную плиту 1 с моделью 2. Затем газовым или электрическим нагревателем 6 нагревают синтетическую пленку 5 до пластичного состояния (рис. 7.13, а). Размяченную пленку 5 накладывают на модельную плиту и модель, а полость поддона 3 подключают к источнику вакуума. При этом пленка плотно облепает поверхность модельной плиты и модели, точно воспроизводя ее конфигурацию. Далее на модельную плиту устанавливают опоку 7, которая через отсасывающие фильтры 8 и воздушный коллектор 9 сообщается с источником вакуума (рис. 7.13, б).

В опоку засыпают сухой мелкозернистый песок 10, уплотняют его кратковременной вибрацией, формируют литниковую чашу, накладывают на поверхность полуформы вторую синтетическую пленку и проводят окончательное уплотнение песка вакуумированием объема опоки (рис. 7.13, в). Готовую полуформу легко отделяют с пленкой от модельной плиты, отключая полость вакуумного поддона от источника вакуума (рис. 7.13, г).

Вторую полуформу изготавливают аналогичным образом. Во время сборки, заливки и затвердевания отливки полуформы остаются подключенными к источнику вакуума (рис. 7.13, д). После затвердевания отливки форму отключают от источника вакуума. Отливка 11 остается на решетке, а песок просыпается в бункер (рис. 7.13, е).

Преимущества вакуумно-пленочного процесса:

- для изготовления формы не требуется связующее, следовательно, отпадает необходимость в дорогих связующих материалах, в смесе-приготовительном оборудовании;
- в сухих формах можно получать тонкостенные отливки с минимальным браком по газовым раковинам;
- необходим незначительный расход песка (около 2 %);
- достигается высокая точность отливок;
- для изготовления отливок требуются минимальные уклоны на моделях, а в некоторых случаях применяются модели и с обратными уклонами.

К недостаткам способа можно отнести:

- повышенный пригар отливок, что ведет к обязательной покраске формы;
- образование газовых раковин и засоров при изготовлении плоских отливок;

- повышенный расход энергии;
- повышенную запыленность рабочего места при засыпке песком опоки и при выбивке формы.

7.2.4. Уплотнение форм на машинах

При машинной формовке наиболее часто применяют следующие способы уплотнения формовочных смесей: прессование, встряхивание, встряхивание с допрессовкой, пескодувно-прессовый и пескометный, некоторые другие менее распространенные способы, а также комбинированные способы уплотнения. Каждый из способов уплотнения отличается своими особенностями влияния на качество формы и ее технологические параметры.

Оптимальная плотность формы. Качество формы зависит от состава смеси, ее плотности и распределения плотности по объему формы. При увеличении плотности смеси все ее свойства монотонно изменяются: увеличивается прочность на сжатие, срез и растяжение, уменьшается газопроницаемость. Эти параметры не позволяют найти оптимальное значение плотности, тем более, что прочность и газопроницаемость формы в большей степени зависят от состава смеси, размеров и конструкции формы.

При увеличении напряжений, действующих при уплотнении, с ростом плотности монотонно возрастает упругая (обратимая) деформация смеси, что приводит к изменению конфигурации и размеров рабочей полости готовой формы. Искажения зависят также от жесткости опоки, модели, поэтому не могут быть критерием при выборе оптимального значения плотности. То же самое можно сказать и о чистоте поверхности отливки, которая улучшается при росте плотности, и склонности формы к размыву, уменьшающейся с увеличением плотности.

Большое влияние на точность отливки оказывают процессы, происходящие в форме при ее взаимодействии с жидким металлом: обычно смесь в зоне контакта с металлом доуплотняется, что приводит к увеличению размеров отливки.

Степень уплотнения всей формы и ее участков обычно оценивают средней плотностью ρ_{cp} формы или плотностью смеси ρ данного участка. При оценке качества формы для литейщика важна не абсолютная ее плотность, а способность доуплотняться при приложении повторной нагрузки. Чем больше будет доуплотняться форма при ее транспортировании, заливке, охлаждении и усадке металла, тем меньше будет точность отливки, полученной в этой форме. Поэтому в большинст-

в случаях само по себе значение абсолютной плотности не характеризует состояние смеси и более важным параметром является ее относительная плотность

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{max}}}, \quad (7.3)$$

где ρ_{max} — максимальная плотность смеси данного состава.

В качестве максимальной плотности обычно принимают плотность смеси, спрессованной при давлении 10 МПа.

Рассмотрим влияние сжимающих напряжений σ на изменение относительной плотности $\rho_{\text{отн}}$ смесей разного состава, приведенных в табл. 7.1 (рис. 7.14 [27]).

Таблица 7.1

Состав и свойства формовочных смесей

Номер смеси	Состав, %				Прочность на сжатие, кПа	Влажность, %
	Песок	Бентонит	Сульфитная барда	Вода		
1	87,0	—	—	5,0	29	4,5
2	93,0	3,5	3,0	0,5	49	3,0
3	92,5	3,5	—	2,0	89	2,0

Смесь интенсивно уплотняется при росте напряжений до величины 0,2 МПа: относительная плотность достигает значений 0,8, а хорошо уплотняющихся смесей — 0,85. При увеличении давления до 0,5 МПа относительная плотность приближается к 0,9, при давлении 1 МПа — превышает 0,9. При дальнейшем увеличении напряжений относительная плотность повышается медленно.

Удельная работа, затрачиваемая на уплотнение смеси до $\rho_{\text{отн}}=0,7$, во всех случаях не превышает 1,5 кДж/м². Она резко возрастает при относительной плотности свыше 0,85; при $\rho_{\text{отн}}=0,95$ она достигает 50 — 90 кДж/м².

При достаточно больших давлениях прессования происходит разрушение отдельных зерен песка, что приводит к увеличению пылевидных составляющих. Разрушение отдельных зерен начинается при давлении 1,5 МПа. При давлении до 10 МПа происходит сглаживание выступов зерен в точках их контакта [27].

Приведенные данные показывают, что процесс уплотнения смеси под действием сжимающих напряжений можно разделить на следующие этапы:

- при изменении $\rho_{отн}$ до 0,7 происходят упорядочение структуры, разрушение комочков, заполнение микропор;
- изменении $\rho_{отн}$ от 0,67 до 0,85 – сближение песчинок вследствие выжимания связующего из зон контакта;

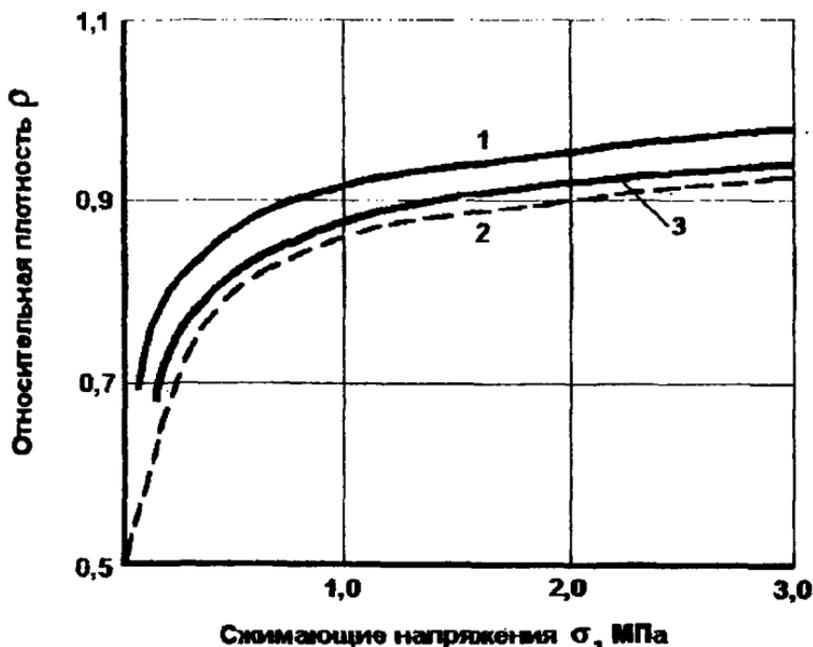


Рис. 7.14. Зависимость относительной плотности смеси от сжимающих напряжений (1, 2, 3 – номера смесей из табл. 7.1)

- изменении $\rho_{отн}$ от 0,85 до 0,9 – упругая деформация песчинок, резкое увеличение работы, затрачиваемой на уплотнение;
- при дальнейшем росте относительной плотности наряду с упругой деформацией зерен происходит разрушение выступающих их частей, а затем и самих зерен.

Пусть уплотнение смеси закончилось на этапе частичного выжимания связующего. При переувлажнении образца связующее в зоне конденсации влаги набухает и теряет свои свойства. При приложении повторной (относительно малой) нагрузки связующее легко выжимается из зон контакта, происходит «раздутие» формы. Величина деформации

при этом зависит не только от относительной плотности, но и от толщины персувлаженной зоны, связанной с толщиной стенки отливки.

В том случае, когда выжимание связующего при уплотнении закончилось, зерна наполнителя контактируют друг с другом непосредственно или через очень тонкую пленку связующего, для выжимания которого необходимо давление, существенно превышающее применяемое. Если связующее теряет свои свойства, то деформация смеси при повторной нагрузке не произойдет.

Таким образом, оптимальной относительной плотностью следует считать такую плотность, при которой заканчивается выжимание связующего из зон контакта. Дальнейшее повышение относительной плотности связано с существенной затратой работы на уплотнение, а также с увеличением упругой (обратимой) деформации смеси; появляется необходимость в более жесткой оснастке. Вместе с тем точность отливки при этом не повышается. Относительная плотность, при которой происходит полное выжимание связующего, равна примерно 0,85, а сжимающее напряжение, при котором достигается такая плотность, колеблется в зависимости от типа смеси от 0,2 до 0,7 МПа.

Распределение плотности по сечению формы. Плотность смеси должна быть оптимальной в рабочей зоне формы. Рабочей зоной считают слой, непосредственно контактирующий с отливкой. Толщина рабочей зоны зависит от температуры заливаемого сплава и толщины стенки отливки.

Доуплотнение слоев формы, расположенных вне рабочей зоны, может произойти при расширении нагревающейся сухой корки, которая образуется в местах контакта металла и формы. Смесь в рабочей зоне деформируется тем меньше, чем выше ее плотность. Следовательно, плотность смеси в нерабочей зоне должна быть равна ее плотности в рабочей зоне, т.е. плотность формы должна быть постоянной по высоте.

Существует мнение о том, что плотность смеси по мере удаления от отливки должна уменьшаться. При этом будет увеличиваться газопроницаемость формы, что позволит создать направленный газовый поток и предотвратить образование газовых раковин, пористости в отливке. Однако, пар, образовавшийся в местах контакта металла с влажной формой, перемещается в глубь формы на незначительное расстояние и затем конденсируется. Слой, в котором перемещается пар, находится внутри рабочей зоны. Следовательно, основное движение газа происходит в рабочей зоне, плотность которой выбирается по другим критериям. Поэтому газопроницаемость смеси, находящейся вне рабочей зоны, может быть меньше газопроницаемости смеси рабочей зоны.

Таким образом, форма с одинаковой по объему плотностью является оптимальной. На практике трудно получить такую форму: при лю-

бом из способов прессования смесь над моделями уплотняется лучше, чем около них. При встряхивании, импульсных способах смесь сильнее уплотняется у модельной плиты и практически не уплотняется со стороны контрлада. Более равномерно уплотняются формы при применении комбинированных способов, однако и в таких формах встречаются участки различной плотности.

Поэтому при изготовлении форм необходимо получать оптимальную плотность в наиболее трудно уплотняемых участках рабочей зоны; плотность остальных ее частей будет выше оптимальной. Это требует дополнительных затрат работы на уплотнение, увеличивает упругую деформацию формы, несколько снижает ее газопроницаемость. Однако все это оказывает меньшее влияние на качество отливки, чем недоуплотнение формы.

7.3. Уплотнение форм прессованием

Прессование как самостоятельный метод длительное время применяли только для уплотнения полуформ высотой не более 100 мм. В остальных случаях прессование использовали в сочетании со встряхиванием для доуплотнения рыхлого контрлада полуформы. Давление прессования на прессовых машинах не превышало 0,25 МПа, на встряхивающих с подпрессовкой – 0,15 МПа.

При прессовании смесь сжимается между модельной плитой и прессовой головкой. Внешние сжимающие нагрузки увеличиваются медленно: скорость движения прессовой головки (или модельной плиты) относительно опоки не превышает обычно 1 м/с. В опоку запрессовывается объем смеси, находящейся в наполнительной рамке. Этот объем должен обеспечить технологически необходимую плотность формовочной смеси в форме. Высоту наполнительной рамки для каждой модели рассчитывают, опираясь на условие, что масса формовочной смеси, находящаяся в литейной форме, не изменяется в процессе уплотнения. При этом средняя степень уплотнения, которая оценивается средней объемной массой ρ (г/см³), повышается при прессовании обратно пропорционально уменьшению высоты смеси в опоке. В отдельных вертикальных объемах формы, например в столбах смеси, находящихся над моделью и вокруг модели, это увеличение ρ также можно считать обратно пропорциональным уменьшению высоты каждого из этих столбов, если пренебречь частичным горизонтальным перетеканием смеси (обменом формовочной смесью между этими столбами).

Если в опоке отсутствует модель или же она настолько мала, что ее объемом можно пренебречь (рис. 7.15), то основное условие о том, что масса смеси в опоке до прессования будет равна ее массе после прессования, запишется следующим образом:

$$(H + h) \cdot \rho_0 = H \cdot \rho,$$

где ρ и ρ_0 — средняя объемная масса смеси в опоке до и после прессования.

Отсюда получаем формулу для расчета высоты дополнительной рамки:

$$h = H \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right). \quad (7.4)$$

При прессовании плоской прессовой колодкой опоки с моделью, имеющей объем V , основное условие запишется так:

$$[F(H + h) - V] \cdot \rho_0 = (FH - V) \cdot \rho,$$

где F — площадь опоки в свету.

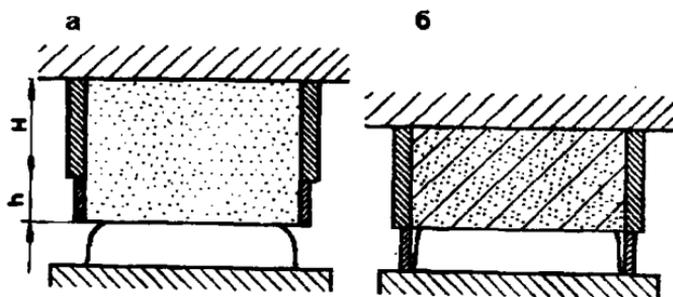


Рис. 7.15. Схема к расчету высоты дополнительной рамки (опоки без модели): а — до прессования; б — после прессования

Отсюда высота дополнительной рамки равна

$$h = \left(H - \frac{V}{F} \right) \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right). \quad (7.5)$$

Величина V/F называется приведенной высотой модели (при распределении объема модели по всей площади опоки F), а $(H - V/F)$ — приведенной высотой опоки (с учетом модели).

Процесс уплотнения при прессовании определяют три главных фактора:

- наличие в одной и той же полуформе разных по высоте вертикальных столбов смеси;
- действие сил внешнего трения — трения смеси о стенки модели или опоки;
- рассеяние напряжений по мере удаления от выступающей части прессующего элемента.

Все методы уплотнения форм прессованием можно классифицировать следующим образом [27].

По направлению движения смеси относительно опоки выделяют верхнее прессование, или прессование со стороны контрлада (рис. 7.16, а), нижнее прессование, или прессование со стороны лада (рис. 7.16, б), и двустороннее прессование (рис. 7.16, в).

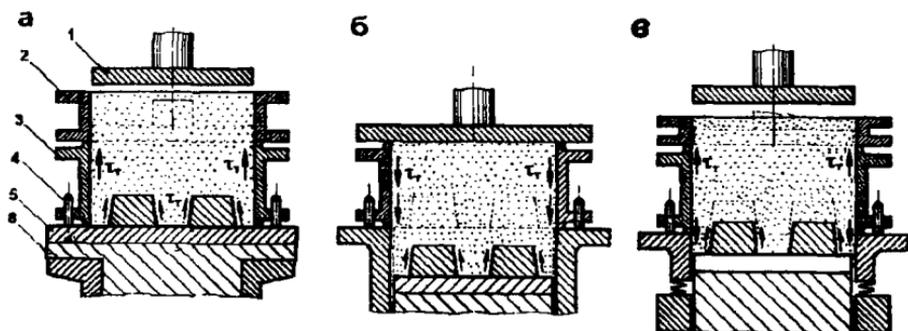


Рис. 7.16. Схемы верхнего, нижнего и двустороннего прессования:

- 1 — прессовая плита; 2 — наполнительная рамка; 3 — опока;
4 — штырь; 5 — модельная плита с моделями; 6 — стол машины

При верхнем прессовании, кроме основного дефекта — переуплотнения смеси над моделью и недоуплотнения вокруг нее, получается большее уплотнение верхних нерабочих частей формы и меньшее уплотнение рабочих частей формы, прилегающих непосредственно к модели.

Основной дефект прессования (переуплотнение смеси над моделью и недоуплотнение вокруг нее) наблюдается и при нижнем прессовании. Но здесь распределение уплотнения по высоте опоки более бла-

гоприятное: большее уплотнение получается в рабочих частях формы около модели, а меньшее уплотнение – в нерабочей части формы.

При нижнем прессовании создаются более благоприятные условия для уплотнения узких карманов формы – объема смеси между стенками опоки и моделью. При верхнем прессовании уплотняемая в таком кармане смесь испытывает со стороны опоки, и со стороны модельной плиты одинаково направленные вверх силы трения (рис. 7.17, а). Это трение постепенно снимает со смеси часть силы прессования, в результате чего на дне таких карманов смесь часто уплотняется недостаточно.

При нижнем прессовании такой узкий карман прессуется снизу (рис. 7.17, б). И если уплотняемая в нем смесь испытывает от стенки трение, снимающее с нее часть силы прессования, то вдвигающаяся снизу в опоку модель своим трением о смесь, наоборот, добавляет ей силу прессования, увлекая ее с собой. Такие благоприятные условия уплотнения при нижнем прессовании имеют место лишь для карманов формы, расположенных между моделью и стенками формы. Карманы формы, расположенные между двумя моделями на модельной плите, одинаково плохо пропрессовываются как при верхнем, так и при нижнем прессовании.

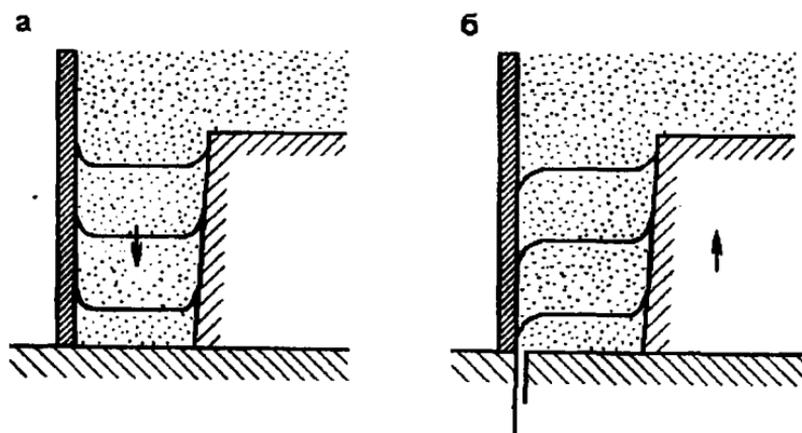


Рис. 7.17. Условия уплотнения карманов формы при прессовании: а – верхнем; б – нижнем.

Распределение плотности по высоте формы для верхнего и нижнего прессования неодинаково. Наибольшая плотность наблюдается в слоях, близких к поверхности, передающих силовое воздействие (прессовой колодки или модели), и по мере удаления от этой поверхности

уменьшается вследствие торможения смеси о стенки опоки. Чем выше опока, тем большая неравномерность распределения плотности смеси наблюдается по ее высоте.

Несмотря на некоторые отмеченные технологические преимущества нижнего прессования, на практике больше применяют верхнее прессование литейных форм вследствие свойственной ему большей простоты конструкции машин и более легкой переналадки технологической оснастки.

Двустороннее прессование (рис. 7.16, в) можно осуществлять одновременно или последовательно. При прессовании этим методом получается более равномерное распределение плотности по высоте формы. Зона наименьшей плотности располагается у стенки опоки примерно на половине ее высоты (рис. 7.18).

Почти все, сказанное о нижнем прессовании, можно отнести и к двустороннему прессованию. Однако есть и некоторые особенности. Так, при последовательном двустороннем прессовании можно получить большую плотность смеси у модельной плиты. При одновременном двустороннем прессовании внешняя сила трения, действующая в верхней половине опоки, уравновешивается силой трения, возникающей в нижней половине опоки, и поэтому теоретически опока не давит на стол машины. Однако работа, затрачиваемая на трение смеси о стенку опоки, остается без изменения. Кроме того, при одновременном двустороннем прессовании невозможно обеспечить точное положение уплотненной смеси относительно опоки даже при синхронном движении прессовой и модельной плит. Поэтому двустороннее прессование необходимо при-

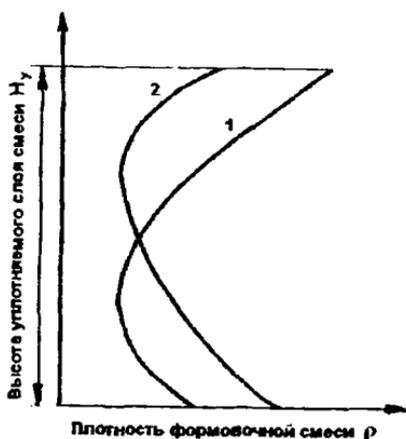


Рис. 7.18. Распределение плотности формовочной смеси по высоте формы при прессовании: 1 — верхнем; 2 — нижнем

менять в том случае, когда нужно обеспечить плотность смеси, одинаковую с обеих сторон формы (обе стороны рабочей), и когда положение уплотненной смеси относительно опоки не оказывает влияния на последующие операции.

По способу профилирования смеси перед прессованием различают профилирование со стороны лада или со стороны лада и контрлада полуформы (рис. 7.19). Смесь не профилируют только при впрессовывании модели 1 сверху в предварительно заполненную смесью опоку 2 с наполнительной рамкой 3, расположенных на прессовой плите 4.

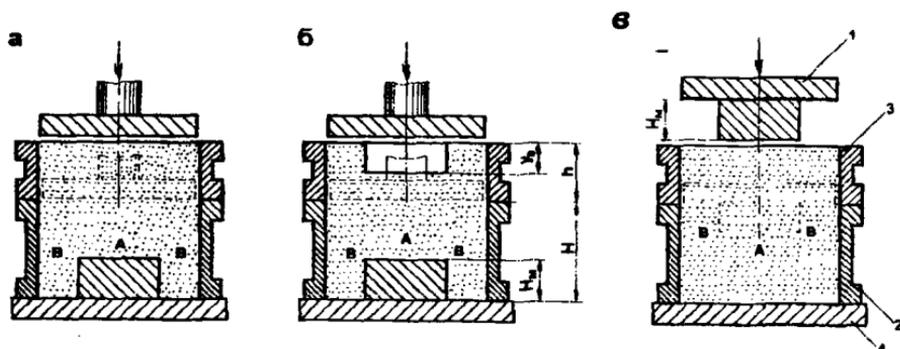


Рис. 7.19. Схема профилирования смеси в опоке перед прессованием:
а — со стороны лада; б — со стороны лада и контрлада; в — без профилирования

Профилирование смеси по ладу полуформы производится автоматически самой моделью при засыпке опоки 2 смесью, поэтому практически все мосты прессования осуществляются с использованием этого способа.

Профилирование по ладу и контрладу полуформы литейщики используют давно: при засыпке смеси в опоку 2 формовщик разгребает смесь над высокой моделью. В последние годы предложены различные способы механизации этой операции.

Глубину выемки, при которой плотность смеси будет одинаковой после уплотнения всех вертикальных столбов (А и В), можно рассчитать, приняв, что при уплотнении смесь перемещается только в направлении движения прессовой плиты 4. При этом масса формовочной смеси, из которой состоит данный столб, не изменяется в процессе уплотнения. Основное условие о неизменности массы смеси в столбах А и В запишется следующим образом:

$$(H - H_m + h - y_0) \cdot \rho_0 = (H - H_m) \cdot \rho \quad \text{и} \quad (H + h) \cdot \rho_0 = H \cdot \rho,$$

следовательно, выражение для глубины профильной выемки y_0 будет иметь вид

$$y_0 = H_m \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right). \quad (7.6)$$

Для сложной модели, имеющей участки с различной высотой, необходимо найти по формуле (7.5) высоты уступов для каждого участка и затем по ним построить общий контур профилирования засыпки смеси.

Высота дополнительной рамки при прессовании плоской колодки с профильной засыпкой смеси находится по формуле (7.4).

Следует отметить, что приведенные зависимости не учитывают неравномерности степени уплотнения по высоте в отдельных столбах смеси в форме, а также перетекания смеси и поэтому могут служить лишь для получения предварительного очертания профиля с последующей доводкой опытным путем.

По давлению прессования можно выделить способы с низким (до 0,3 МПа), средним (0,3–0,7 МПа), повышенным (0,7–2,0 МПа), высоким (2–5 МПа) и сверхвысоким (выше 5 МПа) давлением прессования.

Критерием при выборе давления прессования служит технологически необходимая плотность смеси на наиболее трудноуплотняемом участке формы, находящемся в рабочей зоне формы. Такие участки обычно расположены между моделями или частями модели. Поэтому давление прессования должно быть таким, чтобы обеспечивалась нужная плотность формы на этих участках.

Однако плотность смеси зависит не только от давления прессования, но и от конфигурации модели, свойств смеси и типа прессующей головки. Отсюда следует, что оптимальное давление прессования можно выбрать только тогда, когда известны тип машины, примерная номенклатура отливок и свойства смеси, используемой для изготовления форм. При давлении выше 2 МПа начинается разрушение зерен песка, поэтому в форме не должно быть зон, где давление превышает этот предел.

По конструкции прессовой колодки выделяются плоская и профильная жесткие прессовые плиты, решетка; многоплунжерная, роторная и лопастная головки.

Жесткая плоская плита – наиболее старый и вместе с тем часто используемый тип прессовой головки, что обусловлено простотой ее

конструкции и универсальностью. Основной недостаток прессования жесткой плоской плитой – относительно низкая равномерность уплотнения высоких форм. Выровнять плотность формы не удастся: плотность смеси над моделями всегда выше плотности смеси между моделями, особенно в точках сопряжения их вертикальных стенок с модельной плитой. Повышение давления прессования не уменьшает, а, наоборот, увеличивает относительную неравномерность, хотя при этом возрастает абсолютная плотность смеси в трудноуплотняемых местах.

Как дополнительное средство выравнивания плотности формы частично используют специальные формовочные смеси с добавками, придающими им повышенную текучесть.

Нашел ограниченное применение процесс прессования литейных форм под высоким давлением жесткой прессовой колодкой, покрытой со стороны прессуемой формы толстым блоком мягкой резины. При прессовании эта упругая колодка деформируется, сохраняя свой объем, и на менее твердых участках формы (вокруг модели) обжимает форму больше, чем на более твердых, менее податливых участках (над моделью), где она деформирует смесь на меньшую глубину. Благодаря этому происходит некоторая выравнивание плотности набивки на этих участках. Однако полностью неравномерность уплотнения не устраняется.

Профильные прессовые плиты (рис. 7.20). Одна из главных причин неравномерности уплотнения формы при прессовании плоской плитой – различная высота столбов смеси в форме и одинаковая абсолютная их деформация. Профильная плита позволяет устранить это явление. Она применяется для уменьшения разности в степени уплотнения формовочной смеси над моделью и вокруг нее при прессовании.

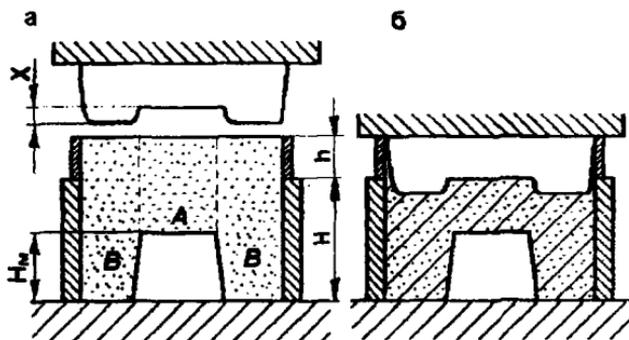


Рис. 7.20. Схема к расчету профильной колодки: а – положение до прессования; б – положение после прессования

Конфигурация прессовой плиты близка к контуру модели. Вследствие этого выступы прессовой плиты (колодки) позволяют почти равномерно уплотнить формовочную смесь на различных высотах. Высоту уступов профильной колодки можно определить следующим образом. Основное условие неизменяемости массы смеси для столба A над моделью и столба B вокруг модели запишется в этом случае следующим образом:

$$(H + h - H_m) \cdot \rho_0 = (H - H_m) \cdot \rho \quad \text{и} \quad (H + h) \cdot \rho_0 = (H - x) \cdot \rho.$$

При этом предполагается, что оба столба смеси уплотняются до одинаковой средней степени уплотнения ρ .

Решив совместно приведенные уравнения, найдем выражение для высоты уступа x профиля колодки:

$$x = H_m \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (7.7)$$

Если в опоке формуются модель сложной конфигурации, имеющая участки с различной высотой, то для каждого такого участка модели находят по формуле (7.7) значения высоты уступа x и соответственно им строят профиль прессовой колодки.

Высота наполнительной рамки при прессовании профильной колодкой определяется по формуле (7.4), но, как очевидно, не по высоте опоки H , а по высоте $H - H_m$ столба смеси A :

$$h = (H - H_m) \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right). \quad (7.8)$$

Высота зоны, в которой существенно увеличиваются напряжения при вдавливании выступа, примерно равна 1,0–1,2 его ширины. Поэтому профильной плитой нельзя регулировать плотность смеси в узких зазорах между низкими частями модели. Таким образом, обычная профильная плита не может полностью выровнять плотность по сечению формы, тем более увеличить плотность в узких зазорах между моделями или между моделью и стенкой формы. Однако профильной плитой, по сравнению с плоской, форма уплотняется равномернее.

Контурная прессовая плита (рис. 7.21) является разновидностью профильной прессовой плиты. При ее использовании выступы входят в соответствующие промежутки между моделями и между моделями и стенками опоки, смесь уплотняется непосредственно в этих промежутках. При движении выступа смесь отжимается к стенке модели, чему способствуют закругления на углах выступов и уклоны боковых стенок.

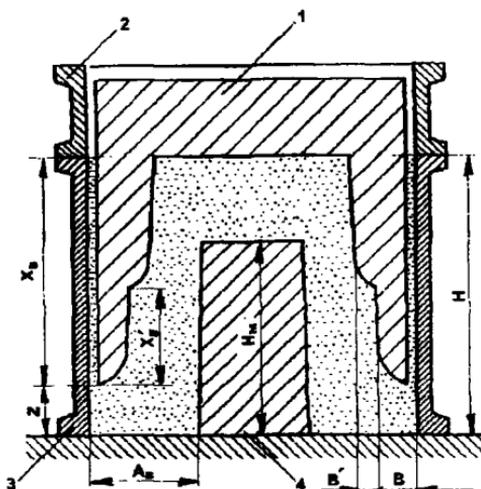


Рис. 7.21. Прессование контурной прессовой плитой:
1 – контурная плита; 2 – наполнительная рамка;
3 – опока; 4 – модель

Оптимальными являются следующие геометрические размеры контурных плит: ширина выступа $B=(0,25-0,33)A_0$, где A_0 – расстояние между моделью и стенкой опоки или между моделями (при наличии двух и более моделей); утолщение выступа $B'=(0,25-0,33)B$; общая высота выступа $X_0=(1,0-1,2)H_m$, а части выступа $X'_0=60-75$ мм. Размер $Z=35-50$ мм. При $H_m < 100$ мм $B'=0$.

Профильные плиты используют только в массовом или крупносерийном производстве. Они являются по существу дополнительным элементом оснастки, который удорожает производство. При использовании контурных плит во многих случаях возникают дополнительные операции: засыпка смеси в образовавшиеся углубления и последующая допрессовка форм.

Прессование эластичной головкой. Эластичная головка состоит из жесткого корпуса и эластичного прессового элемента, находящегося внутри корпуса (рис. 7.22). Внешние размеры корпуса близки к размерам формы. Прессующая поверхность эластичного элемента обладает способностью прогибаться под действием усилий, возникающих в самом элементе или в слое смеси, соприкасающемся с поверхностью элемента. Любой участок эластичного элемента прогибается до тех пор, пока усилия, действующие в самом элементе и в поверхностном слое, не станут равными друг другу.

Существует два типа эластичных головок. В головках первого типа эластичный элемент состоит из эластичной диафрагмы 1, закрепленной на корпусе 2, и рабочего тела 3 (жидкости или сжатого воздуха), находящегося в герметичной полости корпуса 2 за диафрагмой.

В головках второго типа эластичный элемент сплошной. Его изготавливают из пластичного материала: технической или вакуумной резины, гидропласта и др. При использовании головок первого типа напряжения, возникающие в смеси в зоне контакта головки с диафрагмой, одинаковы во всех точках диафрагмы. В головках второго типа напряжения в данной точке прессующей поверхности зависят от величины деформации эластичного элемента в той же точке и от свойств пластичного материала. Обычно разница напряжений достаточно велика, хотя она значительно меньше, чем разница напряжений на плоской жесткой плите.

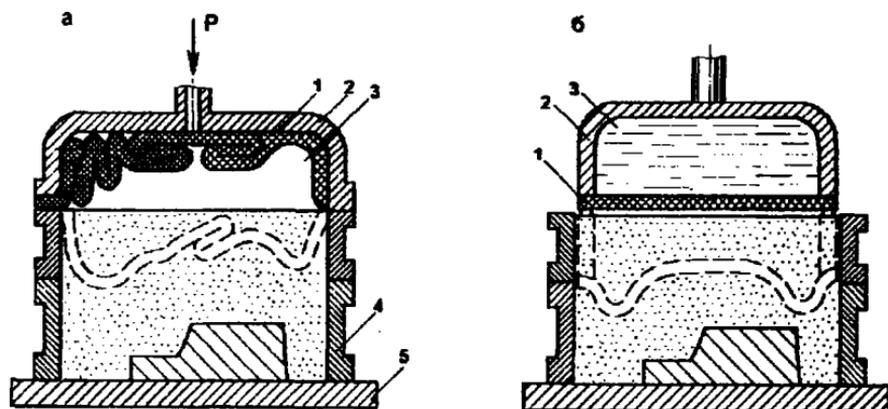


Рис. 7.22. Диафрагменные прессовые головки: а – активная; б – пассивная

Диафрагменные головки делят на активные и пассивные. В активных головках опока 4, в которую предварительно засыпается смесь,

прижимается к фланцу корпуса 2 головки (рис. 7.22, а). В полость головки под давлением подается сжатый воздух или жидкость 3, под действием которых диафрагма 1 опускается вниз, уплотняя формовочную смесь. По мере поступления газа или жидкости в головку их давление увеличивается, одновременно нарастают напряжения в зоне контакта смеси с диафрагмой. Чем больше начальная высота столба, тем больше столб сожмется, поэтому после уплотнения профиль контрлада будет повторять профиль модельной плиты. Таким образом, диафрагма устраняет влияние разновысотности столбов смеси в форме на процесс уплотнения.

В замкнутой полости корпуса 2 пассивной головки постоянно находится жидкость 3 (рис. 7.22, б). При прессовании в надмодельной области напряжения нарастают быстрее, и диафрагма 1 над моделью прогибается внутрь головки. Так как жидкость практически несжимаема, то участок диафрагмы, находящийся над слабоуплотненным (околомоделльным) столбом смеси, одновременно прогибается наружу (показано пунктирной линией). Напряжения в зоне контакта смеси с диафрагмой и в этом случае одинаковы для всех точек диафрагмы в данный момент процесса.

Активные диафрагменные головки используют при верхнем прессовании. Головка может выполнять функции прессующего механизма. В машинах с пассивными головками прессование может быть верхним и нижним.

Прессование многоплунжерной головкой. Многоплунжерная головка состоит из большого числа (36–100) плоских прессовых плит-башмаков 1, каждый из которых укреплен на штоке 2 поршня (плунжера) 3, перемещающегося в цилиндре 4 (рис. 7.23). При подаче в цилиндры жидкости под давлением или сжатого воздуха плунжеры с башмаками опускаются, уплотняя отдельные вертикальные столбы смеси. В конце прессования контур поверхности контрлада формы, образованный торцами опустившихся башмаков, в какой-то мере повторяет контур поверхности плиты 5 с моделями 6.

Описанную многоплунжерную головку называют активной. У пассивной многоплунжерной головки все цилиндры соединены друг с другом. При прессовании формы головка и (или) полуформа двинутся навстречу друг другу, и после соприкосновения башмаков со смесью последняя начинает уплотняться. Плотность смеси в надмодельной области увеличивается быстрее, чем в околмоделльных областях, поэтому над моделью начинают интенсивно расти сжимающие напряжения. Так как давление жидкости над всеми поршнями 3 в любой момент процесса одинаково, то более интенсивный рост напряжений в надмодельной области приведет к тому, что башмаки 1 плунжера, расположенные над

моделями, начнут перемещаться вверх относительно их начального положения в цилиндре, а башмаки, расположенные над околосовальными областями формы, будут перемещаться вниз.

Механизм уплотнения смеси при использовании головок обоих типов одинаков. В пассивных головках рабочим телом обычно является жидкость. При применении пассивной головки формовочная машина

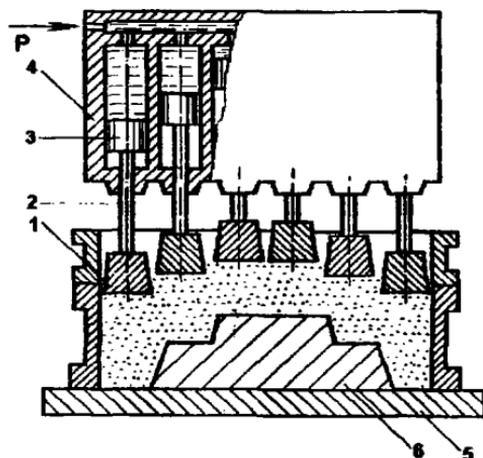


Рис. 7.23. Схема устройства многоплунжарной головки (гидравлической или пневматической)

должна иметь прессовый механизм, перемещающий либо стол с полуформой, либо головку. Активная головка может выполнять функции прессового механизма, и формовочная машина в этом случае может не иметь механизмов подъема стола и его фиксации при прессовании.

Существуют также головки, башмаки которых, расположенные на периферии, создают большее давление, чем башмаки, находящиеся в центре головки. Это позволяет лучше уплотнять области формы, прилегающие к стенкам опоки, и тем самым уменьшать влияние на процесс уплотнения внешних сил трения.

Прессование решеткой. Решетка состоит из ряда параллельных пластин-ребер 1, соединенных рамкой (рис. 7.24). При прессовании формы столб А над моделью 2 уплотняется быстрее, чем столбы В около модели, и напряжения в столбе А всегда больше напряжений в столбах В. Поэтому через зазоры между пластинами решетки смесь из столба А выдавливается интенсивнее, чем из столбов В. В результате плотность

смеси под решеткой выравнивается по всему горизонтальному сечению формы. При необходимости смесь можно выдавливать через решетку до тех пор, пока не будет получена форма заданной высоты. Поэтому иногда решетку называют полупроницаемым прессовым элементом.

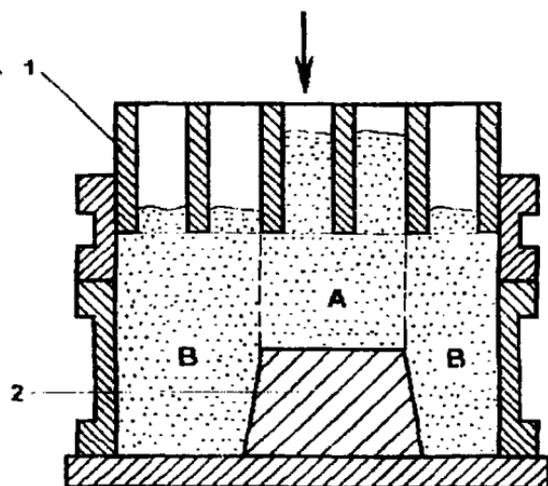


Рис. 7.24. Схема прессования решеткой

Величина предельных напряжений зависит от параметров решетки (ширины сечения ребра, его формы, ширины зазора между ребрами) и свойств смеси. Толщина ребра решетки практически не влияет на ход процесса (при подборе соответствующего шага ребер), однако с увеличением толщины ребра растет толщина слоя, твердость которого на одной горизонтали под ребром и между ребрами различна. Минимальную толщину ребра следует выбирать из условий его прочности и жесткости. Шаг решетки выбирается в зависимости от необходимой твердости лада формы и толщины ребра [27]. Для того, чтобы решетка работала стабильно, после изготовления каждой полуформы необходимо удалять из решетки оставшуюся в ней смесь. Поэтому на решетке устанавливают вибратор, который включается при обратном ходе стола формовочной машины. Данный метод применяется для изготовления форм размерами 1000 x 750 x 250 мм.

Решетка может состоять из взаимно перпендикулярных ребер, зазоры между которыми в отдельных местах могут перекрываться пластинами, например над плохо уплотняемыми частями формы.

По принципу действия решетками являются плоская перфорированная плита с отверстиями, плита с вертикальными стержнями, имеющими плоские торцы. Решетку можно применять при верхнем и при нижнем прессовании.

Прессование роторной головкой. Прессовая роторная головка состоит из нескольких прессующих валков (катков) 1, под которыми перемещается полуформа 2 (рис. 7.25). Валки прижимаются к смеси силой N_i и вращаются обычно в сторону, противоположную движению полуформы. Каждый валок уплотняет смесь на определенную глубину h_i и из-под последнего валка полуформа выходит полностью уплотненной.

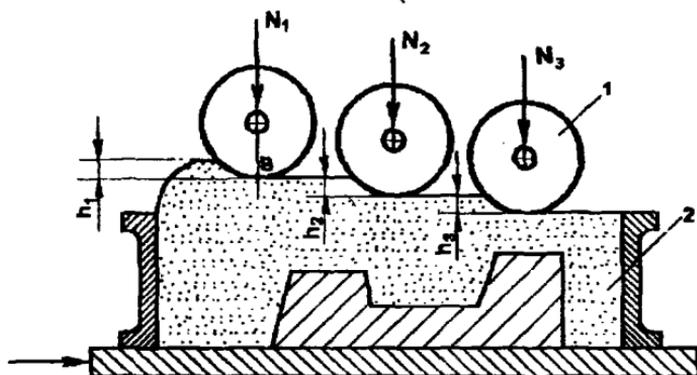


Рис. 7.25. Схема уплотнения формы прессующими валками:
1 – прессующие валки (катки); 2 – полуформа

При уплотнении роторной головкой не нужен длительный контакт всей поверхности прессового элемента с полуформой, требуется только соприкосновение катка и смеси. Эти особенности головки позволяют использовать ее в формовочных машинах непрерывного действия. Такая машина имеет значительно большую производительность по сравнению с машиной периодического действия.

Диаметр D вала следует выбирать в зависимости от высоты h слоя смеси, прессовываемого данным валком за один проход.

$$D = \frac{2h}{1 - \cos \alpha_3},$$

где α_3 – угол захвата, $\alpha_3 \leq \arctg f$;

f – коэффициент внешнего трения.

Если принять, что для разрыхленной формовочной смеси $f=0,7$, тогда $\alpha_3 \approx 35^\circ$ и $D \approx 10h$.

Напряжения под валком остаются постоянными, но вместе с валком они перемещаются вдоль формы и в каждый последующий момент сжимают новый участок формы. Зона контакта валка со смесью невелика, еще меньше зона, в которой действуют большие напряжения (зона, прилегающая к точке B), поэтому напряжения по мере удаления от этой точки быстро рассеиваются в неограниченном стенками полупространстве: на расстоянии от точки B , равном радиусу валка, напряжения составляют 0,2–0,25 от напряжений, действующих в точке B .

Даже при последовательном уплотнении тремя эластичными валками разброс твердости получается большим, особенно мала твердость в углу опоки, поэтому обычно данный метод рекомендуется применять для уплотнения низких полуформ.

Прессование лопастным рабочим органом. Лопастная головка состоит из бункера 1 (рис. 7.26), внутри которого расположены вертикальные валы 2 с двумя лопастями на нижнем конце (рис. 7.26, б). Лопасть имеет винтовую поверхность, между лопастями – зазор. В бункер 1 засыпают смесь (рис. 7.26, а). К плите 5 головки прижимают опоку 6,

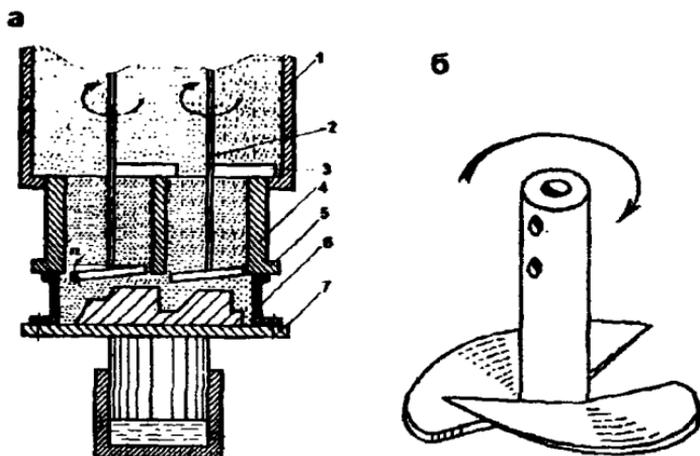


Рис. 7.26. Схема уплотнения формы лопастной головкой: а – лопастная головка; б – конструкция лопастей

стоящую на модельной плите 7. При вращении валов лопасти захватывают формовочную смесь и подают ее в опоку. После заполнения опоки смесь продолжает в нее поступать, начинается процесс уплотнения. Для предотвращения зависания смеси в бункере валы снабжены планками-разрыхлителями 3. Каждый лопастной орган размещен в своем направляющем цилиндре 4, являющемся частью бункера. Обычно диаметр внешней кромки лопасти 150–350 мм, поэтому число рабочих органов в головке зависит от размера изготавливаемой формы. Например, головка для формы размером в свету 1000 x 750 мм будет иметь 12 лопастных органов.

Метод отличается от всех других методов прессования тем, что процесс уплотнения здесь совмещен с подачей смеси в опоку. Это увеличивает время изготовления формы, но упрощает конструкцию машины. Для сокращения времени изготовления под лопастную головку можно подавать опоки, предварительно заполненные смесью. Время заполнения опоки 8–10 с.

Ширина зазора между лопастями с одной стороны должна быть достаточно большой, чтобы процесс заполнения опоки и уплотнения формы шел интенсивно, но в то же время смесь не должна высыпаться из бункера при неподвижных полостях. Для обычных песчано-глинистых смесей ширина зазора должна быть 20–30 мм.

При угле наклона лопасти $\alpha < 5^\circ$ производительность падает; при $\alpha > 10^\circ$ появляется опасность среза смеси с еще неуплотненной формы (смесь, захваченная лопастью, не впрессовывается в опоку, а срезается с ее поверхности и начинает вращаться вместе с лопастью). Оптимально, если лопастей на валу будет две. При одной лопасти возникает значительный изгибающий момент, при трех – уменьшается зазор между ними.

Крутящий момент и вертикальное усилие, которые необходимо передать рабочему органу, увеличиваются с ростом плотности формы. Максимальный удельный крутящий момент, отнесенный к единице площади рабочего органа, уменьшается с увеличением диаметра рабочего органа. При плотности формы 1800 кг/м^3 удельный момент на валу рабочего органа диаметром 100 мм равен $19000 \text{ Н}\cdot\text{м/м}^2$, а при диаметре 200 мм он составляет $9500 \text{ Н}\cdot\text{м/м}^2$, т.е. предпочтительнее использовать рабочие органы большего диаметра. Лопастное уплотнение используют для изготовления форм размерами в свету от 400 x 320 мм (при высоте опок 100 мм) до 1350 x 1200 (при высоте опок до 160 мм), в том числе в опоках с крестовинами на полуавтоматических литейных линиях.

При уплотнении роторной и лопастной головками последовательно прессуются отдельные зоны (столбы) полуформы, что отличает эти способы от других.

7.3.1. Уравнение прессования

Степень уплотнения формы и ее отдельных участков оценивают средней плотностью формы или плотностью ρ смеси данного участка, зависящей от напряжений, под действием которых уплотняется данный объем, от времени действия этих напряжений, а также от состава смеси.

Н. П. Аксеновым выведено аналитическое уравнение прессования, исходя из общих положений о характере деформации сжатия дисперсных систем типа связанных сыпучих тел, высказанных применительно к грунтам [27].

Если предположить, что сжимающая сила P с деформацией сжатия ε должна увеличиваться вследствие увеличения числа точек контакта песчинок по простейшей зависимости

$$dP = kP \cdot d\varepsilon,$$

где $k = \text{const}$, то после интегрирования и подстановки начального условия (в начальный момент при $\varepsilon = 0$ сопротивление системы уплотнению равно P_0) получим

$$P = P_0 \cdot e^{k\varepsilon}.$$

Вводя вместо сил P и P_0 давления p и p_0 , а вместо абсолютной деформации ε относительную деформацию $\lambda = \Delta H / H_0$ (где H — текущая, а H_0 — начальная высота смеси в форме), и обозначив $1/k$ через C — коэффициент уплотняемости смеси в данной форме, получим

$$p = p_0 \cdot e^{\lambda/C}. \quad (7.9)$$

Для обычных случаев $p_0 = 0,001 - 0,01$ МПа, а $C = 0,04 - 0,07$.

Уравнение (7.9) не претендует на универсальность и удовлетворительно согласуется с опытными данными лишь в диапазоне давлений прессования $p = 1,5 - 2$ МПа.

При уплотнении смеси любой ее объем находится в состоянии предельного равновесия, которое является особым случаем всестороннего сжатия. При этом существует однозначная зависимость между главными напряжениями, поэтому в уравнение, связывающее напряжения и плотность, достаточно ввести только главные большие напряжения. Известно эмпирическое уравнение прессования, предложенное Н.П. Аксеновым [2]:

$$\rho = 1000 + C p_{np}^{0,25}, \quad (7.10)$$

где p_{np} – давление прессования (среднее на прессовой плите), МПа;

C – эмпирический коэффициент, зависящий от высоты опоки,

$$C = 22 \div 34.$$

Для расчетных моделей желательно установить зависимость между сжимающими напряжениями, действующими в элементарном объеме смеси, и плотностью смеси в этом объеме. Тогда, определив напряжения в данной точке формы, можно найти плотность смеси в той же точке. Наиболее точное аналитическое уравнение прессования предложено Г. Ф. Баландиным [23], которое в дифференциальной форме имеет вид

$$d\sigma_1 = A_0 \cdot d\bar{\epsilon}, \quad (7.11)$$

где A_0 – модуль, характеризующий сопротивление смеси сжатию;

$\bar{\epsilon}$ – натуральная (полная) относительная деформация смеси при уплотнении.

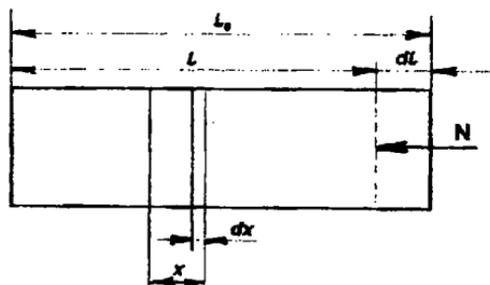


Рис. 7.27. Схема деформации образца смеси при сжатии

Пусть при приложении нагрузки N образец, имеющий начальную длину l_0 , сжимается и его длина становится равной l (рис. 7.27). Относительное сжатие любой части образца равно dx/x , где dx – абсолютное сжатие части образца длиной x . Тогда натуральная относительная деформация $\bar{\epsilon}$ есть сумма относительных сжатий отдельных участков:

$$\bar{\epsilon} = \int_l^{l_0} \frac{dx}{x} = -(\ln l - \ln l_0) = -\ln(1 - \epsilon),$$

где ϵ – относительная деформация, $\epsilon = \Delta l / l_0$.

Так как l_0 величина постоянная, то

$$d\bar{\epsilon} = d(-\ln l + \ln l_0) = -\frac{dl}{l}. \quad (7.12)$$

С другой стороны, $l = M / (F \cdot \rho)$,

где M – масса образца длиной l ;

F – площадь поперечного сечения этого образца.

Подставив значения l и dl в уравнение (7.12), получим

$$d\bar{\varepsilon} = \frac{d\rho}{\rho}$$

Сопротивление формовочной смеси сжатию при ее уплотнении растет, поэтому модуль A_0 увеличивается с ростом плотности, т.е. с ростом сжимающих напряжений. Примем, что $A_0 = A \cdot \sigma_1^z$, где A и z – коэффициенты, характеризующие свойства данной смеси. Подставим найденные значения в уравнение (7.12):

$$d\sigma_1 = A \cdot \sigma_1^z \cdot \frac{d\rho}{\rho} \quad (7.13)$$

При $z \neq 1$ после интегрирования уравнения (7.13) и подстановки граничных условий (при $\sigma_1 \rightarrow \infty$, $\rho \rightarrow \rho_{\max}$) получим

$$\frac{\rho}{\rho_{\max}} = \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{\max}} \right)^s, \quad (7.14)$$

где $s = \frac{1}{\sigma_1^{z-1}}$;

$\rho_{0,1}$ – плотность смеси при $\sigma_{\max} = 10$ МПа.

В частном случае при $z = 1$ из уравнения (7.13) получим

$$\rho = \rho_{\max} \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{\max}} \right)^\mu, \quad (7.15)$$

где μ – коэффициент уплотняемости, $\mu = 1/A$.

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} \left(\frac{\rho}{\rho_{\max}} \right)^A \quad (7.16)$$

Здесь ρ_{\max} – плотность смеси при $\sigma_{\max} = 10$ МПа.

В том случае, когда уравнение (7.14) применяют для нахождения средней плотности формы по известному давлению прессования $\rho_{np} = \sigma$, коэффициент z определяют при уплотнении смеси в гильзе. Как показал Г. Ф. Баландин, в этом случае $z \neq 1$. При уплотнении смеси в стабилометре (специальном приборе, где происходит трехосное сжатие образца смеси при отсутствии бокового внешнего трения) можно найти коэффициент z , соответствующий процессу уплотнения элементарного объема.

Результаты исследования уплотнения различных смесей (табл. 7.1) показали, что коэффициент z в уравнении (7.13) во всех случаях равен единице, поэтому для элементарного объема смеси справедливо уравнение (7.15). Это уравнение можно использовать как уравнение прессования. Коэффициенты для него были найдены экспериментально (табл. 7.2). Вместо значений ρ_{\max} и σ_{\max} в уравнения (7.14) и (7.15) можно подставлять любые значения плотности смеси ρ_0 , полученные при прессовании под любым давлением σ_0 , в том числе при $\sigma_{0,1} = 0, 1$ МПа.

Таблица 7.2

Значения коэффициента уплотняемости смеси
и максимальной плотности для формовочных смесей

Номер смеси в табл. 7.1	μ	ρ_{\max} , кг/м ³
1	0,042	1852
2	0,060	1947
3	0,056	1844

7.3.2. Текучие смеси для уплотнения прессованием

Для расширения области применения прессования необходимо использовать специальные текучие смеси. Под текучностью смеси понимают ее способность перетекать при уплотнении в форме из одного участка в другой, менее уплотненный.

Текучностью не следует считать способность неуплотненной смеси хорошо заполнять опoку или стержневой ящик при их засышке, не застрять в бункере, не образовывать колодцев в пескодувной головке. Это свойство целесообразно называть сыпучестью, которая прежде всего зависит от прочности неуплотненной или слабо уплотненной смеси. Прочность обычных формовочных смесей как в рыхлом, так и в уплотненном состоянии одинаково зависит от количества и качества связую-

ного, поэтому прочные смеси имеют большую прочность в рыхлом состоянии и соответственно обладают малой сыпучестью.

Под понятием текучести смеси (при изготовлении форм прессованием) следует понимать способность смеси обеспечивать получение форм постоянной (по сечению) плотности, так как главным недостатком форм, полученных прессованием, является неравномерное уплотнение.

Равномерность уплотнения определяется коэффициентами внешнего и внутреннего трения, коэффициентом уплотняемости, начальной и предельной плотностью смеси. Первый параметр определяется составом смеси и свойствами материала оснастки, остальные четыре - составом смеси. Таким образом, текучесть смеси - это комплексное технологическое свойство, которое учитывает влияние всех перечисленных физических параметров смеси.

Наиболее надежным и в то же время простым методом определения текучести формовочной смеси является метод, разработанный Г. М. Орловым [27] (рис. 7.28), который состоит в следующем.

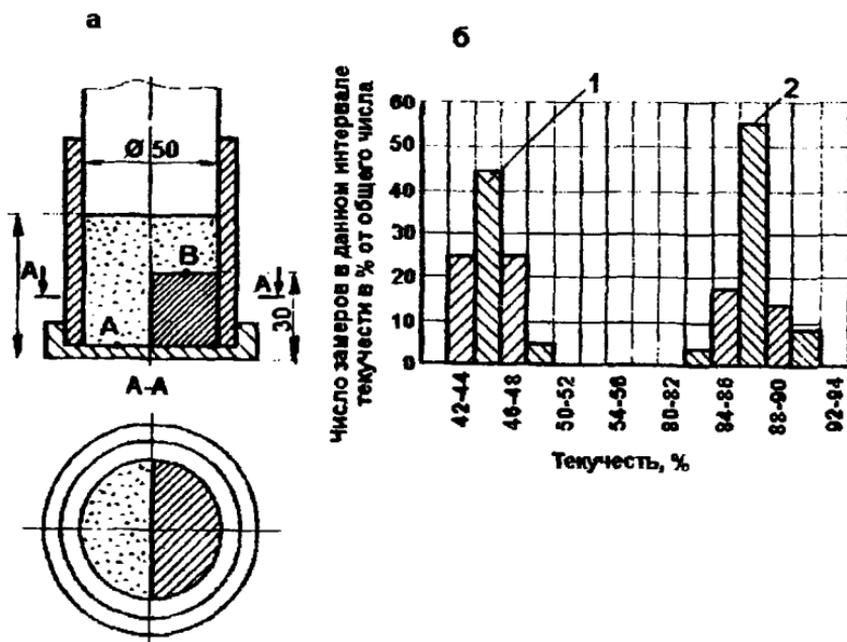


Рис. 7.28. Определение текучести смеси: а - технологическая проба Г. М. Орлова; б - результаты замера текучести смесей

Навеску смеси 100–120 г просеивают через сито в ступенчатую гильзу и прессуют (в приборе используется гильза от прибора для стандартного определения свойств формовочной или стержневой смеси). Ступенька гильзы имитирует модель отливки. При уплотнении смеси в пробе происходят те же процессы, что и в реальной форме, они определяются в обоих случаях одними и теми же физическими свойствами смеси. Внутренний диаметр гильзы и полная высота образца составляют 50 ± 1 мм; высота ступеньки – 30 мм; давление прессования 2 МПа. На рис. 7.28 приведены результаты замера текучести песчано-глинистой 1 и бентонито-битумной 2 смесей.

При испытании текучих формовочных смесей разница в плотности образца в кармане и над ступенькой будет меньше, чем разница плотности при использовании малотекучих смесей.

Таким образом, мерой текучести является разница плотностей смеси этих двух областей.

ГОСТ 23409.17–78 регламентирует один из трех способов оценки этой разницы: замеряются параметры, характеризующие плотность, а именно твердость T_A и T_B в точках A и B , тогда текучесть будет равна

$$\Omega = \frac{T_A}{T_B} \cdot 100 \% .$$

У высокотекучих смесей текучесть равна 90–95 %, у среднетекучих – 70–75 %, а к низкотекучим следует отнести смеси с текучестью ниже 50 %. Текучесть смеси зависит от коэффициента внешнего трения и практически не зависит от коэффициента внутреннего трения и прочности смеси на сжатие. Коэффициент внешнего трения определяется не только составом смеси, но и зависит от материала модели (ее поверхностного слоя). Наиболее сильно от коэффициента внешнего трения зависит плотность смеси в промежутках между моделями, между моделями и стенками опоки. При любом способе прессования плотность смеси в этих частях формы тем больше, чем меньше коэффициент трения.

Коэффициент трения можно уменьшить тремя способами: изменить состав смеси, материал рабочей части модели или применить антифрикционные смазочные материалы. Первый способ можно реализовать при поиске текучих смесей (табл. 7.3). Возможности второго способа ограничены, так как из-за сильного абразивного изнашивания на современных прессовых машинах можно применять только модели из стали или чугуна. Коэффициент внешнего трения можно уменьшить, применяя поверхностную обработку (шлифование) модели или специальные покрытия. Перспективным является третий способ – применение антифрикционных смазочных материалов.

7.3.3. Область применения прессования

Прессование обладает очевидными преимуществами по сравнению с другими методами уплотнения:

- отсутствуют шум, вибрация, динамические нагрузки на фундамент;
- отливки, полученные в прессованных формах (при нормальном их уплотнении), имеют высокую точность;
- время процесса уплотнения мало.

Таблица 7.3

Составы и свойства средне-высокотекучих смесей [27]

Номер смеси	Состав, %			Прочность на сжатие, МПа		Текучесть, %	Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Содержание глинистой составляющей, %
	Песок	Обработанная смесь	Бентонит	стандартная	образцов, уплотненных при $P_{np}=2$ МПа				
1	94,3	—	3,8	0,08	0,12	88	210	2,0	4,0
2	90,0	—	5,0	—	0,12	72	100	2,0	5,5
3	2,0	96,5	0,5	—	0,15	80	100	2,0	5,0
4	10,0	86,5	2,0	—	0,15*	—	15	4,0	15,0
5	5,5	92,5	—	0,085	0,135	80	45	3,6	8,0
6	92,0	—	5,0	0,065	—	86	150**	2,0	5,0

* — плотность образца, уплотненного при $P_{np}=4$ МПа.

** — газопроницаемость стандартная.

Примечания: 1. Смесь №1 содержит 1,9 % битума.

2. Смеси №2 и 3 содержат соответственно 5 и 1 % битумной суспензии.

3. Смесь №4 содержит 0,75 % нефтебитумного крепителя и 0,75 % древесноугольного нека.

4. Смесь №5 содержит 2 % глиноугольной суспензии, в состав которой входит 0,1-0,2 % ПФЛХ; общее содержание угля — 5 %.

5. Смесь №6 содержит 0,5 % битума, 0,5 % ГГФ и 2 % КБЖ.

Однако главным недостатком форм, полученных прессованием, является низкая плотность смеси в местах сопряжения вертикальных стенок модели с модельной плитой, у нижней части модели, в карманах модели, что является характерной и неустраняемой особенностью процесса. Чем больше относительная высота промежутка между моделями или частями модели (высота промежутка, отнесенная к ширине), тем меньше плотность смеси в этих частях формы. Применение нижнего прессования устраняет этот недостаток только в том случае, если на плите располагается только одна модель, поэтому прессование рекомендуется только для получения форм по низким моделям. Использо-

ние высоких давлений, текучих смесей, специальных антифрикционных смазочных материалов расширяет область применения метода.

Наиболее узкую область применения имеют прессовые машины с плоской прессовой плитой: высота модели при этом способе не должна превышать 150 мм. Применение других прессовых головок расширяет область использования прессования, так как устраняет пересуплотнение смеси над моделью.

Наиболее перспективными типами головок для универсальных формовочных машин являются многоплунжерная головка и решетка. У диафрагменных головок мала стойкость диафрагмы, а эластичные головки с пластичным наполнителем недостаточно выравнивают плотность формы. Профильная плита не обладает универсальностью, роторная головка применима только для низких опок, лопастной орган подвержен сильному изнашиванию и не обеспечивает высокой производительности.

7. 4. Динамические методы уплотнения форм

В технологии литейного производства используются следующие динамические методы уплотнения форм и стержней: встряхивание, гравитационное, прессово-ударное (встряхивание с одновременным прессованием), импульсное, пескодувное (пескострельное) и пескометное уплотнение, скоростное прессование. При гравитационном, пескодувном и пескометном уплотнении процесс уплотнения совмещается с процессом подачи смеси в опоку. При использовании остальных методов смесь необходимо предварительно засыпать в опоку.

По способу воздействия на смесь все процессы можно разделить на три группы:

1) инерционное уплотнение; к нему относятся методы, где первичными силами, инициирующими процесс деформации смеси, являются инерционные силы: встряхивание, гравитационное уплотнение. Для того, чтобы смесь уплотнялась, она разгоняется, а потом резко тормозится, в результате во всех слоях смеси возникают силы инерции, которые действуют в направлении движения и уплотняют смесь;

2) газодинамическое уплотнение; к нему относятся методы, где первичными являются силы взаимодействия газового (воздушного) потока со смесью, которые возникают во всех слоях, имеющих газовый поток. Действуя в направлении движения газа, они уплотняют смесь и приводят ее в движение. К этой группе относятся импульсное и пескострельное уплотнения;

3) прессово-динамическое уплотнение, куда относятся методы, при которых внешние силы прикладываются к наружному слою смеси

со стороны лада или контрлада. Эти методы близки к статическому прессованию: смесь сжимается между модельной плитой и прессовым элементом при их движении навстречу друг другу. Сюда относятся скоростное прессование и прессово-ударное уплотнение.

Пескометное уплотнение – это комбинация инерционного и прессово-динамического уплотнения. Механизм уплотнения самого пакета, ударившегося о слой смеси, полностью соответствует первому методу уплотнения, а механизм уплотнения смеси, находящейся под этим пакетом, – ко второму.

Комбинированным методом является встряхивание с грузом: одновременно смесь уплотняется силами инерции, возникающими в самой смеси, и усилием, передаваемым плитой.

7.4.1. Уплотнение встряхиванием

При уплотнении смеси на встряхивающей формовочной машине (рис. 7.29, а) рабочий стол 1 с поршнем 2 и лежащими на нем модельной плитой с моделью 7, опокой 5 и наполнительной рамкой 6 со сме-

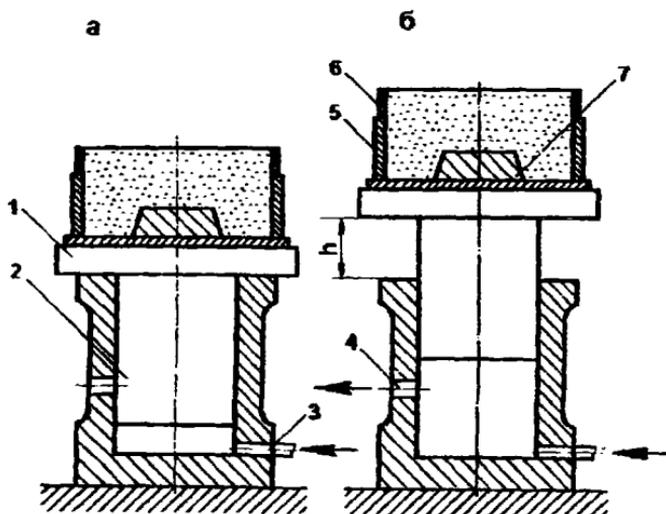


Рис. 7.29. Схема уплотнения формы на встряхивающей машине:
а – нижнее положение; б – верхнее положение

стью под действием сжатого воздуха, поступающего через отверстие 3, поднимается на некоторую высоту $h=50-80$ мм (рис. 7.29, б), где авто-

матически открывается выхлопное отверстие. После выхлопа воздуха через отверстие 4 стол под действием силы тяжести падает и ударяется о станину машины. Скорость стола с модельно-опочной оснасткой снижается до нуля, а формовочная смесь в опоке, продолжая двигаться вниз по инерции, уплотняется. Кинетическая энергия, полученная смесью во время ее движения вниз, переходит в работу уплотнения.

Таким образом, режим уплотнения смеси при встряхивании характеризуется следующими факторами: скоростью стола до и после удара; жесткостью удара (определяется жесткостью упругой прокладки между станиной и столом); числом ударов, необходимых для уплотнения одной полуформы при заданных физико-механических свойствах смеси.

Скорость стола в момент удара для обычных встряхивающих формовочных машин лежит в пределах $V=0,8-1,0$ м/с, а для машин с амортизацией ударов $V=0,5-0,6$ м/с. При меньших скоростях возникающие силы инерции не смогут уплотнить смесь до технологически необходимой плотности.

Для получения плотной формы необходимо, чтобы энергия удара максимально переходила в работу уплотнения смеси, а это возможно при достаточно жестком ударе.

Очевидно, что чем больше число ударов n сделает стол формовочной машины, тем форма будет плотнее, т.е. будет произведена большая работа:

$$A = Q_c \cdot h \cdot n \cdot \eta, \quad (7.17)$$

где η — коэффициент использования энергии сжатого воздуха, для встряхивающих формовочных машин $\eta=0,3-0,7$;

Q_c — масса формовочной смеси, кг;

h — высота подъема стола, м.

Обычные пневматические встряхивающие формовочные машины уплотняют одну форму за 20–80 ударов.

Плотность смеси в форме при уплотнении встряхиванием распределяется неравномерно (рис. 7.30). Около модельной плиты смесь более уплотнена, чем в верхней части формы. Верхние слои формы совсем не уплотняются и требуют дополнительного уплотнения либо подпрессовкой формы после встряхивания, либо подтрамбовкой пневматической трамбовкой вручную. Более производительной является динамическая подпрессовка верхних слоев формы с помощью чугунного груза-плиты, который накладывается на поверхность смеси перед встряхиванием. Толщина чугунного груза должна быть в пределах 25–80 мм. Рас-

распределение уплотнения по высоте опоки при встряхивании с грузом показано на рис. 7.30 (кривая 2).

При уплотнении форм встряхиванием наблюдается возникновение местной рыхлоты около нескругленных углов высоких моделей на рабочей поверхности формы. Рыхлота, т. е. очень низкая степень уплотнения (твердость меньше 20 единиц по твердомеру), получается на вертикальной (или круто наклонной) поверхности формы на расстоянии

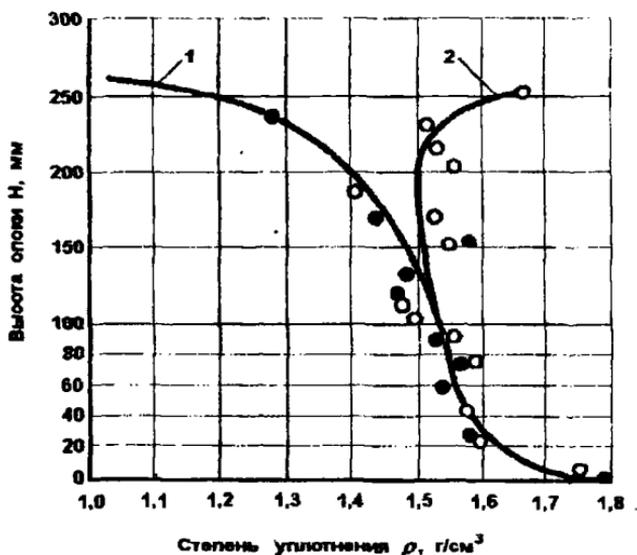


Рис. 7.30 Распределение степени уплотнения по высоте опоки при встряхивании при следующих параметрах: $n=60$, $h=50$ мм, $\eta \approx 1,0$, толщина чугунного груза $\delta = 25$ мм: 1 — встряхивание без груза; 2 — с динамической подпрессовкой

10–25 мм от угла модели. Этот дефект возникает вследствие отклонения потока формовочной смеси в опоке от вертикального направления движения при уплотнении.

При встряхивании, в отличие от прессования, боковое давление в уплотняемой смеси не успевает развиться до значительной величины из-за кратковременности действия вертикальных сжимающих напряжений при ударе. Поэтому поток формовочной смеси, отклонившийся в сторону от вертикали при огибании нескругленной кромки модели, не поджимается к модели, что и приводит к образованию местной рыхлоты.

Для борьбы с местной рыхлотой набивки при встряхивании рекомендуется подпрессовка профильной прессовой колодкой (рис. 7.31). Рыхлое место ликвидируется уже при давлении подпрессовки $>0,1$ МПа, тогда как при подпрессовке плоской колодкой для этого недостаточно даже давления $0,2$ МПа.

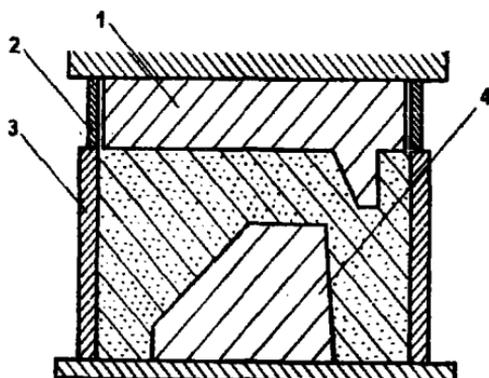


Рис. 7.31. Исправление дефекта рыхлоты около углов модели подпрессовкой профильной колодкой: 1 — колодка, 2 — наполнительная рамка, 3 — опока, 4 — модель

Таким образом, чистое встряхивание наравне с положительными свойствами (хорошее уплотнение формы у модели и вокруг нее) имеет ряд существенных недостатков: сравнительно большую затрату времени на выполнение большого числа ударов на одну форму, большую затрату работы на уплотнение, утомляющий стук при работе машины. Это заставляет комбинировать встряхивание с одновременным действием прессования под высоким давлением, что вызывает усложнение конструкции формовочной машины. Метод является эффективным как в отношении качества уплотнения, так и в отношении производительности.

Встряхивание в таком комплексном механизме производится с большой частотой, $10-12$ ударов в секунду (примерно втрое чаще, чем в обычных встряхивающих машинах). Поэтому при общей продолжительности цикла уплотнения $3-5$ с число ударов в первые $1-2$ с получается достаточно большим и действие их эффективно. Уплотнение карманов формы при таком комплексном нагружении определяется именно действием этих ударов, а интенсивное прессующее нагружение дает общую высокую твердость всей формы.

7.4.2. Гравитационное уплотнение

Порцию формовочной смеси 9, масса которой равна массе смеси в уплотненной форме, загружают из бункера 10 (рис. 7.32) в дозатор 7. При этом жалюзийный затвор 8 дозатора открыт, а затвор 6 закрыт. Между дозатором и опокой 4 находится шахта 5. После установки опо-

ки на модельную плиту 2 с моделью 3, находящимися на столе машины 1, ком смеси под действием сил гравитации с большой скоростью падает на модельную плиту. При резкой остановке в смеси возникают силы инерции, которые уплотняют смесь. Причем по ладу формы плотность смеси достигает технологически заданной, а по контрладу не уплотняется, и ее срезают либо доуплотняют прессовой колодкой на следующей позиции.

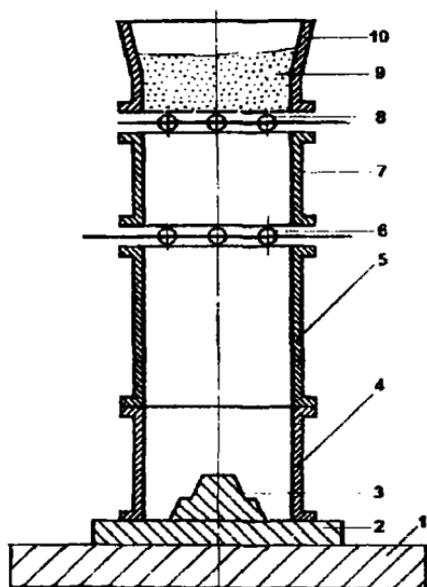


Рис 7.32 Схема гравитационного уплотнения смеси

Высота падения смеси составляет 1,5–3 м, а скорость смеси в момент удара достигает 5–7 м/с, что существенно выше, чем при встряхивании, поэтому смесь уплотняется за один удар. Механизм уплотнения смеси при этом методе ничем не отличается от механизма уплотнения при встряхивании. Конфигурация и размеры сечения шахты должны соответствовать конфигурации и размерам опоки в свету. Для уменьшения потерь энергии кома вследствие трения о стенки шахты дозатор должен формировать ком в виде усеченной пирамиды, расширяющейся книзу. Угол наклона стенок кома должен быть не более 5°.

Между наполнительной рамкой и шахтой оставляют зазор, через который будет удаляться воздух. В нижней части опоки делают

вентиляционные отверстия диаметром 10–15 мм. Площадь этих отверстий f_0 зависит от объема $V_{оп}$ опоки: $f_0 = 0,6 V_{оп}$. Время открывания затвора для получения компактного кома формовочной смеси не должно превышать 0,2 с.

Плотность смеси сильно зависит от ее реологических параметров. Внизу ее значение не превышает 1500 кг/м^3 , вверху смесь остается рыхлой. Для того, чтобы получить плотность лада, равную $1450\text{--}1550 \text{ кг/м}^3$ в опоках высотой 200–300 мм, высота падения должна быть 2–3 м. Твердость формы на ладе в этом случае достигнет 65–71 единицы в центре, 64–70 единиц у стенки и 59–65 единиц в углу.

Степень уплотнения формы не зависит от площади опоки, но увеличивается с высотой опоки (рис. 7.33); кривые на рисунке постро-

ны при высоте падения смеси 3 м, размерах опоки в свету 530 x 420 мм. Величина промежутка между двумя моделями B не влияет на плотность формы при отношении $H_m/B < (1,24-1,4)$, где H_m – высота модели. Этим методом на модель можно наносить сразу слой облицовочной и слой наполнительной смеси. Облицовочная смесь хорошо удерживается на вертикальных стенках модели.

Если опока имеет ребра, то они являются рассекателями кома. Твердость смеси под ребрами на 15–30 единиц меньше, поэтому их следует делать без пересечений с расстоянием между ребрами не менее 200 мм и с толщиной ребер 10–12 мм. Нельзя располагать ребра над вертикальными стенками модели. Метод эффективен для высоких форм.

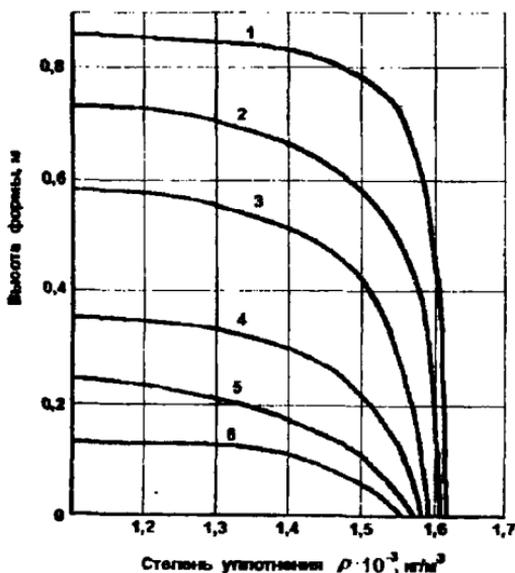


Рис. 7.33. Распределение степени уплотнения по высоте формы при гравитационном уплотнении в зависимости от массы смеси (кг): 1 – 300; 2 – 250; 3 – 200; 4 – 120; 5 – 80; 6 – 40

7.4.3. Вибропрессовое и прессово-ударное уплотнение

Уплотнение вибропрессованием производилось впервые на формовочных машинах с смонтированными в прессовые поршни специальными пневмовибраторами ударного действия. Частота ударов вибратора на этих машинах достигала $25-35 \text{ с}^{-1}$, но масса ударника и кинетическая

энергия при этом были небольшими. Позже были созданы машины с меньшей частотой ударов ($10\text{--}15\text{ с}^{-1}$), но массивным бойком. Роль ударника выполнял встряхивающий цилиндр, который перемещался внутри прессового поршня и опирался на пружины, установленные на внутренней стороне днища этого поршня. При работе машины в этом режиме встряхивания (подъема стола с формой, его резкого опускания и удара о станину) здесь нет, а есть прессование формы с одновременными ударами бойка (вибратора).

Вибропрессование позволяет несколько увеличить плотность формы и равномерность плотности по объему формы, но существенное изменение характера процесса начинается при частоте вынужденных колебаний, превышающих 50 с^{-1} . Оптимальное значение амплитуды колебаний $0,8\text{--}1,0\text{ мм}$ [27]. Эксперименты в ступенчатой пробе Г. М. Орлова показали, что равномерность уплотнения смеси начинает увеличиваться при частоте 50 с^{-1} и достигает максимума при 100 с^{-1} . Поэтому механизм уплотнения смеси при небольших ($10\text{--}15\text{ с}^{-1}$) частотах колебаний называют *прессово-ударным*, а при частотах, близких к порогу текучести, при которых резко меняется текучесть смеси ($50\text{--}100\text{ с}^{-1}$) – *вибропрессовым*.

Прессово-ударное уплотнение состоит из двух процессов: собственно прессово-ударного уплотнения, при котором в сжатой смеси в результате удара резко возрастают напряжения, и статического прессования, протекającego между двумя ударами. При ударе изменяются реологические свойства смеси, резко уменьшаются коэффициент бокового давления и коэффициент внешнего трения. Эти явления свойственны всем динамическим методам уплотнения. Однако здесь они происходят при значительно больших напряжениях, чем при других процессах.

Прессово-ударное уплотнение не следует относить к комбинированным методам, так как в последних происходит последовательное уплотнение формы двумя методами. Здесь же весь процесс уплотнения происходит одновременно. На рис. 7.34 приведены схемы прессово-ударного уплотнения при нижнем (рис. 7.34, а, б) и верхнем (рис. 7.34, в, г) расположении прессового механизма. При прессово-ударном уплотнении скорость нарастания напряжений превышает скорость нарастания напряжений при прессовании. Однако при одних и тех же напряжениях плотность при прессово-ударном уплотнении выше, чем при прессовании (см. рис. 7.34, в). Качество формы здесь улучшается не в результате увеличения приращения напряжений, а вследствие изменений реологических свойств смеси при резком росте напряжений, прежде всего при изменении коэффициента внутреннего трения, увеличение которого приводит к уменьшению бокового давления. Кроме того, при ударах возможно возникновение вибрации стола и оснастки, что также влияет на коэффициент внешнего трения.

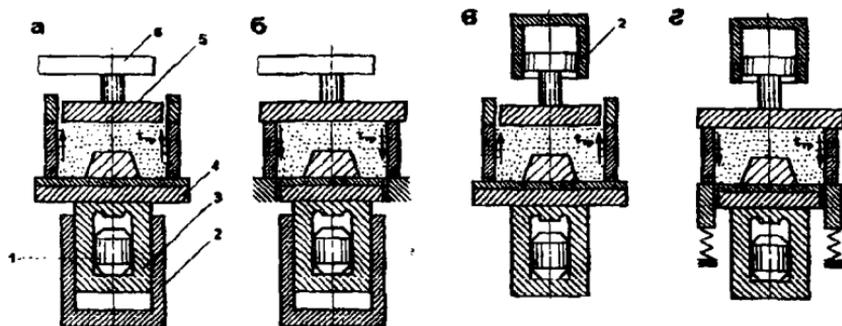


Рис. 7.34. Схема прессово-ударного уплотнения при нижнем и верхнем расположении прессового механизма: 1 – ударник; 2 – прессовый механизм; 3 – поршень; 4 – стол машины; 5 – прессовая плита; 6 – траверса

7.4.4. Скоростное прессование

При скоростном (ударном) прессовании уплотнение смеси производится ударной плитой (колодкой), которая со скоростью 5–8 м/с ударяет о поверхность рыхлой смеси, находящейся в опоке. При достаточной массе ударной плиты смесь в опоке сжимается между ней и модельной плитой, и форма уплотняется за один раз. В результате удара слои смеси и колодка под действием сил инерции движутся с большой скоростью в направлении модельной плиты, что и приводит к более равномерному уплотнению, чем при статическом прессовании. Кроме того, при ударе повышается давление воздуха, находящегося в порах смеси. Образуются фильтрационные потоки в направлении отверстий в опоке и вент в модельной плите, что также способствует снижению внешнего и внутреннего трения и повышению равномерности плотности смеси.

Схема рабочего органа установки скоростного прессования показана на рис. 7.35. На нижней траверсе 1, соединенной с верхней 3 четырьмя колоннами 2, установлена модельно-опочная оснастка 10 со смесью. На верхней траверсе установлен пневмоударник, состоящий из рабочего цилиндра 4 с поршнем 7. На нижнем конце штока 6 закреплена прессовая плита 8, удерживаемая от падения пневмозахватами 9. Под действием давления воздуха в ресивере 5 при отведенных в стороны захватах колодка разгоняется и, ударяя по смеси, уплотняет ее.

Процесс скоростного прессования имеет ряд преимуществ:

- равномерность плотности смеси по высоте опоки намного выше, чем при статическом прессовании;
- время уплотнения исчисляется сотыми долями секунды;

- расход воздуха на уплотнение одной формы незначительный;
- режим рабочего органа легко регулируется давлением воздуха в ресивере и ходом прессовой колодки;

• колебания фундамента в 3—4 раза ниже, чем при встряхивании.

К недостаткам процесса можно отнести высокую чувствительность к режимам уплотнения, необходимость устройства венг как на модельной плите, так и в карманах моделей.

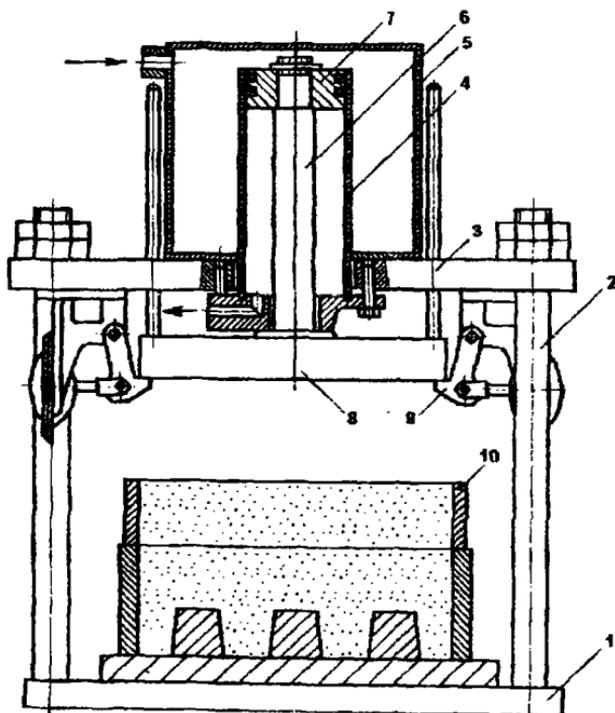


Рис. 7.35. Схема установки скоростного прессования

7.4.5. Импульсное уплотнение

Существует два метода импульсного уплотнения форм: воздушно-импульсный и газовый (взрывной). К импульсным методам можно отнести и рассмотренное выше скоростное прессование. Наиболее широко в настоящее время распространен метод воздушно-импульсного уплотнения форм. Он состоит в том, что на смесь, находящуюся в оплке, воздействуют кратковременным воздушным импульсом высокого

давления. В результате смесь с большим ускорением перемещается в сторону модельной плиты. При встрече с моделью или модельной плитой смесь резко тормозится и уплотняется под действием давления лежащих выше слоев. Верхние слои смеси так же, как и при встряхивании, не уплотняются.

Рабочий орган машины – импульсная головка представляет собой емкость 6 (рис. 7.36) с клапаном 10 внутри с пружиной 9 и крышкой 8. В нижней части головки размещен рассекатель воздуха 5 – решетка с

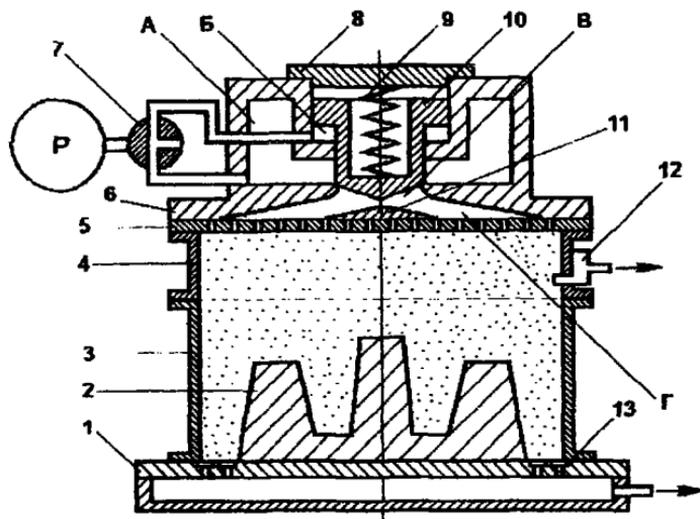


Рис. 7.36. Схема установки для воздушно-импульсной формовки:
А, Б, Г – полости; В – отверстие для выхода воздуха

отверстиями диаметром 5–8 мм с дефлектором 11. Технологическая оснастка состоит из модельной плиты 1 модели 2, опоки 3 и наполнительной рамки 4. Равномерное распределение потока воздуха, выходящего из отверстия В большого диаметра при открывании клапана, способствует равномерному распределению его давления на поверхности смеси под рассекателем. Большая часть отработанного воздуха из полости наполнительной рамки удаляется в атмосферу через специальный клапан 12, а остальной воздух удаляется путем фильтрации через вентиль 13, расположенные в оснастке. Давление воздуха в ресивере Р и в полости А головки, соединяемых через специальный распределитель 7, поддерживается специальным компрессором до 7–8 МПа. Длительность процесса 1–3 с.

При воздушно-импульсном способе достигается высокое и равномерное уплотнение смеси. Твердость формы со стороны модели составляет 90–95 единиц, а на контрладе после удаления 20–40 мм неуплотненной смеси твердость достигает 70 единиц.

Преимущества процесса: минимальное время уплотнения, хорошее качество уплотнения, универсальность. Недостатками являются повышенный расход воздуха, значительный шум, необходимость специального компрессора и ресивера высокого давления.

7.4.6. Пескодудное уплотнение

Принцип пескодудного процесса уплотнения литейных форм и стержней заключается в том, что формовочная или стержневая смесь транспортируется сжатым воздухом через вдвухные отверстия из пескодудного резервуара в полость стержневого ящика (или опоку) к. заполняя ее, одновременно в ней уплотняется (рис. 7.37). Поступающий же вместе со смесью сжатый воздух эвакуируется из стержневого ящика (или опоки) через специальные вентиляционные отверстия, или венты.

Основными факторами уплотняющего воздействия на формовочную смесь в пескодудном процессе являются живая сила песчановоздушной струи в период заполнения стержневого ящика (или опоки) смесью и фильтрация воздушного потока через смесь от вдвухных отверстий к вентам, продолжающаяся и после его заполнения.

Живая сила рабочей струи формовочной смеси является главным фактором уплотнения в пескодудном процессе. Она действует в течение первого, основного периода процесса, когда происходит заполнение технологической емкости смесью и длится 0,1–0,2 с от момента включения дутья. При дальнейшей выдержке технологической емкости под дутьем в ней продолжается уже только процесс фильтрации воздуха через поры смеси по направлению от вдвухных отверстий к вентам. При этом в слое смеси возникает разность входного P_1 и выходного P_2 давлений воздуха, тем большая, чем больше высота слоя X смеси. Эта разность давлений производит дополнительное динамическое прессующее действие на слой смеси. Процесс фильтрации протекает с малыми скоростями движения воздуха через смесь.

Фактор фильтрации имеет второстепенное значение в пескодудном процессе. Это видно из экспериментальных данных, приведенных на рис. 7.38, об уплотнении смеси в стержневом ящике при изолированном действии факторов пескодудного процесса. При верхней вентиляции стержневого ящика фактор кинетической энергии является преобладающим, он один дает такое же уплотнение, как при суммарном действии обоих факторов при обычном пескодудном процессе. При нижней вентиляции ящика получилось меньшее уплотнение смеси, так как наи-

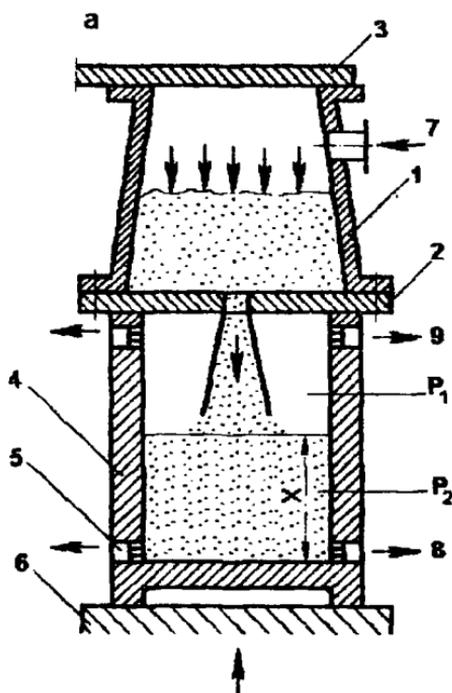


Рис. 7.37. Схема пескоструйного уплотнения смеси: 1 – пескоструйный резервуар; 2 – дутьевая плита; 3 – шибер; 4 – стержневой ящик; 5 – венты; 6 – стол машины; 7 – выпуск воздуха; 8 – нижняя вентиляция; 9 – верхняя вентиляция стержневого ящика

более существенный фактор кинетической энергии струи действовал полностью только при заполнении нижней части стержня. Верхняя же его часть уплотнялась главным образом за счет фильтрации воздушного потока, поскольку при увеличении слоя смеси в ящике противодавление воздуха в нем нарастало и скорость рабочей струи во второй половине заполнения была невелика.

Изложенные представления о механизме уплотнения формовочных и стержневых смесей при пескоструйном процессе подтверждают рекомендации современной практики о применении верхней вентиляции стержневых ящиков и горизонтального расположения стержней в них.

Второй, наиболее широко применяемый в настоящее время тип пескоструйного устройства – головка пескоструйной машины (рис. 7.39). Процесс уплотнения смеси с помощью пескоструйной головки отличается от пескоструйного более быстрым впуском сжатого воздуха в резервуар, имеющий форму конического патрона с сужением внизу и одним

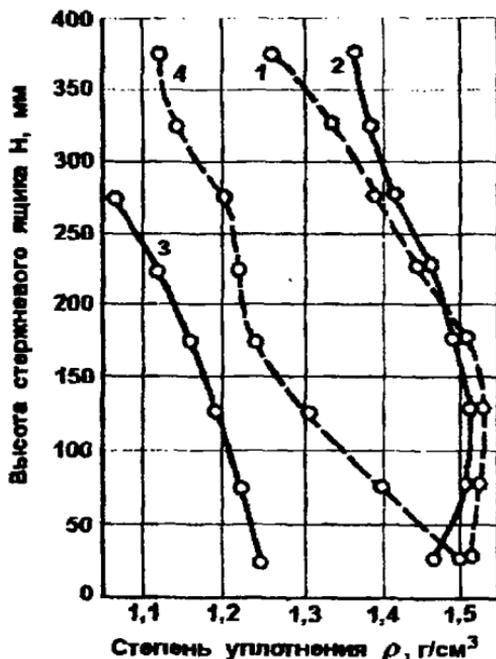


Рис. 7.38. Распределение уплотнения смеси по высоте стержневого ящика:

1 – пескоструйный процесс при верхней вентиляции ящика; 2 – действие только кинетической энергии струи: ящик без вентиляции, между верхом ящика и дутьевой плитой зазор 50 мм; 3 – действие только фильтрации воздушного потока: предварительная засыпка смеси в ящик, плавное включение дутья, нижняя вентиляция ящика; 4 – обычный пескоструйный процесс при нижней вентиляции стержневого ящика

выходным (вдувным) отверстием. Очень быстрый, подобно выстрелу, выпуск сжатого воздуха в патрон пескострельной машины в течение около 0,05 с обеспечивается быстрым открыванием клапана дутья, имеющего большое проходное сечение. Сразу после выпуска заряда (порции) сжатого воздуха в пескострельный патрон клапан дутья закрывается и делает отсечку воздуха. Заряд сжатого воздуха своим давлением выталкивает порцию смеси из патрона через вдувное отверстие в технологическую емкость. Проходя через коническое сужение патрона перед вдувным отверстием, смесь ступается, уплотняется перед выходом и устремляется в технологическую емкость компактной массой.

Для изготовления стержней на пескоструйных машинах применяются смеси прочностью на сжатие образцов во влажном состоянии до 0,01 МПа. Влажность смесей находится в пределах 2,5–3,4 %; более высокая влажность приводит к прилипанию смесей к алюминиевым

стержневым ядрям. Как правило, используются вдувные отверстия диаметром 10 и 12 мм. Для работы на смесях повышенной прочности, свыше 0,01 МПа, применяют увеличенные диаметры вдувных отверстий (15–25 мм). Расстановка вдувных отверстий делается из расчета, что одно вдувное отверстие имеет район действия до 60–80 см² площади стержня.

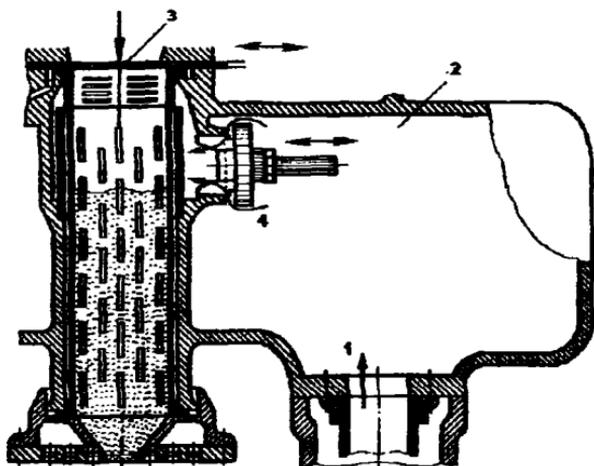


Рис. 7.39. Схема пескострельного механизма уплотнения смеси:
1 – подвод сжатого воздуха; 2 – ресивер; 3 – загрузка смеси;
4 – впуск сжатого воздуха

Для изготовления литейных форм пескодувным способом при использовании формовочных малотекучих смесей применяют вдувные отверстия диаметром не менее 25–30 мм. Площадь опоки, обслуживаемая одним вдувным отверстием, составляет около 100 см². Отношение суммарного живого сечения вент к суммарному сечению вдувных отверстий должно быть в пределах 0,8–1,0. При пескострельном процессе и работе с формовочными смесями одно вдувное отверстие диаметром 40 мм может обслужить площадь опоки до 200 см², а отношение сечения вент к сечению вдувных отверстий может быть около 0,5. При отношении менее 0,5 плотность формы начинает резко уменьшаться. Отношение, равное 0,1–0,5, может быть рекомендовано в тех случаях, когда опоку заполняют пескодувным способом, а уплотняют смесь последующей подпрессовкой.

7.4.7. Уплотнение пескометом

При уплотнении форм пескометом опока постепенно заполняется порциями смеси пакетами, которые выбрасываются метательной головкой пескомета. Головка перемещается относительно опоки, и пакеты укладываются слоями.

Напряжения, возникающие в пакете при ударе, зависят от кинетической энергии пакета, т. е. от его массы, скорости и степени уплотнения. Чем больше плотность пакета, тем меньше будет растянут ударный импульс во времени и тем выше будут максимальные напряжения.

Метательная головка представляет собой быстровращающийся ротор с одной, двумя или тремя лопатками. Эти лопатки и выбрасывают из кожуха головки порции, т. е. пакеты формовочной или стержневой смеси с большой скоростью вертикально вниз, в набиваемую опоку или стержневой ящик. Таким образом, пескомет механизмирует старинный прием формовщиков ручной формовки, заключающийся в том, что для лучшего уплотнения смеси в углах или глубоких впадинах модели или ящика брали пригоршню смеси и с размаха бросали ее в это трудно уплотняемое место. При набивке формы головка пескомета должна перемещаться, иначе пакеты будут падать друг на друга, образуя конус смеси. При этом форма уплотняется неравномерно, некоторые ее части остаются недоуплотненными.

Формовочная смесь подводится к метательной головке в осевом направлении непрерывно с помощью системы ленточных конвейеров. Поток смеси отскакивает быстровращающейся лопаткой, формируется под действием центробежных сил в пакет и продвигается лопаткой по окружности вдоль направляющей дуги головки. При этом пакет под действием центробежных сил приобретает некоторое уплотнение. После прохождения пакетом направляющей дуги начинается его соскальзывание с лопатки, так как теперь с периферии пакет уже не имеет ограничивающей поверхности дуги. В момент схода пакет смеси приобретает под действием центробежных сил выходную скорость, которая должна быть достаточной для получения надлежащего уплотнения литейных форм (> 30 м/с и до $45\text{--}60$ м/с).

Минимальная скорость пакета равна 30 м/с. При такой скорости и производительности $3,5$ м³/ч твердость формы достигает $75\text{--}78$ единиц по твердомеру, плотность — 1750 кг/м³. Уменьшение скорости приводит к резкому падению плотности и твердости набивки. В современных пескометах скорость пакета доходит до 60 м/с, масса пакета достигает 150 г (при производительности 25 м³/ч), что обеспечивает получение плотности 1900 кг/м³ и твердости $93\text{--}95$ единиц. Увеличение скорости важно также потому, что при этом более полно устраняются рыхлоты, связанные с неправильной набивкой формы формовщиком.

Пескомет является единственным видом формовочной машины, не связанной непосредственно с опокой и модельной плитой. Поэтому его можно эффективно использовать для набивки как единичных разнообразных литейных форм и стержней в единичном и мелкосерийном производстве, так и однотипных форм и стержней в условиях массового и крупносерийного производства.

Уплотнение ширококовшовым пескометом (рис. 7.40). При использовании ширококовшового пескомета, ширина ковша которого равна ширине опоки, метательная головка или опока совершают только

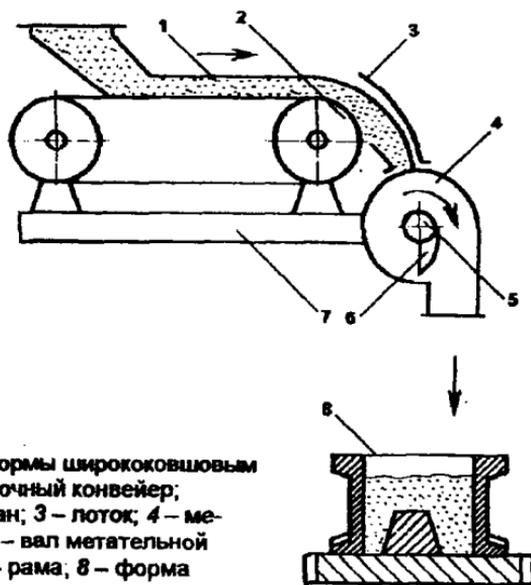


Рис. 7.40. Схема уплотнения формы ширококовшовым пескометом: 1 — ленточный конвейер; 2 — приводной барабан; 3 — лоток; 4 — метательная головка; 5 — вал метательной головки; 6 — ковш; 7 — рама; 8 — форма

возвратно-поступательное движение. Смесь укладывается ровным слоем на всю поверхность формы. Сырая прочность применяемых формовочных смесей составляет от 0,035 до 0,13 МПа, влажность — от 3,5 до 6,8 %, газопроницаемость — 60–160 единиц. Твердость на ладс формы при применении малопрочных смесей колеблется в пределах 75–80 единиц, при использовании высокопрочных смесей — в пределах 85–90 единиц. Время заполнения и уплотнения формы колеблется от 6 с (полуформа размерами 1030 x 770 x 150 мм) до 18 с (полуформа размерами 1200 x 1050 x 400 мм).

7.5. Контроль и регулирование степени уплотнения смесей при изготовлении форм и стержней

К контрольно-регулирующим устройствам для регулирования плотности форм и стержней в процессе их изготовления относятся различные автоматические регуляторы (клапаны встряхивания, автоматические клапаны давления и времени, автоматические регуляторы уплотнения смеси, счетчики числа ударов и др.). Наиболее известные из них основаны на определении плотности:

- по числу ударов;
- времени встряхивания;
- электросопротивлению смеси;
- по сопротивлению, оказываемому уплотненной смесью вращающимися в ней плужками и др.

При регулировании степени уплотнения числом ударов на формовочной машине устанавливают счетчик числа ударов (рис. 7.41), который при достижении заданного числа ударов (требуемой степени уплотнения) останавливает машину. Требуемое число ударов подбирают опытным путем. Счетчик числа ударов работает по принципу перекачки

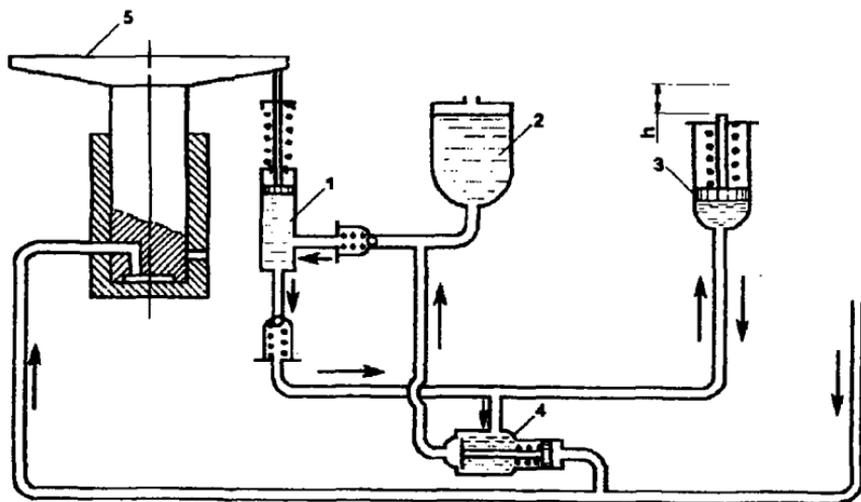


Рис. 7.41. Схема устройства счетчика ударов встряхивающего механизма [28]:
1 – насос; 2 – бакоч для масла; 3 – поршень; 4 – клапан; 5 – встряхивающий стол

масла из открытого резервуара 2 под поршень 3, что осуществляется с помощью поршневого масляного насоса 1, приводимого в действие встряхивающим столом 5. С увеличением числа ударов встряхивающего механизма увеличивается количество масла под поршнем 3, в результате чего поршень поднимается вверх. После подъема на заданную величину хода шток поршня 3 останавливает встряхивание.

При регулировании степени уплотнения по времени встряхивания на воздухоподводящей линии машины устанавливают электрическое или пневматическое реле времени, которое по истечении заданного времени перекрывает подачу сжатого воздуха в полость цилиндра, и встряхивание прекращается.

Клапаны встряхивания служат для регулирования подачи сжатого воздуха во встряхивающий цилиндр машины и изменения высоты встряхивания. На рис. 7.42 показана конструкция и принцип действия двухседельного клапана встряхивания. При подаче сжатого воздуха через отверстие 1 (рис. 7.42, а) клапан 2 поднимается, и воздух проходит под встряхивающий поршень 6, который начнет подниматься вверх.

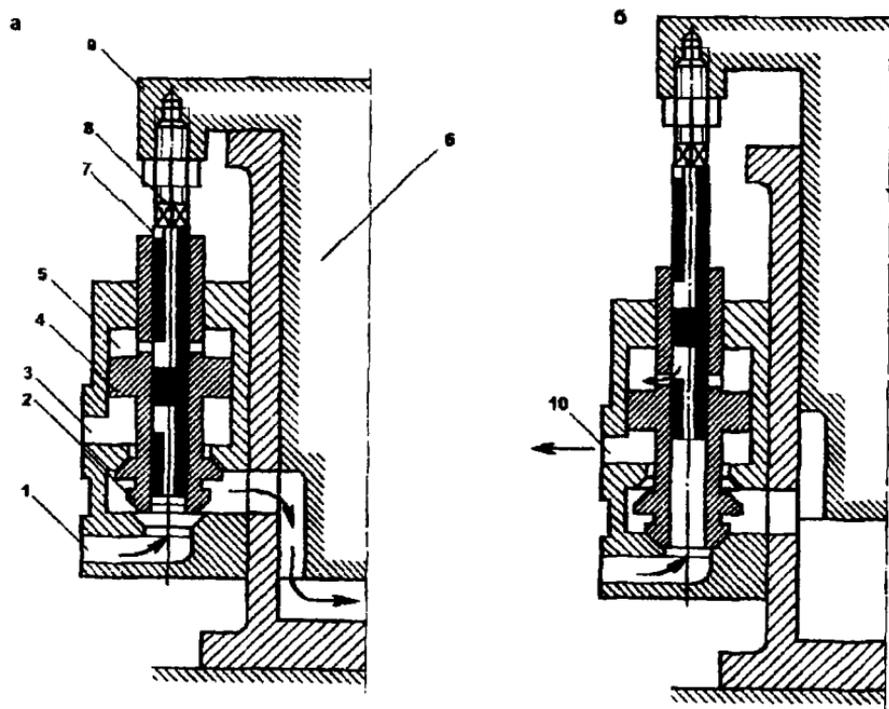


Рис. 7.42. Распределение воздуха перекидным двухседельным клапаном: а – подъем стола машины; б – падение стола

Вместе со встряхивающим поршнем поднимается стол машины 9 и плунжер 7, что дает возможность через определенное время сжатому воздуху попасть в надпоршневое пространство 5 (рис. 7.42, б). При этом будет создано давление на поршень 4, который перекиннет клапан 2 в нижнее положение, закрывая доступ воздуха во встряхивающий цилиндр и открывая выхлопное отверстие 3. В момент резкого понижения давления под встряхивающим поршнем 6 (так как воздух уходит в атмосферу) стол 9 падает и ударяется о торец цилиндра. Вместе со столом опустится и плунжер 7, что приводит к прекращению выхода воздуха в атмосферу через выхлопное отверстие 10. Таким образом осуществляется последовательное повторение ударов встряхивающего стола. Регулировать высоту подъема встряхивающего стола (а следовательно, и степень уплотнения) можно изменением высоты плунжера 7, что достигается ввинчиванием его резьбовой части 8 с помощью резьбовой гайки.

Регулирование степени уплотнения по числу ударов и по времени встряхивания относится к косвенным способам. Способы, при которых непосредственно определяется плотность смеси в процессе ее уплотнения, называют прямыми.

На рис. 7.43 показана схема прибора для непосредственного замера плотности формы в процессе уплотнения по сопротивлению впе-

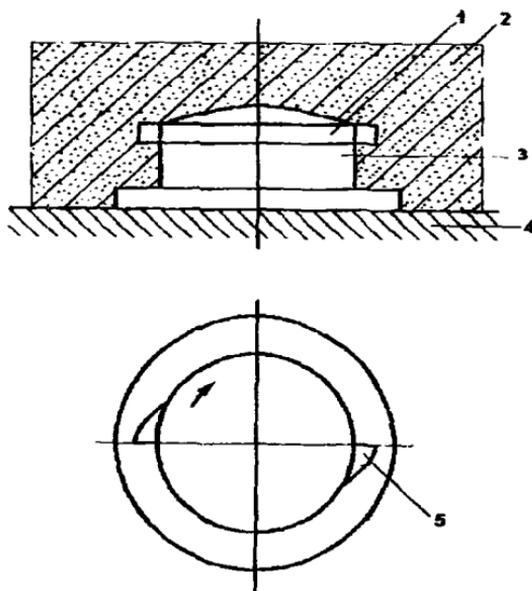


Рис. 7.43. Схема прибора для непосредственного замера плотности формы в процессе уплотнения

дрения вращающихся плужков. На модельной плите 4 жестко закрепляется регулятор плотности 3, который устроен таким образом, что при каждом ударе его верхняя часть (колпачок) 1 поворачивается на небольшой угол. На колпачке имеются два плужка 5, которые могут свободно поворачиваться, если смесь 2 слабо уплотнена. Как только сопротивление смеси проворачиванию плужков возрастет настолько, что колпачок остановится, автоматически происходит отключение сжатого воздуха, питающего встряхивающий механизм.

Работа прессового цилиндра пневматической формовочной машины регулируется автоматическим клапаном давления (рис. 7.44), служащим для стабилизации плотности набивки форм и стержней и ограничения времени, затрачиваемого на процесс прессования,

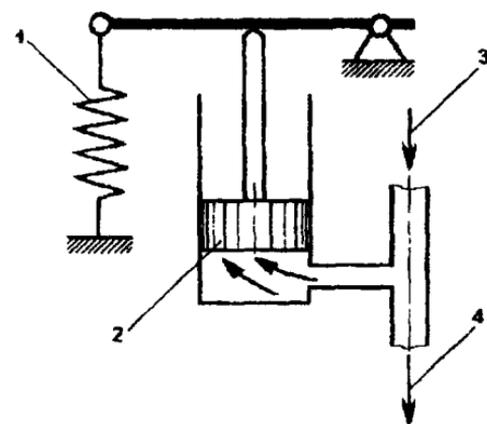


Рис. 7.44. Принцип действия автоматического клапана давления

что повышает производительность формовочной машины. При установке прессовой траверсы с прессовой колодкой в рабочее положение специальный ролик траверсы нажимает на защелку клапана давления, в результате чего открывается доступ сжатому воздуху из сети 3 в прессовый цилиндр 4. При этом начинается прессование смеси в опоке. По достижении требуемой степени уплотнения смеси поршень 2 клапана пройдет определенный отрезок пути и, преодолевая силу сжатия пружины 1, вернет

защелку клапана в исходное положение, что прекратит подачу воздуха в клапан, а следовательно, и под прессовый поршень. При этом прессование автоматически выключается, а воздух из-под прессового поршня выходит в атмосферу. Желаемая плотность набивки литейных форм устанавливается путем большего или меньшего натяжения рабочей пружины клапана давления.

На рис. 7.45 показана схема автоматической системы контроля и регулирования плотности смеси в опоке 2, включающая индукционный датчик 3, закрепленный в модельной плите 4 или в модели 1, измерительный прибор 8 и электромагнитный воздухораспределительный клапан 7. По мере уплотнения смеси возрастает давление на рабочую площадку датчика 3. Рабочая площадка датчика опускается и сжимает опорную пружину. При этом перемещается магнитный сердечник, а в

катушке возникает индуктивный ток, улавливаемый измерительным прибором. Под действием того же электрического импульса, получаемого от датчика, срабатывает магнитный клапан пневмопривода, отключающий систему подачи воздуха в клапан б формовочной машины после достижения заданной плотности смеси.

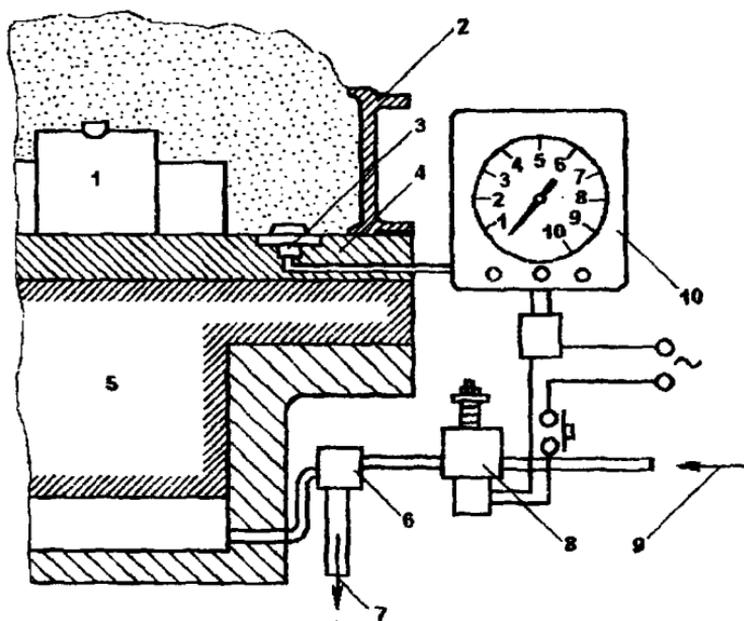


Рис 7 45. Схема автоматического контроля и регулирования степени уплотнения смеси в форме: 1 – модель; 2 – опока; 3 – датчик; 4 – модельная плита; 5 – стоп машины с поршнем; 6 – клапан; 7 – выхлоп; 8 – воздухораспределитель; 9 – подвод воздуха из магистрали; 10 – измерительный прибор

7.6. Способы извлечения моделей из полуформ

После уплотнения полуформы на формовочной машине производится извлечение модели. Формовочные машины оборудованы механизмами для извлечения моделей, которые можно разделить на две группы:

1) без поворота полуформы перед извлечением моделей (штифтовой, рамочный, с применением протяжной плиты);

2) с поворотом полуформ перед извлечением модели (с помощью поворотной колонны или перекидного стола).

Схема извлечения модели с помощью штифтового подъема показана на рис. 7.46, 7.47. Заформованная опока снимается с модельной

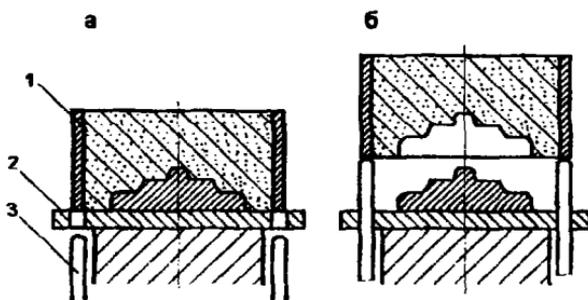


Рис. 7.46. Схема вытяжки модели штифтовым подъемом:
а – положение до вытяжки; б – положение после вытяжки

плиты 2 с помощью четырех штифтов 3, расположенных по углам стола. Штифты кинематически жестко связаны между собой и установлены на одном уровне. Специальным механизмом штифты поднимаются и, упираясь в углы опоки 1, снимают ее с модели.

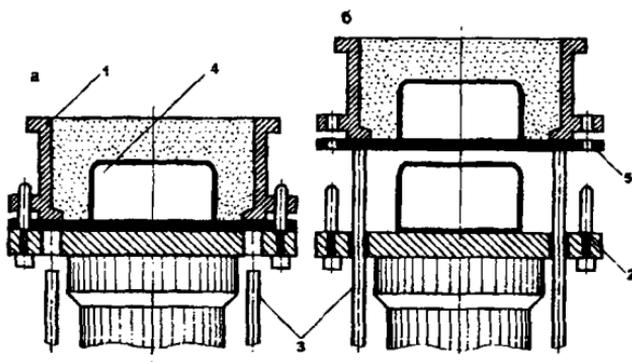


Рис. 7.47. Схема механизма штифтового съема с использованием протяжной плиты: а – после уплотнения смеси; б – после извлечения модели

Кромки формы вокруг модели при съеме опоки находятся на весу и при высоких стенках модели могут обваливаться под действием как

собственного веса смеси, так и сил сцепления смеси с моделью. Поэтому вытяжку на штифтах применяют только при формовке по невысоким, простым по конфигурации, хорошо вынимающимся из формы моделям.

При формовке по высоким моделям сложной конфигурации (например, шестерни с литым зубом) вытяжку осуществляют с помощью специальных протяжных плит (рис. 7.47). В этом случае на модельную плиту 2 устанавливают не только модель 4, но и специальную протяжную плиту 5, которая имеет вырез, точно совпадающий с контуром модели. При съеме полуформы 1 штифты 3 упираются в протяжную плиту 5 и снимают полуформу с модельной плиты вместе с протяжной плитой, которая предохраняет полуформу от разрушения при съеме и извлечении из нее модели.

На средних и крупных формовочных машинах извлечение моделей из полуформ осуществляется с помощью специальных подъемных рамок. Принцип извлечения модели такой рамкой ничем не отличается от штифтового подъема. Подъемная рамка упирается в кромки опоки, в которой изготовлена полуформа, и снимает ее с модельной плиты.

Извлечение моделей из полуформ, изготовленных по моделям сложной конфигурации, можно осуществлять комбинированным способом (рис. 7.48). При съеме опоки штифтами 5 болван 6 из формовочной смеси 3 между высокими и близко расположенными ребрами модели

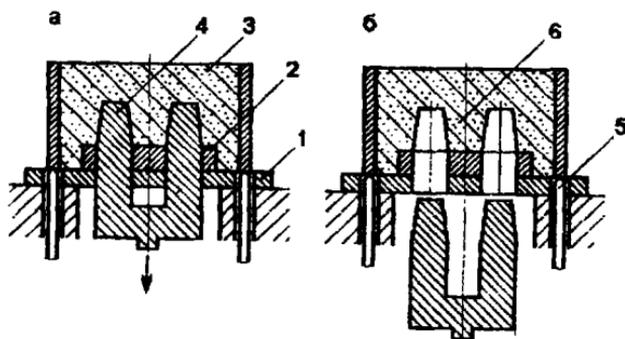


Рис. 7.48. Схема комбинированной вытяжки модели:
а – положение до вытяжки; б – положение после вытяжки

под действием веса и сцепления с моделью легко может обвалиться. Во избежание этого ребра модели выполняют проваливающимися в зазоры модельной плиты 1, или протяжными. При комбинированном способе вытяжка модели осуществляется в два этапа. Вначале проводится про-

тяжка подвижной части 4 модели опусканием ее вниз. Протяжной рамкой здесь служит неподвижная часть 2 модели. Оставшуюся невысокую часть модели извлекают путем вытяжки на штифтах. При этом способе извлечения модели исключен обвал болвана 6, так как он при протяжке части модели 4 имеет поддержку.

На рис. 7.49 показана схема извлечения модели на формовочной машине с поворотным столом (машины моделей 253, 254 и 255). После уплотнения смеси в опоке 5 полуформа закрепляется на поворотной

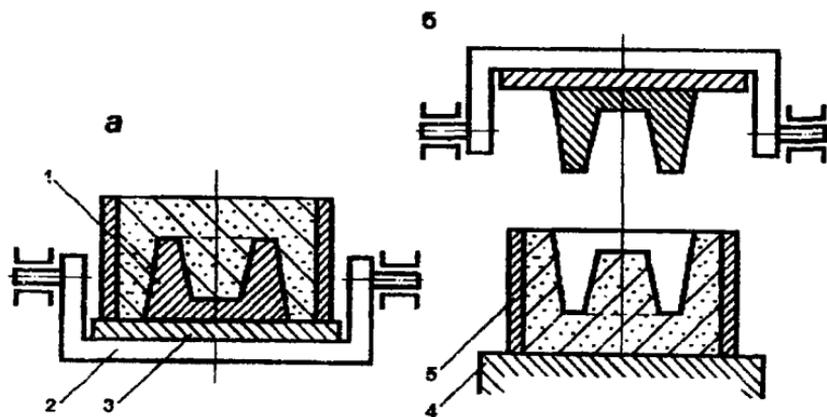


Рис. 7.49. Схема извлечения модели на машине с поворотным столом

плите 2, на которой закреплена модельная плита 3. Для вытяжки модели 1 поворотную плиту вместе с полуформой поворачивают на 180° и поднимают приемный стол 4 до соприкосновения с опокой; снимают крепежные соединения опоки с поворотной плитой и приемный стол с полуформой опускают, извлекая при этом модель из полуформы.

Извлечение модели с помощью поворотной колонны показано на рис. 7.50. Опоку устанавливают на модельную плиту, закрепленную на столе машины. После засыпки и уплотнения формовочной смеси (встряхиванием с подпрессовкой) полуформу 1 вместе с модельной плитой, встряхивающе-прессовым механизмом 2 и прессовой плитой 4, прижатой к смеси, поворачивают на 180° в цапфах 3 вокруг горизонтальной оси. После опускания прессовой плиты 4 с полуформой модель извлекается, полуформа удаляется, а встряхивающе-прессовый механизм возвращается в исходное положение.

При изготовлении форм с массивными или высокими болванами применяют способ извлечения модели из формы с помощью перекидного стола (рис. 7.51). Опоку 1 и модельную плиту 2 закрепляют на пе-

рскидном столе машины пневматическими зажимами. Перекидной стол 3 вместе с полуформой с помощью специального поворотного ме-

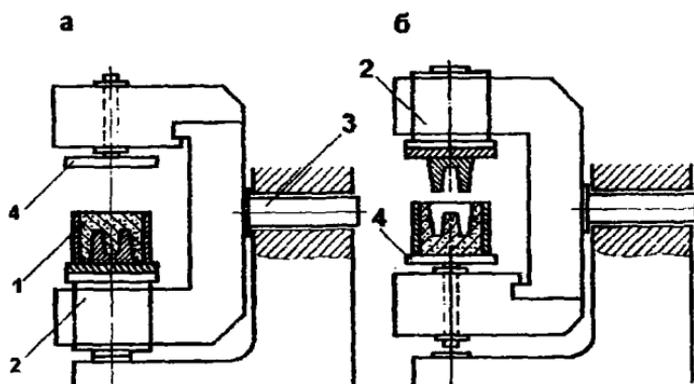


Рис. 7.50. Схема вытяжки модели на поворотной машине: а – положение до вытяжки; б – положение после вытяжки

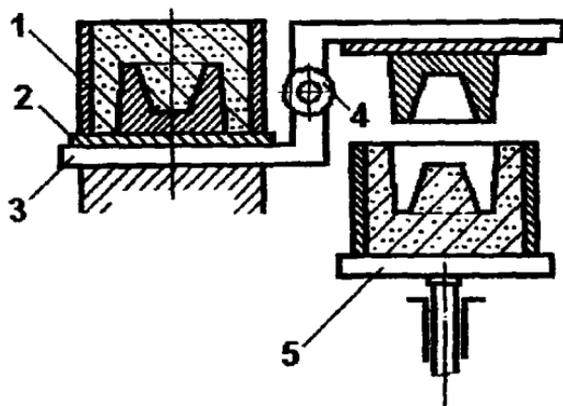


Рис. 7.51. Схема вытяжки модели с помощью перекидного стола

ханизма 4 поворачивают на 180° и полуформу устанавливают на приемное устройство 5 формовочной машины. После снятия крепления с полуформы включается подъемный механизм приемного устройства, которое вместе с полуформой опускается. При этом модель извлекается из формы, а перекидной стол возвращается в исходное состояние. Иногда после снятия крепления с полуформы включают вибратор, облегчающий извлечение модели из формы.

7.7. Изготовление стержней

7.7.1. Классификация технологических процессов

Технологические процессы изготовления стержней делят на две группы. Первая группа включает в себя традиционные процессы, давно применяемые в литейных цехах. Они характеризуются отверждением стержней вне оснастки, как правило, с помощью тепловой сушки. Первоначальная прочность стержней достигается повышенной сырой прочностью стержневых смесей, высокой степенью уплотнения стержней, а также применением металлических каркасов.

Вторая группа процессов обеспечивает отверждение стержней непосредственно в оснастке в основном за счет химического или физико-химического упрочнения материалов, входящих в состав стержневых смесей. К этой группе относятся процессы, основанные на использовании самотвердеющих смесей или смесей, твердеющих при продувке газом-отвердителем в неагрегированной оснастке, а также процессы, основанные на использовании стержневых смесей, затвердевающих под воздействием теплоты нагреваемой оснастки.

Каждый технологический процесс имеет свою оптимальную область применения, поэтому выбор оптимального технологического процесса изготовления стержней представляет собой сложную задачу и связан с глубоким техническим и экономическим анализом большого числа факторов.

Традиционные технологические процессы с отверждением стержней вне оснастки. При этих процессах после уплотнения смеси и извлечения стержней из оснастки стержни сушат при 150–250 °С в сушилах в течение 1,5–2,5 часа и более. При этом ряд стержневых смесей позволяет производить кратковременную сушку при повышенной температуре в сушиле, а также сушку в электрическом поле высокой частоты. Кроме того, некоторые стержни изготавливаются без отверждения. Такие стержни называют сырыми, аналогично технологии изготовления форм по-сырому. Прочность таких стержней достигается лишь за счет высокой сырой прочности смесей, каркасов и высокой степени уплотнения.

Технологические процессы, основанные на отверждении стержней в оснастке обеспечивают отверждение стержней непосредственно в стержневых ящиках. При этом отверждение может проводиться или в предварительно нагретой до необходимой температуры оснастке, или в холодной оснастке, имеющей температуру окружающей среды.

Процессы изготовления стержней в нагреваемой оснастке подразделяют на процессы изготовления стержней из влажных и сухих (обычно песчано-смоляных), жидких и плакированных смесей. Плакированные стержневые смеси используют для формовки оболочковых стержней.

Технологические процессы изготовления стержней в холодной оснастке делят на две группы. К первой группе относят процессы с использованием самотвердеющих смесей, а ко второй – процессы, основанные на отверждении смеси в оснастке при их продувке. Процессы с использованием самотвердеющих смесей подразделяют на процессы изготовления стержней из сыпучих смесей с нормальной и повышенной скоростями самозатвердевания, а также на процессы изготовления стержней из ЖСС. Отверждение смесей за счет продувки может осуществляться углекислым газом, газообразным катализатором и сжатым воздухом (подогретым или с нормальной температурой).

Все процессы изготовления стержней включают в себя различные технологические (рис. 7.52), транспортные и вспомогательные операции, из которых часть операций характерна для всех технологических процессов, а часть специфична для отдельных вариантов технологических процессов изготовления стержней.

7.7.2. Особенности технологии изготовления стержней при единичном и мелкосерийном производстве

В литейных цехах с единичным, мелкосерийным и серийным производством изготавливается большое разнообразие стержней, отличающихся по массе, габаритным размерам и сложности. Стержни определенной группы, схожие по массе, имеют различные габаритные размеры и различную сложность. Количество одинаковых или сходных по размерам и сложности стержней в каждой весовой группе обычно не превышает 15–20 штук в смену. Формовку стержней в таких цехах производят в основном по деревянным стержневым ящикам, реже по стержневым ящикам из эпоксидных смол или полностью металлическим.

Использование машинной формовки при единичном и мелкосерийном производстве стержней, как правило, оказывается технически нецелесообразным, что связано с большими потерями времени на перестановку стержневых ящиков в течение смены и на переналадку самих стержневых машин.

Применение механизированных и автоматизированных установок для уплотнения стержней сдерживает также то, что при мелкосерийной и серийной номенклатуре отливок для изготовления стержней даже в условиях одного и того же цеха применяются две, три и более различ-

кой и сглаживают гладилкой (рис. 7.53). Ящики, имеющие малую высоту, уплотняют, как правило, за один прием. Ящики большой высоты уплотняются в несколько приемов (последовательно). Углубления и поднутрения, глубокие впадины предварительно уплотняют пальцами рук. Крупные стержни уплотняют пневматическими трамбовками. Для предупреждения быстрого износа кромок, тонких ребер и различных выступающих частей ящика применяют трамбовки с наконечниками из резины или легкого цветного сплава.

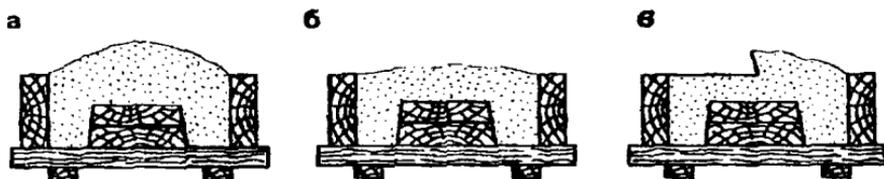


Рис. 7.53. Процесс изготовления стержня ручным уплотнением: а – засыпка смеси; б – уплотнение смеси; в – срезка излишков смеси

Степень уплотнения смеси зависит от числа ударов, массы трамбовки, усилия, прикладываемого к трамбовке, а также от текучести и прочности смеси в сыром состоянии и высоты уплотняемого слоя. Для оценки плотности стержней используют измерение их поверхностной твердости твердомером. Из практики ясно, что плотности 1550 кг/см^3 соответствует ориентировочно твердость стержня, равная 80 ед. (твердость стержня, равная 80 ед., является максимальной для средних и крупных стержней; для мелких стержней допустимая твердость равна 50–60 ед.).

Уплотнение стержневой смеси встряхиванием осуществляется на встряхивающих машинах последовательными ударами заполненного смесью стержневого ящика о станину машины (рис. 7.54). Высота подъема стола машины достигает 50–100 мм. После каждого удара стержневая смесь под действием сил инерции перемещается вниз. Чем больше масса вышележащих слоев смеси, тем выше степень уплотнения стержня. Самые верхние слои смеси при встряхивании не уплотняются, поэтому их обычно доуплотняют ручными пневматическими трамбовками, специальными прессовыми плитами или дилпамической подпрессовкой, заключающейся в наложении груза на поверхность стержня при встряхивании. В ряде случаев на стержневой ящик устанавливают на-

полнятельную рамку, в которой после уплотнения остается избыточный слой смеси. Наполнятельную рамку после встряхивания снимают, а избыточный слой смеси срезают.

Степень уплотнения смеси при встряхивании зависит от физико-механических свойств стержневой смеси, высоты подъема встряхивающего стола и числа встряхиваний. Этот метод является наиболее распространенным при использовании традиционных технологических процессов изготовления стержней. Наибольшее распространение он получил при единичном и мелкосерийном производстве отливок благодаря своей универсальности и использованию дешевой деревянной стержневой оснастки. Недостатками метода являются большой шум и вибрация, а также необходимость доуплотнения верхних слоев смеси.

Уплотнение смеси вибрацией. Есть два варианта осуществления вибрации: с вертикально и горизонтально направленными колебаниями. В качестве возбудителей вибрации используют электро- или пневмовибраторы, которые сообщают стержневому ящику со смесью принудительные колебания с частотой от 1000 до 3000 колебаний в минуту и амплитудой от 0,2 до 1,0 мм. Для амортизации ударов применяют пружины или пневмобаллоны. Наиболее уплотненными оказываются нижние слои смеси. Верхние рыхлые слои смеси доуплотняют вручную или срезают (при использовании наполнятельной рамки).

Уплотнение смеси прессованием осуществляется на прессовых машинах. Этот способ применяют в основном для получения мелких и средних стержней небольшой высоты простой конфигурации. Стержневой ящик с предварительно установленной на него наполнятельной рамкой заполняют смесью, после чего уплотняют смесь усилием прессовой колодки (рис. 7.55). Объем наполнятельной рамки рассчитывают по формуле (7.14) в зависимости от объема стержня и необходимой плотности стержневой смеси.

Пескодувный способ уплотнения позволяет изготавливать стержни практически любой конфигурации и сложности, обеспечивает более равномерное распределение плотности по объему стержня и создает предпосылки для полной механизации и автоматизации процесса изготовления стержней. Пескодувный способ уплотнения смеси используют главным образом при изготовлении стержней, отверждаемых в оснастке. Пескодувное уплотнение применяют в основном при изготовлении мелких и средних стержней в условиях массового и крупносерийного производства, так как для осуществления этого процесса требуется дорогостоящая металлическая оснастка, которую экономически выгодно изготавливать только при большой серийности стержней.

Пескодувный способ благодаря скорости действия и совмещению операций заполнения оснастки смесью и ее уплотнения в ряде случаев является практически единственным возможным способом уплотнения, например, при изготовлении стержней, отверждаемых в горячей

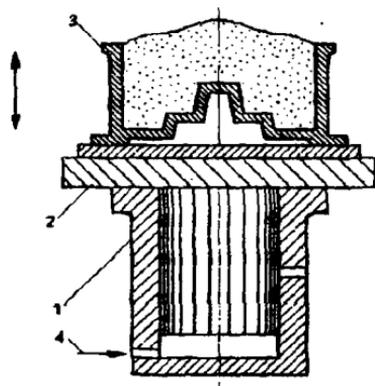


Рис. 7.54. Схема уплотнения стержня на встряхивающей машине: 1 – встряхивающий механизм; 2 – стол; 3 – стержневой ящик; 4 – подача сжатого воздуха

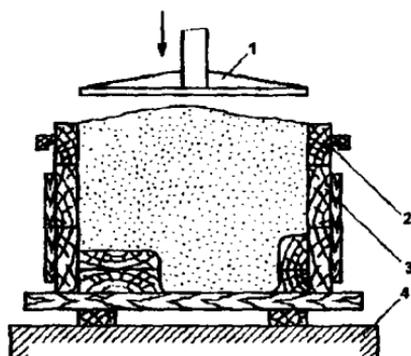


Рис. 7.55. Схема уплотнения стержня на прессовой машине: 1 – прессовая плита; 2 – наполнительная рамка; 3 – стержневой ящик; 4 – стол

оснастке. Несмотря на высокую степень механизации и автоматизации пескодувный процесс уплотнения не исключает ряда ручных операций (заглаживание верхнего лада стержня, заделка неровностей от вдувных и вентиляционных отверстий и различных дефектных мест (рыхлот, пустот и т. п.), установка каркасов, очистка рабочей поверхности и вент, нанесение разделительного покрытия). Более подробно пескодувный способ описан в п. 7.4.6.

Пескометное уплотнение смеси. Этот способ, как и пескодувный, совмещает операции заполнения и уплотнения смеси. Его применяют при изготовлении средних и крупных стержней в деревянных и металлических ящиках. Более подробно способ описан в п. 7.4.7.

Уплотнение стержневой смеси на мундштучных машинах. Таким способом изготавливают стержни постоянных сечений (круглого, квадратного, трапецидального и др.) размерами от 10 до 80 мм за счет выталкивания поршнем или шнеком смеси из сменного мундштука, оп-

ределяющего форму сечения стержня. Выталкивающий поршень может иметь иглу, которая накалывает в стержне центральный вентиляционный канал. При выходе из мундштука уплотненные стержни поступают непрерывным потоком в желобки сушильных плит (драйсров) и разрезаются на куски нужной длины (рис. 7.56).

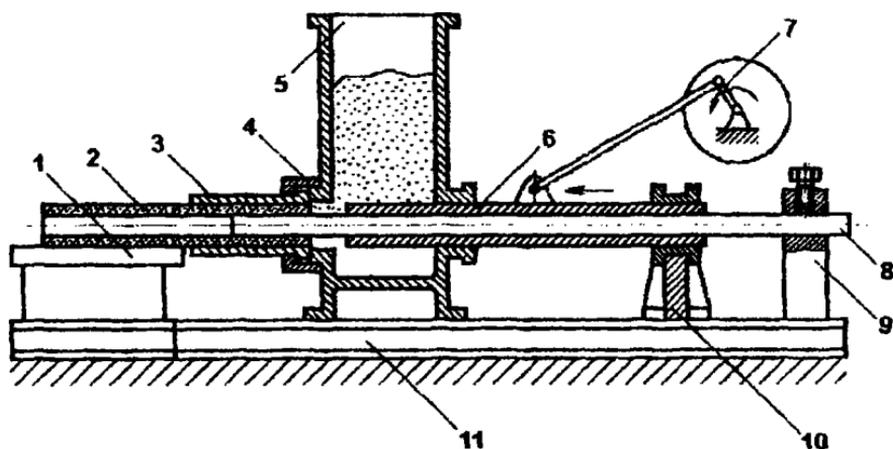


Рис. 7.56. Схема стержневой мундштучной машины: 1 – приемный стол; 2 – стержень; 3 – мундштук; 4 – накидная гайка; 5 – корпус машины; 6 – подвижный полый плунжер; 7 – кривошипно-шатунный механизм; 8 – неподвижный пруток; 9, 10 – опорные кронштейны; 11 – основание

Кроме перечисленных способов уплотнения стержневой смеси применяют комбинированные, например вибропрессовый, пескодувно-прессовый, диафрагменный и др.

7.7.4. Технология ручного изготовления стержней

Ручное изготовление стержней распространено достаточно широко. Даже в условиях механизированного и автоматизированного производства стержней сохраняется ряд ручных операций. Стержни вручную изготавливают в стержневых ящиках и по шаблонам.

Изготовление стержней в стержневых ящиках. Перед изготовлением стержня по стержневому ящику необходимо просмотреть технологическую документацию на данную отливку: чертеж детали с нанесенной литейной технологией (чертеж элементов литейной формы),

эскиз расположения модели в форме или на плите, технологическую карту, чертежи шаблонов, каркасов и других приспособлений. Необходимо проверить визуально правильность выполнения модельным цехом стержневых ящиков и их соответствие технологическим нормам, т. е. наличие формовочных уклонов, подъемов и других приспособлений для извлечения отъемных частей, их крепление, наличие фиксаторов для весок и скелок для вентиляции стержней. Необходимо проверить также правильность маркировки стержневого ящика, количество стержней, одновременно изготавливаемых по данному ящику.

При изготовлении стержней с помощью пневматической трамбовки выполняют следующие операции.

Наносят кистью разделительное покрытие на стенки стержневого ящика (керосин или смесь керосина с мазутом). Трудно протягиваемые части и ребра натирают серебристым графитом. В ящик насыпают слой стержневой смеси 30–60 мм (в зависимости от величины стержня), укладывают арматуру и уплотняют смесь трамбовкой на $3/4$ высоты. Наибольшая допустимая толщина уплотняемого слоя не должна превышать 100 мм. Трудно пробиваемые трамбовкой полости стержневого ящика уплотняют ручной трамбовкой. Перед осадкой каркаса в смесь его смачивают жидким раствором глины. Каркас должен отстоять от стенок ящика на таком расстоянии: 10–30 мм для стержней с наибольшей стороной до 500 мм; 25–45 мм для стержней с наибольшей стороной до 1000 мм; 40–60 мм для стержней с наибольшей стороной более 1000 мм. При высоте стержня свыше 750 мм ставят два ряда каркасов.

Выступающие и узкие части стержня укрепляют крючками и в них прокладывают для лучшего отвода газов (вентиляции) полный капроновый газопроницаемый шнур или восковой фитиль, либо жгут из пакли, концы которого выводят в знаковые части (рис. 7.57).

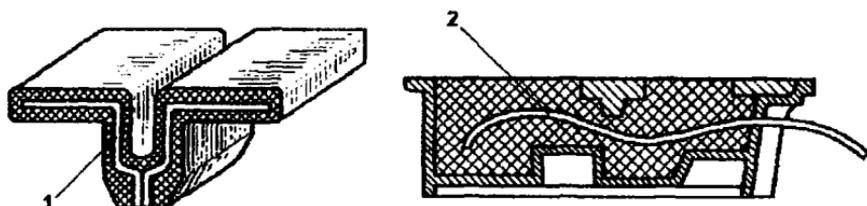


Рис. 7.57. Способы вентиляции стержней через каналы, образованные фитилями: 1 – восковой фитиль; 2 – жгут (фитиль) из пакли

В крупных стержнях выполняют полость под засыпку заполнителя (рис. 7.58). Толщина слоя смеси от стенки до заполнителя должна со-

ставлять: 60–80 мм для стержней с наибольшей стороной до 500 мм; 280–100 мм для стержней с наибольшей стороной до 1000 мм, для стержней с наибольшей стороной более 1000 мм – 10–120 мм.

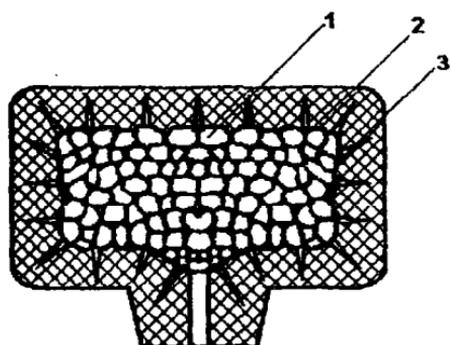


Рис. 7.58. Вентиляция стержня с использованием заполнителя:
1 – заполнитель (шлак);
2 – смесь из древесных опилок и горелой смеси;
3 – наколы

Затем делают наколы в полости под заполнитель во все стороны стержня вентиляционной иглой диаметром 4–8 мм в количестве не менее 8 на 1 дм². Полость под заполнитель засыпают смесью (50 % древесных опилок и 50 % оборотной смеси) и уплотняют ее. После этого стержневую смесь досыпают до верха ящика и уплотняют. После окончательной набивки стержня срезают излишки смеси и заглаживают верхнюю полость, делают наколы.

По окончании отделки плоскости набивки стержня на ящик накладывают сушильную плиту и ящик вместе с плитой поворачивают на 180°.

Мелкие стержни, изготавливаемые по половинкам, часто спаривают по-сырому. В этом случае половинки стержня смачивают по разъему клеем и спаривают. При спаривании без клея во время набивки нижней половины ящика применяют специальную рамку высотой 2–3 мм, изготовленную по контуру стержня. Рамку перед спариванием снимают, накладывают верхнюю половину стержневого ящика со стержнем на нижнюю и ударом деревянного молотка по ящику спаривают стержень.

Отделку стержней производят сразу после их извлечения из стержневого ящика во избежание поверхностного обсыхания и осыпаемости.

Плотность набивки стержня должна соответствовать 70–80 ед. по твердомеру. Выступающие части стержня, тонкие бортики, углы и кромки прошпилюют формовочными шпильками длиной 75–125 мм. Шаг прошпиловки равен 25–40 мм.

Далее в стержнях прокалывают вентиляционные каналы до полости с заполнителем (если она имеется) и открывают вески прорезанием каналов (шириной 30–50 мм и длиной 70–100 мм), удобных для подъема стержня крючками. В местах, плохо поддающихся просушке, сверху выполняют наколы диаметром 10–12 мм. Отделанный стержень окрашивают и направляют в сушку.

После сушки и охлаждения проверяют просушенность стержня: при пережоге стержень бракуется, при недостаточной просушенности (о чем свидетельствует остаточная влага более 0,3–0,5 %) он направляется на повторную сушку.

Трещины в сухом стержне тщательно заделывают. Поврежденные места исправляют смесью, из которой изготовлен стержень. Исправленные места закрашивают и высушивают. Сушку мелких заделов производят горелкой, крупных – в сушилах. Мелкие стержни вставляют в другие стержни по шаблонам, если это предусмотрено технологией. При этом выводят газовый канал из вклеиваемого стержня в основной, точно подгоняют место стыка и промазывают доступные швы.

При повторном исправлении поврежденных мест контролируют геометрию стержня. Для этого используют шаблоны, оправки и контрольно-измерительный инструмент. После этого стержни окрашивают вторично. Такие стержни обязательно подсушивают в сушилах по установленному режиму.

Изготовление стержней с помощью шаблонов применяют преимущественно для стержней, имеющих форму тел вращения, например, стержней для отливок крупных втулок, барабанов, цилиндров и т.д. Этот способ изготовления стержней применяют при единичном производстве отливок. Недостатками его являются большая трудоемкость и необходимость высокой квалификации стерженщиков.

Изготовление стержней по шаблону аналогично токарной или строгальной обработке: в данном случае резцом является шаблон, а заготовкой – предварительно уплотненная смесь.

Изготовление стержня по неподвижному шаблону осуществляется на станке, изображенном на рис. 7.59. Шаблон 5 изготавливают из прочной доски, рабочая кромка которой скошена и армирована полосовой сталью.

Каркас 7 будущего стержня представляет собой стальную трубу, в которой просверлены отверстия для выхода газов из стержня. Со стороны торцов каркаса устанавливают крестовины с осями, вращающимися в подшипниковых опорах 6. Каркас приводится во вращение электродвигателем 11 через редуктор 10 или вручную.

Процесс изготовления стержня заключается в следующем. Каркас 7 обмазывают тонким слоем глины, на который затем наматывают соломенный жгут 8. Для плотного прилегания к каркасу по жгуту наносят легкие удары деревянным молотком. Соломенный жгут обеспечивает стержню податливость и газопроницаемость.

На необходимом расстоянии от каркаса закрепляют шаблон 5, на него накладывают тестообразную стержневую смесь 9, которая при вращении каркаса налипает на жгут, а излишек ее срезают шаблоном. Смесь состоит из 50 % песка К0315А, 30 % песка П16, 4 % огнеупорной

глины, 16 % древесных опилок. Чтобы смесь лучше прилипала к жгуту, его смачивают огнеупорной глиной, разведенной в воде. Если на стержне имеются не совсем заполненные или неуплотненные участки, то

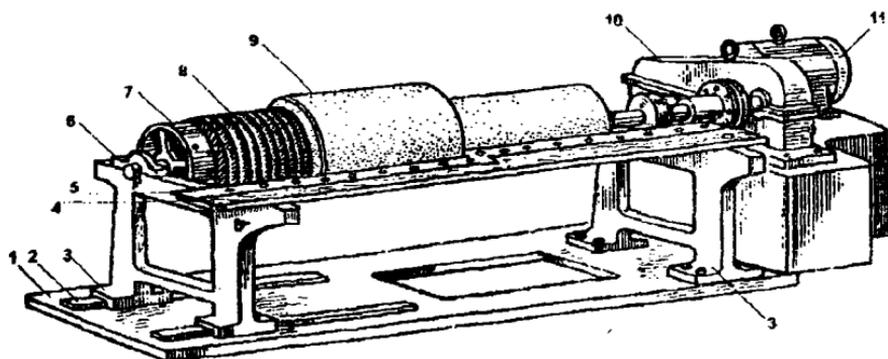


Рис. 7.59. Станок для изготовления стержней по неподвижному шаблону: 1 – плита; 2 – направляющие; 3 – стойки; 4 – доска; 5 – шаблон; 6 – подшипниковые опоры; 7 – каркас стержня; 8 – соломенный жгут; 9 – стержневая смесь; 10 – редуктор; 11 – электродвигатель

формовку повторяют. Толщина первого слоя 20–30 мм. В нем накалывают вентиляционные каналы, после чего стержень сушат при температуре 180–200 °С. Толщина и число витков жгута, толщина слоя наносимой смеси зависят от толщины стенки отливки. Так, например, при толщине стенки отливки 20 мм используют жгут толщиной 15 мм, укладываемый в один ряд, а слой наносимой смеси имеет толщину 20 мм.

Высушенный стержень снова устанавливают на станок, наматывают соломенный жгут и повторяют обмазку его смесью, как было указано выше.

При изготовлении мелких отливок стержни делают в один прием, без вторичной намотки жгута и обмазки. Размеры готового стержня проверяют кронциркулем или специальными шаблонами. Затем стержень вновь сушат, зачищают неровности, заделывают трещины, окрашивают кистью или пульверизатором и отправляют на участок сборки. Окрашивают стержни обычно сразу после извлечения из сушила (по горячему).

Изготовление стержня по вращающемуся шаблону. В случае вертикально расположенного шаблона применяют приспособление, состоящее из чугунной опоры – подпятника 1, стального шпинделя 2, сто-

порного кольца 3 и рукава 4, к которому болтами крепится шаблон (рис. 7.60, а).

Изготовление стержня 8 производят в такой последовательности (рис. 7.60, б). В выкопанной в почве яме устанавливают и выверяют по

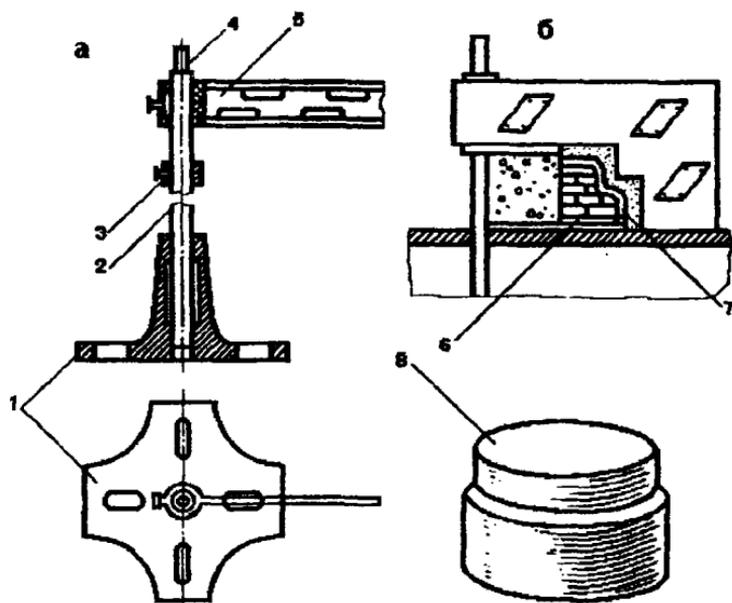


Рис. 7.60. Изготовление стержня по шаблону вращения: 1 – подпятник; 2 – шпindelь; 3 – стопорное кольцо; 4 – кольцо для транспортировки шпинделя; 5 – рукав; 6 – кирпичная кладка; 7 – слой глинистой смеси; 8 – общий вид стержня

ватерпасу подпятник, в который вставляют шпindelь, после чего яму засыпают. На выровненную площадку вокруг шпинделя укладывают чугуинный поддон – плиту, имеющую диаметр на 100–200 мм больше диаметра основания стержня. Плиту посыпают сухим разделительным песком и наносят на нее тонкий слой глинистой смеси. После этого литой каркас с подъемами осаживают в глинистую смесь, а на шпindelь надевают стопорное кольцо и рукав, к которому крепится шаблон. Шаблон выверяют и приступают к кладке кирпича 6, отдельные ряды которого связывают глиной. Для увеличения газопроницаемости в середину стержня засыпают шлак.

На кирпичную кладку наносят слой глинистой смеси 7, которую затачивают шаблоном. После того, как этот слой просохнет на воздухе, на него наносят второй слой более жидкой глины, который тоже затачи-

вают. Изготовленный стержень или отправляют на сушку вместе с плитой, или дают ему подсохнуть в течение 20–24 ч в цехе, после чего приподнимают за подъемы каркаса и направляют на сушку. Высушенный стержень обдувают, а трещины разделяют и промазывают глиной. После окраски стержень вновь просушивают.

Изготовление стержня шаблоном, совмещенным со стержневым ящиком. Деревянная половина ящика 1 по всей длине полости имеет направляющую планку 2, по которой движется сгребалка 3 (рис. 7.61). Насыпав слой смеси в ящик, ее уплотняют и осаживают кар-

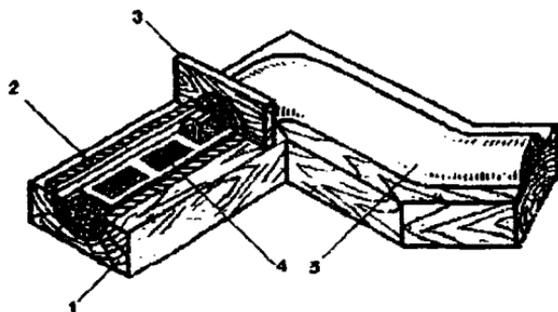


Рис. 7.61. Изготовление стержня по шаблону, совмещенному со стержневым ящиком

кас. В середину каркаса насыпают шлак 4, а на него смесь. После уплотнения смеси стержню придают руками приближенную форму. Очистив поверхность разъема ящика от смеси, сгребалкой оформляют верхнюю часть стержня 5. После от-

делки верхней половины стержня на разъеме ящика устанавливают рамку для песчаной постели. Затем ящик с постелью поворачивают на 180°. Снимают ящик и стержень направляют на сушку.

Когда стержни имеют постоянный профиль, но не могут быть получены вращением шаблона, как, например, стержень для колена трубы, отводов и других фасонных частей труб, они изготавливаются протяжными шаблонами. Необходимой оснасткой в этом случае являются плита 4, прикрепленная к плите направляющая накладка 3, протяжной шаблон 5 и каркас 2 (рис. 7.62). Плиту покрывают разделительным песком и накладывают слой смеси толщиной 40–50 мм, осаживают каркас и в середину укладывают слой мелкого шлака 1, что обеспечивает газопроницаемость и податливость стержня, затем добавляют смесь и, двигая шаблоном по направляющей накладке, оформляют половину стержня.

Сушку производят на той же плите при снятой направляющей накладке. Так же изготавливают вторую половину стержня. После сушки в половинах стержня прорезают по разъему вентиляционные каналы, промазывают клеем и скрепляют половины болтами, пропускаемыми через каркас.

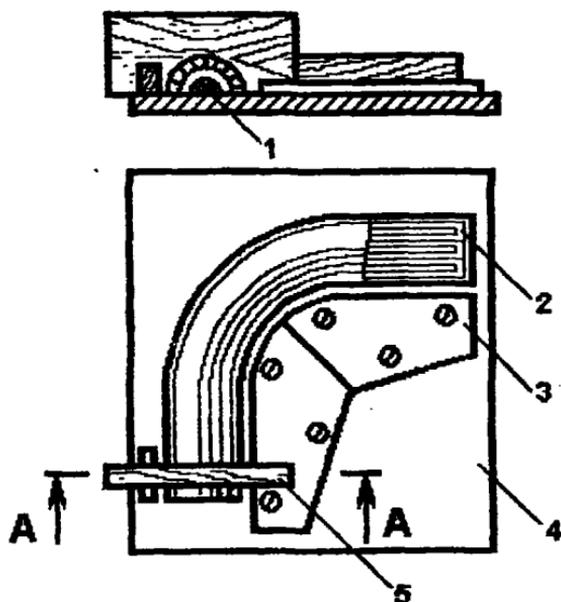


Рис. 7.62. Изготовление стержня по протяжному шаблону

7.7.5. Изготовление стержней из химически твердеющих смесей с отверждением в оснастке

Изготовление стержней в нагреваемой оснастке. Технологические процессы изготовления стержней, обеспечивающие их отверждение в нагреваемой оснастке, имеют следующие основные разновидности: изготовление стержней из влажных песчано-смоляных смесей и из сухих терморезактивных смесей.

Технологические процессы производства стержней с отверждением в нагреваемой оснастке имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с технологическими процессами изготовления стержней с отверждением тепловой сушкой:

- сокращение в десятки раз цикла изготовления стержней;
- отсутствие операции сушки стержней;
- уменьшение капиталовложений в оборудование (не используются сушила, транспортеры, погрузчики) и резкое сокращение производственной площади;
- снижение затрат на сушильные плиты и арматуру;
- сокращение до минимума трудоемкости отделочных операций;

- возможность полной автоматизации процесса изготовления стержней и увеличение производительности труда;
- резкое улучшение качества стержней и увеличение их размерной точности.

Наряду с указанными преимуществами эти технологические процессы имеют и недостатки: усложняется конструкция стержневых ящиков, увеличивается их стоимость, возникает необходимость устройства более мощной местной и общеобменной вентиляционных систем в связи с выделением в атмосферу цеха при отверждении стержней токсичных веществ.

Исходными материалами для приготовления смесей являются наполнители, связующие, катализаторы и различные специальные добавки для улучшения технологических свойств смесей. Характеристика исходных материалов и наиболее употребительные составы смесей приведены в гл.5.

Рецептуру стержневых смесей выбирают с учетом особенностей стержней, их массы, сложности конфигурации и масштабов производства, а также с учетом конструкции стержневого оборудования, характеристики отливок, условий поставки исходных материалов и других факторов.

Приготовление стержневых смесей. Влажные песчано-смоляные смеси, отверждаемые в нагреваемой оснастке, готовят в лопастных смесителях периодического и непрерывного действия и в смесителях с вертикально вращающимися катками периодического действия. Наиболее распространены смесители 1А11 и 1А12М. Процесс приготовления таких смесей практически не отличается от процесса приготовления обычных песчано-глинистых смесей, отверждаемых тепловой сушкой. Разница заключается лишь во времени перемешивания компонентов смеси. В связи с отсутствием глинистой составляющей в смесях время перемешивания влажных песчано-смоляных смесей составляет не более 5–6 мин.

В процессе приготовления термореактивных сухих смесей производят лакирование, т. е. покрытие зерен песка равномерной и прочной пленкой связующего. При этом достигается сокращение расхода связующего, равномерное и однородное его распределение по зернам наполнителя. Существует три способа лакирования: холодное, теплое и горячее.

При холодном лакировании песок покрывается пленкой смолы, растворенной в спирте или каком-либо другом растворителе. Песок во время перемешивания остается холодным, а растворитель испаряется. Часто процесс испарения ускоряется продувкой смеси сжатым воздухом. Такой способ лакирования весьма длителен (до 20 мин), а техно-

логические и физико-механические свойства смесей невысокие. Плакирование смеси холодным способом осуществляется в центробежных смесителях периодического действия с объемом замеса $0,1 \text{ м}^3$ и производительностью $0,4\text{--}0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Теплое плакирование смеси производится аналогично холодному, но песок при этом предварительно подогревают до $40\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$, а в смеситель во время перемешивания вдувается теплый воздух, нагретый до $100\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$ для более быстрого удаления растворителя. Физико-механические свойства таких смесей выше, так как сцепление пленки с песком получается более прочным. Кроме того, продолжительность перемешивания составляющих сокращается более чем в 2 раза.

При горячем способе приготовления смесей смоляная составляющая смеси расплавляется в результате предварительного разогрева песка до $120\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом связующее равномерно распределяется по отдельным песчинкам. С помощью добавления воды или других охлаждающих материалов температура смеси быстро снижается и становится ниже точки плавления смолы ($80\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$). После размельчения и просева готовая плакированная смесь подается к потребителям. Процесс приготовления таких смесей не превышает 8 мин, а физико-механические и технологические свойства ее очень высокие. Горячее плакирование является наиболее эффективным способом приготовления стержневых смесей и взято за основу для создания современных смесеприготовительных установок.

Для приготовления плакированных смесей горячим способом применяются смесители периодического действия моделей 15411 и 7226 с объемом замеса соответственно $0,12$ и $0,25 \text{ м}^3$ и производительностью 1 и 3 т/ч. Цикл смешивания составляет для указанных моделей смесителей соответственно 6 и 5 мин. Кроме того, для приготовления сухих плакированных смесей горячим способом применяются и другие типы смесителей непрерывного действия. Все смесители и установки для приготовления смесей горячим способом имеют в своем составе механизмы для подогрева песка, перемешивания, дробления, просеивания и охлаждения готовой смеси.

Контроль стержневых смесей. Песчано-смоляные смеси, отверждаемые в нагреваемой оснастке, испытывают на влажность, газопроницаемость, поверхностную прочность (осыпаемость), на прочность при сжатии, растяжении и изгибе в сыром и отвержденном состояниях по стандартным методикам. Кроме того, эти смеси часто испытывают на газотворную способность, на сыпучесть (терморективные смеси) и текучесть (жидкие и влажные), выбываемость, гигроскопичность, живучесть, скорость отверждения.

Оснастка. Нагреваемая оснастка для изготовления стержней должна отвечать следующим основным требованиям:

- противостоять значительным внутренним термическим напряжениям, возникающим при нагреве оснастки до 200–300 °С и ее охлаждении;
- обеспечивать равномерную передачу теплоты песчано-смоляным смесям при формировании и отверждения стержней;
- обладать при этом высокой механической прочностью, термостойкостью, химической инертностью по отношению к применяемым стержневым смесям;
- сохранять постоянной температуру нагрева в каждом цикле изготовления и обеспечивать размерную точность стержней;
- обеспечивать легкое извлечение стержней;
- быть удобной в обслуживании при очистке, обдувке, смазке и других операциях.

Стержневая оснастка включает в себя стержневой ящик, оформляющий конфигурацию стержня, систему нагрева, толкатели и систему отъемных частей, различные элементы для спаривания отдельных частей ящика, вентиляционную систему, систему герметизации ящика и ряд специальных элементов.

В качестве материала для изготовления нагреваемых стержневых ящиков применяют легированные чугуны и стали. Конструкция ящиков должна обеспечивать минимальное их коробление при нагреве, для чего его стенки должны быть толщиной 20–30 мм с соответствующим ребрением. При изготовлении стержневых ящиков длиной более 1000 мм корпус ящика следует изготовлять составным, т.е. из отдельных частей. Важное значение при этом имеет правильный выбор системы крепления ящика к ненагреваемым частям стержневой машины.

Системы толкателей стержневых ящиков, служащие для извлечения стержней, имеют различные конструкции и могут быть разделены на независимые, связанные и комбинированные.

Независимые системы имеют толкатели с рабочей головкой грибовидной формы или в виде штифта. Возврат таких толкателей в исходное положение осуществляется пружинами. Недостатками этих систем являются одновременное срабатывание толкателей, что иногда приводит к повреждениям стержней, а также ненадежный возврат толкателей в исходное положение в связи с ослаблением пружин под действием высоких температур.

У связанной системы толкателей опорные части шарнирно соединены на одной плите. Извлечение стержней осуществляется перемещением этой плиты и она, как правило, имеет направляющие колонки. Возврат плиты в исходное положение осуществляется принудитель-

но контролкаталями, на которые воздействует одна из половин ящика при его сборке. Связанная система толкателей является наиболее распространенной, ее применяют в стержневых ящиках, имеющих вертикальные или горизонтальные плоскости разреза.

Комбинированная система состоит из группы независимых толкателей, настраиваемых отдельно. Возврат толкателей в исходное положение осуществляется плитой посредством контролкателей. Такая система позволяет производить извлечение сложных ажурных стержней в основном из ящиков с горизонтальным разъемом.

Вентиляционная система стержневых ящиков должна обеспечивать равномерное распределение воздушного потока по поперечному сечению стержня. Существует несколько способов вентиляции стержневых ящиков. Вентиляционные каналы в простых по форме ящиках имеют вид щелей глубиной 0,1–0,2 мм и шириной 2–15 мм и располагаются по плоскости разреза в одной из половин ящика. В стержневых ящиках с открытой плоскостью надува вентиляционные каналы представляют собой зазоры между надувной плитой и ящиком. В сложных по форме ящиках вентиляция осуществляется через щели, венты и зазоры в толкателях. Суммарная площадь сечения вентиляционных каналов должна составлять не менее 6 % площади поперечного сечения стержневого ящика.

Для нагревания стержневого ящика до рабочей температуры и для поддержания ее на заданном уровне применяют электрическую и газовую системы нагрева. Системы нагрева могут быть встроенными и печными. Конструкция ящиков для печного нагрева относительно проста, однако равномерного прогрева при этом добиться трудно из-за периодичности этой операции. Кроме того, имеют место большие потери теплоты на нагрев частей машины, несущих ящики, и систем толкателей. В связи с этим в последних проектах машин преимущество отдается индивидуальному печному прогреву стержневых ящиков газом. При электронагреве в печи применяют нихромовые спирали, а при газовом нагреве – панельные газовые горелки или горелки инфракрасного излучения.

Встроенный электронагрев требует значительного усложнения конструкции стержневых ящиков, но он создает стабильность температурного режима, дает возможность прямого регулирования рабочей температуры, обеспечивает меньшие затраты энергии вследствие резкого уменьшения потерь. Для встроенного электронагрева используют в основном трубчатые электронагреватели – ТЭНы. Это стальные трубки диаметром 8–16 мм, внутри которых находится спираль высокого омического сопротивления. Пространство между стенками трубки и спиралью заполнено огнеупорным диэлектрическим наполнителем, концы спирали присоединены к изолированным контактам. ТЭНы встраивают-

ся непосредственно в тело стержневого ящика, если он практически постоянно закреплен на машине, или в тело специальной нагреваемой плиты, предназначенной для установки ящиков. В этом случае для создания направленного теплового потока в сторону стержневого ящика нагреватели плиты располагают по всей площади плиты и максимально приближают к ее рабочей поверхности. С противоположной стороны плита имеет теплоизоляцию.

Встроенный газовый нагрев обеспечивает наибольшую скорость и равномерность нагрева стержневого ящика, особенно его отъемных частей. Применяют газовые горелки в виде трубчатых или коробчатых стационарных коллекторов и газовые горелки, встроенные в плиту под толкатели.

Водоохлаждаемые надувные плиты, служащие для вдувания смеси из пескодувного резервуара в стержневой ящик, относят также к стержневой оснастке. Размеры и конфигурацию вдувных отверстий выбирают в зависимости от габаритных размеров, массы и конфигурации стержней, а также с учетом физико-механических свойств смеси. Применяют плоские надувные плиты, плиты с металлическими или с резиновыми соплами. При этом надувные плиты и сопла имеют внутри специальную полость для подвода и отвода воды. В плоских плитах для на-

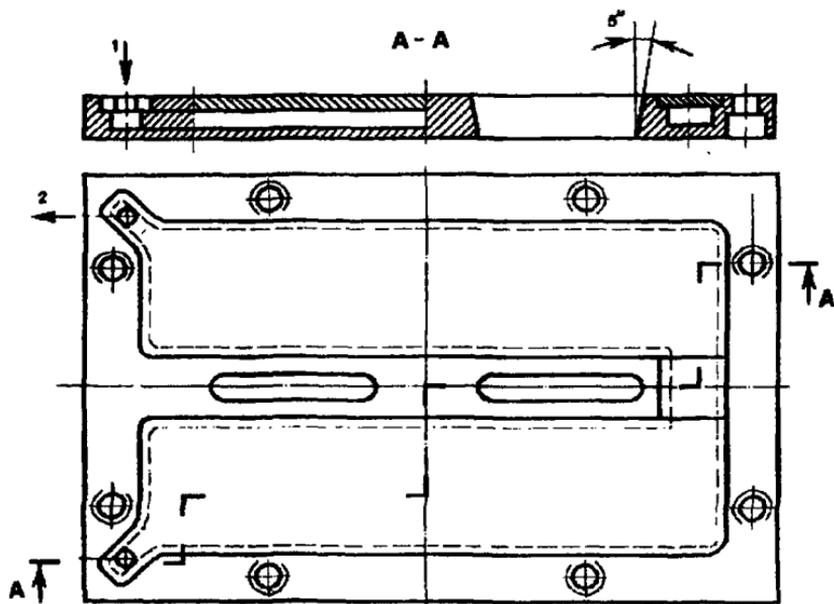


Рис. 7.63. Плоская водоохлаждаемая надувная плита нагреваемого стержневого ящика: 1 – подача воды; 2 – отвод воды

дува смеси выполняют круглые отверстия диаметром 8–20 мм или щелевые пазы (рис. 7.63).

Качественное уплотнение происходит в радиусе 50–60 мм от вдувного отверстия. Надувные отверстия в плитах должны точно совпадать с надувными отверстиями в ящике. Плоские надувные плиты просты по конструкции и нетрудоемки в изготовлении, однако они имеют существенные недостатки:

- возможен надув смеси между поверхностями плиты и ящика;
- после каждого надува требуется обязательная очистка соприкасающихся поверхностей от смеси;
- на стержнях после надува остаются столбики затвердевшей смеси, находящейся во вдувных отверстиях ящика, что увеличивает трудоемкость отделочных операций.

Эти недостатки резко ограничивают область применения плоских надувных плит.

Надувные плиты с металлическими водоохлаждаемыми соплами не имеют недостатков, присущих плоским плитам, поэтому они широко используются в литейных цехах (рис. 7.64, а). Сопло 2 прикрепляют к надувной плите 1. Плотное соединение сопла с вдувным отверстием ящика 4 обеспечивается сменным наконечником из термостойкой резины 3.

Значительно отличаются по конструкции надувные плиты (сопловые насадки) для изготовления стержней из сухих термореактивных

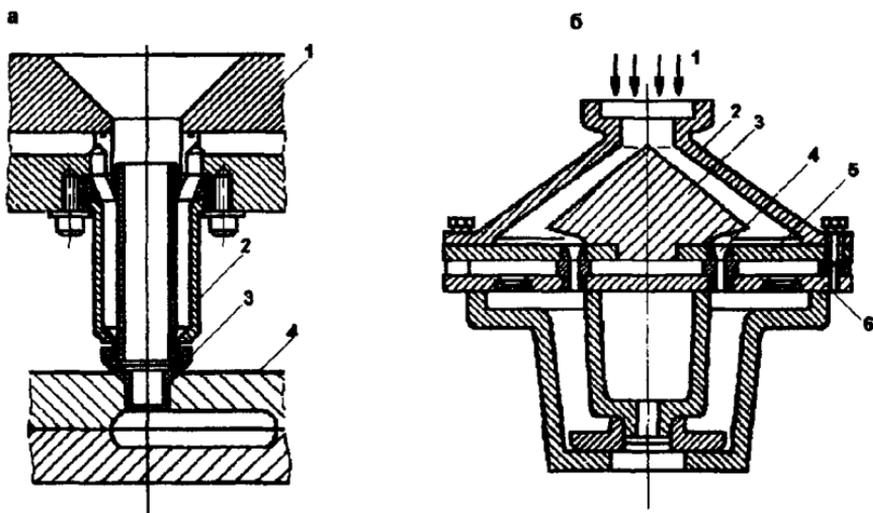


Рис. 7.64. Вдувные устройства: а – металлическое вдувное сопло с резиновым наконечником; б – сопловая насадка для сухих термореактивных смесей

смесей. При стационарном верхнем расположении пескодувного резервуара машины в сопловую насадку должны быть встроены устройства, предотвращающие самопроизвольное высыпание сухой терморактивной смеси до надува ее в ящик. Одно из таких устройств приведено на рис. 7.64, б.

Внутри сопла 2 введен конический рассекатель 3, выполненный в виде зонга и перекрывающий вдувные отверстия 4, расположенные в выдувных плитах 5 и 6. Наружный диаметр рассекателя делается таким, чтобы стержневая смесь не достигала выдувных отверстий, т.е. диаметр рассекателя должен быть больше расстояния между крайними вдувными отверстиями (цифрой 1 на рисунке показано направление надува).

Технология изготовления стержней по горячей оснастке. Нагреваемая оснастка – дорогостоящий, сложный и точный механизм, работающий в условиях повышенных температур, динамических и тепловых нагрузок, абразивного воздействия стержневой смеси. Ее применение позволяет получать высококачественные сложные стержни с точными размерами. При правильной эксплуатации такой оснастки число съемов с одного стержневого ящика составляет 100 000, а в некоторых случаях более 200 000.

При изготовлении стержней, отверждаемых в нагреваемых ящиках, выполняют следующие операции. К машине подают электроэнергию, сжатый воздух, воду и включают систему нагрева ящиков. После достижения необходимой температуры нагрева производят подготовку ящиков к работе, которая заключается в очистке и нанесении на рабочую поверхность ящика разделительного покрытия для уменьшения прилипаемости стержней и облегчения их извлечения.

Разделительные покрытия должны иметь термостойкость не менее 300 °С, обеспечивать многократный с минимальным усилием съем стержней с оснастки после разового нанесения покрытия, незначительное газовыделение и образование минимального нагара, а также они должны быть недефицитными. Их готовят из нефтепродуктов и на основе кремнийорганических полимеров. К первым относят растворы мазута и нефтесбитаума в керосине, а также озокерит, церезин, минеральные масла и другие материалы. Эти покрытия дают значительный нагар на оснастке, не обеспечивают минимальных усилий съема стержня, требуют смазки ящиков после каждого съема, обладают значительной газотворной способностью. В связи с этим такие разделительные покрытия не нашли достаточно широкого распространения. Более эффективны разделительные покрытия на основе кремнийорганических полимеров, к которым относят кремнийорганическую жидкость №5, жидкости СКТ-2, СКТ-3, СКТ-4 и каучук СКТ (синтетический каучук термостойкий). Наиболее распространено разделительное покрытие СКТ-Р,

представляющее собой 3–4 -процентный раствор каучука СКТ в уайт-спирите.

При изготовлении стержней в нагреваемой оснастке каркасы внутрь стержня не устанавливают. Кроме того, высокая газопроницаемость стержней, а также наличие в них различных полостей исключают необходимость устройства в стержнях вентиляционных каналов.

После подготовки ящиков производят операцию заполнения их смесью. Заполнение ящиков влажными песчано-смоляными смесями осуществляют только пескодувным способом. При этом смесь не успеет нагреться до температуры отверждения, не теряет подвижности, что позволяет получать качественные стержни сложной конфигурации. Надув стержня осуществляют по возможности в его знаковые части для снижения трудоемкости отделочных операций. Для сокращения расхода смеси стержни часто изготавливают с полостями, для чего в ящиках имеются специальные нагреваемые вставки.

Терморезистивные смеси набивают в стержневой ящик бункерной засыпкой, пескодувным или центробежным способами.

При бункерном способе нагретый стержневой ящик 1 устанавливают на бункер 3, предварительно заполненный смесью, и закрепляют (рис. 7.65). Верхняя плита бункера 2 имеет термозащитное покрытие и отверстие, соответствующее отверстию знака стержневого ящика.

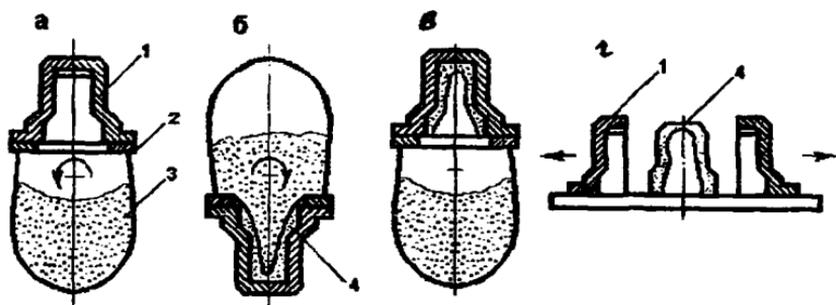


Рис. 7.65. Бункерный способ изготовления оболочкового стержня:

а – установка стержневого ящика на бункер; б – поворот бункера с ящиком; в – сброс избытка смеси; г – разъем стержневого ящика;

При повороте бункера вместе с ящиком на 180° смесь попадает в стержневой ящик, уплотняется в нем за счет гравитационных сил и выдерживается определенное время до получения оболочки необходимой толщины. При обратном повороте неприставшая к стенкам ящика смесь осыпается обратно в бункер. Ящик снимают с бункера и отправляют в печь для отверждения стержня. После этого ящик разбирают и вынима-

ют стержень 4. Бункерный способ прост в исполнении, не требует сложного оборудования. Его применяют только при изготовлении простых стержней с открытыми знаковыми частями больших размеров.

Пескодувный способ изготовления оболочковых стержней более производителен, чем бункерный, и позволяет полностью механизировать и автоматизировать процесс производства самых сложных стержней, изготавливаемых большими сериями. Надув смеси в ящик производится в основном снизу, для чего к пескодувному резервуару 1, предварительно заполненному смесью 3, прижимают через водоохлаждаемую плиту 4 пневмоцилиндром 6 нагретый стержневой ящик 5 и под пористую перегородку 2 резервуара 1 впускают сжатый воздух (рис. 7.66). Смесь под действием сжатого воздуха поднимается вверх и заполняет

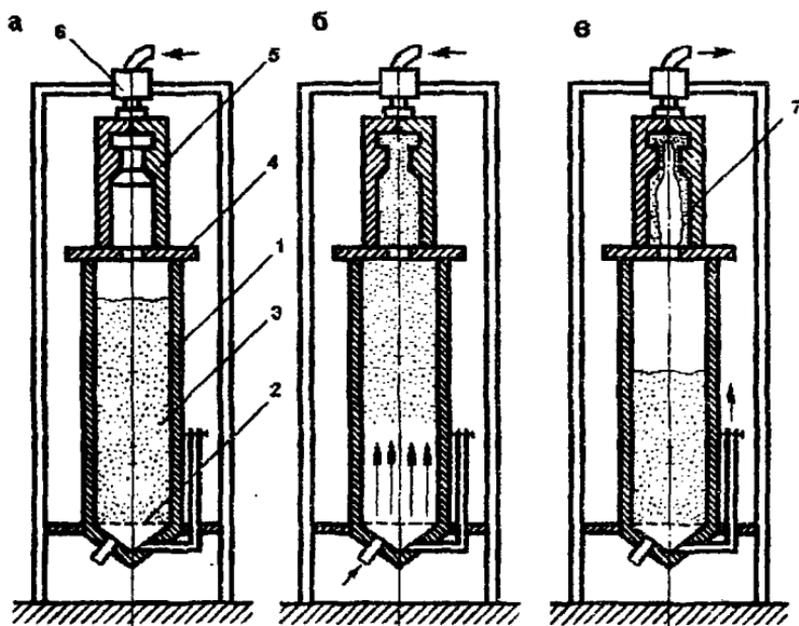


Рис. 7.66. Изготовление оболочкового стержня пескодувным способом: а – поджим стержневого ящика к бункеру; б – надув смеси в ящик; в – сброс избытка смеси

полость стержневого ящика. После окончания процесса формования оболочки 7 необходимой толщины подача сжатого воздуха в резервуар прекращается и избыток смеси под собственным весом падает в пескодувный резервуар. После окончательного отверждения стержень извлекают из ящика.

Центробежный способ является наиболее эффективным процессом изготовления оболочковых стержней круглого сечения. Стержни изготовляют во вращающемся ящике, находящемся в нагревательной печи (рис. 7.67). Процесс изготовления стержня начинают с загрузки

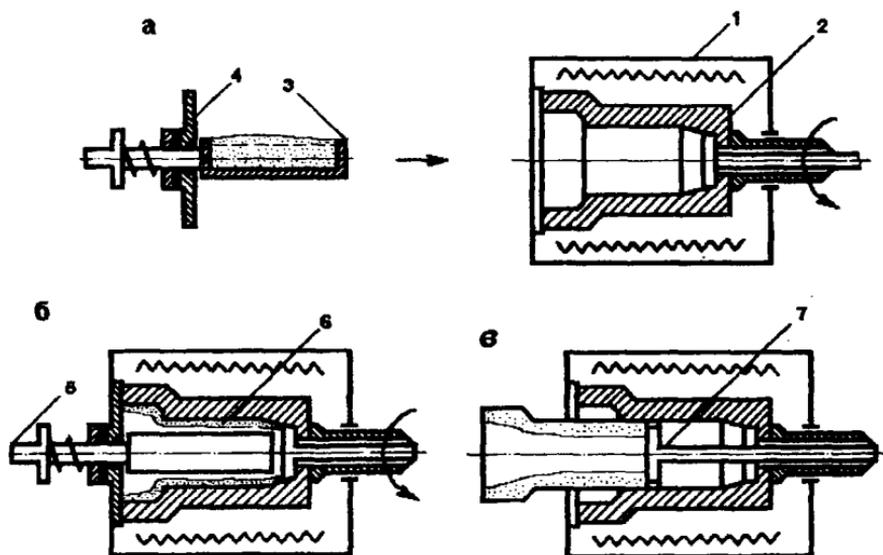


Рис. 7.67. Изготовление оболочкового стержня центробежным способом.
 а – введение лотка со смесью в стержневой ящик; б – высыпание смеси из лотка в ящик, формирование стержня; в – извлечение лотка и выталкивание готового стержня

определенной порции смеси специальным опрокидывающимся лотком (рис. 7.67, а). Для образования внешнего знака стержня на валу лотка имеется пружиненный диск 4, закрывающий знаковую часть стержневого ящика во время загрузки. После поворота лотка в ящике на 180° смесь под действием центробежных сил равномерно распределяется и уплотняется по внутренней поверхности ящика, образуя оболочковый стержень б. После этого лоток выводится из ящика, стержень отверждается, а после остановки вращающегося ящика выталкивается толкателем 7 на приемное устройство. Для ускорения отверждения внутренней нерабочей части стержня после вывода пустого лотка из ящика в него иногда вводят внутренний цилиндрический электронагреватель.

После заполнения нагретого ящика одним из описанных способов стержень под действием теплоты отверждается и приобретает проч-

ность, достаточную для извлечения его без деформаций и повреждений. Время выдержки (15–180 с) зависит от состава и свойств смеси, температуры нагрева ящика, конфигурации и массы стержня и других факторов. Окончательное отверждение стержня происходит на воздухе за счет аккумулированной стержнем теплоты.

После извлечения стержня из ящика и его окончательного отверждения на его поверхность наносят противопопригарное покрытие (обычно через 40–90 мин после извлечения). Противопопригарное покрытие наносит безвоздушным распылением или пульверизатором, окунаем или кистью.

В случае применения самовысыхающих покрытий стержни после окраски выдерживают на воздухе в течение 1,5–2,0 ч. При использовании водных покрытий стержни подсушивают при температуре не выше 150 °С в течение 15–30 мин. После охлаждения до нормальной температуры стержни могут быть вставлены в форму.

После выполнения всех отделочных операций стержни отправляют на склад стержней, где их комплектуют. Изготовленные стержни могут храниться на складе длительное время, однако складские помещения должны быть отопляемыми и хорошо вентилируемыми, иметь нормальную температуру и влажность.

Изготовление стержней из жидкостекляных смесей, отверждаемых продувкой углекислым газом. Технология изготовления стержней, отверждаемых продувкой углекислым газом (CO_2 -процесс), была по сути первым процессом, позволившим эффективно решить задачу отверждения стержней (и форм) при нормальной температуре непосредственно в оснастке.

Упрочнение стержней при CO_2 -процессе происходит за счет разложения жидкого стекла под действием продуваемого углекислого газа, в результате чего образуется гель (студенистое вещество) кремниевой кислоты, цементирующий зерна песка. При этом влага не испаряется, а химически связывается с продуктами разложения жидкого стекла. Длительность процесса химического твердения зависит от размеров и массы стержня, состава смеси и составляет обычно при давлении продувки 0,15–0,20 МПа от 15–20 с (для мелких стержней) до 3 мин (для крупных стержней).

Ограничения в распространении CO_2 -процесса связаны с присущими ему недостатками, основным из которых является затрудненная выбиваемость стержней. Кроме того, стержни, изготовленные по CO_2 -процессу, имеют повышенные хрупкость и гигроскопичность (при хранении в течение нескольких суток), склонны к разупрочнению и осыпанию. На чугунных отливках, изготовленных с применением таких стержней, в ряде случаев возникает трудноудаляемый пригар. Улуч-

шенные варианты этого процесса, разрабатываемые в настоящее время, позволяют уменьшить эти недостатки.

Приготовление смесей. Для приготовления жидкостекольных смесей используют наполнители, жидкое стекло, едкий натр и различные добавки, улучшающие физико-механические и технологические свойства смесей, особенно выбиваемость, противопригарность, гигроскопичность и осыпаемость.

В качестве наполнителей применяют кварцевые крупнозернистые и мелкозернистые пески с содержанием глины до 3,5 %. В качестве связующего используют жидкое стекло, важнейшие свойства которого описаны в гл. 5.

Для CO_2 -процесса применяют жидкое стекло с модулем в пределах 2,6–3,0 при плотности 1470–1480 кг/м³. Хранят жидкое стекло в закрытых металлических резервуарах или бочках вдали от мест с повышенной концентрацией углекислого газа, потоков теплого воздуха и продуктов горения, так как в противном случае могут увеличиться плотность жидкого стекла и содержание в нем балластных примесей с низкой температурой, при этом жидкое стекло может замерзнуть. Оттаявшее жидкое стекло не теряет своих свойств и может быть использовано для приготовления смесей.

Едкий натр, используемый для снижения модуля жидкого стекла, применяют в виде раствора 10–50-процентной концентрации. Хранят раствор едкого натра в помещении при температуре не выше 30 °С вдали от нагревательных агрегатов. Замерзший и оттаявший едкий натр своих свойств не теряет и может тоже использоваться для приготовления смесей. Жидкостекольные смеси готовят в обычных катковых смесителях. Это прежде всего бегуны периодического действия с вертикально вращающимися катками моделей 1A11, 1A112M, 114M и бегуны периодического действия центробежные с горизонтально вращающимися катками моделей 116M2, 15326 и 15328.

Иногда для приготовления жидкостекольных смесей применяют установки периодического и непрерывного действия, в которых изготавливаются пластичные и жидкие самотвердеющие смеси. Приготовление смесей осуществляется в такой последовательности. Перемешивают в течение 1–2 мин сухие составляющие, затем вводят раствор едкого натра и снова перемешивают 3–5 мин. Далее вводят жидкое стекло и после 3-минутного перемешивания смесь выгружают из смесителя. Перед выпуском смеси отбирают пробу и проверяют ее на прочность в сыром состоянии, а из трех-пяти замесов отбирают пробы для контроля прочности в сухом состоянии и влагосодержания.

Составы смесей. В последнее время разработаны смеси с уменьшенным содержанием жидкого стекла (не более 4 %). Для приготовления таких смесей песок перед смешиванием его с жидким стеклом под-

вергают ошелачиванию высококонцентрированным жидким едким натром. Смеси с уменьшенным содержанием жидкого стекла обладают хорошей податливостью, легче выбиваются, имеют живучесть более 2 суток (в некоторых случаях пригодны в течение 5 суток), имеют пониженную чувствительность к пересыханию. Поэтому нет необходимости накрывать емкости со смесью мокрой мешковиной. Прилипаемость смесей к стержневым ящикам умеренная, так как влаги в них содержится немного.

Операции формовки. На внутреннюю полость стержневого ящика и отъемные части кистью или пульверизатором наносят разделительное покрытие, в качестве которого можно применять эмульсол, разведенный водой в соотношении 1:1 с добавлением при необходимости серебристого графита.

Засыпку смеси в ящик, протасовку каркасов, устройство вентиляции производят так же, как и при традиционном изготовлении стержней с тепловой сушкой. Смесью уплотняют ручным способом пневмотрамбовками, а также на встряхивающих и пескодувных машинах или вибростолах. После окончания операции уплотнения стержня следует обстучать стержневой ящик молотком, в ряде случаев необходимо извлечь из набитого ящика отъемные части и произвести продувку стержня углекислым газом. Продолжительность продувки зависит от массы и конфигурации стержня и составляет от 20 до 180 с. По окончании продувки извлекают из стержня газопроводящие трубки, заделывают отверстия жидкостекольной смесью и обдувают их углекислым газом.

При отделке стержней и подготовке их к сборке поврежденные места в стержне смазывают клеем (жидкое стекло — 60 %, тальк — 40 %), заделывают жидкостекольной смесью и после выполнения наколов продувают углекислым газом. Далее стержень окрашивают водной краской и подсушивают в сушилах или газовой горелкой. Стержень должен поступить на подсушку не позднее, чем через час после окраски. Стержни для крупных отливок вторично окрашивают и подсушивают газовой горелкой. Если в стержень вставляют холодильник, то его окрашивают только в горячем состоянии.

Автоматизированные линии, работающие по CO_2 -процессу, созданы на базе проходных пескодувных машин моделей 28Б5, 28Б7, 28Б9, применяемых для изготовления стержней с последующей тепловой сушкой. Такие линии включают необходимое число установок 3 для продувки стержней углекислым газом (рис. 7.68). Схема компоновки таких линий отличается лишь тем, что на месте рольганга, связывающего пескодувную машину 1 с поворотной-вытяжной 2, устанавливают устройства для продувки стержней углекислым газом моделей 28У5, 28У7, 28У9, а рольганги 4, 5 для выдачи готовых стержней и подачи транспортных плит в поворотную-вытяжную машину замкнуты.

Изготовление стержней из ЖСС. Этот способ впервые был разработан в СССР и нашел широкое применение в отечественных и зарубежных литейных цехах.

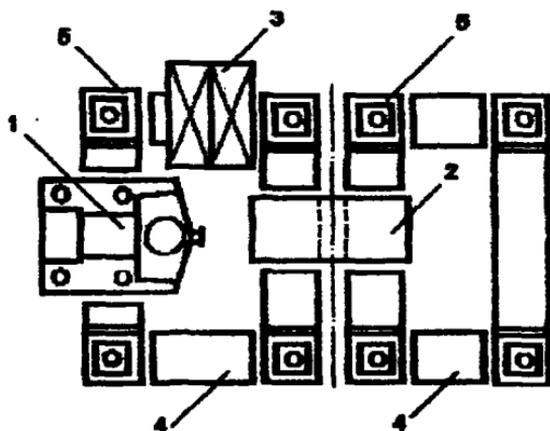


Рис. 7.68. Типовая автоматизированная линия для изготовления стержней по CO_2 -процессу: 1 — пескодувная машина; 2 — поворотная-вытяжная машина; 3 — установка для продувки стержней углекислым газом; 4 — рольганг выдачи готовых стержней; 5 — рольганг подачи транспортных плит к поворотной-вытяжной машине

Сущность процесса заключается в том, что смесь при введении специальных добавок (пенообразователей) приобретает жидкоподвижное состояние и может разливаться по стержневым ящикам. После некоторой выдержки таких смесей в ящике происходит падение пены и необратимое затвердевание стержня. Последующие операции изготовления стержня — извлечение, отделка, окраска, сборка, сушка (подсушка), контроль — выполняются так же, как и при традиционном процессе изготовления стержней.

Из ЖСС изготавливают стержни П-У групп сложности массой от 1,5 до 5000 кг с габаритными размерами от 200x100x100 мм до 2500x2000x1750 мм. Такие стержни используют для чугунных и стальных отливок в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства.

Применение ЖСС позволило значительно сократить трудоемкость изготовления стержней, облегчить труд рабочих, повысить размерную точность стержней и отливок, а также улучшить санитарно-гигиенические условия труда в литейных цехах. Применение ЖСС

обеспечивая механизацию и частичную автоматизацию процессов изготовления стержней в условиях единичного и мелкосерийного производства отливок.

Однако технологический процесс изготовления стержней из ЖСС имеет и ряд недостатков. К ним прежде всего относят:

- затрудненную выбивку стержней из отливок;
- повышенную трудоемкость выбивки и очистки стержней;
- необходимость дополнительной окраски из-за повышенной пористости стержней;
- продолжительный процесс сушки.

Состав и технология приготовления ЖСС. ЖСС можно разделить в зависимости от используемого связующего на ЖСС с жидким стеклом, с сульфитной бардой, с цементом или гипсом, с хромовыми соединениями, ЖСС с синтетическими смолами. Наибольшее применение имеют смеси с жидким стеклом.

В состав ЖСС входят наполнители (кварцевые и регенерированные пески), отвердители (шлак феррохромового производства, нефелиновый шлак, поргланцемент, хромовый ангидрид), жидкая композиция, состоящая из связующих (жидкого стекла, сульфитно-спиртовой барды, КВС, синтетических смол), поверхностно-активных веществ (контакт Петрова, мылонафт, ДС-РАС, нейтрализованный черный контакт) и воды. Кроме того, в смесь вводят добавки, улучшающие некоторые физико-механические и технологические свойства ЖСС (мазут, различные соли и т.л.). Жидкую композицию для ЖСС готовят предварительно в специальных смешивающих установках.

В смеситель сначала загружают сыпучие компоненты (песок, феррохромовый шлак, нефелиновый шлак, цемент и др.), которые перемешивают в течение 1–2 мин. Затем вводят предварительно подготовленную жидкую композицию и производят дальнейшее перемешивание в течение 2–4 мин для достижения оптимальных технологических свойств смеси (текучести, устойчивости пены, скорости затвердевания и др.). Общий цикл приготовления смеси составляет 5–6 мин. Такая последовательность ввода компонентов смеси производится и в смесителях непрерывного действия.

Технология изготовления стержней из ЖСС. Рабочие поверхности ящика для предотвращения прилипания смеси покрывают разделительным составом, например смесью мазута с керосином и серебряным графитом в соотношении 1:1:0,5.

Для обеспечения направленного выхода газов из стержня в ящик устанавливают бруски круглого или прямоугольного сечения, образующие внутри стержня вентиляционные каналы. Дополнительное уп-

рочение стержней обеспечивают установкой в стержневые ящики каркасов. Конструкция каркасов по сравнению с каркасами песчано-глинистых стержней с тепловой сушкой упрощена, так как стержни из ЖСС при извлечении из стержневого ящика имеют большую прочность. Конструкция каркаса должна обеспечивать возможность перемещения стержня к месту сборки, а также к месту осуществления операций по отделке стержня и установке их в форму. Все выступающие части и углубления стержней армируют проволочными каркасами (скобами, крючками). Расстояние ветвей литого каркаса от стенок и дна стержневого ящика по возможности должно быть 30–60 мм, а проволочного 10–20 мм.

Заливку стержневого ящика смесью осуществляют на 20–30 мм выше положенного уровня для компенсации усадки. В случае заполнения одного стержневого ящика несколькими порциями смеси каждую последующую порцию заливают до момента падения пены в предыдущей, чтобы предотвратить образование слоев и рыхлот внутри стержня. При заполнении нескольких стержневых ящиков время их заливки не должно превышать 2–3 мин ввиду снижения прочностных характеристик стержней, заливаемых последними. Для экономии смеси внутреннюю часть крупных стержней заполняют частично отходами или кусками бракованных стержней. При этом толщина стенок стержней должна быть не менее 60–100 мм для средних и 100–200 мм для крупных.

После полного опадения пены (через 15–20 мин) счищают излишки смеси с открытой полости стержневого ящика. Вставки для полостей, бруски для выполнения вентиляционных каналов в стержне, отъемные части извлекают из стержня через 15–25 мин после заливки ящика. Продолжительность затвердевания стержней в ящике должна обеспечить достаточную для их извлечения прочность, которая зависит от состава применяемой смеси и температуры окружающей среды. Она составляет 40–70 мин.

После извлечения стержней из ящика производят их отделку. Поврежденные участки стержней исправляют по разрешению мастера участка той же самотвердеющей смесью или обычной смесью на основе жидкого стекла сразу после извлечения стержня из ящика, пока смесь сохраняет вязкопластичное состояние.

Стержни, изготовленные из ЖСС, обладают повышенной пористостью, поэтому требуют особенно тщательного нанесения противогрибковых красок в основном в два слоя: до и после сушки. Водные противогрибковые краски наносят пульверизатором или кистью. Вторично стержни окрашивают горячими после сушки. Холодные стержни окрашивают второй раз самовысыхающей краской, при использовании водной краски производят вторичную подсушку стержней. Самовысыхающую краску наносят также в два слоя с перерывом в 1 ч.

Стержни из ЖСС обязательно сушат в течение 2–4 ч при температуре 150–200 °С. Мелкие и средние стержни, окрашенные водной краской, подсушивают в камерных или проходных сушилках при 100–150 °С в течение 0,5–2,0 ч. Допускается также подсушка стержней горелками. Крупные стержни сушат в камерных сушилках при 250–300 °С в течение 5 ч. Остаточная влажность стержней после сушки или подсушки не должна превышать 2 % на глубине 30–40 мм.

Стержни, окрашенные самовысыхающими красками, выдерживают на воздухе не менее 20–24 ч после их изготовления. Стержни, окрашенные водными красками, могут проставляться в форму сразу же после их сушки и охлаждения. Длительное хранение стержней не ограничивает их дальнейшее использование. Однако при длительном хранении стержни насыщаются влагой, поэтому перед простановкой в форму их повторно сушат.

Изготовление стержней из холоднотвердеющих смесей. Использование новых типов связующих материалов (синтетических смол) привело к созданию новых технологических процессов изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей. Эти процессы основаны на отверждении синтетических смоляных связующих в присутствии катализаторов при нормальной температуре. Холоднотвердеющие смеси (ХТС) состоят из наполнителя (кварцевый песок), синтетического связующего, катализатора отверждения и различных улучшающих смесь добавок. Приготовление смесей осуществляется последовательным перемешиванием песка, связующего, катализатора отверждения и добавок. Подача, дозировка и загрузка в смеситель исходных составляющих смеси, а также выпуск готовой смеси легко механизуются и автоматизируются с помощью применения специального оборудования.

Заполнение стержневого ящика смесью и ее уплотнение производят свободно засыпкой с последующим уплотнением вручную, встряхиванием, вибрацией или пескодувным способом. Отверждение стержней в ящиках осуществляется выдержкой их на воздухе или продувкой сжатым воздухом, подогретым или нормальной температуры, а также может быть добавлен активный катализатор. Остальные технологические операции (извлечение стержня, отделку, окраску, сборку и др.) выполняют практически так же, как и при других процессах изготовления стержней.

Технологические процессы изготовления стержней из ХТС подразделяют на три группы. К первой группе относят процессы изготовления стержней из песчано-смоляных самоотвердеющих смесей. Продолжительность твердения стержней в ящиках составляет 5–60 мин. Эта группа процессов широко распространена при изготовлении мелких, средних и крупных стержней в литейных цехах с единичным, мелкосе-

рийным и серийным характером производства стальных и чугунных отливок, а также отливок из цветных сплавов.

Две другие группы технологических процессов применяют при массовом и крупносерийном производстве отливок. Для одной из двух последних групп характерно резкое возрастание скорости отверждения смеси в ящиках до 0,5–3 мин за счет использования высокорекреакционных связующих материалов и катализаторов отверждения.

Другая группа технологических процессов основана на применении песчано-смоляных смесей с длительной живучестью. Высокая скорость затвердевания достигается за счет продувки смеси в ящике газообразным или жидким (в виде паровоздушной смеси) катализатором.

Исходные материалы для приготовления ХТС и составы смесей приведены в гл.5.

Основной особенностью стержневых смесей, отверждающихся без применения нагрева или другого внешнего воздействия, например продувки газообразным катализатором, является обратная взаимосвязь между скоростью их отверждения и живучестью. Это обстоятельство выдвигает определенные требования к процессу смесеприготовления. Во-первых, процесс приготовления смеси должен быть кратковременным (3–30 с), во-вторых, смесь должна использоваться немедленно после приготовления.

Для приготовления холоднотвердеющих песчано-смоляных смесей наиболее широко применяют смесители непрерывного действия, обеспечивающие достаточно высокое качество перемешивания компонентов смеси. Максимальные значения прочности смеси, как правило, достигаются при продолжительности перемешивания до 0,5 мин в смесителях непрерывного действия и до 1 мин в смесителях периодического действия.

Технология изготовления стержней из ХТС значительно отличается от традиционной технологии изготовления стержней с тепловой сушкой. Она предъявляет следующие основные требования к подготовке стержневой оснастки:

- в зависимости от условий и серийности производства для изготовления стержней могут использоваться деревянные, пластмассовые или металлические стержневые ящики;
- при температуре цеха ниже 18 °С металлические стержневые ящики необходимо перед началом работы подогревать до температуры 30–35 °С для ускорения затвердевания и предотвращения прилипания стержневой смеси к поверхности ящика;
- при изготовлении стержней на пескоструйных машинах следует применять в основном металлические стержневые ящики;
- в связи с тем, что стержни извлекают из оснастки в отвержден-

ном состоянии, при проектировании и изготовлении стержневых ящиков необходимо обеспечивать высокое качество их рабочих поверхностей, увеличивать в 1,5–2 раза формовочные уклоны, а также предусматривать механизированное извлечение стержней системой толкателей.

Массивные стержни рекомендуется изготавливать с полостями, выполняемыми с помощью вставок из древесины, пенополистирола или металлических тонкостенных жестких коробов. Конструкция вкладышей должна учитывать удобство заполнения стержневого ящика смесью. Толщина стенок стержня обычно находится в пределах 50–150 мм в зависимости от размеров стержня и нагрузки при заливке.

При подготовке стержневых ящиков очищают их рабочую поверхность от пыли, песка, прилипшей смеси, проверяют комплектность, устанавливают вкладыши и отъемные части. Для предотвращения прилипаемости смеси рабочую поверхность стержневого ящика покрывают разделительным покрытием. В большинстве случаев стержни из ХТС не требуют установки каркасов. Сварные, литые или проволочные каркасы используют в качестве весок для укрепления переходов между массивными частями, а также выступающих частей. При этом температура каркаса должна быть не выше температуры окружающей среды. Каркас должен обеспечивать надежный подъем и перемещение стержня к месту сборки, иметь достаточную прочность и жесткость, не препятствовать усадке отливки, не мешать выполнению в стержне вентиляционных каналов, легко удаляться из остатка при выбивке. Вески должны находиться на 35–40 мм ниже поверхности стержня, после уплотнения стержня их следует освободить от смеси.

Стержневую смесь готовят в смесителях непрерывного или периодического действия различной производительности в зависимости от массы стержней и схемы организации работ на стержневом участке. Смесями, приготовленными в смесителе периодического действия, заполняют стержневой ящик за один или несколько замесов. Перерыв между очередными порциями не должен превышать времени живучести смеси. Смеси, приготовленные в смесителе непрерывного действия, подают в стержневой ящик непрерывно.

Уплотнение смеси в стержневом ящике производят вибрацией, встряхиванием, ручной или пневматической трамбовкой, пескодувным способом. После заполнения стержневого ящика и уплотнения удаляют с его поверхности лишнюю смесь и выполняют вентиляционные каналы.

Продолжительность затвердевания смеси зависит от ее состава, температуры, исходных материалов и окружающей среды. Заданные свойства смеси обеспечиваются при температуре песка 18–30 °С, однако в реальных условиях литейных цехов температуру трудно выдержать в

таких узких пределах. Поэтому применяют устройства для подогрева исходных составляющих и для каждого конкретного случая устанавливают зависимость между температурой песка и количеством вводимого в смесь катализатора. Изменением количества катализатора обеспечивают независимость живучести, которая в свою очередь связана с необходимой выдержкой стержней в ящиках. Соотношение между живучестью смеси и минимально необходимым временем выдержки стержней в ящиках составляет от 1:2,5 до 1:5.

При неполном отверждении стержни обладают повышенной прилипаемостью к стенкам стержневого ящика, поэтому не следует допускать их преждевременное извлечение. Не допускается также выдержка стержня в ящике до полного его отверждения, так как в этом случае стержень трудно извлечь из стержневого ящика без повреждений. Дальнейшее твердение стержня происходит на воздухе. Извлечение стержня из стержневого ящика на поточно-механизированных и автоматизированных линиях производится поворотной-вытяжной машиной, а на плацу цеха — вручную или подъемно-транспортными средствами.

Противопригарное покрытие на поверхность стержня наносят безвоздушным распылителем, пульверизатором, окунанием или кистью. Оно наносится только на поверхность затвердевшего стержня после выдержки его на воздухе в течение 40–90 мин. В противном случае противопригарное покрытие значительно замедляет твердение стержня, а также может привести к разупрочнению его поверхности.

Стержни окрашивают водной краской с последующей тепловой подсушкой или применяют самовысыхающую краску. В ряде случаев водную противопригарную краску наносят на поверхность стержня в два слоя: первый слой — до подсушки стержня, второй — после подсушки. Стержни, окрашенные краской, подсушивают при температуре не выше 150 °С в течение 15–30 мин. После охлаждения до температуры цеха стержни проставляют в форму. При покрытии стержней самовысыхающей краской интервал между нанесением первого и второго слоя должен составлять не менее 1 ч. Стержни, покрытые самовысыхающей краской, с момента окраски до сборки выдерживают на воздухе 1,5–2 ч.

Длительное хранение стержней не является препятствием для дальнейшего их использования. Однако хранение стержней должно производиться в отопляемых вентилируемых помещениях с нормальной влажностью и комнатной температурой.

Высокая эффективность от внедрения холоднотвердеющих смесей достигается при комплексной механизации и автоматизации всех технологических операций изготовления стержней. С этой целью созданы типовые комплекты технологического оборудования, позволяющие скомпоновать типовые участки и линии для изготовления стержней из ХТС в условиях многономенклатурного производства отливок.

Для изготовления мелких стержней из ХТС разработан для серийного производства комплект оборудования модели УС6, включающий как основное технологическое, так и необходимое вспомогательное оборудование (рис. 7.69).

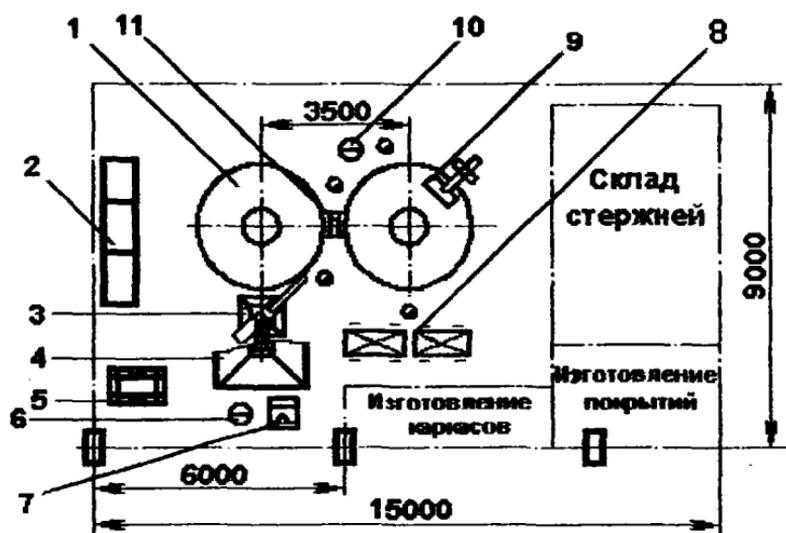


Рис. 7.69. Участок изготовления мелких стержней массой до 6 кг из ХТС на базе оборудования модели УС6: 1 – поворотный стол; 2 – стеллаж для ящичков; 3 – смеситель; 4 – бункер песка; 5 – подставка под бочки со смолой; 6 – емкость катализатора отверждения; 7 – емкость со смолой; 8 – передвижная этажерка для стержней; 9 – переносный инфракрасный излучатель; 10 – емкость для краски; 11 – стол-склиз

Основными элементами комплекта являются смеситель 3 и карусельная установка. В качестве смесителя используется смеситель непрерывного действия модели 19642 производительностью 1,1–1,6 т/ч.

Карусельная установка состоит из двух поворотных столов с приводом, между которыми установлен передаточный стол (рис. 7.70). На основании поворотного стола 11 установлены опора 10 и вентиляционный кожух 9. На опоре смонтированы поворотное устройство 7, на котором крепится тарель 8 и вентиляционный патрубок 6. В рабочей части поворотной тарели высверлены отверстия 4, к нижней поверхности прикреплены скребки 3. Внутренняя полость вентиляционного кожуха через окно 5 сообщается с вентиляционным патрубком, в днище вентиляционного кожуха предусмотрено окно 2 для сбора просыпавшейся смеси в специальную тележку 1.

При засыпке смеси в стержневые ящики просыпается через вентиляционные отверстия тарелки попадает в кожух, откуда при повороте тарелки скребками перемещается к окну 5 и попадает в передвижной короб. Выделяющиеся при изготовлении и отделке стержней вредные газы засасываются через вентиляционные отверстия в кожухи через окна 5 и патрубков, отсасываются цеховой вентиляционной системой.

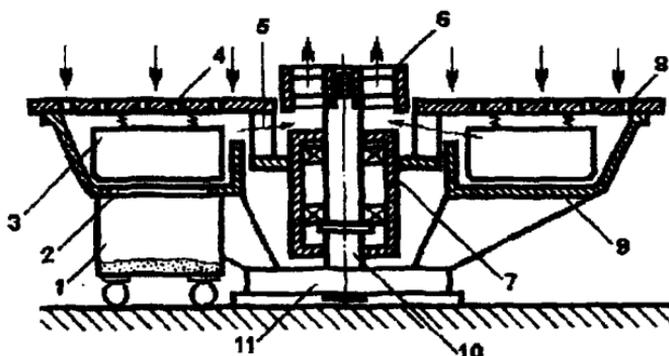


Рис. 7.70. Схема карусельной установки

Один поворотный стол предназначен для изготовления стержней, а второй – для отделки, включая склейку, окраску, а в случае необходимости и подсушку стержней. Для поддержания заданной температуры песка (20–30 °С) перед подачей его в смеситель используется стабилизатор температуры. Для нагрева используют электрические нагреватели.

Технологический процесс изготовления стержней с использованием комплекта оборудования модели УС6 включает следующие операции: подготовку, кондиционирование исходных материалов и приготовление стержневой смеси, сборку и подготовку стержневого ящика, засыпку смеси в ящик и уплотнение стержня, отверждение стержня, извлечение и его отделку, склейку, окраску и подсушку, комплектацию и транспортирование стержней.

7.8. Модельно-литейная оснастка

Для изготовления песчаных форм применяют различные модели, воспроизводящие геометрию отливки, а также модели прибылей, выпоров, литниковых систем и т.д. Формовка осуществляется в специальных литых или сварных рамках, называемых опоками. Стержни изготавливают в стержневых ящиках. Все это вместе называют модельно-опочной ос-

насткой, т.е. средствами технологического оснащения, дополняющими литейное технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса получения отливок.

7.8.1. Классификация опок и их конструкции.

Определение типоразмеров опок

Опока – приспособление для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы, транспортировании ее и при заливке жидким металлом. Опоки классифицируют по геометрии, назначению, по применяемым для их изготовления сплавам и технологии изготовления. В зависимости от массы и геометрии отливок большинство опок по геометрии делят на прямоугольные и круглые различных размеров в свсту и по высоте. Реже применяют специальные фасонные опоки.

Различают опоки для ручной и машинной формовки, для формовки методом прессования под высоким удельным давлением, специальные опоки для автоматических линий и для ручной безопочной формовки.

Опоки обычно изготовляют из серого чугуна, стали, алюминиевых и магниевых сплавов (последние используют исключительно для ручной формовки). Стальные опоки более прочные и долговечные. В зависимости от размеров и массы опоки делят на ручные и крановые. К ручным относят опоки, масса которых вместе с уплотненной формовочной смесью не превышает 50 кг.

Опоки изготовляют литыми или сварными. Они могут быть цельнолитыми или сборными. Для облегчения выхода газов из форм в стенках опоки делают отверстия. Для удержания уплотненной смеси в средних и крупных опоках предусматривают внутренние ребра (крестовины). При сборке опоки соединяют с помощью втулок и центрирующих штырей. Для предупреждения подъема верхней полуформы давлением жидкого металла, кроме грузов, укладываемых сверху на форму, предусматривают специальные приливы для скрепления опок между собой специальными скобами. В единичном производстве опоки скрепляют штырями с клином или болтами с гайками.

На все конструкции опок, независимо от их назначения, типоразмеров, материала, из которого они изготовлены, имеются соответствующие стандарты или технические условия, в которых указываются соответствующие стандартные размеры и конструкции, а также стандарты и технические требования, в которых указаны материалы для изготовления опок, предельные отклонения размеров, массы и припуски на механическую обработку, допуски параллельности плоскости разъема, допуски перпендикулярности осей центрирующих отверстий к плоскости разъема опок, параметры шероховатости рабочих поверхно-

стей центрирующих и направляющих втулок и сборочных штырей, а также другие требования.

На рис. 7.71 и 7.72 показаны конструкции опок для ручной и машинной формовки, а на рис. 7.73 и 7.74 дана детализировка конструкций цапф и соединительных втулок. На всех конструкциях опок одна из втулок имеет продольный разрез, необходимый для перемещения опок относительно друг друга в момент заливки формы жидким металлом и компенсации расширения металла и коробления.

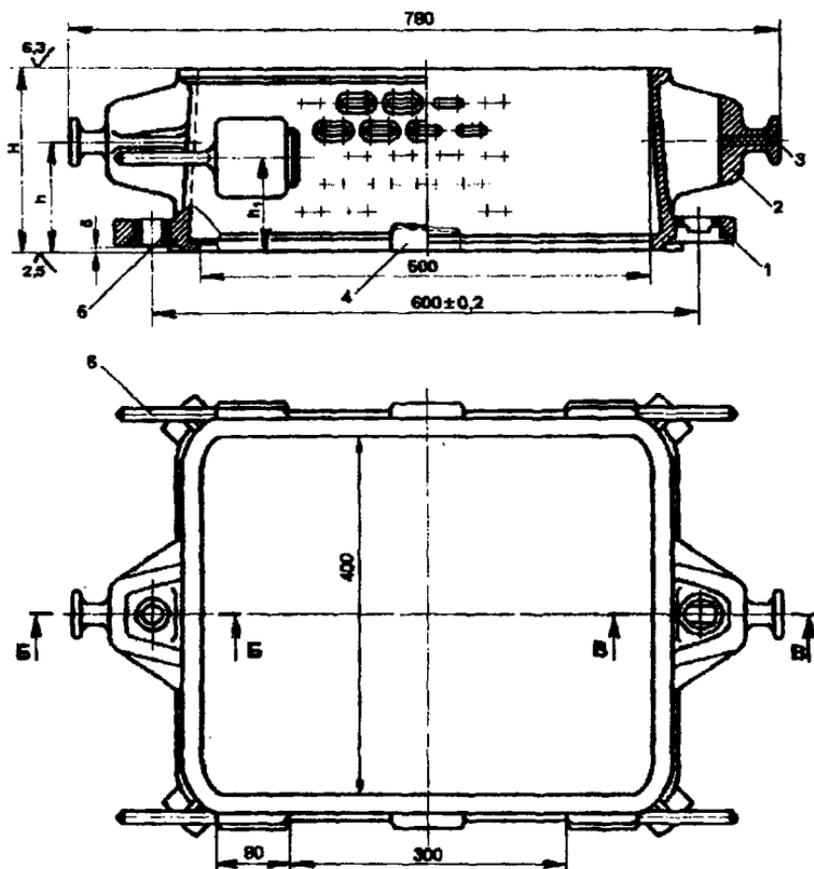


Рис. 7.71. Конструкция опоки для ручной формовки: 1 – направляющая втулка; 2 – корпус; 3 – цапфа с залитым при формовке холодильником; 4 – прилив для крепления опок скобами; 5 – центрирующая втулка; 6 – ручка

Опоки, применяемые в автоматических и автоматизированных линиях, должны иметь жесткую конструкцию и точные размеры как внутренних, так и наружных полостей, хорошо обработанные базовые плоскости, удобное направляющее и центрирующее устройство для сборки двух полуформ. С целью полной взаимозаменяемости верхней и нижней опок применяются специальные симметричные опоки, имеющие две рабочие плоскости с центрирующей и направляющей втулками.

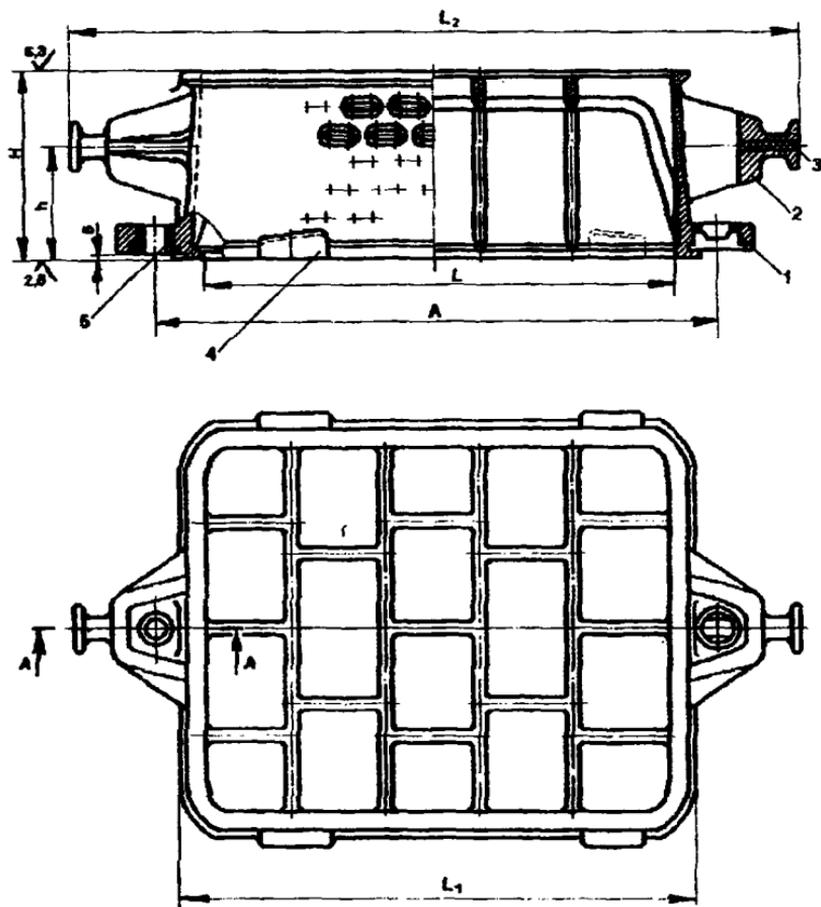


Рис. 7.72. Конструкция опоки для машинной формовки: 1 – направляющая втулка; 2 – корпус; 3 – цапфа с залитым при формовке холодильником; 4 – прилив для крепления опок скобами; 5 – центрирующая втулка

Важным моментом в выборе типоразмеров опок является правильная оценка основных размеров формы. Размеры опок должны обеспечить беспрепятственное размещение моделей при формовке, а также

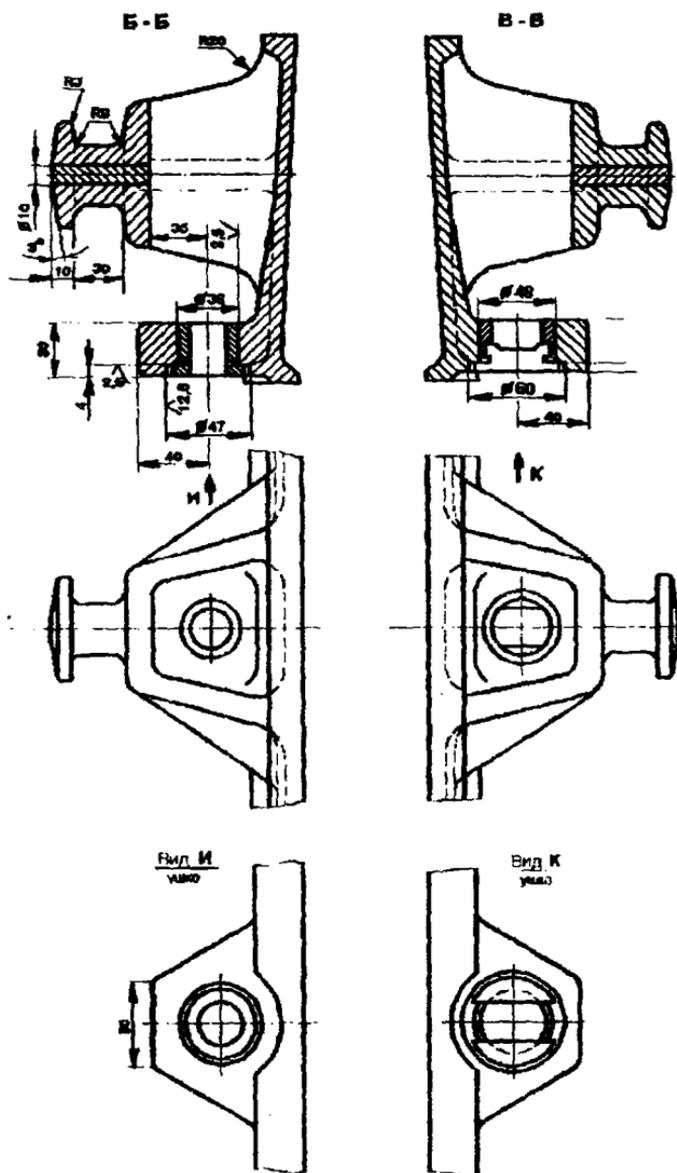


Рис. 7.73. Конструкции цапф и соединительных втулок опок

соответствующую прочность формы, т. е. снизу, сверху и сбоку моделей должен быть слой смеси, обеспечивающий соответствующую прочность. При выборе размеров опок необходимо учитывать и то, что использование чрезмерно больших опок влечет за собой увеличение затрат труда на уплотнение смеси и большой ее расход. В табл. 2.11 приведены данные по толщине формовочной смеси на различных участках формы в зависимости от массы отливок. Полученные данные позволяют определить минимальные размеры опок, которые окончательно уточняют по соответствующему стандарту. При этом расчетные значения увеличивают до ближайшего регламентированного размера.

7.8.2. Модельные плиты, их классификация, конструктивные элементы плит. Монтаж моделей на плитах

Для закрепления модельного комплекта при формовке и установки и крепления этого модельного комплекта к столу формовочной машины используют специальные плиты, называемые *модельными*. Они могут быть как деревянными, так и металлическими. Дополнительно к ним могут использоваться съемные деревянные или металлические вкладыши. Плиты делают односторонними и двусторонними. Для быст-

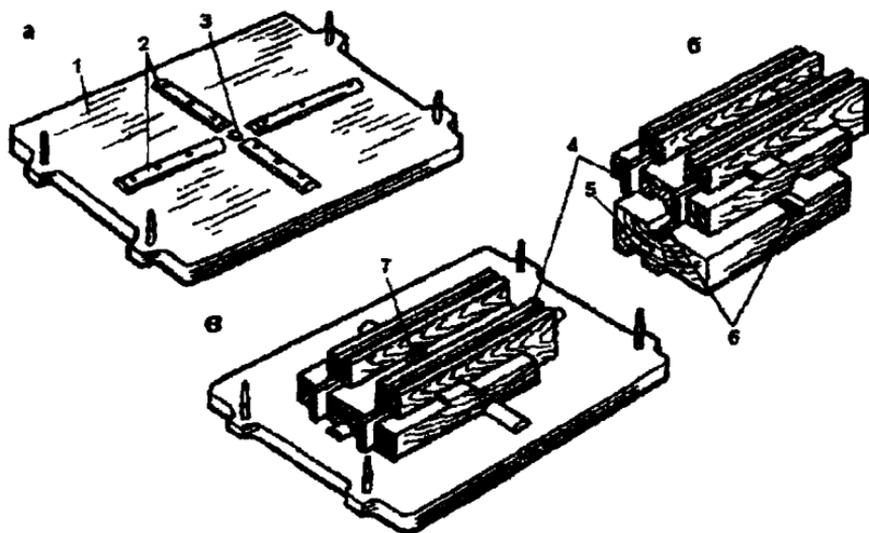


Рис. 7.74. Схема монтажа модели на быстромодельной плитке с центрирующими планками: а – плитка; б – половинки модели; в – плитка с установленной на ней нижней части модели

рой смены моделей при штучном и мелкосерийном производстве используют координатные плиты.

Каждая из модельных плит предназначена для определенного типоразмера опоки. При выборе модельных плит должен учитываться тип формовочной машины и механизм уплотнения смеси.

В зависимости от назначения плит прорабатываются их конструктивные элементы. Для опочной формовки применяют односторонние модельные плиты, и в большинстве своем – составные (монтажированные) или цельнолитые. Цельнолитые модельные плиты изготавливают с помощью деревянной промодели и деревянной рамки и применяют в серийном или крупносерийном производстве. Литые плиты для формовки в съемных опоках изготавливают из легких алюминиевых или магниевых сплавов. На рис. 7.74 показана быстросменная модельная плита для монтажа модели по центрирующим планкам.

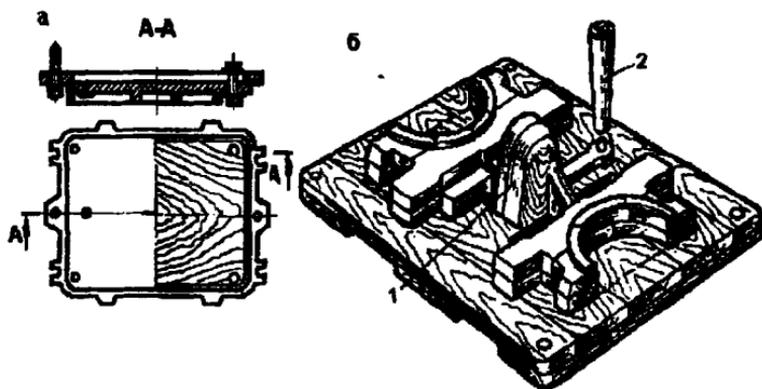


Рис. 7.75. Схема установки деревянных моделей на деревянном быстросменном вкладыше: а – металлическая модельная плита; б – модели корпуса подшипника, смонтированные на вкладыше; 1 – модель прибыли; 2 – модель стояка

На модельной плите 1 по осям прикрепляют крестообразно четыре полукруглые стальные планки 2, а в плоскостях разреза половинок модели делают полукруглые пазы 6 соответственно размерам центрирующих планок. Пазы половинок модели 4 и 5 при накладывании на планки фиксируют их на плите в рабочем положении. Модель крепят к плите болтом 7, пропускаемым через высверленные в ней отверстия и ввертываемым в отверстие с резьбой 3, выполненное в центре оси плиты.

Используются плиты с выфрезерованными пазами. В этом случае на моделях делают выступы соответственно размерам пазов. К недос-

таким таким плит следует отнести неудобство закрепления элементов литниковой системы.

Широко применяют металлические рамки с быстросменными вкладышами. Деревянный или металлический вкладыш с прикрепленной к нему моделью вставляют в углубление на рамке и фиксируют болтами (рис. 7.75). В данном случае на вкладыше устанавливают две полумодели верхней полуформы, а для нижней полуформы должен быть вкладыш с двумя другими половинками модели, которые изготовляют так же, как и верхние.

При серийном производстве деревянные или металлические модели монтируют и на металлических односторонних плитах (рис. 7.76). При монтаже модель на плите фиксируют контрольными шпильками.

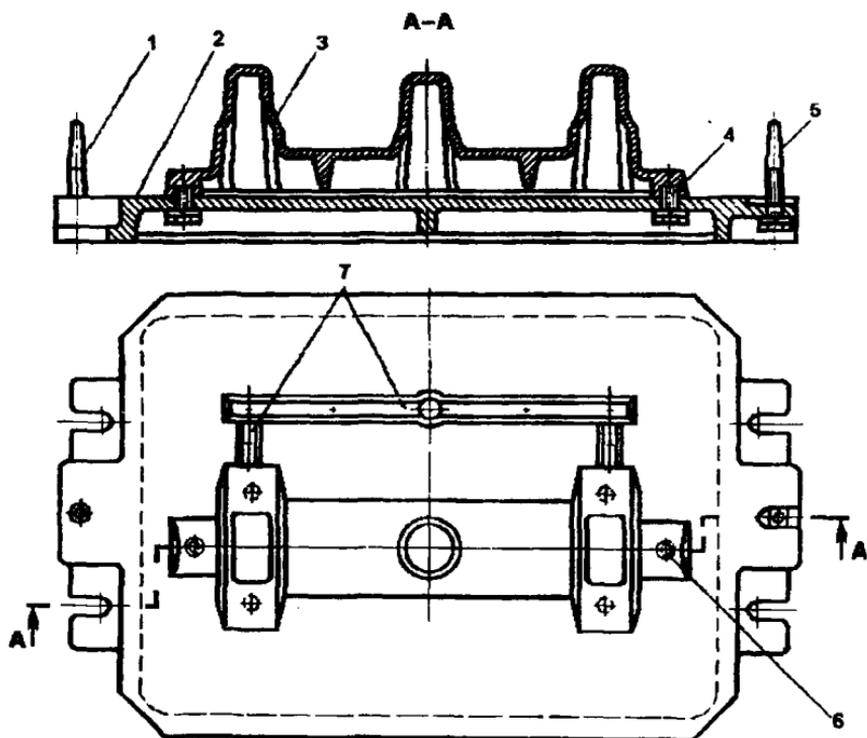


Рис. 7.76. Схема расположения моделей на модельной плите: 1 – штырь центрирующий; 2 – односторонняя модельная плита; 3 – верхняя половина модели; 4 – крепежный болт; 5 – штырь направляющий; 6 – контрольный штифт; 7 – модели литниковой системы

Модель к плите крепят болтами, винтами или даже гвоздями, головки которых утапливают заподлицо с моделью (рис. 7.77).

Координатные плиты могут быть литыми или сварными (рис. 7.78). Отличаются они от обычных модельных плит тем, что по всей плоскости плиты имеются базовые круглые отверстия одинакового

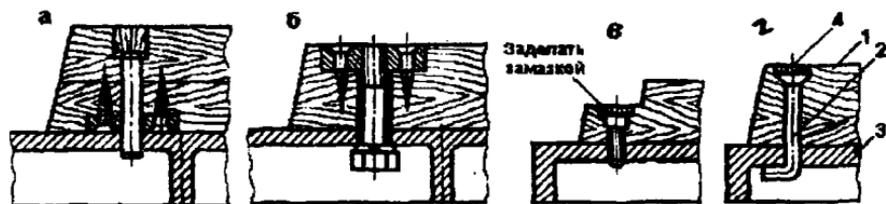


Рис. 7.77. Фиксирование и крепление деревянных моделей на модельных плитах: а – фиксирование контрольным штифтом; б – крепление модели болтом; в – винтом; г – гвоздем; 1 – модель; 2 – гвоздь, обрубленный по высоте модели; 3 – модельная плита; 4 – замазка

А-А

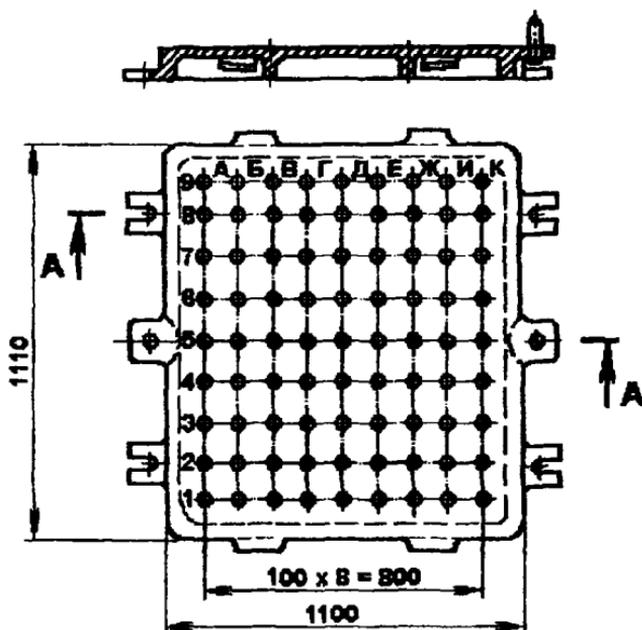


Рис. 7.78. Конструкция координатной модельной плиты

размера, размещенные в шахматном порядке с одинаковым интервалом между осями. Эти отверстия предназначены для фиксации и крепления моделей к плите. Расстояние между осями может составлять 50, 100, 200 мм и более в зависимости от размеров модельных плит. Диаметр отверстий при расстоянии между осями до 100 мм принимают равным 12 мм; при расстоянии более 100 мм – 25 мм. Все вертикальные осевые линии на плите обозначают цифрами 1, 2, 3 и т.д., горизонтальные – буквами А, Б, В и т.д. Таким образом, каждое отверстие имеет свой шифр, например, Б6, Д4, Ж7. Модель фиксируют двумя соединительными штырями, каждый из которых обозначен буквой и цифрой и входит в определенное отверстие плиты.

Деревянные модели и элементы литниковой системы для координатных плит изготавливают обычным способом. Для машинной формовки верхних и нижних полуформ используют одну и ту же координатную плиту, меняя лишь модели. К моделям делают также части литниковой системы с указанием на них шифров для размещения их на плитах.

7.8.3. Конструктивные особенности плит для машинной формовки и автоматических литейных линий

В целях рациональной эксплуатации формовочных машин, в том числе и для единичного и мелкосерийного производства отливок, применяют металлические быстросменные модельные плиты. При машинной формовке используют модельные плиты с деревянными или металлическими моделями, закрепленными на вкладышах. Несколько мелких моделей монтируют сразу с помощью вкладышей на одной плите. На рис. 7.79 показана модельная плита со вставными вкладышами.

К плитам, применяемым на автоматических линиях, предъявляются повышенные требования к точности изготовления и центрирования отдельных элементов, к надежности крепления моделей к плитам и самих плит к столу формовочной машины.

При безопасной формовке применяют двусторонние модельные плиты, т.е. верхнюю и нижнюю половины модели располагают одновременно с обеих сторон модельной плиты.

7.9. Модельный комплект, его состав и назначение

Для изготовления отливок в разовых песчано-глинистых формах литейный цех должен располагать определенной технологической осна-

сткой. Литейная *оснастка* должна обеспечивать получение отливок с требуемой точностью и шероховатостью поверхности. Литейная оснастка по своей роли в процессе изготовления отливок подразделяется на формообразующую и универсальную.

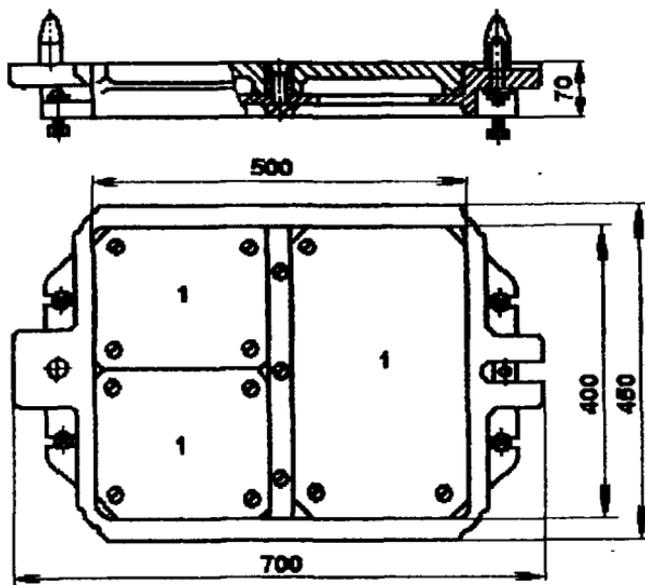


Рис. 7.79. Конструкция модельной плиты со вставными вкладышами 1

Формообразующая оснастка представляет собой модельный комплект, в который входят модели, стержневые ящики, элементы литниковой системы, модельные плиты, шаблоны для изготовления форм и стержней. Для изготовления форм обычно применяют два вида шаблонов: шаблоны вращения и протяжные шаблоны. Шаблоны представляют собой плоские заготовки определенного профиля и размера, позволяющие получать сложные объемные формы путем вращения или протяжки.

Модель – это приспособление для получения внутренних рабочих поверхностей в литейных песчано-глинистых формах, в том числе и для изготовления литников, прибылей, выпоров и т.д.

Стержневой ящик является приспособлением для получения стержней из песчаных смесей. Стержневые ящики служат не только для получения стержней, обеспечивающих образование внутренних полос-

тей в отливке, но и для получения стержней, задающих внешние контуры отливки (при формовке в стержнях).

К модельным комплектам относят формовочные деревянные или металлические шаблоны, скелетные модели и стержневые ящики. Скелетные модели представляют собой неполную наружную поверхность отливки, частично отраженную на скелете. Скелетные модели используют при единичном производстве крупных по размерам и сложных по конфигурации отливок, например, крупные корпуса улит центробежных насосов.

Стержневые ящики разделяют по конструктивным признакам на разъемные и неразъемные, на простые, средней сложности и сложные. К моделям литниковых систем относят модели литниковой чаши или воронки, модели стояка, шлакоуловителя, питателей. Кроме того, при изготовлении форм используют модели выпоров и прибылей. Размеры указанных моделей разнообразны и определяются соответствующими расчетами литниковых систем, прибылей и выпоров.

К универсальной оснастке относятся опоки, подопочные плиты, сушильные плиты (драйеры), корпуса стержневых ящиков для сменных вкладышей, литейный инструмент различного назначения (гладилки, ланцеты, трамбовки, пневмозубила и др.).

Модельные комплекты классифицируют по наиболее важным признакам, к которым относят материал модельных комплектов, способ изготовления литейной формы, прочность и точность изготовления модельных комплектов, вид литейного сплава, а также конструктивные особенности.

По типу материала модельные комплекты подразделяют на деревянные, металлические, неметаллические. К последним относятся пластмассовые, гипсовые, цементные, восковые, пенополистироловые (выжигаемые или газифицируемые). Основным материалом модельных комплектов для мелкосерийного производства и единичных отливок является древесина, для крупносерийного и массового производства — алюминиевые сплавы, чугун, сталь, пластмассы. Выбор материала зависит от характера производства.

У деревянных моделей, предназначенных для серийного производства, наиболее изнашиваемые части изготавливают из металла или облицовывают листовым металлом (армируют). Для облицовки моделей используют также бук, ясень, клен. Деревянные модели делают из сосны, ели, лиственницы. Для изготовления стержневых ящиков применяют липу. Такие породы, как ель, береза, липа имеют, как правило, низкокачественную сердцевину, поэтому для ответственных частей модели сердцевину удаляют. Более подробная характеристика всех пород древесины, используемой в модельном производстве, дана в работе [1].

Модельные комплекты классифицируют по способу изготовле-

ния литейной формы, т.е. делят на модели для машинной или ручной формовки. Способ изготовления литейной формы является основным признаком, определяющим тип модели и ее конструкцию.

Для ручной формовки модель может иметь один, два и более разъема и отъемные части. Для машинной формовки предпочтительна модель более простой конфигурации. Чтобы не применять модели с отъемными частями, т.е. упростить их конфигурацию, можно использовать наружные стержни.

По точности изготовления модельные комплекты делят на три класса в зависимости от характера производства, требуемой точности отливок и состава модельного комплекта. По первому классу точности изготавливают модельные комплекты для массового производства отливок, по второму – для серийного и по третьему классу – для единичного производства. Модельные комплекты сложных и особо сложных отливок допускается изготавливать по точности на класс выше, чем это требуется для серийного производства.

По прочности модельные комплекты подразделяются на три класса. От прочности зависит количество съёмов литейных форм с моделей.

По первому классу прочности изготавливают модели и стержневые ящики, предназначенные для серийного и мелкосерийного производства отливок при непрерывной эксплуатации модельных комплектов. Данные модельные комплекты пригодны для ручной и машинной формовки с установкой моделей на деревянные или металлические модельные плиты. Для особо сложных отливок при единичном производстве допускается использовать модельные комплекты первого класса прочности.

По второму классу прочности делают модели и стержневые ящики для серийного и мелкосерийного производства отливок при периодической эксплуатации модельных комплектов, а также при единичном производстве отливок 4 – 5-й групп сложности.

По третьему классу прочности изготавливают модельные комплекты для единичного производства отливок 1–3-й групп сложности. Эти модели не подлежат длительному хранению.

По виду сплава различают модельные комплекты для отливок из чугуна, стали, цветных сплавов. От вида сплава зависит величина усадки, учитываемая при изготовлении модели или стержневого ящика, а также величина припусков на механическую обработку.

Заготовки под металлические модели, как правило, отливаются по деревянным моделям, называемым промоделями. Для получения точных размеров отливок промодель должна учитывать двойную усадку, т.е. усадку сплава модели и сплава отливки. Для отличия модельных комплектов в зависимости от вида сплава отливки их окрашивают в

разные цвета: для чугуна – в коричневый или красный, для стали – в серый, для цветных сплавов – в желтый цвет.

По наружным размерам, применительно к стандартной классификации опок, модели дифференцируются на группы с учетом характера формовки. Модели для ручной формовки делятся на мелкие – до 500 мм, средние – от 500 до 5000 мм и большие – более 5000 мм. Модели для машинной формовки подразделяются на мелкие, размером до 150 мм, малые – от 150 до 500 мм, средние – от 500 до 1500 мм и большие – более 1500 мм.

По сложности конструкции имеется 5 групп моделей – от отливок преимущественно плоских, простых по конфигурации, изготавливаемых по неразъемным моделям, или с плоским разъемом, без стержней или с простыми стержнями (модели этих отливок относятся к первому классу сложности), до отливок особо сложных, имеющих сопряженные криволинейные поверхности с углублениями, тонкими ребрами, с резкими переходами, сложными соединениями (модели которых относятся к 5-му классу сложности).

По конструктивным признакам модели делят на группы, общие по геометрической форме: плоскостные, тела вращения и смешанные. Классификация модельных комплектов по геометрическим признакам позволяет выделить группы деталей, требующие технологически однородного изготовления.

Модели дифференцируют также на сплошные и пустотелые, разъемные и неразъемные. Неразъемными моделями называют такие, которые можно заформовать и целиком вынуть из формы, получив при этом полный отпечаток наружного контура отливки. Разъемными моделями называют модели, разделенные на части по плоскостям или криволинейным поверхностям. Разъемные модели могут быть с отъемными стержневыми знаками и частями.

7.9.1. Материалы для изготовления модельного комплекта. Техническое обоснование выбора материала

В предыдущем разделе уже отмечалось, что все модели по типу применяемого материала можно разделить на три группы: деревянные, металлические и неметаллические.

В производстве моделей наиболее широко используемыми породами дерева являются сосна, ель, пихта, липа, бук, клен, береза. Древесину заготавливают зимой, и она проходит естественную или искусственную сушку; затем из нее готовят пиломатериалы – доски, брусья, бруски, которые и используют для изготовления моделей. Каждая из пород дерева характеризуется определенными физико-механическими свойствами: имеет предел прочности на растяжение, сжатие, изгиб, твердость

и вязкость (способность древесины получать относительно большую остаточную деформацию при изгибе, не проявляя при этом признаков разрушения). Эти характеристики являются основополагающими при выборе той или иной породы дерева для изготовления моделей.

Металлические модели применяют в серийном производстве для отливок с высоким классом точности, низкой шероховатостью поверхности, при большом количестве съемов форм с одной модели. В качестве сплавов для моделей используют чугуны, сталь, алюминиевые сплавы, реже – бронзы или латуни. Сплавы должны не только обладать высокими механическими свойствами, твердостью, но и хорошо обрабатываться, а после соответствующей механической обработки давать гладкую рабочую поверхность моделей.

Неметаллические модели предназначаются, как правило, для специальных целей. Например, восковые (парафино-стеариновые и др.) – для литья по выплавляемым моделям, гипсовые – для художественного литья, цементные – для формовки с фальшивой опокой, пенополистироловые – для формовки по выжигаемым или газифицируемым моделям и т.д. Получают распространение и пластмассовые модели. Они прочнее деревянных, легче некоторых сплавов (чугун, сталь, бронза), хорошо шлифуются, дешевле металлических моделей и т.д. Однако химические методы упрочнения пластмасс делают производство моделей вредным и требуют проведения специальных мероприятий по охране труда.

Выбор того или иного материала для изготовления моделей определяется рядом требований, предъявляемых к отливкам, а также технологическими и техническими особенностями производства. Это класс точности отливок, сложность, размерные характеристики отливок, серийность производства, способ изготовления форм, материал отливок. Отливки высокого класса точности, серийного производства, при машинной формовке, с размерами до 500 мм из всех видов сплавов экономически выгодно получать в формах по металлическим или пластмассовым моделям.

7.9.2. Конструирование деревянных и металлических моделей

Независимо от конструктивных признаков процесс изготовления моделей начинают с деревянных заготовок, используемых в качестве полуфабриката для выточки моделей заданной геометрической формы. Заготовки получают путем склеивания отдельных частей пиломатериалов, подготовленных из древесины.

Пиломатериалы, имеющие влажность 8–12 % и выдержанные после сушки, разрезают на мерные части. Широкие доски расплющивают на узкие, шириной 110–150 мм, а затем склеивают в щиты, чтобы предупредить коробление. Рамные, кольцевые, дисковые заготовки, а также

заготовки для круглых болванок делают не менее чем из трех слоев (рис. 7.80). При склеивании учитывается расположение годовых колец древесины для предупреждения коробления, особенности которого после распиловки бревен и в процессе сушки показаны на рис. 7.81.

При изготовлении модели из заготовки мелкие формообразующие части (бобышки, пластики, ребра и т.д.) крепят добелями, шурупами, гвоздями с предварительной врезкой в основное тело модели и посадкой на клей. Галтели (закругления) выполняют за счет основного тела модели или посредством врезки в нес (рис. 7.82). Галтели радиусом до 3 мм допускается выполнять из замазки. Отъемные и другие быстро изнашивающиеся части изготавливают из твердых пород древесины или из металла и пластмассы. Выступающие части моделей и стержневых

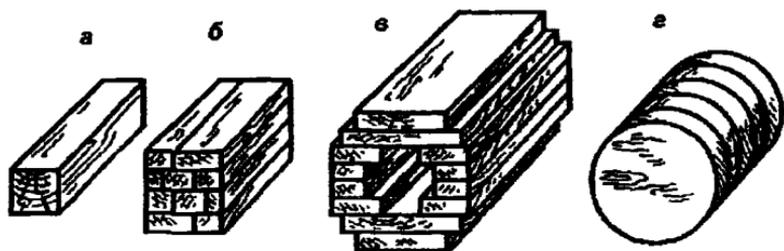


Рис. 7.80. Заготовки для круглых болванок: а – цельная; б – сплошная клееная; в – клееная полая; г – клееная из дисков

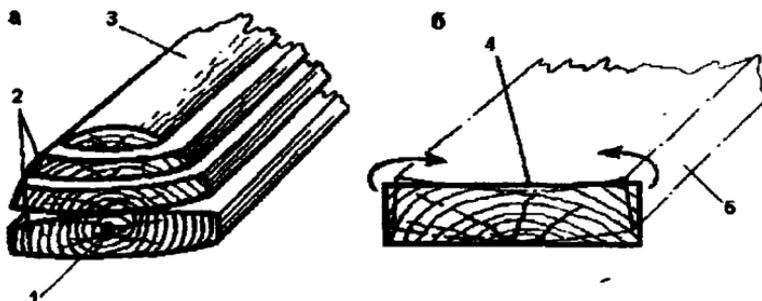


Рис. 7.81. Коробление досок при высыхании: а – после распиловки бревна «вразвалку»; б – обрезной доски в процессе сушки; 1 – сердцевина; 2 – доски с обзолом; 3 – горбыль; 4 – наружная плоть; 5 – кромка

ящиков, а также формовочные шаблоны, подвергаемые особенно быстрому износу (ребра, кромки, углы), армируют, т.е. окантовывают пластинами из полосовой стали толщиной 1–3 мм.

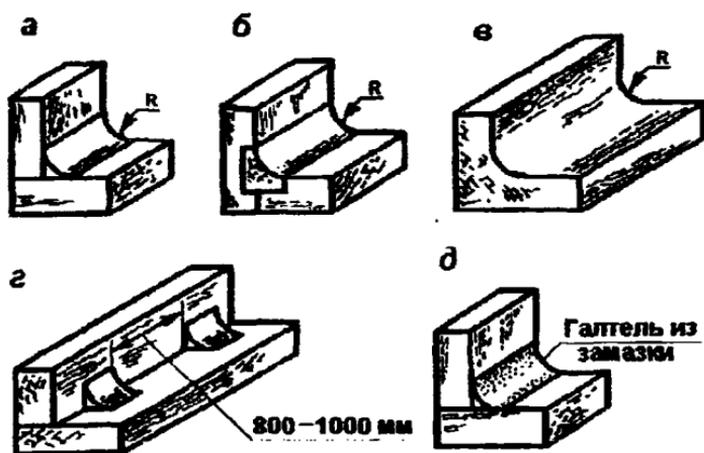


Рис. 7.82. Выполнение галтелей в моделях и стержневых ящиках:
 а – вклеиванием, б – врезанием, в – в теле модели (ящика),
 г – вклейкой частей галтелей (маяков), д – замазкой

Рабочую поверхность модельного комплекта тщательно шлифуют, она должна быть совершенно гладкой. Для выравнивания стыкуемых поверхностей допускается шпатлевание. После грунтования рабочие поверхности окрашивают не менее двух раз модельным лаком.

В зависимости от класса прочности или точности модели в технологию ее изготовления могут быть внесены какие-то коррективы, устанавливаемые технологом. Эти данные заносят в технологическую карту, прикладываяемую к чертежу детали с указанием технологии изготовления модельного комплекта и отливки.

Как было отмечено выше, металлические модели получают из литой заготовки, для изготовления которой применяют промодель. К деревянной промодели не предъявляется высоких требований по прочности, твердости, так как она используется один или несколько раз при формовке, но основные технологические указания по изготовлению деревянных моделей относятся и к промоделям. Размеры промодели учитывают двойную усадку сплавов модели и отливки и двойной припуск на механическую обработку.

Заготовка на модель должна быть плотной, без усадочных, газо-

вых, песчаных дефектов, не иметь перекосов, коробления и трещин. Металлические модельные комплекты должны иметь соответствующий класс точности и шероховатости рабочей поверхности. Конструкция металлических моделей и стержневых ящиков должна обеспечить жесткость и прочность при минимальной массе. Модели допускается изготавливать сплошными только при мелких и средних габаритных размерах.

Крепление отъемных частей моделей и крепление моделей к модельным плитам осуществляется с помощью шурупов, болтов и т.д.; при этом на рабочих поверхностях не должно быть следов крепежных изделий. Головка шурупа или болта утапливается внутрь рабочей поверхности на некоторую глубину и сверху тщательно заделывается замазкой с соответствующей обработкой поверхности до гладкой.

7.9.3. Конструирование стержневых ящиков

Стержневые ящики по конструкции подразделяют на два типа: изъемные вытряхные и разъемные. Выбор типа стержневого ящика определяется его габаритными размерами и конфигурацией.

Вытряхные стержневые ящики широко применяют в серийном производстве отливок. Такой ящик состоит из коробки, донышка и вкладышей, которые после набивки полости ящика стержневой смесью извлекают вместе со стержнем. Заготовкой для таких стержневых ящиков является обычно коробка с дном, сделанная из досок или щитов. Коробку стержневого ящика изготавливают на шипах из досок толщиной 40–50 мм (рис. 7.83). Она расширяется от донышка вверх, чтобы удобнее было вытряхивать внутренние части ящика; уклон боковых стенок делается 1:10. Для облегчения удаления вкладышей к их наружным плоскостям клеят или шурупами крепят клинья, которые при переворачивании ящика скользят по стенке коробки. Уклоны стенок корпуса

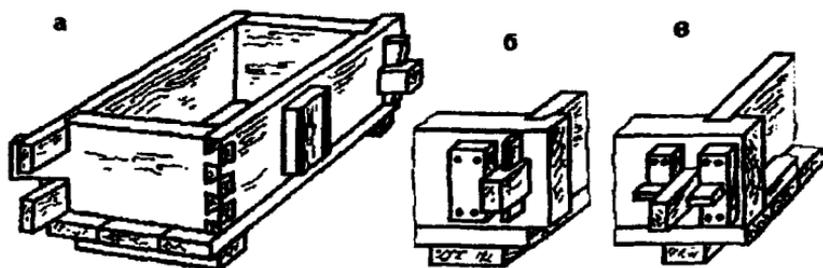


Рис. 7.83. Клиновые крепления углов деревянных стержневых разъемных ящиков: а, б – на шипах с вертикальным клином; в – на шипах с горизонтальным клином

при высоте вкладыша до 150 мм принимается 6° , от 151 до 250 мм – 5° , свыше 250 мм – 3° . Не следует делать лишних разрезов и вкладышей в ящике.

Для транспортировки ящика предусматриваются деревянные ручки, располагаемые на боковых стенках корпуса. Деревянные стержневые ящики, предназначенные для машинной формовки, оснащаются приспособлениями для крепления ящика к столу машины. Стержневым ящикам, предназначенным для изготовления стержней из ХТС или ЖСС, делают увеличенные уклоны боковых стенок.

Разъемные стержневые ящики могут иметь один, два и более разреза. Части ящика соединяют стяжками, скобами, дюбелями, втулками и др. (рис. 7.84). Металлические ящики выполняют тонкостенными. Их изготавливают так же, как и модели. На рис. 7.85 показана конст-

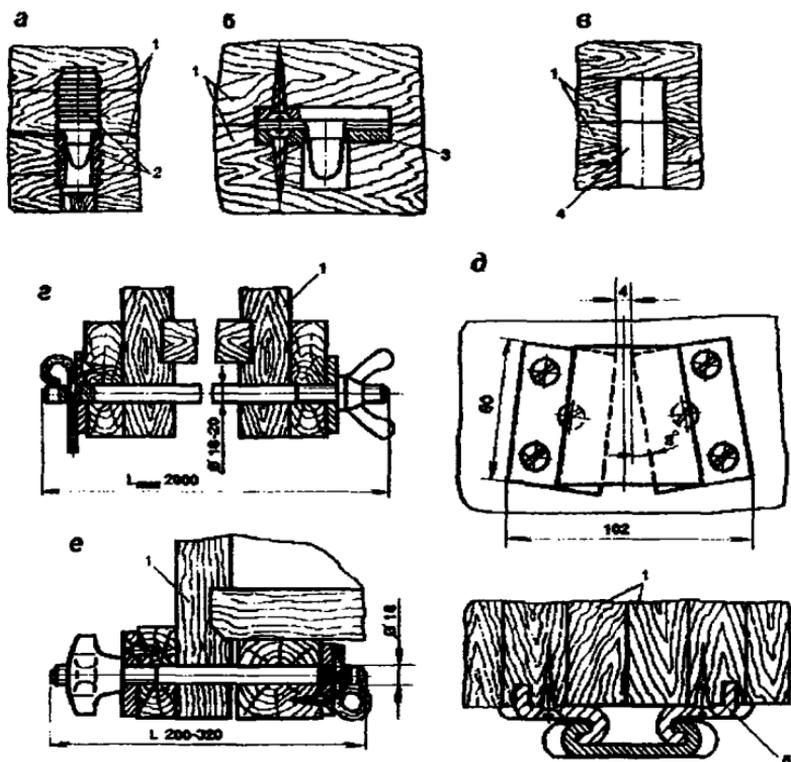


Рис. 7.84. Способы соединения половинок деревянных моделей или стержневого ящика: 1 – дюбелем; 2 – фланцевым дюбелем; 3 – втулкой; 4 – двугульной стяжкой; 5 – скобой; 5 – одноугульной стяжкой

рукция алюминиевого стержневого ящика (ГОСТ 19370-74) для изготовления песчаных стержней машинным, ручным и пескодувным спо-

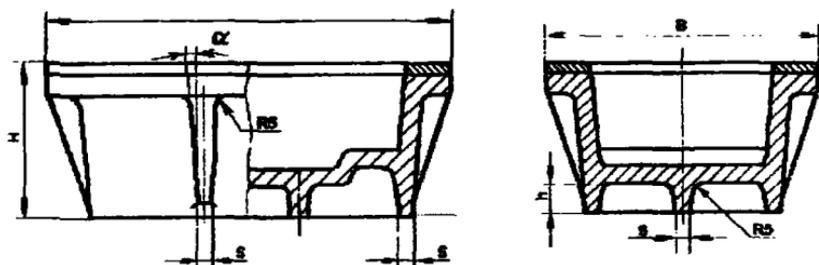


Рис. 7.85. Конструкция алюминиевого стержневого ящика

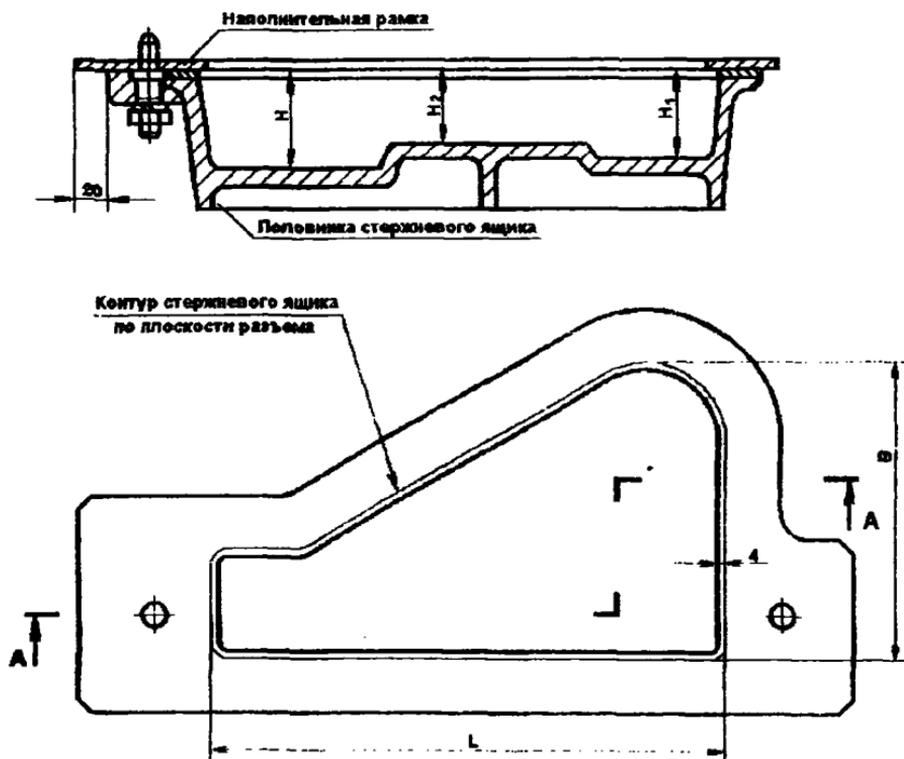


Рис. 7.86. Конструкция стержневого ящика с наполнительной рамкой

собом. Стержневые ящики, предназначенные для изготовления песчаных стержней, состоящих из двух половинок и формируемых раздельно, снабжаются наполнительными рамками (рис. 7.86)

Стержневые ящики для пескодувной и пескострельной формовки имеют воздухоотводные и вдувные отверстия. Отношение площадей воздухоотводного и вдувного отверстий составляет 0,2–0,3. При массовом производстве стержней это отношение увеличивают до 0,4–0,5. Вентиляцию стержневого ящика осуществляют с помощью вент специальных щелей шириной 0,15–0,20 мм.

Нагреваемые стержневые ящики изготавливают из стали и чугуна. Отличительной особенностью нагреваемых стержневых ящиков является наличие системы механизированных толкателей, которые монтируют индивидуально или на специальной плите (рис. 7.87). Толкатели уста-

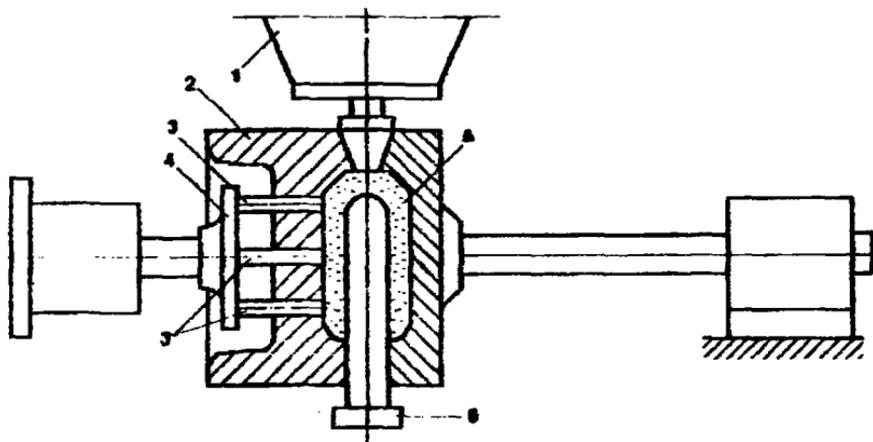


Рис. 7.87. Схема получения полого стержня в нагреваемом стержневом ящике: 1 – пескострельная головка; 2 – половина стержневого ящика; 3 – толкатели; 4 – плита толкателей; 5 – стержень; 6 – втулка для получения полости в стержне

навливают против знаков и других нерабочих частей стержня. Для простых стержневых ящиков расстояние между толкателями 100–130 мм, а для более сложных 50–70 мм. Зазор между толкателем и отверстием для него в стержневом ящике равен 0,15–0,25 мм.

7.9.4. Технология изготовления моделей и стержневых ящиков

Элементы модельного комплекта, такие как модели отливок, стержневые ящики, модельные плиты, обычно изготавливают из отдель-

ных заготовок, поскольку подобный модельный комплект обладает более высокими эксплуатационными свойствами по сравнению с модельным комплектом, изготовленным из целого куска древесины. Изготовление моделей и стержневых ящиков из отдельных заготовок позволяет устранить недостатки, свойственные древесине (коробление, растрескивание и т.д.).

Одним из технологических приемов изготовления модельных комплектов является *сплачивание* – соединение досок или брусков по ширине и толщине, при котором долевые волокна древесины располагаются параллельно (рис. 7.88). При сплачивании применяют клей, гвозди, шурупы и т.д.

Соединение в шпун досок или брусков называют *вязкой*. Проч-

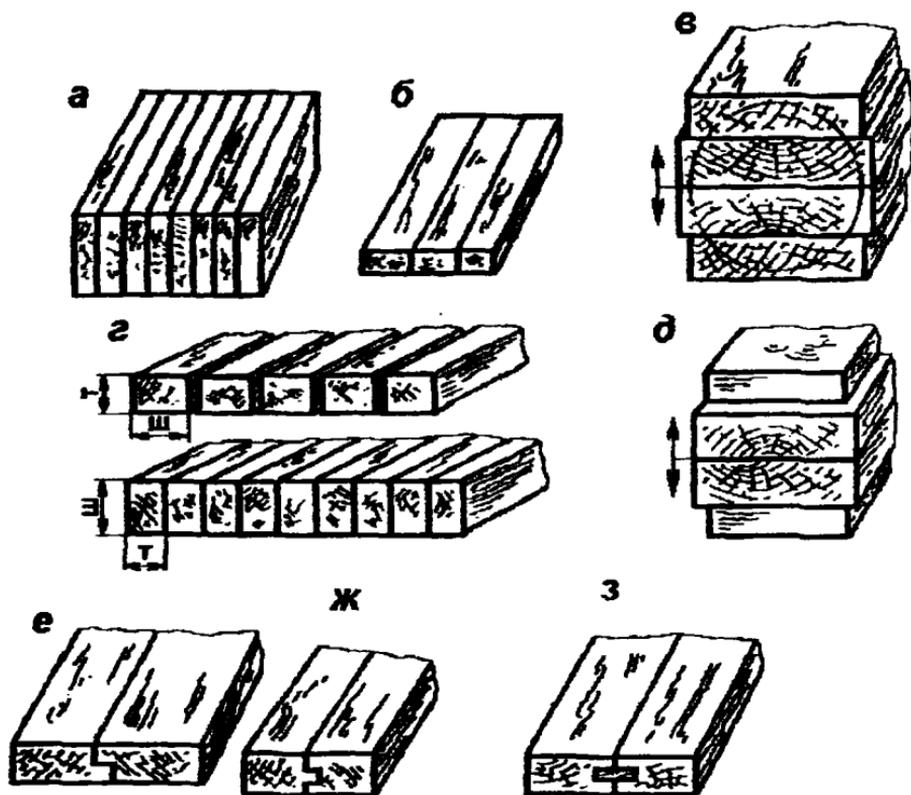


Рис. 7.88. Примеры сплачивания: а – встык пластинами; б – встык кромками; в – для разъемной модели; г – встык пластинами брусков распиленной доски (дельняками); д – для разъемного стержневого ящика; е – в фалец; ж – в шпунт; з – в шпунт на рейку

ность и точность моделей и стержневых ящиков во многом зависит от того, насколько качественно выполнена вязка. Поэтому разметка и подгонка шипов и проушин должны быть выполнены точно, чисто и без перекоса. Существует несколько видов вязки: угловая, стыковая, тавровая, крестообразная. На рис. 7.89 приведены примеры угловой вязки.

После получения заготовок они подвергаются механической обработке для получения соответствующих по геометрии моделей. Обработка осуществляется на деревообрабатывающих станках различного назначения. Применяют режущие (рейсмусовые), фрезерные, фуговальны, сверлильные, токарные, круглопильные, ленточнопильные, лобзи-

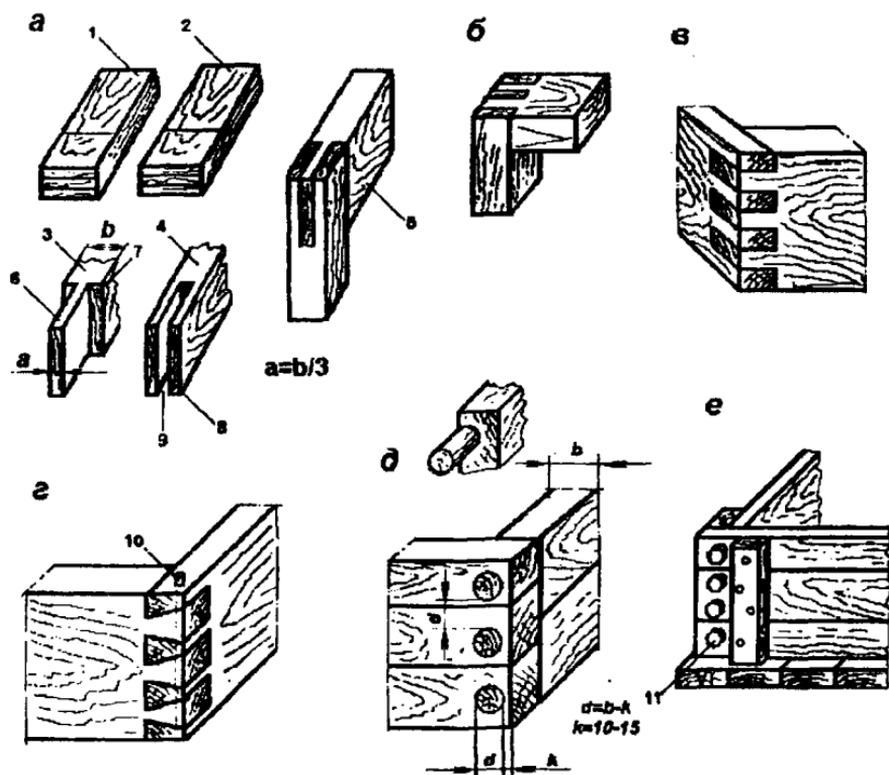


Рис. 7.89. Способы угловой вязки досок и брусков: а, б – сквозными прямыми рамочными шипами, в – сквозными прямыми ящичными шипами, г – сквозными косыми шипами, д – круглыми шипами для моделей, е – круглыми шипами для стержневых ящиков; 1, 2 – размеченные заготовки, 3 – заготовка с шипом, 4 – заготовка с проушиной, 5 – заготовки, собранные в узел, 6 – шип, 7 – заплечики, 8 – щека, 9 – проушина, 10 – нагель, 11 – расклиненный шип

ковые, долбежные и др. станки. Для получения гладкой поверхности моделей применяют шлифовальные станки различных типов. Точность изготовления моделей является одним из важных требований технологии изготовления модельных комплектов. Чтобы иметь правильное представление о точности размеров, надо уяснить смысл терминов «допуск» и «посадки», а также другие понятия, используемые в деревообработке.

Точность изготовления моделей зависит, прежде всего, от требований, предъявляемых к точности отливок. Для получения соответствующей точности необходимо пользоваться исправным измерительным инструментом, имеющим соответствующие диапазоны и погрешности измерений.

Для облегчения металлических моделей их делают пустотелыми, с определенной толщиной стенки, а для прочности предусматривают ребра жесткости. После получения модели-заготовки она подвергается механической обработке со шлифовкой рабочей поверхности. Аналогичным образом изготавливают металлические стержневые ящики и вкладыши к ним.

Модельные комплекты из пластмасс обладают лучшими свойствами, чем деревянные и металлические комплекты. Пластмассовые модели имеют высокую механическую прочность и точность, не подвергаются короблению, разбуханию, усушке, коррозии. При изготовлении модельной оснастки широко применяют пластмассы на основе эпоксидных смол. Формовочные уклоны, точность и шероховатость поверхности пластмассовых модельных комплектов должны соответствовать требованиям к модельным комплектам, изготовленным из алюминиевых сплавов.

Процесс изготовления модельных комплектов из пластмасс на основе эпоксидных смол состоит из следующих основных операций: изготовление мастер-модели, изготовление форм, изготовление пластмассовой модели, стержневого ящика, монтаж модели на модельную плиту. Мастер-модель можно изготовить из древесины, гипса или алебаstra.

Существует два способа изготовления модельных комплектов из пластмасс: литьевой и контактный. Литьевой способ применяют при изготовлении модельных комплектов небольших габаритных размеров. Контактный способ применяют в тех случаях, когда модель (стержневой ящик) должна иметь высокие прочностные свойства, или когда ее конструкция имеет сложные геометрические формы и выступающие тонкие части.

При этом способе используют армирующий стеклонаполнитель (стеклоткань, стеклоленту, стекложгут), который в комплекте с пропиточными эпоксидными составами образует прочный конструкционный материал стеклопластик. После изготовления модели неровности, це-

роховатости на поверхности сухой гипсовой формы зачищают шлифовальной шкуркой, а затем наносят разделительный состав. После этого готовят эпоксидную композицию для облицовочного слоя и наносят ее кистью равномерно на всю поверхность. Кистью проводят по поверхности формы 4–5 раз до начала желатинизации смолы. Через 20–24 часа после нанесения облицовочного слоя послойно накладывают на поверхность формы куски стеклоткани, пропитанные эпоксидной композицией. После завершения формообразования модель (стержневой ящик) выдерживают в форме два-три дня при температуре 20–25 °С. Далее на фрезерном станке зачищают плоскость разъема, модель извлекают из гипсовой формы, удаляют с нее гипс и разделительное покрытие. Затем в модели сверлят отверстия для ее монтажа на модельной плите.

Изготовление модельных комплектов литьевым способом проще. Оно заключается в заливке в гипсовую форму эпоксидной композиции. Остальные операции такие же, как и при контактном способе.

При изготовлении пластмассовых моделей необходимо особенно строго соблюдать требования техники безопасности.

После изготовления модельного комплекта из любого материала производится его окончательная отделка. Деревянные модели обрабатывают мелкой абразивной шкуркой или шлифуют пемзой. После отделки поверхности моделей грунтуют, шпаклюют и покрывают модельным лаком. После каждой операции поверхность шлифуют шкуркой. Окраска моделей и стержневых ящиков модельным лаком должна систематически повторяться в процессе использования их в производстве. После окончательной отделки и проверки модельные комплекты маркируют, набивая на них цифры и буквы. Все съемные части также маркируются.

Маркировка модели для детали А-4515 (первый модельный комплект с одним стержневым ящиком, тремя съемными частями на модели и двумя вкладышами ящика) будет выглядеть следующим образом: А-4515-К1-Я1-ОЧМ-3; маркировка стержневого ящика будет выглядеть так: А-4515-К1-Я1-ОЧС-2, где К – обозначение модельного комплекта, Я – обозначение стержневого ящика.

Готовые модельные комплекты с соответствующей документацией направляют на склад готовых комплектов.

7.10. Вентиляция литейной формы

Газы, выделяющиеся из литейной формы и стержней, активно влияют на качество отливок, способствуя образованию пригара, газовых раковин, ужимия и других литейных дефектов. Некоторые составляю-

щие этих газов, растворяясь в жидком металле, ухудшают физические и механические свойства отливки. Поэтому проблема вентиляции литейной формы и стержней является очень важной при разработке технологии изготовления отливок.

После заливки жидкого металла в литейной форме параллельно с тепловым потоком возникает определенно направленный газовый поток, который характеризуется скоростью образования газов, скоростью и направлением фильтрации газов от места их возникновения к выходу в атмосферу и величиной газового давления на поверхность раздела металл – форма.

Условие создания в форме или стержне направленного газового потока, исключающего возможность проникновения газа в отливку, выражается неравенством

$$P_{\phi} < P_m + P_n + P_{n,\phi},$$

где P_{ϕ} – избыточное давление газа в порах формы на поверхности контакта с металлом;

P_m – давление металла в соответствующей точке формы;

P_n – сопротивление поверхности металла внедряющемуся газу;

$P_{n,\phi}$ – избыточное давление газа в полости формы над поверхностью металла.

Однако даже неравенство $P_{\phi} < P_m$ не исключает возможности проникновения жидкого металла в материал формы и образования механического пригара. Поэтому необходимо стремиться создать равновесие между газовым давлением и противодействием металла. Последнее достигается различными методами, в том числе искусственной вентиляцией формы и стержня.

Объемная скорость удаления газов из форм и стержней зависит от газопроницаемости смесей, приведенной площади сечения газового потока, длины пути фильтрации и перепада газового давления по пути фильтрации газов. Газовое давление в формах и стержнях возрастает примерно пропорционально длине пути фильтрации.

Для уменьшения пути фильтрации газов и соответственно увеличения приведенного сечения газового потока можно использовать следующие технологические приемы: вентиляционные каналы, изготовление пустотелых стержней, сокращение длины знаков стержней и т.д. Выполнение наколов и вентиляционных ходов является сильным средством понижения газового давления в формах и стержнях. Положительное влияние наколов тем больше, чем ниже газопроницаемость смеси.

Длина пути фильтрации газов из стержня зависит не только от

его размеров, но и от размеров формы. Поэтому к каждому знаку сложных и крупных стержней необходимо подвести вентиляционный канал, выполненный непосредственно в форме.

Для удаления газов из полости формы предусматривают вентиляционные отверстия – выпоры, устанавливаемые на наиболее высоких участках отливки, которые заполняются металлом последними. При наличии нескольких выступающих частей выпор устанавливается на каждой из них. Суммарное сечение выпоров зависит от объемной скорости поступления металла в форму, скорости образования газов на поверхности формы и стержней при их нагреве.

Для увеличения скорости выхода газа из форм и стержней может быть применен принудительный отсос газов. Наряду с вентиляционными наколами эффективно применение пустотелых стержней или стержней, внутренняя полость которых заполнена пористым материалом.

7.11. Сушка форм и стержней

7.11.1. Физические основы процесса сушки

Тепловой процесс освобождения материалов от содержащейся в них влаги путем испарения называется сушкой. При сушке форм и стержней протекают три основных процесса:

- 1) испарение влаги с поверхности формы (стержня), сопровождаемое поглощением теплоты;
- 2) перемещение образующегося на поверхности материала пара в окружающую среду;
- 3) перемещение влаги внутри формы (стержня) от центральных слоев к поверхности испарения.

Интенсивность процесса испарения влаги с поверхности зависит от разности парциальных давлений пара на поверхности материала и в окружающей среде. Чем больше эта разность, тем энергичнее протекает испарение. Количество испаряющейся с поверхности влаги m (кг/м²·с) определяется формулой [14]

$$m = \beta(p_n - p_{\text{св}}),$$

где β – коэффициент испарения, кг/(м²·кПа·с);

p_n – парциальное давление водяных паров на поверхности испарения, кПа;

$p_{\text{св}}$ – парциальное давление водяных паров в окружающей среде (в сушильном агенте – газе), кПа.

Коэффициент испарения β зависит от многих факторов и в первую очередь от характера и скорости движения сушильного агента; его значение увеличивается при переходе от ламинарного движения сушильного агента к турбулентному. Движение сушильного агента в сушилках может быть, естественным и искусственным. Искусственное, вынужденное движение сушильного агента осуществляется при помощи специальных вентиляторов и других устройств. При искусственном режиме сушки характер движения сушильного агента, как правило, турбулентный. Скорость сушки в сушилках с искусственным движением значительно выше, чем в сушилках с естественным движением, поэтому в литейных цехах используют сушилки с искусственным движением сушильного агента. Так как испарение сопровождается поглощением теплоты, то его интенсивность также зависит от теплового потока, направленного на поверхность испарения материала.

Благодаря испарению влаги ее концентрация на поверхности уменьшается. При этом создается разность концентраций влаги на поверхности и в центральных слоях материала, что обуславливает непрерывное движение влаги от центра к поверхности.

Теплота к нагреваемому материалу может передаваться тремя способами: конвекцией, излучением и теплопроводностью. По способу передачи теплоты процесс сушки подразделяется на три вида:

1. *Конвективная сушка.* Теплота от сушильного агента передается за счет конвекции (горячий воздух, продукты горения топлива и т.д.) к поверхности нагреваемого материала. Сушильный агент может омывать высушиваемое изделие или фильтроваться через него, так как формы и стержни, изготовленные из песчаных смесей, имеют открытые, незамкнутые поры, обеспечивающие их газопроницаемость. Пористость уплотненных различными способами формовочных смесей колеблется от 20 до 50 %. Уплотненная смесь имеет широкий спектр значений газопроницаемости. Так, газопроницаемость смесей на основе кварцевых песков — от 50 до 500 ед., а у специальных смесей на основе мелкодисперсных материалов — от 1 до 50 ед. Омывая или фильтруясь через высушиваемый материал, сушильный агент нагревает его и одновременно насыщается парами воды, образующимися при сушке.

2. *Радиационная сушка.* Теплота к поверхности материала передается за счет излучения от нагретых поверхностей. Максимальная глубина проникновения инфракрасных лучей зависит от свойств материала. Для кварцевого песка она составляет около 5 мм. Ввиду малой пропускной способности песка для инфракрасного излучения передача тепла в нижележащие слои осуществляется за счет теплопроводности. В литейном производстве радиационная сушка нашла ограниченное применение.

3. *Контактная сушка*. Теплота передается в результате соприкосновения поверхности материала с нагретой поверхностью. Этот вид сушки является одним из основных при изготовлении форм и стержней по нагреваемой оснастке.

Существует комбинированный *радиационно-конвективный* вид сушки. Применяют и *электрические* способы: сушка токами высокой частоты (ТВЧ) и контактная электросушка. Сущность сушки диэлектриков ТВЧ заключается в том, что колебания ТВЧ вызывают нагрев материала. При контактной электросушке через изделие пропускают электрический ток. В результате сопротивления, оказываемого изделием при прохождении тока, в нем выделяется теплота.

Движение влаги внутри материала имеет место только в том случае, если есть разность влажности или температур внутри материала. Соответственно перемещение влаги происходит за счет влагонепроводности и термовлагодпроводности.

Влагодпроводностью называется процесс перемещения влаги за счет разности влажностей (концентраций влаги) внутри материала.

Термовлагодпроводностью называется процесс перемещения влаги под действием разности температур внутри материала. За счет влагодпроводности влага по порам материала перемещается от мест с большей влажностью к местам с меньшей влажностью или к границе испарения. На границе испарения влажность уменьшается, пары переходят к сушьильному агенту или в окружающую среду.

При нагреве материала в нем возникает разность температур, вследствие которой появляется разность давлений в капиллярах материала. В этом случае перемещение влаги направлено от мест более нагретых к местам менее нагретым. Когда материал нагревается с поверхности, влага благодаря влагодпроводности перемещается к поверхности материала: при этом термовлагодпроводность препятствует перемещению влаги. Наоборот, при электросушке температура центра всегда выше температуры поверхности, на которой теплота расходуется на испарение в окружающую среду; при этом термовлагодпроводность способствует перемещению влаги к поверхности и повышает скорость сушки.

В общем количество испаряющейся влаги m (интенсивность сушки) определяется формулой

$$m = -k \cdot \rho_0 \left(\frac{\Delta W}{\Delta n} \pm \delta \frac{\Delta t}{\Delta n} \right), \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

где k – коэффициент влагодпроводности, м² с;

ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала, кг/м³;

$\Delta W / \Delta n$ – градиент влажности;

δ – коэффициент термовлагопроводности, или отношение массы влаги к массе сухого материала на один градус, кг вл./ $(\text{кг} \cdot \text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{К})$;

$\Delta t / \Delta n$ – градиент температур.

Из приведенной формулы видно, что термовлагопроводность может как способствовать, так и противодействовать процессу сушки. Коэффициенты k и δ зависят от свойств материала, его температуры, влажности и изменяются в процессе сушки. Влияние термовлагопроводности в общем незначительно, но тем не менее, иногда она играет определенную роль в процессе сушки.

На рис. 7.90 отражены изменения интенсивности сушки m , влажности W (%) и температуры поверхности t_n в различные периоды сушки. Сушка протекает в три периода: I – прогрев; II – постоянная скорость сушки; III – снижение скорости сушки [14].

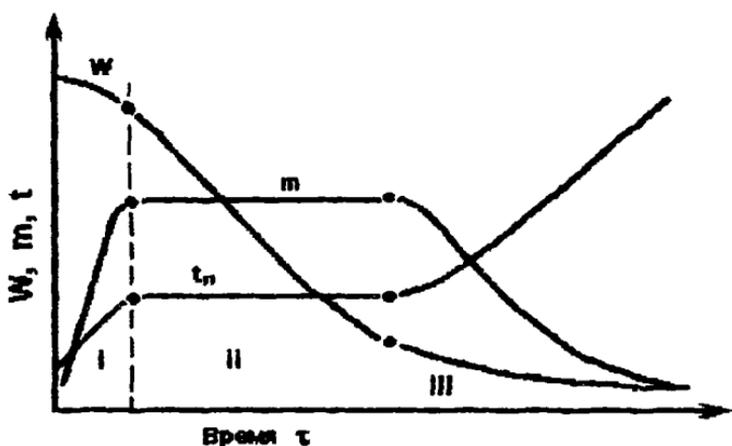


Рис. 7.90. Изменение влажности материала в процессе сушки

Период I характеризуется подъемом температуры и интенсивности сушки. В периоде II интенсивность сушки постоянна. Температура поверхности также практически постоянна, вследствие чего $t_n = \text{const}$.

Влагопроводность в периоде II – величина постоянная и определяет интенсивность сушки. Термовлагопроводность в этих условиях равна нулю. В периоде III по мере прогрева поверхностных слоев материала граница испарения перемещается внутрь.

Интенсивность сушки и влажность материала падают. Темпера-

тура поверхности возрастает. Она определяется, с одной стороны, влаготеплопроводностью и термовлаготеплопроводностью и, с другой – интенсивностью подвода теплоты к границе испарения с момента, когда эта граница начинает перемещаться внутрь. Влаготеплопроводность остается практически постоянной. Объясняется это тем, что с понижением влажности материала влаготеплопроводность уменьшается, а с повышением температуры – увеличивается. Эти два явления компенсируют друг друга. В то же время термовлаготеплопроводность возрастает и противодействует перемещению влаги к границе испарения.

В этом случае градиенты влажности и температуры имеют разноименные знаки. Одновременно уменьшается подвод теплоты из-за увеличения просушенного слоя. В результате указанных процессов интенсивность сушки падает.

Из рассмотренного видно, что интенсивность сушки находится в сложной зависимости от многих факторов. Поэтому в каждом конкретном случае устанавливается свой определенный режим сушки.

7.11.2. Назначение тепловой сушки форм и стержней

Для форм и стержней термин «тепловая сушка», под которым подразумевается удаление влаги, можно применить лишь условно, так как для упрочнения большинства связующих недостаточно одного удаления влаги, необходимы определенные температуры прогрева для протекания процессов полимеризации, конденсации или окисления.

Основным назначением сушки форм и стержней является повышение прочности их рабочей поверхности и получение оптимальной величины сухого слоя смеси. Исходя из этого к сушке предъявляется требование обеспечить максимальные прочностные свойства связующего материала за счет ведения процесса при оптимальных температурах и скоростях нагрева. Сушка существенно повышает прочность большинства связующих материалов. Так, у жидкостекольных смесей прочность повышается с 0,015–0,030 до 10–15 МПа, у смесей на СДВ – с 0,03–0,08 до 0,6–1,0 МПа и т.д. В процессе сушки форм и стержней изменяется большинство технологических свойств смесей, что положительно влияет на качество отливок, а именно: в них сокращается количество газообразных составляющих, повышается их газопроницаемость, ряд связующих, например СДВ, патока, крепитель «П», затвердевают необратимо; это снижает гигроскопичность и размокаемость смесей. При сушке пластичных смесей, содержащих глину, их газопроницаемость возрастает на 30–40 %, сыпучих самотвердеющих смесей – на 20–30 %, а при сушке жидких самотвердеющих смесей в зависимости от устойчивости пены газопроницаемость смесей увеличивается в 1,2–3 раза. Газопрочность высушенного слоя на 1–2 порядка ниже, чем у сырой смеси.

Для отдельных форм и технологических процессов основной задачей сушки является снижение газотворности и повышение газопроницаемости форм и стержней. С этой целью сушка может назначаться для форм и стержней, изготовленных из сыпучих самотвердеющих смесей и окрашенных самосохнущими противопопригарными красками. Если в отливках вероятны образования газовых раковин или к ним предъявляются повышенные требования по герметичности. Формы и стержни, изготовленные из жидких самотвердеющих смесей, могут иметь низкую газопроницаемость вследствие неполного разрушения вспененного связующего в процессе затвердевания смеси. Недостаточная газопроницаемость может привести к браку отливок или даже выбросу металла из формы при заливке. Тепловая сушка в этом случае проводится для разрушения пены и повышения газопроницаемости форм и стержней.

7.11.3. Режимы сушки

Качество форм и стержней существенно зависит от режима сушки. Для форм и стержней, изготовленных из различных смесей, устанавливают оптимальные режимы сушки, которые проверяются с помощью методов технологического контроля высушенных форм и стержней.

Влияние сушки на качество форм и стержней. Основными факторами для установления режима сушки форм и стержней по скорости нагрева и температуре сушки являются природа связующего материала и сложность изделия.

Смеси на основе глины без добавки других связующих материалов термостойки и выдерживают высокотемпературные режимы сушки. Формы и стержни из этих смесей сушатся при высоких температурах — до 500 °С. Смеси на жидком стекле при тепловой сушке в отличие от смесей на других связующих приобретают прочность при относительно высокой остаточной влажности. Известно, что при нагреве до 100 °С жидкое стекло теряет до 65 % влаги, при 200 °С испаряется около 93 % влаги. Полностью влага удаляется из жидкого стекла при 400 °С.

Уже при нагреве до 100 °С жидкостекольные смеси приобретают высокие прочностные свойства. Упрочнение смесей с жидким стеклом тепловой сушкой объясняется образованием высокопрочных силикатных плёнок вокруг песчаного каркаса. Однако наряду с процессами упрочнения смесей под действием высоких температур из силикатных плёнок начинает удаляться химически связанная вода, что сопровождается растрескиванием пленки связующего.

На рис. 7.91 приведены данные по изменению предела прочности на разрыв у смесей в зависимости от температуры их нагрева. Следует отметить, что температура прогрева смеси даже в поверхностном слое

формы и стержня может быть заметно меньше температуры сушильного агента, особенно в начальные периоды сушки [45].

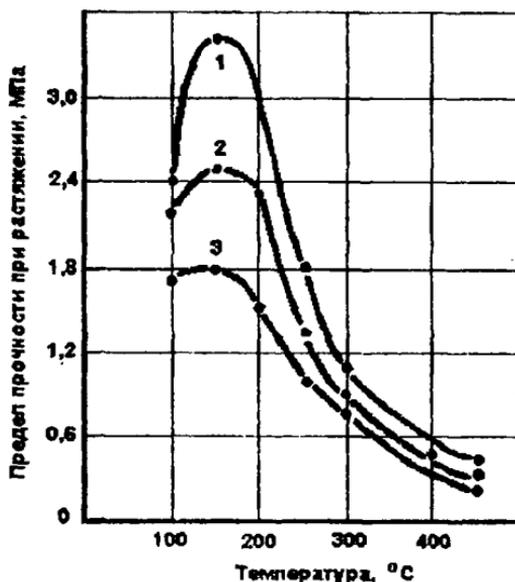


Рис. 7.91. Влияние температуры на прочность формовочных смесей, содержащих жидкое стекло: 1 – 5 % (обогащенный кварцевый песок); 2 – 6 % (природный кварцевый песок); 3 – 5 % (обогащенный кварцевый песок) [45]

Максимум прочности у жидкостекольных смесей разного состава на природном и обогащенном песках достигается при температуре до 150 °С, дальнейший нагрев снижает прочностные свойства смеси. Для повышения прочностных свойств смеси в ней увеличивают содержание жидкого стекла или применяют обогащенные кварцевые пески, содержащие меньше окислов железа и глинистой составляющей, подвергая термической обработке в диапазоне 100–200 °С. Повышение температур нагрева смеси до 250 °С и более не только существенно снижает прочностные свойства смесей, но и практически обесценивает использование обогащенных песков и повышение процента содержания жидкого стекла в смеси, так как уровень прочностных характеристик смесей 1–3 (см. рис. 7.91) при нагреве более 300 °С становится практически одинаковым.

Сушка жидкостекольных смесей, упрочненных химическими ме-

тодами – более сложный технологический процесс. При обработке жидкого стекла углекислым газом образуется гель кремниевой кислоты и карбонаты натрия. Прочность смеси начинает возрастать до того, как весь Na_2O будет связан с CO_2 , поэтому в упрочненной смеси в зависимости от продолжительности контакта с CO_2 остается часть неразложившегося жидкого стекла. Этим объясняются изменения прочности смеси, предварительно обработанной CO_2 , при последующей тепловой сушке (рис. 7.92). Чем меньше продолжительность контакта смеси с CO_2 , тем больше в смеси остается свободного жидкого стекла и тем выше прочность смеси после последующей тепловой сушки. После обработки CO_2 более 15 мин последующая тепловая сушка снижает прочностные свойства смеси. При обработке форм углекислым газом трудно обеспечить требуемую толщину упрочненного слоя за оптимальную продолжительность контакта с CO_2 , поэтому во избежание потерь прочности форм и стержней, обработанных CO_2 , тепловую сушку проводят редко или ограничиваются кратковременной подсушкой противопригарных покрытий при 200–240 °С.

Смеси с жидким стеклом, содержащие двухвалентный силикат, в том числе и жидкие самотвердеющие смеси (ЖСС), в процессе сушки даже при оптимальной температуре 220–250 °С теряют 20–30 % первоначальной прочности, что объясняется разрушением затвердевших пленок в результате удаления влаги. Повышение температуры сушки более 250 °С сопровождается снижением прочностных свойств во всем температурном диапазоне от 250 до 500 °С, поэтому стержни и формы из ЖСС сушатся при температуре не более 250 °С в течение 2–3 часов. Как отмечалось ранее, смеси с жидким стеклом, обработанные тепловым способом, в сравнении со смесями, обработанными химическими методами, имеют прочностные свойства в 7–8 раз выше.

При сушке форм и стержней из жидкостекольных смесей, предварительно обработанных химическими методами, эта разница в прочностных свойствах становится 10–12-кратной.

В литейных цехах с целью сокращения цикла изготовления отливок проводят сушку при повышенных температурах до 350–400 °С. При таких параметрах сушки формы и стержни имеют достаточно высокий уровень общей прочности в высушенном слое, но поверхностный слой, прогреваемый до температур, близких к температуре сушки, разупрочняется; появляется повышенная осыпаемость, приводящая к засорам в отливках. С повышением температуры сушки форм и стержней снижаются не только прочностные свойства, но и увеличиваются термические напряжения, что приводит к появлению на стержнях и формах трещин, сколов, а в ряде случаев наблюдаются отслоения высушенного слоя смеси. Жидкостекольные смеси, не упрочненные химическими

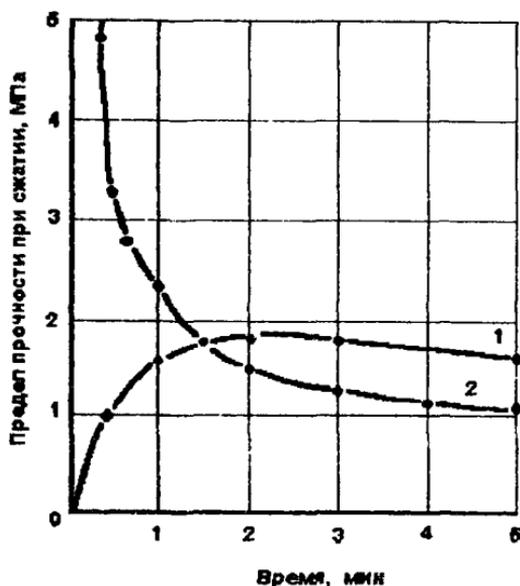


Рис. 7.92. Влияние продолжительности контакта с CO_2 на изменение прочности формовочной смеси: 1 – упрочнение углекислым газом; 2 – упрочнение углекислым газом с последующей тепловой сушкой при температуре 200°C [40]

способами, выдерживают высокие скорости нагрева и сушки. В настоящее время созданы установки для сушки форм в горячем газовом потоке, фильтрующемся через смесь, в которых процесс сушки форм из жидкостекольных смесей осуществляется за 2–10 мин, т.е. в сравнении с сушкой в омываемом потоке скорость сушки увеличена в 10–60 раз, без снижения прочностных свойств высушенной смеси.

Оптимальные режимы сушки. На практике параметры процесса сушки зависят не только от технологии изготовления форм и стержней, сложности и массы отливок, но и от производственных условий, так как во всем цикле изготовления отливок операции сушки и охлаждения исходных формовочных материалов, форм и стержней составляют значительную долю. С целью ускорения процесса сушки форм и стержней часто проводится при температурах, превышающих оптимальные для связующих материалов, применяемых при изготовлении смесей. Помимо этого, толщина высушенного слоя смеси часто бывает на 20–30 % меньше требуемой.

В табл. 7.4 приведены оптимальные режимы для сушки форм и

стержней с различными связующими материалами, здесь же для сравнения даны температурные режимы и продолжительность сушки в литейном производстве АО «Уралмаш». Из данных видно, что режимы по максимальной температуре сушки на 100–150 °С выше значений, оптимальных для получения у смесей максимальных прочностных свойств. Следует отметить, что приведенные режимы сушки отработаны применительно к конкретной номенклатуре отливок, составу смесей и способам формообразования. В других производственных условиях они могут изменяться как по температурам, так и по продолжительности. Однако для повышения качества отливок целесообразно максимально приближать режимы сушки к оптимальным.

Таблица 7.4
Температурные режимы сушки форм и стержней из различных смесей

Наименование смесей	Оптимальный температурный режим, °С	Режимы сушки в литейных цехах		
		Время подъема температуры, ч	Максимальная температура, °С	Выдержка при максимальной температуре, ч
Смеси для стержней:				
пластичные жидкостекольные (СЖС)	150–200	1	300–450	2–3
песчано-глинистые (ФСЛ, СКЛ)	350–400	1–1,5	400–450	3–6
из хромистого железняка с сульфитно-дрожжевой бражкой (ХРЖ)	250–300	1–1,5	350–450	3–4
с крепителем «П» (СМ)	170–220	0,5	270–280	1,5–2
жидкоподвижные самоотверждающие с жидким стеклом (ЖСС)	220	0,5	240–260	2
самоотверждающие с синтетическими смолами (ХТС)	150–200	0,5	240–260	0,5–1,5
Смесь для форм:				
СЖС	150–200	1	300–400	2–3
ФСЛ, СКЛ	350–400	1–1,5	400–450	3–8
ХРЖ	250–300	1–1,5	350–400	3–5
ЖСС	200	0,5	260–300	2–2,5

Интенсификация процесса сушки форм и стержней. Как уже

отмечалось, интенсивность сушки повышается с увеличением скорости и угла набегания потока сушильного агента. Например, замена продольного обтекания на перпендикулярное увеличивает теплообмен примерно вдвое. Однако повышение скорости движения всего газа требует увеличения расхода энергии. Отсюда становится очевидной целесообразность локальной подачи сушильного агента через специальные сопла или щели.

Второй путь интенсификации теплообмена — увеличение температуры сушильного агента t_c . Обычно считают, что повышение температуры сушильного агента до 300–600 °С не влечет за собой резкого увеличения температуры поверхности материала t_n в первый период сушки. В результате в этом периоде сушки создается значительный перепад температур между средой и поверхностью, что обеспечивает интенсивную сушку. Однако это не всегда оправдывается, так как температура поверхности материала близка к температуре мокрого термометра только в случае сушки влажных материалов. Чрезмерно большая стартовая интенсивность подвода теплоты приводит к изменению температуры поверхности материала с самого начала процесса сушки. При этом возникает значительный перепад температур внутри материала. С увеличением интенсивности сушки перепад температур $t_n - t_c$ возрастает больше, чем интенсивность сушки. Этот перепад температур препятствует движению влаги к поверхности тела и одновременно уменьшает интенсивность теплообмена вследствие уменьшения разности температур среды и поверхности ($t_c - t_n$).

Следовательно, режим сушки не должен быть постоянным на протяжении всего процесса сушки, а должен изменяться в соответствии с закономерностями переноса теплоты и влаги в данном материале. Осуществить переменные режимы можно различными способами: подавать в отдельные зоны сушки теплоносители определенных параметров, применять комбинированные методы подвода теплоты, например сочетать конвективный нагрев с инфракрасным или высокочастотным, конвективный с созданием разрежения и т.д.

Использование продуктов сгорания топлива позволяет получить хорошие теплоэнергетические показатели. Однако не надо забывать, что сушка является технологическим процессом, в котором качество сушильного материала является основным показателем. Продукты сгорания топлива надо применять для сушки материалов, которые допускают высокие начальные перепады температуры.

Интенсификация процесса сушки связана и с применением автоматики, которая может быть надежно использована на сушильных установках периодического и непрерывного действия с изменяющимся режимом сушки.

7.11.4. Влагодеренос при сушке форм и стержней

Формы и стержни являются капиллярнопористыми телами. Если вдоль капилляра (рассмотрим размер капилляров радиусом болсе 10^{-7} м) имсет место градиент общего давления dp/dx , то гидродинамическое движение газа будет носить ламинарный или турбулентный характер.

Величина потока газа в пористом теле в случае ламинарного движения определяется уравнением Лейбензона:

$$Q_2 = \frac{K}{\mu} \cdot \frac{(P_1^2 - P_2^2) \cdot F}{L} \cdot \frac{M}{2RT\rho}$$

где Q_2 – расход газа;

K/μ – газопроницаемость среды в направлении потока;

K – проницаемость среды, зависящая только от ее строения;

μ – динамическая вязкость газа;

P_1, P_2 – соответственно давление на концах столба смеси;

M, ρ – молекулярный вес и плотность газа;

F, L – сечение и высота столба смеси в направлении фильтрации.

В случае турбулентного движения газа в цилиндрическом капилляре зависимость между плотностью потока и градиентом давления описывается той же формулой, но коэффициент турбулентного молярного переноса определяется следующим образом:

$$K_m = K_n \cdot 202 Re^{-3/4},$$

где Re – число Рейнольдса.

Экспериментально установлено, что в формовочных смесях при сушке различными способами, даже в фильтрующихся потоках, движение газа описывается уравнением Лейбензона.

Из анализа приведенных уравнений видно, что коэффициент турбулентного молярного переноса будет меньше молярного переноса при ламинарном течении $K_m/K_n < 1$. Если линейный размер L принять за половину толщины слоя материала, а P_1 – давление на поверхности материала и P_2 – давление паров воды в материале по центру или по оси, то искусственное создание пониженного давления в окружающей среде всегда будет способствовать повышению плотности потока массы водяных паров в пористом теле. Размер L , характеризующий толщину слоя материала или изделия, определяет и градиент давления в теле.

Рассмотрим физическую модель односторонней сушки изделия

(формы, стержня) из формовочной смеси (рис. 7.93), которое высушивается на заданную глубину h . Смесь имеет начальную влажность W_0 . К высушиваемой поверхности подводится тепло Q .

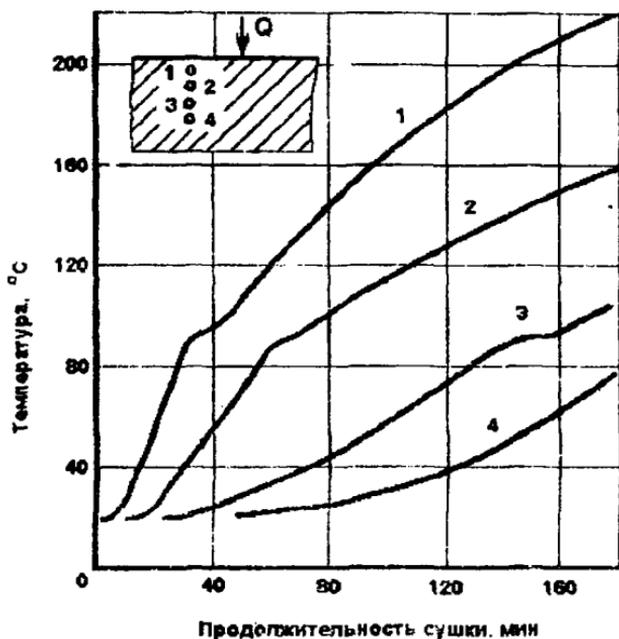


Рис. 7.93. Изменение температуры по сечению формы (стержня):
1 — глубина 10 мм; 2 — 20; 3 — 30; 4 — 40 мм [40]

Достижение температуры в смеси в точке 3 значений 100°C свидетельствует о завершении процесса сушки на заданной глубине. Сушка пористых сред сопровождается передвижением (переносом) влаги внутри смеси. Экспериментально установлено, что у формовочных смесей, влажность которых изменяется в пределах 3–8 %, перенос влаги при сушке осуществляется в виде пара, а перенос влаги в виде жидкости практически отсутствует. Важно отметить, что в результате перемещения и конденсации водяных паров в слоях, прилегающих к сухому, влажность смеси в них увеличивается на 1–2 %. Конденсация водяных паров сопровождается повышением температуры смеси, что, в свою очередь, сдерживает дальнейшую конденсацию водяных паров в этих слоях. Расчеты показывают, что при отсутствии стока тепла в нижележащие слои смеси конденсация водяных паров и повышение влажности

на 2 % сопровождается повышением температуры смеси на основе кварцевого песка на 60 %. Рассмотрим одномерную сушку форм и стержней, окрашенных противопригарной краской толщиной a (рис. 7.94). Окрашенная поверхность в подслое b , прилегающем к краске, имеет влажность 10–15 %, а влажность покрытия составляет 16–25 %. В процессе сушки, в отличие от сушки неокрашенных поверхностей, в слое покрытия в первые моменты преобладает перенос воды в виде жидкости навстречу тепловому потоку.

Экспериментально установлено, что вследствие этого в 3–5 раз уменьшается концентрация водорастворимых связующих в слоях краски, прилегающих к смеси, что сопровождается значительным снижением прочности ее сцепления со смесью и приводит к образованию дефектов в отливках типа плен и засоров.

После достижения температуры в точке 2 значения 100 °С (см. рис. 7.93) дальнейший процесс сушки и механизм переноса влаги в основном осуществляются по приведенной на рис. 7.94 схеме.

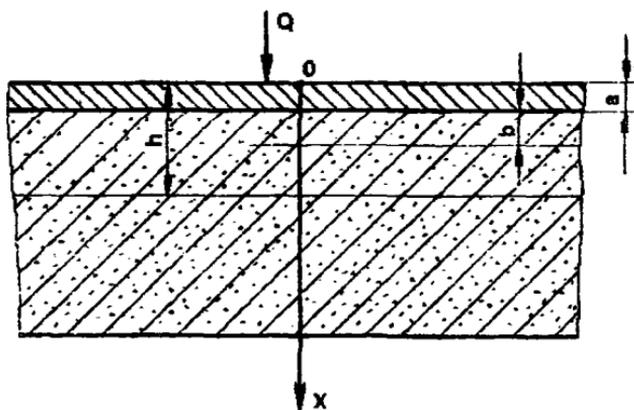


Рис. 7.94. Поперечное сечение формы (стержня) с противопригарным покрытием: h – глубина высушиваемого слоя; a – толщина слоя противопригарного покрытия; b – глубина подслоя; Q – подводимая к поверхности теплота

7.11.5. Тепловой расчет процесса сушки

Для сушки форм и стержней в литейном производстве часто применяют конвективный вид сушки. В качестве сушильного агента используют нагретый воздух, продукты горения топлива – дымовые газы или смесь нагретого воздуха с дымовыми газами. Стержни и формы сушат большей частью дымовыми газами, дерево для моделей – как правило, нагретым воздухом

Тепловой расчет процесса сушки при заданном температурном режиме сводится к определению расхода сушильного агента и расхода теплоты на сушку данного материала.

С одной стороны, в процессе сушки воздух омывает влажный материал, передает ему теплоту и насыщается влагой. Таким образом, температура воздуха снижается, а влажность увеличивается. С другой стороны, влажность материала уменьшается, а его сухая масса остается постоянной. Воздух, применяемый для сушки, по сути представляет собой смесь воздуха и паров воды. Влажность воздуха характеризуется содержанием в нем паров воды. Различают абсолютную влажность, относительную влажность и влагосодержание воздуха.

Абсолютная влажность воздуха характеризуется массой водяного пара, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха ($\text{кг}/\text{м}^3$). Абсолютная влажность насыщенного воздуха зависит от температуры. Температура, при которой наступает полное насыщение воздуха парами воды, называется *точкой росы*.

Относительная влажность воздуха - это отношение массы водяного пара, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха, к массе водяного пара, соответствующей полному насыщению влажного воздуха при той же температуре. Относительная влажность (φ , %) воздуха выражает степень насыщения его парами воды.

Относительная влажность может быть также определена отношением действительного парциального давления водяных паров во влажном воздухе $p_{\text{пар}}$ к парциальному давлению водяных паров в насыщенном парами воздухе $p_{\text{нас}}$ при той же температуре:

$$\varphi = \frac{p_{\text{пар}}}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\%.$$

Влагосодержание влажного воздуха характеризуется обычно массой водяного пара $m_{\text{пар}}$ (кг), содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха (смеси сухого воздуха и пара), отнесенного к массе 1 м^3 сухого воздуха $m_{\text{в.с}}$ (кг). Влагосодержание, как правило, обычно обозначается буквой d и выражается в $\text{кг вл}/\text{кг в.с}$:

$$d = \frac{m_{\text{пар}}}{m_{\text{в.с}}}.$$

Влагосодержание влажного воздуха зависит от парциального давления водяного пара, содержащегося в нем, и не зависит от температуры:

$$d = 0,622 \cdot \frac{P_{\text{пар}}}{B - P_{\text{пар}}},$$

где B — барометрическое давление, кПа.

В расчетах принимают $B=98,1$ кПа, как постоянную величину для средней полосы России. Из формулы

$$P_{\text{пар}} = \varphi \cdot P_{\text{нас}}; \text{ тогда } d = 0,00622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_{\text{нас}}}{98,1 - 0,01 \cdot P_{\text{пар}}}.$$

Зная количество влаги, которое нужно испарить из материала формы или стержня за 1 с ($m_{\text{вл}}$, кг/с), а также начальное и конечное влажностное содержание воздуха $d^{\text{н}}$ и $d^{\text{к}}$, можно определить количество воздуха $m_{\text{в}}$, необходимое для сушки (кг д/с):

$$m_{\text{в}} = \frac{m_{\text{вл}}}{d^{\text{к}} - d^{\text{н}}}.$$

Количество влаги, которое необходимо удалить из материала в процессе сушки, зависит от его начальной и конечной влажности. Количество влаги, удаляемое из материала, определяется по одной из двух приведенных ниже формул, применяемых в зависимости от наличия исходных данных (кг/с):

$$m_{\text{вл}} = m_{\text{м}}^{\text{н}} \cdot \frac{W^{\text{к}} - W^{\text{н}}}{100 - W^{\text{н}}}; \quad m_{\text{вл}} = m_{\text{м}}^{\text{к}} \cdot \frac{W^{\text{к}} - W^{\text{н}}}{100 - W^{\text{н}}};$$

где $m_{\text{м}}^{\text{н}}$, $m_{\text{м}}^{\text{к}}$ — часовые производительности сушила по материалу до и после сушки;

$W^{\text{н}}$, $W^{\text{к}}$ — относительная влажность материала до и после сушки.

Относительная влажность материала представляет собой отношение массы влаги, содержащейся в материале, к массе влажного материала:

$$W = \frac{m_{\text{вл}}}{m_{\text{м}}^{\text{н}}} \cdot 100 \%$$

Отношение массы влаги, содержащейся в материале, к массе абсолютно сухого материала $m_{\text{абс.с}}$ означает абсолютную влажность материала:

$$W_{\text{абс.с}} = \frac{m_{\text{в.л.}}}{m_{\text{абс.с}}} \cdot 100\%.$$

Пересчитать одну влажность материала на другую можно по формуле

$$W = \frac{W_{\text{абс.с}}}{100 + W_{\text{абс.с}}} \cdot 100\%.$$

В тепловых расчетах сушил в качестве одного из основных параметров используют удельное количество теплоты влажного воздуха, относящееся к 1 кг абсолютно сухого воздуха (кДж/кг с.в.):

$$i_{\text{в.л.}} = 1,005 \cdot t + d(2490 + 1,97 \cdot t).$$

Первое слагаемое выражения представляет собой удельное количество теплоты сухого воздуха, а второе – теплоты водяного пара, содержащегося во влажном воздухе. Удельное количество теплоты влажного воздуха зависит от его температуры и влагосодержания.

Расчет процесса сушки аналитическим путем труден и громоздок, поэтому широко используют графический метод расчета с помощью специальной i - d -диаграммы. Диаграмма, построенная для влажного воздуха, может быть использована и для расчета сушки продуктами горения, разбавленными воздухом.

На рис. 7.95 приведена i - d -диаграмма для влажного воздуха, причем все величины относятся к 1 кг содержащегося в нем сухого воздуха. На оси абсцисс диаграммы отложено влагосодержание, а на оси ординат удельное количество теплоты воздуха. Диаграмма построена для барометрического давления 98,1 кПа. Видно, что линии постоянного влагосодержания d расположены по вертикали, а линии постоянного удельного количества теплоты i – под углом 135° к вертикали. Пучок кривых представляет собой линии одинаковых значений относительной влажности φ . Линии одинаковых температур направлены под углом менее 90° к вертикали. Линия насыщения $\varphi=100\%$ разделяет диаграмму на верхнюю область влажного ненасыщенного воздуха и нижнюю область перенасыщенного воздуха, в котором влага может находиться в капельном состоянии. Одновременно с этим линия $\varphi=100\%$ показывает мак-

симальное насыщение воздуха влагой при данной температуре. Таким образом, на диаграмме нанесены линии параметров влажного воздуха: i , d , φ и t . Для определения параметров сушильного агента по i - d -диаграмме должны быть заданы два из них, остальные определяют по диаграмме.

Расчет процесса сушки по i - d -диаграмме. При расчете сушки воздухом задаются параметры воздуха: температура t_a и относительная влажность φ . По ним находят на диаграмме исходную точку A (рис. 7.96). Влагосодержание и удельное количество теплоты воздуха в точке A соответственно равны d_1 и i_a . В сушило воздух подают подогретым до температуры t_n .

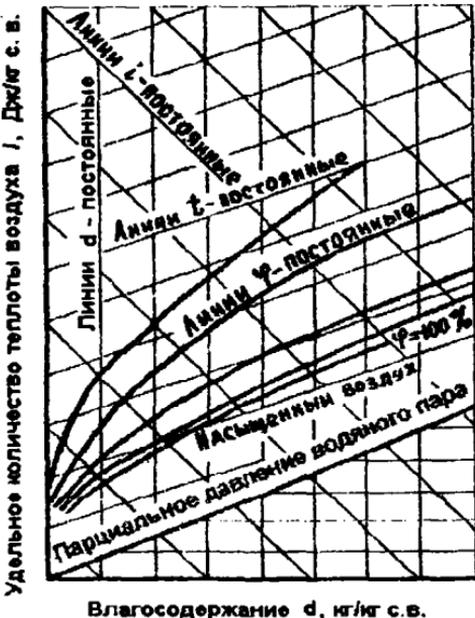


Рис. 7.95. Диаграмма i - d

Процесс нагрева воздуха от t_a до t_n на диаграмме изображается линией AB . Подогретый до t_n воздух в точке B имеет параметры d_n , $0,7\varphi_n i_n$. Причем $d_1 = d_n$, т.е. влагосодержание воздуха при нагреве не изменяется. Различают действительный процесс сушки и его теоретический (идеальный) вариант. При действительном процессе сушки теплота воздуха, подаваемого в сушило, расходуется на испарение влаги материала, на нагрев материала, тары, транспортных механизмов и восполнение потерь теплоты в окружающую среду. При теоретическом варианте сушки считается, что теплота воздуха расходуется только на испарение влаги материала.

Для простоты рассмотрим сначала теоретический вариант процесса сушки. В данном идеальном варианте процесса температура воздуха, подаваемого в сушило, снижается, влажность возрастает. Однако удельное количество теплоты воздуха остается постоянным. Это объясняется тем, что теплота, затраченная на испарение влаги материала, возвращается воздуху водяными парами, обладающими скрытой теплотой парообразования. Поэтому теоретический вариант процесса сушки на

диаграмме $i-d$ изображается прямой (см. рис. 7.96), направленной по линии $i = \text{const}$. Конечные параметры теоретического процесса сушки в точке C будут t_x и d_2 . Расход воздуха (кг с.в/с) при идеальном варианте процесса рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{в теор}} = \frac{m_{\text{ал}}}{d_2 - d_n}$$

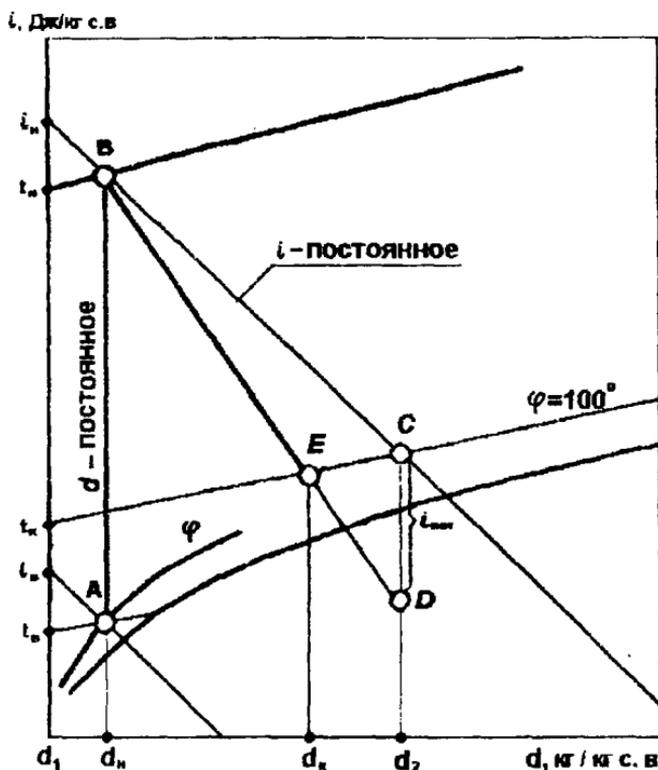


Рис. 7.96. Схема для расчета процесса сушки форм и стержней воздухом по диаграмме $i-d$

В действительности при процессе сушки часть теплоты, вносимой воздухом, необратимо теряется, вследствие чего процесс идет с уменьшением удельного количества теплоты воздуха. Для того чтобы определить изменение удельного количества теплоты воздуха, необхо-

можно вычислить количество теплоты $Q_{пот}$, затраченное на прогрев материала, тары и т.д. После определения $Q_{пот}$ находим потери удельного количества теплоты воздуха (Дж/кг в.с):

$$i_{пот} = \frac{Q_{пот}}{m_{в.теор}}$$

Значение $i_{пот}$ откладываем вниз от точки C и таким образом получаем точку D . Действительный процесс сушки идет по линии BD . Закачивается действительный процесс сушки в точке E , которая соответствует t_k (или ϕ_k). Отрезок BE отражает действительный процесс сушки, а точка E соответствует конечным параметрам воздуха d_k . Расход воздуха на действительный процесс сушки (кг в.с/с) рассчитывается по формуле:

$$m_a = \frac{m_{вл}}{d_k - d_n}$$

Для перевода массы воздуха в объемное количество V_a можно воспользоваться соотношением

$$V_a = V \cdot m_a,$$

где V – объем влажного воздуха, приходящийся на 1 кг сухого воздуха.

Потери теплоты в сушилах $Q_{пот}$ определяют по формулам, которые приведены в расчетах теплового баланса печей. Для сушила непрерывного действия тепловые потери (Вт) определяются следующим образом

$$Q_{пот} = Q_m + Q_{тр} + Q_{окр} + Q_{ух} + Q_{непл},$$

где Q_m – расход теплоты на нагрев материала;

$Q_{тр}$ – расход теплоты на нагрев транспортных устройств;

$Q_{окр}$ – потери теплоты через стенки сушила в окружающую среду;

$Q_{ух}$ – потери теплоты с уходящими газами;

$Q_{непл}$ – потери теплоты через неплотности сушила.

Расчет процесса сушки продуктами горения по i - d -диаграмме.
Процесс сушки продуктами горения изображается на i - d -диаграмме

аналогично процессу сушки воздухом, за исключением того что вместо подогрева наружного воздуха в этом случае предусматривается смешение продуктов горения и воздуха с целью получения требуемой начальной температуры смеси t_n .

Если известны параметры смеси продуктов горения с воздухом i_n или d_n при выбранной температуре t_n , то процесс сушки соответствует теоретическому варианту процесса, идущего от точки В (рис. 7.97).

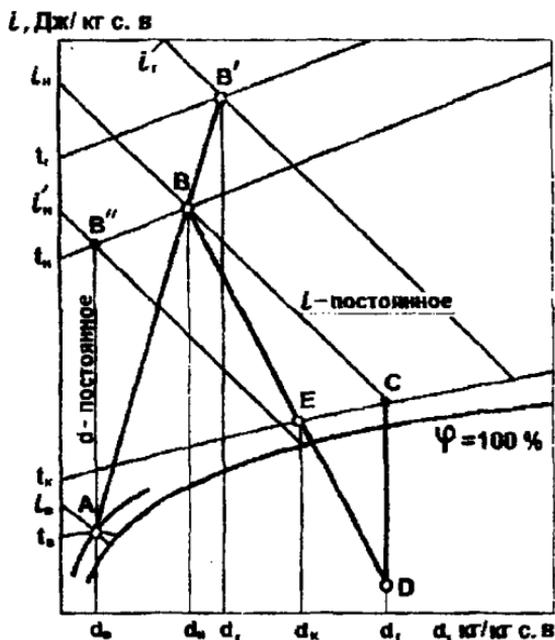


Рис. 7.97. Схема для расчета процесса сушки форм и стержней продуктами горения по диаграмме $i-d$

Если известна только начальная температура смеси t_n , то задаются параметры продуктов горения (t_2 , d_2 или i_2) и воздуха (t_0 , d_0 или i_0), подлежащих смешению, после чего по параметрам продуктов горения и воздуха соответственно находятся точки В' и А. Линия АВ' представляет собой линию смешения продуктов горения и воздуха. При этом точка В находится на пересечении линии АВ с линией температуры t_n . Температура смеси продуктов горения и воздуха на входе в сушило t_n зависит от технологии сушки и составляет для стержней 170–300 °С, для форм 200–600 °С.

После нахождения точки B дальнейший процесс сушки строят аналогично процессу сушки воздухом, определяя t_x и d_x . Количество смеси продуктов горения и воздуха, поступающей в сушило (кг см/с), определяют по формуле:

$$m_{см} = \frac{m_{ал}}{d_x - d_n}.$$

Точка B соответствует удельному количеству теплоты смеси с учетом удельного количества теплоты паров воды, содержащихся в продуктах горения. Расход топлива при этом подсчитывают по высшей теплоте сгорания Q_a . Для расчета расхода топлива по низшей теплоте сгорания вместо теплосодержания удельного количества теплоты i_n , соответствующего точке B , принимают удельное количество теплоты i'_n , соответствующее точке B'' ; i'_n равно удельному количеству теплоты смеси без учета удельного количества теплоты водяных паров, содержащихся в смеси. Расход теплоты на сушку определяют по формуле:

$$Q = m_{см} (i'_n - i_a) - 4,187 m_{ал} \cdot t_m.$$

Расход топлива при низшей теплоте сгорания Q_n^p (кг/с или м³/с) вычисляют как

$$B = \frac{Q}{Q_n^p}.$$

Контрольные вопросы

1. Что такое формовка? Какие операции она в себя включает?
2. Каковы требования предъявляются к литейной форме?
3. Назовите основные способы уплотнения формовочных смесей?
4. В каких случаях применяют формовку в почве? Чем определяется выбор формовки по мягкой или твердой постели?
5. В каких случаях применяют формовку с подрезкой? В чем заключается смысл подрезки?
6. В чем смысл использования фальшивой опоки?
7. В каких случаях используют отъемные части модели?
8. В чем заключаются преимущества и недостатки формовки по шаблонам?
9. Назовите особенности формовки по газифицируемым моделям?
10. Назовите преимущества и недостатки вакуумно-пленочной формовки?
11. От каких параметров зависит высота наполнительной рамки при уплотнении формы прессованием?
12. В чем заключается отличие верхнего прессования от нижнего?
13. Для чего выполняют профилирование смеси перед прессованием?
14. Чем отличаются процессы прессования активной и пассивной диафрагменными головками?
15. Поясните принцип прессования литейной формы решеткой.
16. В каких случаях выгодно использовать прессование прессующими вальцами?
17. Чем отличается прессование лопастной головкой от других методов прессования?
18. Поясните суть определения текучести смеси по технологической пробе Г. М. Орлова.
19. Назовите динамические методы уплотнения форм и стержней.
20. Назовите параметры, влияющие на уплотнение форм встряхиванием.
21. Изобразите вид кривой распределения степени уплотнения по высоте формы при встряхивании. Как изменится вид этой кривой при динамической подпрессовке?
22. Объясните принцип действия установки гравитационного уплотнения смеси.
23. Назовите особенности вибропрессового и прессово-ударного уплотнения форм.

24. Объясните принцип скоростного прессования и назовите его преимущества.

25. Охарактеризуйте преимущества и недостатки импульсного уплотнения форм.

26. Назовите основные факторы уплотняющего действия на формовочную и стержневую смесь при пескодувном и пескострельном процессах.

27. Объясните принципы уплотнения смеси обычным и ширококовшовым пескометами.

28. Назовите основные принципы, на которых основаны автоматические регуляторы уплотнения смеси.

29. Охарактеризуйте основные способы извлечения моделей из полужорм.

30. Назовите основные технологические операции при изготовлении стержней.

31. Охарактеризуйте основные способы уплотнения стержней.

32. Назовите преимущества и недостатки производства стержней в нагреваемой оснастке.

33. Что представляет собой шлакированная смесь? Где она применяется?

34. Расскажите об изготовлении оболочковых стержней бункерным способом.

35. Какой способ изготовления оболочковых стержней более предпочтителен: бункерный, пескодувный или центробежный?

36. Что называется модулем жидкого стекла? Каким образом можно изменить модуль жидкого стекла?

37. Охарактеризуйте преимущества и недостатки жидких самотвердеющих смесей. Назовите основные компоненты ЖСС.

38. Назовите основные технологические операции изготовления стержней из ЖСС.

39. Каковы особенности технологии изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей? Что понимают под живучестью смеси?

40. В чем заключаются конструктивные особенности модельных плит для машинной формовки и автоматических литейных линий?

41. Что входит в состав модельного комплекта? Какие требования предъявляются к материалам для изготовления модельного комплекта? Назовите основные технологические приемы изготовления деревянных модельных комплектов.

42. Какие физические процессы наблюдаются при сушке форм и стержней? Назовите виды сушки по способу передачи теплоты.

43. Назовите факторы, влияющие на режим сушки форм и стержней. Каковы пути интенсификации теплообмена при сушке форм и стержней?

Глава 8. ОХЛАЖДЕНИЕ ОТЛИВОК. ФИНИШНЫЕ ОПЕРАЦИИ

После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливки особенно велика.

На воздухе отливки охлаждаются быстрее, чем в форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается, и уровень внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений.

Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. Поэтому выбивку стремятся производить при максимально допустимой высокой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции (сложности) отливки. Стальные отливки рекомендуют охлаждать в форме до 500–700 °С, чугуны – до 400–500 °С. Сложные отливки, склонные к образованию трещин, охлаждают в форме до 200–300 °С, а отливки, не склонные к образованию трещин, – до 800–900 °С. Температура выбивки отливок из бронз составляет 300–500 °С, из алюминисвых и магниевых сплавов соответственно 200–300 и 100–150 °С.

8.1. Расчет продолжительности охлаждения отливок. Методы интенсификации охлаждения отливок

Продолжительность охлаждения отливок в форме определяется толщиной их стенок, свойствами залитого сплава и литейной формы, температурой выбивки [48]. В зависимости от природы сплава и конструкции отливки время выдержки в песчаной форме составляет от нескольких минут до суток и даже недель. Продолжительность охлажде-

ния может быть определена экспериментально и рассчитана по формуле. На основе анализа температурного поля в форме, определяемого количеством теплоты, аккумулированным ею при охлаждении отливки, Г. Ф. Баладин предложил уравнение для расчета времени охлаждения $\tau_{охл}$ отливки в форме до любой температуры:

$$\tau_{охл} = 2 \left(\frac{c_0 \cdot \rho_0 \cdot R}{\sqrt{\frac{2n}{(n+1)} \cdot b_\phi}} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{\theta - 1} \right) (1 + D) + \ln \theta \right];$$

$$\theta = \frac{t_s - t_\phi}{t_n - t_\phi}; \quad D = \left[\frac{c_{ж} \cdot \rho_{ж}}{c_m \cdot \rho_m} \left(\frac{t_{зал} - t_\phi}{t_n - t_\phi} - 1 \right) + \frac{L}{c_0 (t_n - t_\phi)} \right],$$

где n – показатель степенной функции, аппроксимирующей распределение

температуры по толщине формы в период охлаждения затвердевшей отливки ($n=1,5 \div 3$);

t_s – температура сплава при выбивке отливки.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок иногда используют методы принудительного охлаждения. Например, формы, залитые на конвейере, охлаждают обдувкой их воздухом в охлаждающих галереях. Остывание крупных отливок интенсифицируют установкой в форму змеевиков или труб, по которым пропускают воздух или воду. В некоторых случаях воздух (газ) пропускают через зазор между отливкой и формой.

Средняя скорость охлаждения отливок в формах колеблется от 2 до 150 °С/мин. Скорость охлаждения выбирают с учетом толщины стенок отливки и прочностных свойств сплава. При большой разнице скоростей охлаждения отдельных частей отливки возникают большие термические напряжения, которые могут привести к короблению отливок или появлению в них трещин. При принудительном охлаждении отливок возможно не только сокращение продолжительности выдержки их в форме, но и выравнивание скоростей охлаждения тонких и массивных узлов, а также снижение термических напряжений.

Во многих случаях применяют высокотемпературную выбивку с

последующим более медленным, чем на воздухе, охлаждением отливок, например в колодцах, коробах, вместе с комом смеси и т.д.

Для уменьшения напряжений в отливке, а также стабилизации структуры выбирают определенное время охлаждения отливок, о чем указывается в цеховой карте технологического процесса изготовления отливок.

При отсутствии проверенных режимов охлаждения рекомендуется пользоваться укрупненными данными. В табл. 8.1 представлены нормы выдержки отливок в формах после заливки из углеродистой стали. Аналогичные нормы имеются и для других сплавов.

Таблица 8.1

Нормы выдержки отливок из углеродистой стали в формах после заливки
(при естественном охлаждении)

Размер опок в свету, мм	Максимальная масса отливок в форме, кг	Температура выливки отливок из форм, °С	Толщина стенки отливки, мм		
			до 20	до 30	до 50
			Время охлаждения отливки в форме, ч		
500x400 (без опок)	До 10	700-600	0,17-0,27	0,35-0,50	0,45-0,70
500x400	До 20	700-600	0,23-0,35	0,42-0,63	0,57-0,85
800x700	100	700-600	0,50-0,75	0,95-1,40	1,2-1,8
1000x800	150	700-600	0,65-0,90	1,2-1,8	1,4-2,25
1200x1000	250	650-550	1,0-1,6	1,9-2,9	2,4-3,7
1400x1000	500	650-550	1,4-2,2	2,4-4,0	3,4-5,3
1600x1200	1000	600-550	-	4,6-6,0	6,2-7,5
2000x1600	1000	600-550	-	4,6-6,0	6,2-7,5
2500x1600	1500	600-550	-	5,4-7,0	7,2-8,8
2500x2000	2000	550-500	-	8,0-11,0	10-13

8.2. Выбивка отливок из форм

Обычно эту операцию выполняют на механических выбивных решетках, которые по принципу действия классифицируют на эксцентриковые (рис. 8.1, а) с приводом от механизма шатунно-кривошипного типа, инерционные (рис. 8.1, б) с приводом от вала с дебалансом и ударные инерционные (рис. 8.1, в), наносящие снизу удары по установленным неподвижно литейным формам. Решетка 1 с литейной формой 4 с помощью привода 3 и опорной пружины 2 совершает колебательное движение. В каждом цикле колебаний решетки форма подбрасывается

вверх и затем, падая, ударяется о решетку или опорную раму. В момент соударения под действием сил инерции форма разрушается. Выбитая из опоки формовочная смесь проваливается через решетку и системой конвейеров передается к месту ее переработки для повторного использования.

По сравнению с эксцентриковыми решетками инерционные имеют следующие преимущества:

- изменяя величину дебаланса на инерционной решетке, можно легко изменять удельную энергию удара, что дает возможность установить его необходимос значение в зависимости от показателей выбиваемой формы (типа смеси, твердости и плотности формы, степеней ее предварительной подсушки);

- инерционные решетки можно устанавливать на более легком фундаменте, так как пружинная подвеска передает на него возникающие при выбивке усилия и вибрацию ослабленными.

При выбивке крупных и тяжелых форм применяют установки, состоящие из нескольких выбивных решеток. Эти установки позволяют

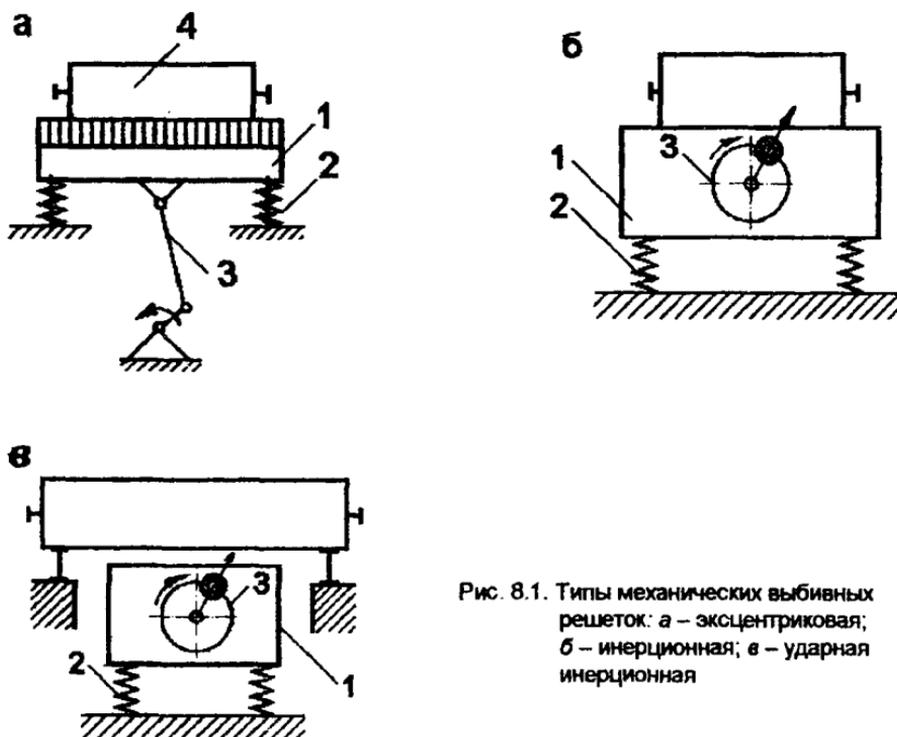


Рис. 8.1. Типы механических выбивных решеток: а – эксцентриковая; б – инерционная; в – ударная инерционная

более рационально использовать энергию, так как для выбивки форм малой массы можно включать в работу часть решеток, составляющих установку.

С целью освобождения рабочих от непосредственного участия в тяжелом и трудоемком процессе выбивки и вывода оператора из зоны повышенной запыленности используют автоматические установки для выбивки форм. В зависимости от способа формовки (безопочная, опочная, без крестовин в нижней опоке, опочная с крестовинами в нижней опоке) выбирают типы выбивных установок.

Наиболее легко поддается автоматизации выбивка из безопочных форм, так как при этом не требуется удалять смесь и отливки из опок, а необходимо лишь обеспечить сброс форм с литейного конвейера на выбивное устройство, где происходит их разрушение и отделение отливок от смеси. В качестве устройства для сброса форм применяют установки с отклоняющей шиной, с наклонной платформой и др.

В установках с отклоняющей шиной платформы конвейера имеют особые откидные шиты на шарнирах, которые с помощью роликов и отклоняющей шины принимают на месте выбивки наклонное положение, поворачиваются под углом 45° к горизонту. При этом формы соскальзывают на выбивающее устройство. Недостаток таких установок заключается в усложнении конструкции тележек конвейера.

В установках с наклонной платформой на позиции выбивки вся тележка конвейера наезжает на платформу, которая наклоняется и сбрасывает форму на расположенный ниже вибрационный конвейер, где и происходит отделение отливок от смеси.

Для выбивки безопочных форм широко применяют барабаны. Такой барабан представляет собой цилиндрическое сито, изготовленное из листового железа. Внутри барабана по винтовой линии закрепляется металлическая полоса, служащая для перемещения форм и отливок вдоль оси барабана. Цилиндрическое сито установлено на катках, которые приводятся в движение с помощью электродвигателя через редуктор. Безопочные формы после охлаждения сталкиваются с конвейера через воронку вовнутрь барабана и разрушаются в процессе его вращения. Смесь проваливается через отверстия в стенке барабана на ленточный конвейер, а отливки выходят из него и подаются далее в очистное отделение. Угол наклона барабана регулируется с помощью винтового устройства в зависимости от необходимой скорости прохождения отливок внутри барабана, которая определяет его производительность. Барабан закрыт герметично кожухом, подключенным к цеховой системе пылеотсоса.

Для выбивки форм без крестовин в нижней опоке наиболее рас-

пространены установки, работающие на провал. При этом способе форма устанавливается на вибрирующую раму, расположенную над выбивной решеткой. Опoka опирается на раму краями, отработанная смесь вместе с отливкой сквозь проем рамы проваливается на решетку, где и происходит их разделение. Для предохранения опок от разрушающего воздействия вибрирующей рамы на ряде установок применены прошивные механизмы, выдавливающие ком (отливку со смесью) из опоки на разделительную решетку.

При наличии крестовин в нижней опоке выбивка на провал без распаровки невозможна, так как крестовины не позволяют удалить отливку вместе с формовочной смесью. В этом случае применяют установки для автоматизированной выбивки форм трех типов:

- с отдельной выбивкой верхней и нижней опок с предварительной распаровкой и извлечением отливки до выбивки;
- отдельной выбивкой верхней и нижней опок с предварительной распаровкой и извлечением отливки после выбивки;
- с выбивкой спаренных форм с последующей распаровкой и извлечением отливки.

Выбивка форм сопровождается выделением большого количества теплоты и пыли, поэтому участки выбивки форм оснащают мощными системами вытяжной вентиляции, а выбивные решетки большой грузоподъемности (выше 10 т) имеют пыле- и звукоизолирующие накатные кожухи.

8.3. Технологический процесс очистки отливок

Отливки поступают в очистное отделение литейного цеха для очистки, обрубки и отделки. Эти операции выполняют в определенной технологической последовательности, зависящей от особенностей отливок (химического состава, массы, толщины стенок, свойств металла и требований к отливкам). Перед очисткой отливки предварительно осматривают. Отливки с явным браком (недолив формы, обвал формы, сплан и др.) откладывают, и они на очистку не поступают.

Технологический процесс очистки отливок включает в себя следующие операции: удаление стержней из отливок; отделение литников, выпоров и прибылей, очистку от приставшей формовочной смеси; удаление заусенцев и окалины после термической обработки и их окраши-

ваие (если эти операции предусмотрены технологией); окончательный контроль качества отливок после очистки и обрубки.

8.3.1. Удаление стержней

Удаление стержней из отливок является трудоемкой операцией. Трудоемкость выбивки стержней из отливок зависит от вторичной прочности стержневой смеси, конфигурации полости отливки, напряженного состояния стержня в отливке. Стержни, изготовленные из смесей на органических связующих (маслах и их заменителях, синтетических смолах), обладают низкой вторичной прочностью, хорошей выбиваемостью. Поэтому во многих случаях стержни, особенно простые, выбивают из отливок в процессе отделения отливки от формовочной смеси на выбивной решетке, или при очистке отливок в дробеметных установках. Однако достаточно крупные стержни даже из смесей на синтетических смолах выбивают на выбивных установках.

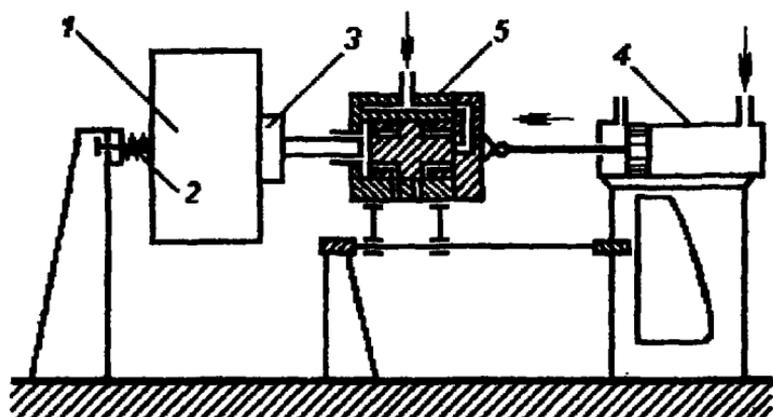


Рис. 8.2. Схема вибрационной установки для выбивки стержней:
1 - отливка; 2 - пружинный упор; 3 - боек-зажим вибратора;
4 - пневмоцилиндр; 5 - вибратор

Стержни из жидкостекольных смесей, ЖСС, ПСС, песчано-глинистых смесей обладают худшей выбиваемостью, чем стержни с органическими связующими.

Для выбивки стержней из мелких и средних отливок в условиях массового и крупносерийного производства используют пневматические

вибрационные установки. Установка представляет собой раму, на которой установлены передняя и задняя бабки (рис. 8.2). Задняя бабка имеет пружинный упор 2, передняя имеет направляющие, на которых установлен подвижный вибратор 5, оканчивающийся бойком-зажимом 3. Перемещение вибратора по направляющим и зажим отливки между передней и задней бабками обеспечиваются пневмоцилиндром. Для выбивки стержня отливку устанавливают на станину или подвешивают на талях и зажимают между бабками. Плунжер вибратора сотрясает отливку, вследствие чего стержень разрушается.

Однако стержни из песчано-глинистых, жидкостекольных смесей, ЖСС и ПСС плохо выбиваются на таких установках, поэтому часто, особенно при изготовлении крупных отливок массой не менее 400 кг, применяют гидравлические камеры, в которых стержни из отливок удаляются вследствие их разрушения струей воды и вымывания из отливки.

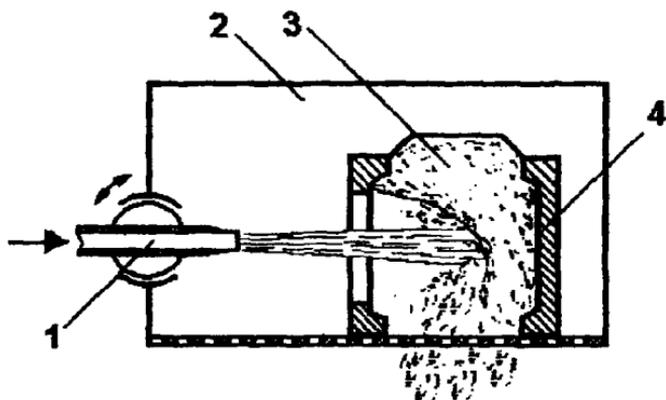


Рис. 8.3. Схема удаления стержня из отливки в гидравлической камере: 1 – гидромонитор; 2 – гидрокamera; 3 – стержень; 4 – отливка

Схема удаления стержня из отливки приведена на рис.8.3. Одновременно происходит очистка поверхности отливки. В зависимости от максимального давления воды все гидравлические очистные установки делят на три класса: низкого давления ($5 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па), высокого ($10 \cdot 10^5 - 20 \cdot 10^5$ Па) и сверхвысокого (свыше $20 \cdot 10^5$ Па). При этом установки высокого и сверхвысокого давления могут быть дополнительно оборудованы насосной станцией низкого давления, используемой для вымывания и гидротранспортирования разрушенных стержней. По сравнению с выбивкой стержней сухим способом при гидравлической выбивке стержней полностью отсутствует пылеобразование.

ней полностью отсутствует пылеобразование, сохраняются для повторного использования стержневые каркасы и значительно ускоряется процесс удаления стержней. Однако процесс применим только для достаточно крупных и сложных отливок, имеющих большой объем или сложную форму стержней.

Струя воды оказывает на стержень двойное действие: размывающее, при котором вместе с водой удаляется стержневая масса, и разрезающее, при котором струя разрезает стержень на части и уносит их из отливки. Размывающее действие струи тем больше, чем больше расход воды. Разрезающее действие тем больше, чем больше скорость струи, зависящая от давления воды. Для оптимального действия струи необходимо сочетать размывающее действие с разрезающим таким образом, чтобы за минимальное время удалить стержень. Поэтому основным условием производительного и экономичного действия установки является правильный выбор давления воды и диаметра сопла гидромонитора.

Опытным путем установлено, что чем больше прочность материала стержня в момент выбивки, тем большее значение имеет разрезающее действие струи. Давление воды при этом должно быть выбрано больше, а диаметр сопла при ограниченной мощности насоса может быть соответственно меньше.

Гидромонитор делают в виде трубы длиной 1–4 м (рис. 8.4). По практическим данным диаметр трубы в установках высокого давления

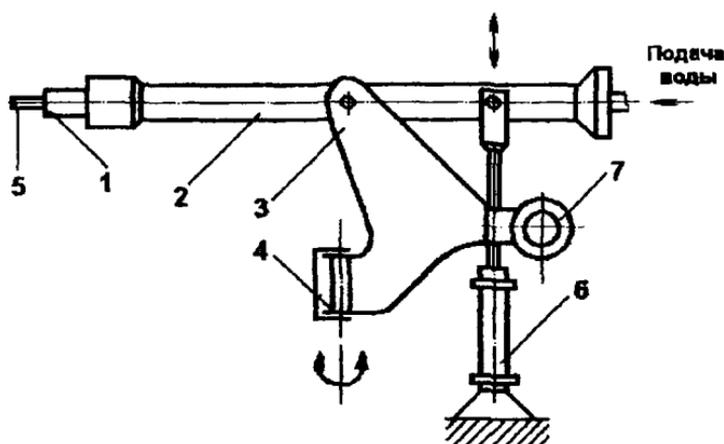


Рис. 8.4. Схема устройства гидромонитора: 1, 2 – телескопически соединенные стволы; 3 – кронштейн; 4 – ось кронштейна; 5 – насадок монитора; 6 – гидроцилиндр перемещения по вертикали; 7 – гидроцилиндр перемещения по горизонтали

принимают из расчета, чтобы отношение ее сечения к проходному сечению сопла было равно 5–5,5. Обычно гидромониторы таких установок делают диаметром до 25 мм, а установок низкого давления – до 40–50 мм и более. Гидромонитор рекомендуется устанавливать так, чтобы его наконечник находился от выбиваемого стержня на расстоянии 100–150 мм.

Еще больший эффект даст пескогидравлическая обработка отливок. Разрушающая сила струи воды с песком гораздо больше, чем разрушающая сила струи воды без песка. С помощью песчано-водяной струи можно не только выбивать стержни, но и очищать поверхность отливок.

Пескогидромонитор представляет собой струйный аппарат, работающий по принципу гидравлического эжектора (рис. 8.5). По стволу монитора через выходной насадок, или сопло, подается вода под высоким давлением (7,5–15 МПа). Струя воды, выходящая с большой скоростью из сопла, засасывает пульпу, т. е. смесь песка и воды, в смешательную камеру или в конический выходной насадок, из отверстия которого

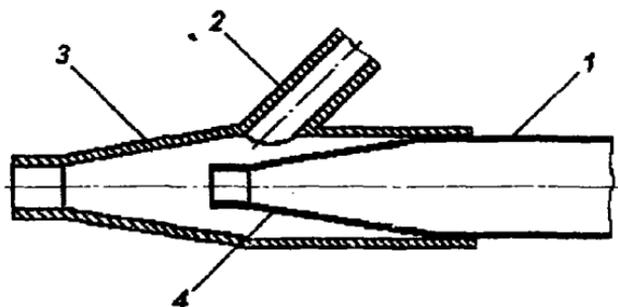


Рис. 8.5. Схема пескогидромонитора: 1 – ствол; 2 – патрубок для пульпы; 3 – выходной насадок; 4 – входной насадок

уже выходит рабочая песчано-водяная струя. На входе в пескогидромонитор консистенция пульпы включает в себя 50 % песка и 50 % воды (по объему). Выходящая рабочая струя при этом содержит около 15 % песка.

Электрогидравлический способ выбивки стержней и очистки отливок заключается в использовании электрогидравлического эффекта, возникающего при высоковольтном разряде в воде между специальным

электродом и поверхностью отливки (рис. 8.6). При электрическом искровом пробое жидкости в ней возникают ударные волны и перемещения, вызывающие интенсивную вибрацию отливок в очень широком диапазоне частот. Из-за различия модулей упругости и частоты собственных колебаний отливок и стержневых смесей на границе раздела металл – стержневая смесь возникают растягивающие напряжения, приводящие к разрушению стержня. Интенсивные перемещения жидкости в зоне разряда и вибрация отливок обеспечивают эффективное удаление остатков разрушенных стержней из отливок. Кроме того, разрушается смесь, пригоревшая к отливке.

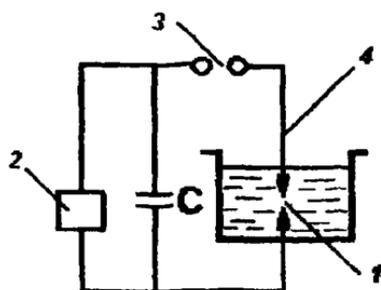


Рис. 8.6. Принципиальная электрическая схема электрогидравлической установки для выбивки стержней из отливок: 1 – рабочий промежуток; 2 – выпрямитель-трансформатор; 3 – формирующий промежуток; 4 – электрод

Электрогидравлические установки используют для выбивки стержней из стальных, чугунных отливок, отливок из цветных сплавов. Эти установки могут быть использованы в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. Наиболее целесообразно их применение для выбивки стержней из крупных и средних отливок.

Преимущества этого способа выбивки:

- обеспечиваются высокая производительность и эффективность;
- исключается тяжелый ручной труд;
- снижается запыленность воздуха в литейных цехах.

8.3.2. Удаление литников и прибылей

Литники от отливок отделяют резкой ножовочными полотнами, на круглопильных или ленточных станках, обрубкой на прессах. Для отрезки прибылей от мелких стальных и чугунных отливок используют ножовочные станки, ленточные пилы и дисковые станки.

Отрезка на дисковых станках происходит следующим образом. Быстровращающийся тонкий диск давит на разрезаемый металл, при

этом выделяется большое количество теплоты, и нагретый до высокой температуры металл становится пластичным и прорезается диском. Диск охлаждается водой. В массовом и крупносерийном производстве для отделения литников от мелких отливок применяют различные прессы: гидравлические, кривошипные, фрикционные и др. При рабочем ходе прессы пуансон срезает питатели, и отливки отделяются от стояка. Для отрезки остатков литников от отливок из ковкого чугуна после отжига служат гидравлические и фрикционные прессы.

Анодно-механическую резку применяют для отрезки прибылей и литников от мелких и средних отливок из высоколегированных сталей. Отливку и инструмент включают в цепь постоянного тока и соединяют отливку с анодом, а инструмент с катодом. В зону резания подается водный раствор жидкого стекла плотностью 1,27–1,30 г/см³.

Инструмент в виде диска или замкнутой ленты имеет рабочее движение и движение подачи. При определенном зазоре между поверхностями отливки и инструмента цепь постоянного тока замыкается через выступы поверхности, и начинается процесс резки. В местах контакта микровыступы инструмента и отливки оплавляются, и продукты оплавления в виде мелких шариков выносятся из зоны резания движущегося инструмента. Преимущества анодной механической резки: малая ширина реза, ровная поверхность, малые отходы и достаточно высокая производительность.

Для отрезки прибылей и литников от мелких и средних отливок абразивными кругами применяют специальные станки. При этом получают прямой и чистый рез, шум при работе невелик. Однако большое пылевыведение, расход абразивных кругов и сложность использования способа для крупных отливок ограничивают область его применения.

Процесс газовой резки основан на интенсивном окислении металла в струе кислорода при высокой температуре. Для нормального протекания процесса резки металла необходимы следующие условия:

а) температура воспламенения металла должна быть ниже температуры его плавления; если это условие не удовлетворяется, то металл будет плавиться и переходить в жидкое состояние еще до того, как начнется его горение в кислороде;

б) температура плавления оксидов, образующихся при резке металла, должна быть ниже температуры воспламенения и плавления металла; если это условие не удовлетворяется, то кислородная резка металла без применения специальных флюсов невозможна, так как образующиеся оксиды не будут находиться в жидком состоянии при температуре горения металла и их невозможно будет удалить из места реза.

Скорость резки зависит от толщины материала, его свойств, со-

става и температуры, а также температуры пламени, давления кислорода, формы режущей струи, скорости истечения ее из сопла и чистоты кислорода. Предварительный нагрев отливки повышает скорость резки. При нагреве стали до 200–370 °С скорость резки повышается на 50–100 %. Скорость ручной резки углеродистой стали в значительной степени зависит от вида горючего (ацетилен, пиролизный газ, бензин или керосин). Скорость ацетилено-кислородной резки может быть определена по формуле

$$v = 60/t,$$

где t – продолжительность резки, мин на 1 м, $t = 6/8 + 0,8 \delta$;

δ – толщина разрезаемого металла, мм.

Для разделительной резки отливок используют и воздушно-дуговую резку. Она может быть применена для резки высоколегированных сталей, чугуна и цветных металлов. Сущность резки заключается в следующем: возбуждается сварочная дуга обратной полярности между угольным электродом и отливкой. Параллельно электроду из держателя подается струя сжатого воздуха, выдувающая расплавленный металл из сварочной ванны.

По мере равномерного перемещения электрода относительно плоскости разрезаемого металла с одновременным выдуванием жидкой ванны в металле остается ровная и чистая канавка. Глубина и ширина канавки зависят от силы тока, диаметра электрода, скорости его перемещения и угла наклона электрода к плоскости разрезаемого металла. Ширина реза зависит от диаметра электрода:

$$B = d + (1 \div 2),$$

где d – диаметр электрода, мм.

Отрезка прибылей отливок толщиной до 40 мм за один проход затруднительна. При резке металла толщиной более 25 мм электроду при перемещении вдоль линии реза нужно придавать пилообразные колебания от верхних кромок реза к нижним, как это делают при обычной дуговой сварке.

Для воздушно-дуговой резки металла необходимо иметь резак, источник электрической энергии, сжатый воздух и графитовые электроды. Наиболее часто используют электроды диаметром 6,8 и 12 мм, длиной 250–300 мм. В некоторых случаях прибыль отрезают на токарных станках.

8.3.3. Зачистка отливок

Для удаления заливов, швов, заусенцев и других неровностей отливок в местах, недоступных для зачистки абразивами, применяют пневматические рубильные молотки с коротким ходом (до 100 мм) для мелких отливок, с длинным ходом для крупных отливок. Производительность молотков во многом зависит от выбора формы зубила. Высокой стойкостью обладают зубила, изготовленные из сталей 4ХС, 6ХС, 7ХС. Рабочая кромка зубила должна иметь твердость 58–61 HRC. В последнее время для обрубки и зачистки применяют электрифицированные молотки.

Для удаления остатков питателей, прибылей, заливов, заусенцев, перекосов и неровностей, а также дефектов поверхности отливки (ужимин, пригара, мест заварки и др.) применяют шлифовальные абразивные круги. При зачистке отливок необходим правильный подбор шлифовального инструмента и его характеристик.

Известны два основных вида абразивных материалов, применяемых в шлифовальных кругах: электрокорунд (глинозем Al_2O_3) и карбид кремния SiC . Первый уступает второму по твердости, но обладает большей вязкостью. Зерна карбида кремния имеют большую твердость, острые ребра и гладкие грани, но он плохо сопротивляется скалывающим усилиям.

Электрокорунд применяют для обработки различных сталей, ковкого чугуна, наиболее вязких бронз, некоторых алюминиевых сплавов, а карбид кремния – для обработки хрупких твердых материалов, а также материалов с низким сопротивлением разрыву, например, серого и отбеленного чугуна, латуни и др.

Связка шлифовального инструмента имеет решающее значение для прочности круга и установления режима работы. При обработке отливок применяют шлифовальные инструменты на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках. Для работ на скоростных режимах резания используют также круги на специальных синтетических связках.

Круги на керамической связке допускают при ручной подаче окружную скорость до 30 м/с, при механической – до 35 м/с. Бакелитовая связка более упругая, чем керамическая. Круги на бакелитовой связке допускают работу с окружными скоростями до 40 м/с, а при специальном армировании до – 50 м/с. Для отрезки применяют круги на вулканитовой связке. Она позволяет изготавливать круги толщиной 0,5 мм, допускающие окружные скорости до 50 м/с. Круги на специальных синтетических связках обладают высокой эластичностью и допускают окружные скорости до 200 м/с.

Стойкость и режущая способность шлифовального инструмента определяется его твердостью. При правильно выбранной твердости круга зерна выкрашиваются при затуплении их кромок. При слишком мягком круге зерна выкрашиваются, хотя их кромки еще не успели затупиться, а при слишком твердом круге удерживаются, когда они уже утратили режущую способность. Чем мягче материал зачищаемой отливки, тем выше должна быть твердость круга.

Механизированный инструмент по характеру привода делят на три типа: с пневматическим приводом, с приводом от электродвигателя посредством гибкого вала и с приводом от встроенного электродвигателя.

По характеру работы механизированный инструмент подразделяют на горизонтальный для работы периферией круга, вертикальный и угловой для работы торцом круга и осевой для работы абразивными головками.

Пневматический инструмент прост в эксплуатации. Он имеет малую массу, работает от цеховой сети сжатого воздуха. Но у этого инструмента есть и недостатки: большой шум, возникающий при выхлопе сжатого воздуха; невозможность использовать в работе абразивные круги при наибольших частотах вращения вала инструмента. Это объясняется тем, что для предотвращения разрыва круга диаметр его выбирают, исходя из скорости вращения инструмента на холостом ходу. При рабочем режиме скорость вращения пневматического инструмента ниже, чем на холостом ходу, особенно при большом усилии прижатия круга.

При обдирке и зачистке отливок, когда требуется удалять большой объем металла, хорошо зарекомендовал себя инструмент с электроприводом посредством гибкого вала. Преимущество этого инструмента заключается в том, что при малой массе он обладает большой мощностью электродвигателя и у него удобно производить замену рабочих головок. Недостатком является наличие гибкого вала, из-за малой гибкости которого затруднен доступ к внутренним поверхностям отливки.

Механизированный инструмент с встроеным электродвигателем имеет наиболее высокий КПД. Благодаря устойчивой работе электродвигателя и меньшей вибрации по сравнению с пневматическим инструментом удается достигать более высокой производительности и малого расхода кругов. Стационарные обдирочно-зачистные станки выпускаются с одним и с двумя шлифовальными кругами. Наиболее эффективны станки, в которых предусмотрено бесступенчатое регулирование окружной скорости шлифовального круга по мере его износа. Наибольшее распространение получили стационарные обдирочно-зачистные

станки с абразивными кругами диаметром 350–750 мм и с окружными скоростями абразивных кругов 30–50 м/с [8].

Для зачистки средних, крупных и тяжелых отливок применяют подвесные обдирочно-шлифовальные станки и механизированные комплексы на основе этих станков. На подвесных станках устанавливают круги диаметром 300–600 мм с окружными скоростями 30–50 м/с

В литейных цехах при крупносерийном и массовом производстве находят применение автоматизированные станки и линии для обдирки и зачистки отливок. Такое оборудование конструируют для обработки отливок, однородных по габаритным размерам, конфигурации и по местам снятия металла. Все зачистные головки на этих линиях имеют электрический привод, а транспортные средства -- гидравлический.

8.3.4. Очистка поверхности отливок

В настоящее время наиболее распространены универсальные методы очистки отливок: в галтовочных барабанах, струей металлических абразивов (дробеструйная и дробеструйная) и вибрационная очистка. В отдельных случаях применяют химическую и электрохимическую очистку отливок.

Применяют галтовочные барабаны периодического и непрерывного действия. Галтовочный барабан периодического действия обеспечивает высокое качество поверхности отливок (рис. 8.7). Очистка отли-

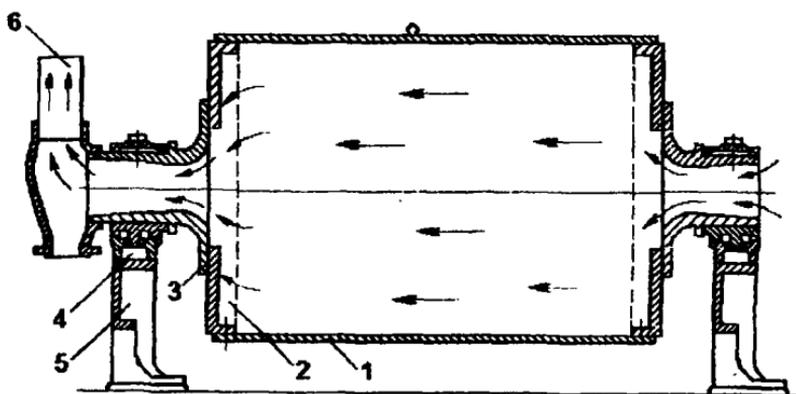


Рис 8.7. Схема галтовочного барабана периодического действия:
1 – обечайка; 2 – литые торцы; 3 – цапфы; 4 – подшипники;
5 – стойки; 6 – вывод воздуха в систему воздухоочистки

вок в галтовочном барабане происходит вследствие взаимных ударений и трения отливок о стенки барабана и литые звездочки из белого чугуна, которые загружаются в барабан для повышения интенсификации процесса в количестве 20–35 % от массы отливок.

Одновременно с очисткой поверхности отливок в галтовочном барабане происходит выбивка стержней и отбивка литников.

Скорость вращения барабана обуславливает интенсивность относительного перемещения отливок и звездочек в нем, а следовательно, эффективность очистки. При оптимальной частоте вращения центробежная сила, действующая на отливку у поверхности барабана, составляет 50–60 % веса отливок. Меньшую скорость применяют для барабанов диаметром более 0,7 м, большую — для барабанов диаметром менее 0,7 м. Формулы для вычисления частоты вращения барабанов соответственно имеют вид:

$$\text{при } D \geq 0,7 \text{ м } \omega_6 \leq 3,14\sqrt{D};$$

$$\text{при } D \leq 0,7 \text{ м, } \omega_6 \leq 3,4\sqrt{D},$$

где D — внутренний диаметр обечайки барабана, мм.

В барабанах непрерывного действия очищаются мелкие отливки массового производства. Очистка отливок, отбивка литников и заусенцев происходят в результате трения отливок друг о друга и о ребра, находящиеся внутри барабана. Частота вращения барабана 20 мин⁻¹. Барабан установлен под углом 1,5–2° к горизонту, что обеспечивает движение отливок вдоль оси барабана при его вращении. Галтовочный барабан непрерывного действия имеет два кожуха (рис. 8.8). Отливки по лотку 5 и звездочки с помощью лопаток 4 непрерывно поступают во внутренний кожух 1. Перемещаясь к другому концу барабана, отливки очищаются. Звездочки, не доходя до конца барабана, проваливаются во внешний кожух 2 и спиральными направляющими 3 вновь подаются к загрузочному окну. Отработанная смесь проваливается через отверстия во внешнем кожухе и удаляется из барабана.

В литейных цехах широко применяют оборудование, в котором используется струйная очистка. По характеру получения абразивной струи его делят на дробеструйное, в котором очистной материал подается струей воздуха, и дробеметное, в котором он выбрасывается под действием центробежной силы. Имеются установки, в которых абразивный материал направляется струей воды под низким или высоким давлением.

Для струйной очистки применяют разнообразные очистные мате-

риалы. ГОСТ 11964–81Е предусматривает пять видов технической дробы из чугуна и стали для дробеметной и дробеструйной очистки отливок: дробь чугунная литая (ДЧЛ), чугунная колотая (ДЧК), стальная литая (ДСЛ), стальная колотая (ДСК) и дробь стальная рубленая из проволоки (ДСР).

В зависимости от вида и назначения предусмотрено 16 номеров дробы, отличающейся размерами. Самый малый №01 предусматривает размер дробины до 0,1 мм, самый большой №6 – от 5,5 до 8 мм. Для

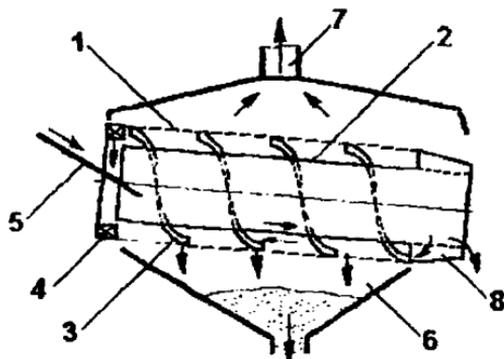


Рис. 8.8. Схема галтовочного барабана непрерывного действия: 1 – наружная обечайка; 2 – внутренняя обечайка; 3 – винтовые лопасти для возврата звездочек; 4 – лопатки для подачи звездочек на загрузочный лоток для отливок; 5 – загрузочный лоток; 6 – сборник для песка; 7 – отсос пыльного воздуха; 8 – выход отливок

очистки отливок в зависимости от их размера рекомендуются следующие номера дробы: №08 для мелких отливок; №1, 1,2 и 1,5 для средних отливок; №2, 2,5; 3; 3,5 и 4 для средних, тяжелых и особо тяжелых отливок. Выбор дробы зависит также от необходимой шероховатости обрабатываемых поверхностей. Помимо дробы из чугуна и стали применяют дробь из цветных сплавов (алюминиевых и медных), а также абразивные средства из неметаллов как минерального, так и органического состава.

- Из струйных методов очистки наибольшее распространение имеет дробеметный метод.

Дробеметная очистка отливок происходит за счет кинетической энергии струн чугунной дробы, выбрасываемой на отливки дробеметным колесом, имеющим два диска б, между которыми радиально расположены лопатки 5 из износостойкого чугуна (рис. 8.9). Частота вращения ко-

леса 2250 мин⁻¹. Через окно 3 во втулке-распределителе 4 (импеллере) дробь подается на лопатки колеса, приобретает дополнительную энергию и вылетает со скоростью до 80 м/с, ударяясь о поверхность отливок, очищает их от пригара и окалины.

С учетом массы и размеров очищаемых отливок дробеметное очистное оборудование выпускают трех видов:

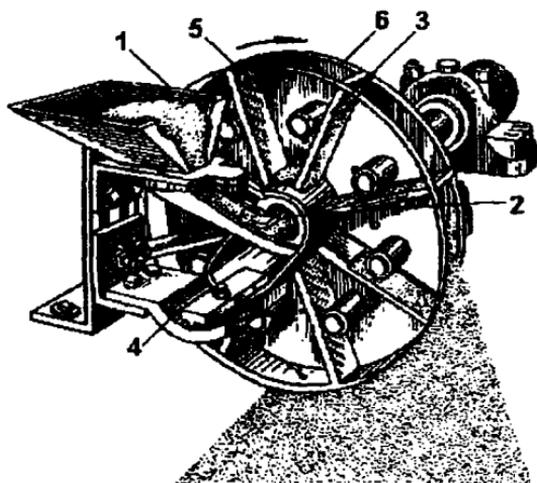


Рис. 8.9. Принцип действия дробеметного колеса: 1 – воронка с дробью; 2 – лопатки распределительного колеса (импеллера); 3 – окно во втулке распределительного колеса для выхода дроби; 4 – втулка (труба), ограждающая импеллер; 5 – рабочие лопатки колеса; 6 – диски колеса

- барабаны, предназначенные для отливок массой 25–400 кг (рис. 8.10, а);
- столы – для отливок массой 100–530 кг с развитыми поверхностями размерами 450х400х300 – 900х900х600 мм (рис. 8.10, б);
- камеры, предназначенные для очистки более крупных отливок массой от 315 кг до 10 т (рис. 8.10, в, г).

По сравнению с другими способами дробеметная очистка имеет следующие преимущества: высокую производительность, малый расход энергии, лучшие условия труда. Недостатки способа: быстрый износ лопаток дробеметного колеса, трудность очистки отливок со сложными полостями. Дробеметную очистку нельзя применять для отливок из мягких сплавов, так как это ухудшает качество их поверхности. Для очист-

для отливок из алюминиевых сплавов вместо чугунной дробы используют кусочки алюминиевой проволоки.

Для очистки мелких и средних отливок применяют барабаны пе-

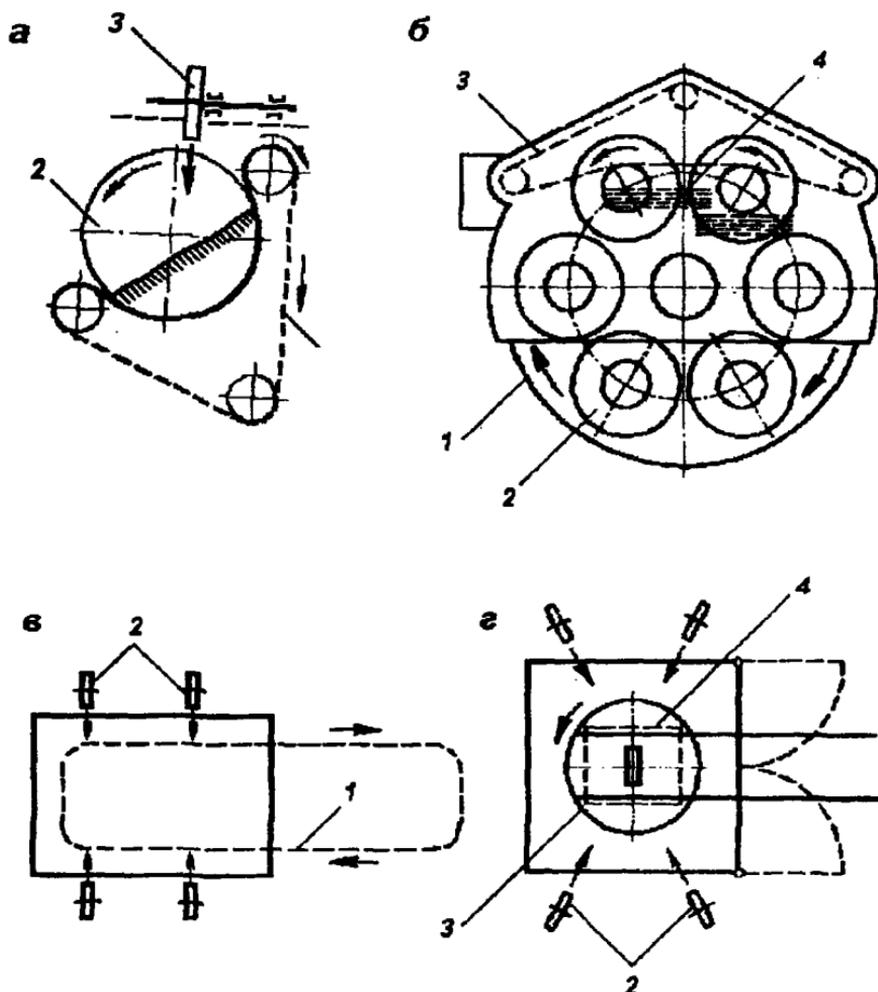


Рис. 8.10. Схемы дробеметной очистки отливок: а – в барабане периодического действия: 1 – пластинчатый конвейер, 2 – торцовые диски, 3 – дробеметное колесо; б – на дробеметном вращающемся столе: 1 – вращающийся стол; 2 – рабочие столики (тарелки); 3 – цепь привода рабочих столиков; 4 – размещение дробеметных аппаратов на крышке кожуха (зона очистки); в – в дробеметной камере непрерывного действия; г – в дробеметной камере периодического действия: 1 – подвесной конвейер; 2 – дробеметные колеса; 3 – поворотный круг; 4 – тележка

риодического действия (см. рис. 8.10, а). Отливки перемещаются внутри барабана, образованного движущимся пластинчатым конвейером, благодаря чему под факел дробни попадают различные места отливок. Масса очищаемых отливок должна быть до 40 кг, производительность – 3–7 т/ч отливок.

Для очистки мелких и средних отливок в массовом производстве используют дробеметные барабаны непрерывного действия (масса очищаемых отливок до 40 кг). Равномерная очистка всех поверхностей отливок достигается в процессе их перекатывания внутри вращающегося барабана или на движущемся пластинчатом конвейере внутри неподвижного барабана. В массовом производстве применяют очистные барабаны с пластинчатым конвейером непрерывного действия, в которых отливки в процессе очистки перемещаются еще вдоль оси барабана.

Для очистки средних отливок (массой до 500 кг) применяют дробеметные очистные столы с периодическим и непрерывным вращением. Отливки помещают на поворотном столе внутри камеры (каждую на своем столике) и очищают потоком дробни из дробеметных аппаратов.

Для очистки отливок массой от 50 кг до 1,3 т в массовом производстве используют проходные дробеметные камеры (см. рис. 8.10, в). Для очистки крупных отливок (массой до 70 т) применяют дробеметные камеры периодического действия (см. рис. 8.10, г).

При *дробеструйной очистке* отливки очищаются струей чугунной дробни диаметром 0,8–2,5 мм, выбрасываемой со скоростью 20–

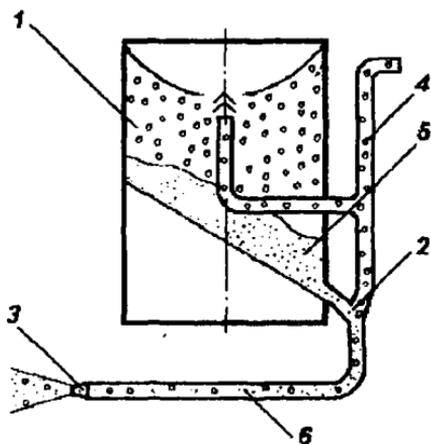


Рис. 8.11. Схема дробеструйного аппарата: 1 – герметичный бак; 2 – смесительная камера; 3 – рабочее сопло; 4 – сжатый воздух; 5 – абразив; 6 – воздух с абразивом

30 м/с сжатым воздухом из дробеструйного аппарата (рис. 8.11). Производительность процесса зависит от давления воздуха, диаметра сопла,

расстояния до очищаемой поверхности. Этот способ очистки позволяет эффективно очищать глубокие и сложные внутренние полости отливок.

Водоструйная очистка заключается в использовании кинетической энергии водяной струи высокого давления (10–20 МПа) для отделения пригоревшей к поверхности отливки формовочной смеси, разрезания на куски и вымывания стержней из полости отливки. Отливку помещают на вращающийся или неподвижный стол (либо тележку), который устанавливают в камеру. Из монитора на очищаемую поверхность отливки направляют струю воды, разрушающую пригоревшую корку, стержни. Образующаяся пульпа удаляется из камеры в установку для регенерации песка, а вода фильтруется, осветляется в отстойниках и вновь используется для очистки. Преимущества этого способа очистки: отсутствие пылевыделения, высокая эффективность очистки полостей крупных и средних отливок от стержней, возможность последующей регенерации песка. Недостатки: значительный расход воды (4–25 м³ на 1 т отливок), громоздкость установок, сравнительно небольшая производительность.

Для очистки отливок применяют водоструйные установки периодического и непрерывного действия. Первые используют в основном для очистки крупных и средних отливок в условиях единичного и мелкосерийного производства, вторые – для очистки отливок в условиях серийного производства. Производительность установок для водоструйной очистки 1–20 т/ч, масса отливок от 10 кг до 200 т, габаритные размеры 0,2–10 м.

При *гидроабразивной очистке* отливок готовят суспензию, состоящую из зрен кварцевого песка, электрокорунда, металлического песка, воды и поверхностно-активного вещества (до 1 %). Суспензию подают в эжекционный аппарат, образующий гидроабразивную струю, которую направляют на очищаемую поверхность отливки. Частицы абразива истирают очищаемую поверхность, срезая с нее выступы и шероховатости, уничтожая микротрещины. Для лучшего действия струи ее направляют под углом 30–60° к обрабатываемой поверхности. Поверхностно-активное вещество (мылонафт, сульфатный щелок и др.) проникает в микротрещины на поверхности отливки и способствует лучшему отделению посторонних частиц от ее поверхности. Этот способ применяют для очистки поверхности отливок из алюминиевых и магниевых сплавов (в качестве абразива используют кварцевый или алюминиевый песок). После гидроабразивной очистки отливки промывают и обрабатывают антикоррозийным раствором, предохраняющим их от окисления.

Струйная очистка не обеспечивает необходимое качество очист-

ния поверхности отливок, предназначенных для изготовления деталей, работающих, например, в гидравлических и пневматических системах, отливок с экранированными внутренними полостями, отливок, не позволяющих примснять очистку дробью, и некоторых других. Для этих случаев эффективна электрохимическая очистка.

Сущность электрохимической очистки состоит в следующем (рис. 8.12). Отливку 2 погружают в ванну 1, заполненную расплавленным техническим каустиком при температуре 500 °С с наложением постоянного тока низкого напряжения (5–10 В), вследствие чего образую-

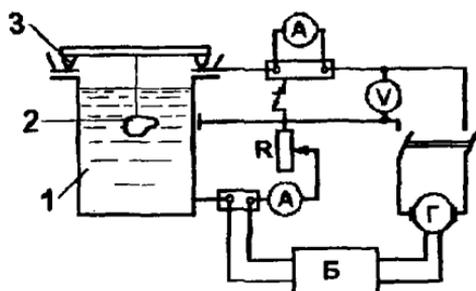


Рис. 8.12. Схема электрохимической очистки отливок

щие пригар оксиды железа (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) и силикаты (SiO_2 , Fe_2SiO_4) вступают в химическое взаимодействие с основной средой ванны ($NaOH$, $NaOH$, KOH). Сочетание химического воздействия с электрохимическим обеспечивает высокую степень очистки поверхности. Отливка соединена с положительным полюсом генератора Г посредством специальной контактирующей подвески 3, а стенки ванны — с отрицательным полюсом. Плотность тока регулируется бесконтактным регулятором Б.

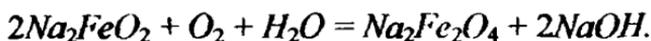
Пригар на стальных и чугунных отливках представляет собой многофазную систему, наружный слой которой состоит из кварца, частично перешедшего в тридимит, а внутренний слой, непосредственно прилегающий к металлу отливки, — из силикатов железа переменного состава. Окалина представляет собой трехфазное соединение из оксидов железа и имеет наружный слой в виде фазы αFe_2O_3 , средний слой из Fe_3O_4 и внутренний, прилегающий к металлу отливки слой из FeO . При погружении отливок в электролит наружный слой пригара (SiO_2) взаимодействует с едким натром по реакции



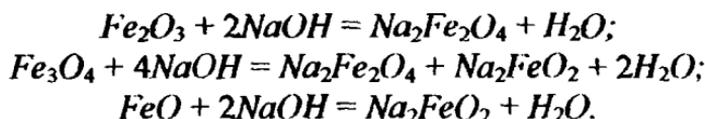
Далее происходит растворение внутреннего слоя пригара, причем вначале растворяется $FeSiO_3$, а затем прилегающий непосредственно к металлу отливки фаялит $FeSiO_4$:



По мере образования в электролите феррата натрия Na_2FeO_2 происходит его окисление выделяющимся в процессе электролиза на аноде кислородом в феррит натрия $Na_2Fe_2O_4$:



Одновременно происходит растворение слоев окарины:



Таким образом, в результате растворения пригара и окарины на поверхности отливок образуется рыхлый слой феррита и феррата натрия. Этот слой легко отстает от отливок вследствие резкого охлаждения их в холодной воде, куда отливки погружают непосредственно после катодной обработки, и поверхность отливок получается очень чистой. После промывки в холодной воде отливки подвергаются дополнительной промывке в горячей воде для окончательного удаления следов щелочи.

Для очистки мелких отливок от пригара и окарины, а также одновременного удаления тонких заливок, притупления острых кромок и заусенцев, особенно отливок из цветных сплавов, полученных в кокилях и литьем под давлением, все больше применяют вибрационную обработку свободным абразивом.

На рис. 8.13 показана схема *вибрационной* очистной машины. В контейнер 1 загружаются очищаемые отливки 2 вместе с абразивным материалом (звездочки из белого чугуна или керамики, бой шлифовальных кругов, крупная дробь и т.п.). Контейнер, установленный на амортизаторах 3, приводится в вибрационное движение с помощью инерционного вибратора 4, вращаемого электродвигателем. Отливки и абразивный материал имеют различную массу, получают разные ускорения

и перемещаются относительно друг друга. В процессе взаимного трения абразивного материала и отливок происходит очистка последних.

Электротермомеханическая очистка (зачистка неровностей) отливок производится быстро вращающимися стальными дисками при пропускании электрического тока между диском и отливкой. Выступы неровностей отливки от действия тока мгновенно разогреваются и оплавляются, а металл их уносится диском. При значительном напряжении тока оплавление неровностей может происходить еще до соприкосновения отливки с диском вследствие возникновения электрической дуги. Зачистка неровностей может производиться и без пропускания электрического тока через место контакта отливки и диска. В этом случае оплавление выступов неровностей происходит лишь за счет действия теплоты, выделяющейся при трении диска об отливку.

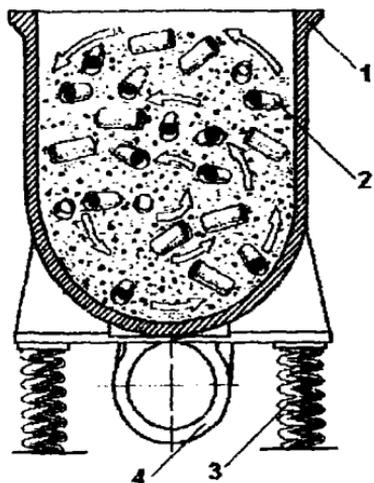


Рис. 8.13. Схема вибрационной очистки отливок

Газопламенная очистка от пригара, а также удаление неровностей стальных отливок производятся кислородно-ацетиленовым пламенем с помощью горелок или резаков для поверхностной резки. Удаление пригара при этом основано на разности коэффициентов термического расширения пригара и металла отливки. При нагреве корка пригара разрушается и отслаивается от отливки. Пламя горелки при этом должно быть нейтральным или восстановительным.

Химический пригар на стальных отливках обычным кислородно-ацетиленовым пламенем не удаляется. Чтобы удалить химический пригар, его нужно расплавить. Для этой цели используют более горячее железо-кислородное пламя, получаемое с помощью резаков, имеющих устройство для ввода в струю железного порошка.

Отливки из высоколегированных сталей, имеющие малую теплопроводность и поэтому склонные к трещинообразованию при местных перегревах, таким способом не очищают.

8.4. Грунтовка и окраска отливок

Грунтовку (окраску) отливок применяют для их предохранения от коррозии при длительном хранении или транспортировке. Окраске подвергают наружные и внутренние поверхности отливок, не подлежащие механической обработке.

Окраска отливок осуществляется одним из следующих способов: окунанием отливок в краску, нанесением слоя краски распылением и окраской в электростатическом поле.

Наиболее простой способ нанесения краски – окунание. Отливки, помещенные в корзины с отверстиями, опускаются на подвесках в резервуар с краской. После извлечения из резервуара с краской отливки подаются в сушильную камеру.

Для окраски воздушным распылением используют пистолеты-распылители. При окраске безвоздушным распылением краска нагревается и нагнетается насосом в специальный пистолет, откуда выбрасывается через сопло на окрашиваемую поверхность.

Наиболее совершенный способ – нанесение краски в электростатическом поле. При применении этого способа существенно улучшаются условия труда, получается равномерный слой покрытия при значительной экономии краски. Процесс окраски в электростатическом поле легко поддается автоматизации. Сущность способа заключается в следующем. Заземленные отливки последовательно подаются в электростатическое поле, в это же пространство подается распыленная краска. Частицы краски, ионизируясь, движутся к отливке и оседают на ней. Процесс является саморегулирующимся, так как чем тоньше в каком-либо месте слой краски, тем активнее следуют к нему ионизированные частицы.

Окрашенные отливки подвергают сушке в проходных камерах при температуре около 120 °С потоком горячего воздуха или инфракрасными лучами. При сушке инфракрасными лучами теплота к краске поступает от металла и просушка идет от внутренних слоев, причем краска застывает не разрываясь. Это существенное преимущество в сравнении с сушкой в потоке горячего воздуха.

Крупные отливки окрашиваются в камерах тупикового типа на решетках-стендах с нижним отсосом испарений.

Для однослойной окраски отливок из серого и ковкого чугуна используют нитроэмаль. Отливки перед окраской промывают в 0,5-процентном содовом растворе при 80–85 °С, затем в горячей воде и сушат горячим воздухом. Отливки окрашивают нитроэмалью из pulverизатора или окунанием в ванну с сушкой в камере при 60 °С в течение 10 мин.

8.5. Термическая обработка отливок

Отливки в литом состоянии имеют крупнозернистую структуру, высокую твердость, низкие прочностные и пластические свойства. В них сохраняются значительные внутренние напряжения. Структура и свойства отливок могут быть значительно улучшены посредством термической обработки. Вид обработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение) определяется природой сплава, конфигурацией отливки и техническими условиями.

Стальные отливки обычно подвергают термической обработке в два этапа. Сначала проводят предварительную термообработку (отжиг, нормализацию или нормализацию с отпуском) для снятия внутренних напряжений, измельчения структуры и уменьшения твердости перед механической обработкой. При отжиге эти задачи решаются полнее, однако недостатком этого вида обработки является большая продолжительность. Поэтому отжигают лишь отливки, склонные к образованию значительных внутренних напряжений. Отливки простой конфигурации подвергают нормализации. Для отливок ответственного назначения определяют нормализацию и отпуск. При окончательной термической обработке стальные отливки подвергают нормализации и отпуску или закалке и отпуску. Выбор закалочной среды (вода или масло) зависит от состава стали (ее закаливаемости) и сложности отливки, а температура отпуска (низкий, средний или высокий) – от требуемых механических свойств отливки. По мере повышения температуры отпуска прочность и твердость снижаются, а пластические свойства и ударная вязкость повышаются. Если нагрев и охлаждение отливок происходят в окислительной среде, то поверхность покрывается окалиной. Поэтому отливки подвергают повторной очистке. Механически обработанные стальные отливки при необходимости подвергают цементации, азотированию и другим видам химико-термической обработки.

Чугунные отливки подвергают термической обработке значительно реже. Ее применяют для снятия внутренних напряжений, стабилизации размеров, снижения твердости и улучшения обрабатываемости, повышения механических свойств или износостойкости. При низкотемпературном отжиге (500–630 °С) снимаются внутренние напряжения и стабилизируются размеры отливки, а механические свойства практически не изменяются. При низко температурном графитизирующем отжиге (680–750 °С) происходит графитизация и частичная сфероидизация эвтектоидного цементита. Вследствие этого снижаются прочность и твердость, но улучшается обрабатываемость. Высокотемпературный графитизирующий отжиг (850–980°С) применяют для графитизации первич-

ных карбидов в чугунах всех видов. При получении ковкого чугуна из белого этот вид термообработки является обязательным.

При нормализации и закалке чугуновых отливок улучшаются их механические свойства. При нагреве до 850–950 °С часть графита растворяется в аустените. При последующем охлаждении на воздухе или в закалочной среде углерод не успевает вновь выделиться в виде графита, поэтому количество связанного в цементит углерода возрастает и прочность, твердость, а также износостойкость отливки увеличиваются. При нормализации чугуна образуется перлитная металлическая матрица, а при закалке – мартенситная. Соответственно во втором случае достигается больший прирост твердости, прочности и износостойкости. Закаленные отливки требуют дополнительной термической обработки для снятия внутренних напряжений.

Для того чтобы чугуновым отливкам придать особые свойства, их подвергают химико-термической обработке: азотированию, алитированию, сульфидированию, борированию и т.п.

Качество отливок из алюминиевых и магниевых сплавов улучшают путем старения, отжига, закалки и закалки с последующим искусственным старением. Отливки из медных сплавов обычно не подвергают термической обработке. Лишь в отдельных случаях их отжигают для снятия внутренних напряжений.

Контрольные вопросы

1. Объясните различия в принципе действия эксцентриковой, инерционной и ударной инерционной решеток для выбивки форм.
2. Объясните технологию выбивки безопочных форм.
3. Какие технологические операции включает в себя процесс очистки отливок?
4. Какими способами можно удалить стержни из отливок?
5. От каких факторов зависит выбиваемость стержней из отливок?
6. Опишите процесс выбивки стержней на вибрационной установке.
7. Чем отличаются процессы выбивки стержней в гидравлических и пескогидравлических установках?
8. Опишите суть технологического процесса выбивки стержней электрогидравлическим способом.
9. Какие технологические приемы и оборудование применяются при удалении литников и прибылей?
10. Чем отличается очистка отливок от их зачистки?
11. Назовите способы очистки поверхности отливок.
12. Опишите принцип работы галтовочных барабанов периодического действия.
13. Чем отличаются технологические процессы дробеструйной и дробеструйной очистки отливок?
14. Назовите другие способы очистки поверхности отливок.
15. Опишите технологию гидроабразивной очистки отливок.
16. Объясните суть электромеханической очистки отливок.
17. Почему отливки из высоколегированных сталей стараются не подвергать газопламенной очистке поверхности?
18. Назовите способы термической обработки отливок из цветных сплавов.

Сложный многофакторный характер литейного производства предопределяет возникновение в отливках различных дефектов. Поэтому эффективность деятельности технолога, организатора производства и рабочего в значительной мере определяется их знанием причин возникновения дефектов, умениями заниматься профилактикой брака, распознавать дефекты, проводить мероприятия по устранению брака, а также по исправлению дефектов на отливках.

В предыдущих главах определены основные механизмы и причины возникновения различных дефектов. В данной главе приведены систематизированные данные о литейных дефектах, методах их диагностики, профилактики и исправления.

9.1. Классификация дефектов

Создание современной классификации дефектов является важнейшей частью работ по профилактике брака отливок. Понятие «годная отливка» постоянно изменяется (ужесточение требований по размерам, качеству поверхности и структуры, эксплуатационным характеристикам и другим показателям качества). Однако, наличие стандартов, технических условий и другой технической документации, а также обеспечение взаимопонимания специалистов-литейщиков требуют стандартизации соответствующих терминов и классификации дефектов. В целом все дефекты можно разделить на явные и скрытые.

Явные дефекты обнаруживаются при внешнем осмотре или с помощью инструментальных средств, методик, указанных в нормативных документах. Например, если техническими условиями предусмотрено применение рентгеновской дефектоскопии, то обнаруживаемые внутренние дефекты будут явными.

Скрытые дефекты не могут быть обнаружены визуально или с помощью предусмотренных техническими условиями средств. Они выявляются или после механической обработки, или в процессе эксплуатации литой детали.

Можно выделить два основания для классификации дефектов отливок: по причинам образования, т.е. по общности физико-химических или других явлений, обуславливающих появление дефекта, и по внешнему виду, форме, размерам и расположению на отливке.

Описание возникновения дефектов было дано в предыдущих главах.

По ГОСТ 19200–80 дефекты делят на пять больших групп: несоответствие по геометрии, дефекты поверхности, сплошности в теле отливки, включения и несоответствие по структуре.

Рассмотрим классификацию дефектов и соответствующих терминов более подробно, выделив при этом стандартизованные термины.

1. Несоответствие по геометрии:

НЕДОЛИВ – дефект в виде неполного образования отливки вследствие незаполнения полости литейной формы металлом при заливке из-за недостаточного количества жидкого металла, низкой температуры заливки, недостаточной скорости заливки и т.п. (рис. 9.1, а, б)

НЕСЛИТИНА (неспай) – дефект в виде отверстия произвольной формы или сквозной щели в стенке отливки, образовавшийся вследствие неслияния потоков металла пониженной жидкотекучести при заливке (рис. 9.1, в).

ОБЖИМ (выдавливание формы) – дефект в виде нарушенной конфигурации отливки, возникающий вследствие деформации формы из-за механических воздействий при ее сборке или во время заливки (рис. 9.1, г).

ПОДУТОСТЬ (раздутие, распор) – дефект в виде местного утолщения отливки вследствие расширения неравномерно или недостаточно уплотненной песчаной формы заливаемым металлом (рис. 9.1, д).

ПЕРЕКОС (сдвиг) – дефект в виде смещения одной части отливки относительно осей или поверхностей другой части по разьему формы, модели или опок вследствие их неточной установки и фиксации при формовке или сборке формы (рис. 9.1, е).

СТЕРЖНЕВОЙ ПЕРЕКОС (стержневой сдвиг) – дефект в виде смещения отверстия, полости или части отливки, выполняемых с помощью стержня, вследствие его перекоса или неправильной установки (рис. 9.1, ж).

РАЗНОСТЕННОСТЬ (смещение стержня) – дефект в виде увеличения или уменьшения толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплывания стержня (рис. 9.1, з).

СТЕРЖНЕВОЙ ЗАЛИВ (непроставленный стержень) – дефект в виде залитого металлом отверстия (или полости) в отливке из-за непроставленного в литейной форме стержня или его обрушения (рис. 9.1, и).

КОРОБЛЕНИЕ (прогиб) – дефект в виде искажения конфигурации отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении, а также в результате неправильно изготовленной модели (рис. 9.1, к).

НЕЗАЛИВ (нечеткость контура) – дефект в виде несоответствия конфигурации отливки чертежу вследствие износа модели или недостаточной отделки формы, нарушения режима заливки.

ЗАРЕЗ (заруб) – дефект в виде искажения контура отливки при отрезке литников, обрубке и зачистке.

ВЫЛОМ (выбоина) – дефект в виде нарушения конфигурации и размера отливки при выбивке, обрубке, отбивке литников и прибылей, очистке и транспортировке (рис. 9.1, л).

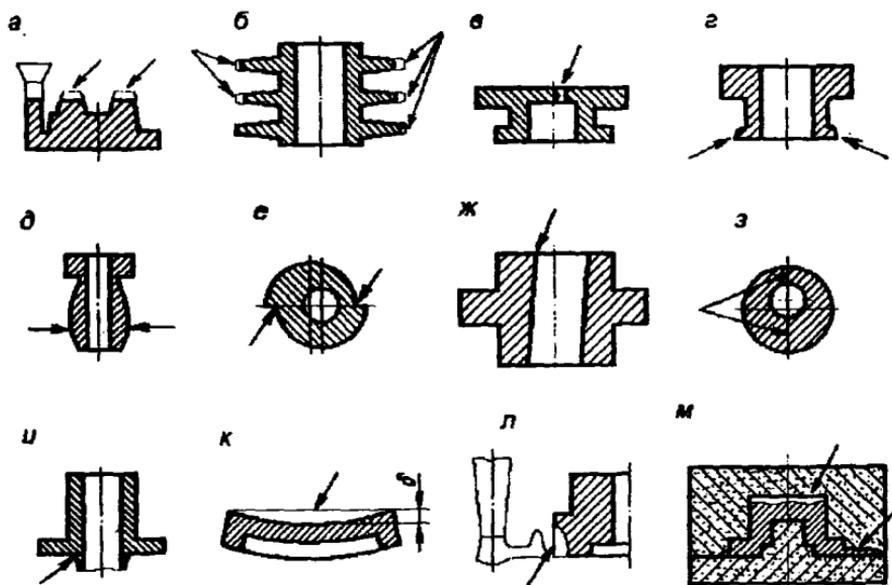


Рис. 9.1. Дефекты отливок – несоответствие по геометрии (стрелки указывают на расположение дефекта): а, б – недолив; в – трещина; г – обжим (выдавливание) формы; д – подутость (раздутие, распор); е – перекос (сдвиг); ж – стержневой перекос (стержневой сдвиг); з – разностенность; и – стержневой залив (непроставленный стержень); к – коробление (прогиб); л – вылом (выбоина); м – прорыв металла

ПРОРЫВ МЕТАЛЛА (прорыв формы) – дефект в виде искаженного образования или неправильной формы отливки, возникающий при заливке вследствие недостаточной прочности формы (рис. 9.1, м).

УХОД МЕТАЛЛА (подъем формы, стёк) – дефект в виде пустоты в теле отливки, ограниченный тонкой коркой затвердевшего металла, образовавшийся вследствие вытекания металла из формы при слабом ее креплении или нагружении.

2. Дефекты поверхности:

ПРИГАР (металлизация) – дефект в виде трудно отделяемого специфического слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физического и химического взаимодействия формовочного материала с металлом и его оксидами (рис. 9.2, а).

ГРУБАЯ ПОВЕРХНОСТЬ (неровность поверхности) – дефект в виде шероховатости поверхности с параметрами, превышающими допустимые значения (рис. 9.2, б).

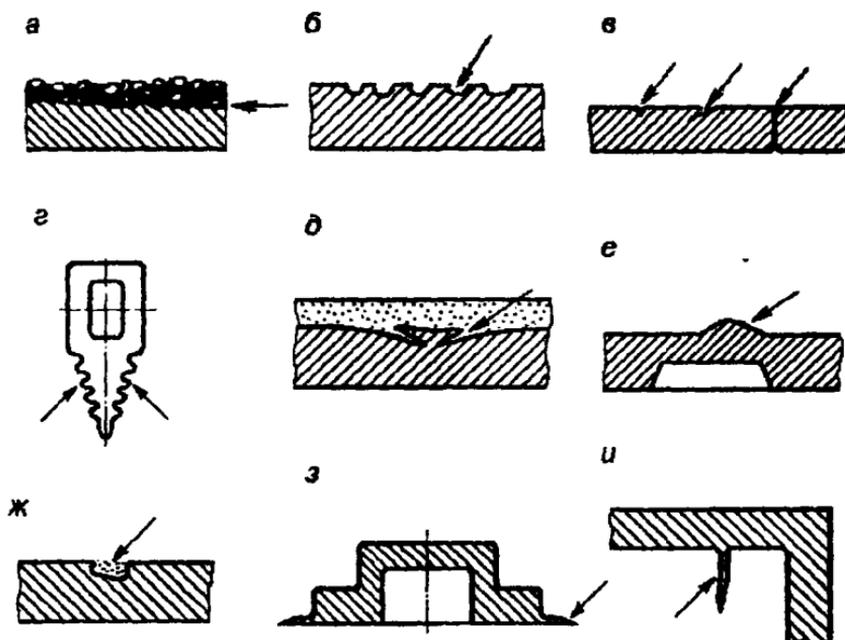


Рис. 9.2. Дефекты поверхности отливки: а – пригар (металлизация); б – грубая поверхность (неровность поверхности); в – спай (неспай); г – складчатость; д – ужимина (рвотина); е – нарост (размыв, подрыв); ж – засор (намыв); з – залив (облой, грат); и – просечка (заусенец, рубец)

СПАЙ (неспай) – дефект в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образованного неполностью слившимися потоками металла с недостаточной температурой или прерванным потоком металла при заливке (рис. 9.2, в).

СКЛАДЧАТОСТЬ (заворот, напыль) – дефект в виде незначительных гладких возвышений и углублений на поверхности отливки,

возникающих вследствие пониженной жидкотекучести металла (рис. 9.2, з).

УЖИМИНА (рвотина) – дефект, образовавшийся вследствие отслоения формовочной смеси при заливке, в виде углубления с пологими краями, которое заполнено формовочным материалом и прикрыто слоем металла (рис. 9.2, д).

НАРОСТ (размыв, подрыв) – дефект в виде выступа произвольной формы, образовавшегося из загрязненного формовочными материалами металла вследствие местного разрушения литейной формы (рис. 9.2, е).

ЗАСОР (намыв) – дефект в виде кусочка формовочного материала, захваченного потоком жидкого металла и внедрившегося в поверхностные слои отливки (рис. 9.2, ж).

ЗАЛИВ (облой, грат) – дефект в виде металлического прилива или выступа, возникающего вследствие проникновения жидкого металла в зазоры по разъемам формы, стержней или по стержневым знакам (рис. 9.2, з).

ПЛЕНА (заплеск, заворот) – дефект в виде самостоятельного оксидного слоя на поверхности или в объеме отливки, образовавшегося при недостаточно спокойном заполнении формы.

ПРОСЕЧКА (заусенец, рубец) – дефект в виде невысоких прожилков на поверхности отливки, возникающих вследствие затекания металла в трещины на поверхности формы или стержня (рис. 9.2, и).

ОКИСЛЕНИЕ (пережог, рубашка) – дефект в виде окисленного слоя металла с поверхности отливки, получающегося после отжига отливок из белого чугуна на ковкий чугун.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ (забойна) – дефект в виде искажения поверхности, возникающего при выбивке из формы, очистке или транспортировке отливки.

ГАЗОВАЯ ШЕРОХОВАТОСТЬ (пузырчатость) – дефект в виде сферообразных углублений на поверхности отливки, возникающих вследствие роста газовых раковин на поверхности раздела металл–форма.

3. Несплошности в теле отливки:

ГОРЯЧАЯ ТРЕЩИНА (усадочная трещина) – дефект в виде разрыва или надрыва тела отливки усадочного происхождения, возникающий в интервале температур затвердевания. Поверхность трещины окисленная и неровная. При вырубке трещина не распространяется вглубь тела отливки (рис. 9.3, а).

ХОЛОДНАЯ ТРЕЩИНА (бой) – дефект в виде разрыва тела затвердевшей отливки вследствие внутренних напряжений или механического воздействия. В вершине трещины сконцентрированы напряжения,

поэтому при ударе трещина может распространиться вглубь тела отливки. Перед проведением вырубki под заварку необходимо перед вершиной трещины засверлить отверстие. В отличие от горячей трещины поверхность холодной трещины светлая и сравнительно гладкая.

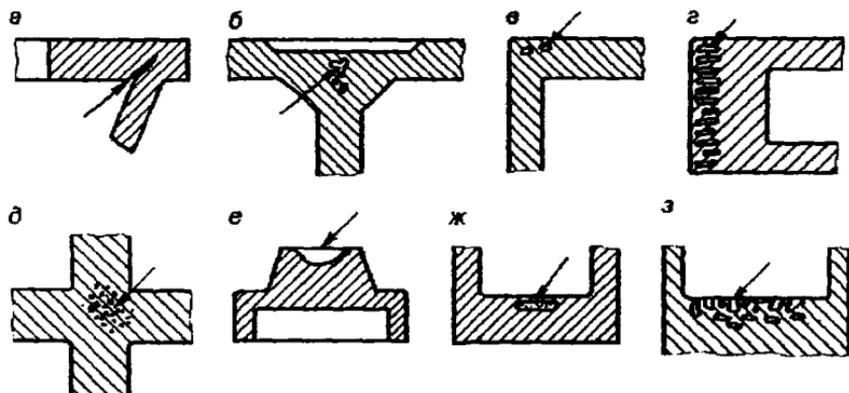


Рис. 9.3. Несплошности в теле отливки: а – горячая (усадочная) трещина; б – усадочная раковина (подсадина); в – объемная газовая раковина (пузырь); г – ситовидная пористость; д – усадочная пористость (течь); е – утяжина (утяжка, подсадина); ж – песчаная раковина; з – вскип (кип)

МЕЖКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНА – дефект в виде разрыва тела отливки по границам первичных зерен аустенита при ее охлаждении в форме в температурном интервале его распада.

УСАДОЧНАЯ РАКОВИНА (подсадина) – дефект в виде открытой или закрытой полости с грубой шероховатой, иногда окисленной поверхностью, образовавшейся вследствие усадки затвердевающего металла (рис. 9.3, б).

ОБЪЕМНАЯ ГАЗОВАЯ РАКОВИНА (пузырь) – дефект в виде полости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами (рис. 9.3, в).

СИТОВИДНАЯ ПОРИСТОСТЬ – дефект в виде удлиненных тонких раковин, ориентированных перпендикулярно к поверхности отливки и вызванных повышенным содержанием водорода в кристаллизующемся слое (рис. 9.3, г).

УСАДОЧНАЯ ПОРИСТОСТЬ (течь) – дефект в виде мелких пор, образовавшихся вследствие усадки металла во время его затвердевания при недостаточном питании отливки (рис. 9.3, д).

УТЯЖИНА (утяжка, подсадина) – дефект в виде углубления с за-

круглыми краями на поверхности отливки, образовавшегося вследствие усадки металла при ее затвердевании (рис. 9.3, е).

ПЕСЧАНАЯ РАКОВИНА – дефект в виде полости, полностью или частично заполненной формовочным материалом (рис. 9.3, ж).

ВСКИП (кип) – дефект в виде скопления раковин и наростов, образовавшихся вследствие парообразования в местах переувлажнения литейной формы или проникновения газов из стержней в ее полость (рис. 9.3, з).

ПОВЕРХНОСТНАЯ ГАЗОВАЯ РАКОВИНА – дефект в виде расположенных в поверхностных слоях отливки полостей, имеющих форму взрывных камер. Они обнаруживаются после механической обработки и возникают вследствие проникновения выделяющихся из формы газов через затвердевший поверхностный слой расплава.

ШЛАКОВАЯ РАКОВИНА (шлак) – дефект в виде полости, полностью или частично заполненной шлаком.

ЗАЛИТЫЙ ШЛАК (шлак) – дефект в виде частичного заполнения литейной формы шлаком.

ГРАФИТОВАЯ ПОРИСТОСТЬ (течь) – дефект отливок из серого чугуна в виде сосредоточенных или паукообразных выделений графита, вызывающих неплотности металла при испытании гидравлическим или газовым давлением.

ГАЗОВАЯ ПОРИСТОСТЬ – дефект в виде мелких пор, образовавшихся в отливке в результате выделения газов из металла при его затвердевании.

РЫХЛОТА (подкорковая пористость) – дефект в виде скопления мелких усадочных раковин.

НЕПРОВАР ЖЕРЕБЕК (ХОЛОДИЛЬНИКОВ) – дефект в виде несплошности соединения металла отливки с поверхностью жеребек (холодильников) вследствие их загрязнения, несоответствия масс, пониженной температуры заливаемого металла.

4. Включения:

МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ – дефект в виде инородного металлического включения, имеющего поверхность раздела с отливкой (рис. 9.4, а).

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (черное пятно) – дефект в виде неметаллической частицы, попавшей в металл механическим путем или образовавшейся вследствие химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла (рис. 9.4, б).

КОРОЛЕК (выпот) – дефект в виде шарика металла, отдельно застывшего и неславившегося с отливкой, образовавшегося посредством брызг при неправильной заливке (рис. 9.4, в).

5. Несоответствие по структуре:

ОТБЕЛ (твердое место) – дефект в виде твердых, трудно поддающихся механической обработке мест в различных частях отливки из серого чугуна, вызванных скоплением структурно свободного цемента.

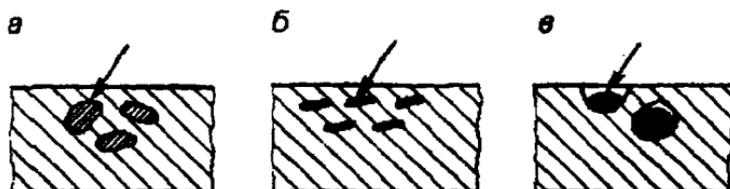


Рис. 9.4. Включения: а – металлическое; б – неметаллическое (черное пятно); в – королек (выпот)

ПОЛОВИНЧАТОСТЬ (отсер, первичный графит) – дефект в виде проявления в структуре серого чугуна в отливках из белого чугуна.

ЛИКВАЦИЯ – дефект в виде местных скоплений химических элементов или соединений в теле отливки, возникших в результате избирательной кристаллизации при затвердевании.

ФЛОКЕН (белое пятно) – дефект в виде разрыва тела отливки под влиянием растворенного в стали водорода и внутренних напряжений, проходящего полностью или частично через объемы первичного аустенита.

9.2. Диагностика дефектов

В зависимости от технических условий изготовления отливок, а также требований стандартов отливки подвергаются различным видам контроля, которые и позволяют выявить те или иные дефекты.

Большинство дефектов, связанных с несоответствием геометрии или качеством поверхности, выявляется при визуальном обследовании отливок или с помощью измерения в доступных частях отливки геометрических параметров. При этом могут производиться и сложные разметки для определения различных отклонений.

Дефекты, связанные с нарушениями шероховатости поверхности, устанавливают с помощью специальных приборов, имеющих оптиче-

ские устройства. Микродефекты поверхности также определяют с помощью неразрушающих методов контроля, в частности, посредством ультразвука, люминесцентной или цветной дефектоскопии.

Поверхностные и подповерхностные трещины обнаруживают, используя методы магнитной дефектоскопии. Наружные горячие и холодные трещины определяют, как правило, при визуальном осмотре. При этом необходимо лишь уметь отличить эти трещины друг от друга. Для этого нужно помнить, что горячая трещина расположена по границам кристаллов и имеет неровную окисленную поверхность, на которой иногда видны дендриты. В стальной отливке на поверхности горячей трещины возможен бурый налет. Холодная же трещина обычно имеет чистую светлую зернистую поверхность. Межкристаллитная трещина возникает в результате термической обработки отливки и имеет вид сглаженных поверхностей с зеркальным блеском на общем сером фоне волокнистой составляющей излома. Этот дефект встречается в стальных отливках и образуется под воздействием воздуха, растворенного в стали.

Поверхностные засоры могут быть обнаружены с помощью электромагнитных методов контроля или выявлены при механической обработке отливки, или при изучении структуры микрошлифа, приготовленного из образца, вырезанного из отливки. Ситовидная раковина выявляется также при механической обработке отливок.

Внутренние дефекты отливок выявляют с помощью радиационных методов контроля, в частности, рентгеновскими лучами, гамма-дефектоскопией, а также акустическими методами контроля.

Отливки подвергают также разрушающим методам контроля, прежде всего при определении статических и динамических механических свойств. При этом статические свойства, а также ударную вязкость определяют на специально приготовленных образцах.

Контроль химического состава сплавов осуществляется с применением химического и спектрального методов анализа.

Отливки с помощью контроля качества подразделяют на годные, с исправимыми дефектами и бракованные, подлежащие переплаву в качестве шихтового материала. Отливки с исправимыми дефектами восстанавливают методами и способами, указанными в стандартах и технических условиях.

Все вышперечисленное относится к элементарным требованиям качества отливок и методам контроля, с помощью которых трудно прогнозировать и предупреждать появление аналогичных дефектов во вновь проскируемых отливках. В целях повышения эффективности контроля необходимо переходить от выборочного контроля к контролю каждой отливки, от простой дефектоскопии к дефектометрии и далее, к активному управлению качеством отливок. Это возможно только при

использовании известных методов и средств контроля в сочетании с применением микропроцессорной техники и ЭВМ для регистрации и статистической обработки результатов контроля, реализации корреляционно-регрессивных методов для оценки свойств отливок. Полученные в результате обработки уравнения регрессии, учитывающие, как правило, влияние нескольких факторов на образование того или иного дефекта, позволяют установить взаимосвязь между факторами, а коэффициенты корреляции помогают оценить степень влияния каждого фактора, следовательно, дифференцировать мероприятия, направленные на устранение дефекта.

9.3. Механизм образования дефектов. Методы их предупреждения и исправления

Основными причинами дефектов отливок являются нетехнологичность конструкции деталей, несовершенство технологического процесса, нарушения технологии и недоброкачественность технологических материалов. Дефекты, причиной которых является нетехнологичная конструкция детали, возникают в тех случаях, когда деталь спроектирована без учета возможностей литейной технологии.

Дефекты, возникающие из-за несовершенства технологического процесса, встречаются наиболее часто. Для устранения таких дефектов требуется не только научный подход к решению технологических задач, но и анализ пробных отливок с целью корректировки технологии.

Дефекты, вызываемые нарушением технологии, могут быть следствием отступления от режимов на любой технологической операции, например, при подготовке формовочных и шихтовых материалов, формовке, плавке, заливке, термообработке и т.д. Дефектность и брак отливок неизбежно возрастают при неудовлетворительном состоянии оборудования и оснастки, а также при небрежной работе рабочих.

В данном пункте не рассматриваются механизмы и методы предупреждения пороков, которые встречаются редко или имеют предельно простой механизм образования. Например, если недолив или неслитина связаны с низкой жидкотекучестью сплава, то, следовательно, все факторы, улучшающие жидкотекучесть, и прежде всего повышение температуры заливки сплава, будут способствовать предупреждению образования этих дефектов.

9.3.1. Пороки несоответствия размерам

Ряд размерных пороков связан с различными прорывами сплава и заливками формы в местах, где сплав не должно быть. Возможными причинами образования таких пороков могут быть увеличение зазора между плоскостями разъема и составными частями формы, вызванное неудовлетворительным состоянием модельных комплектов, сушильных плит, шаблонов и другой оснастки; повышенная температура заливки форм; чрезмерно большой напор металла в форме. Снизить влияние напора можно с помощью установки открытой прибыли, выпоров, увеличения количества наколов.

Прорыв формы возможен при недостаточно плотной ее набивке, большой высоте опок, при недостаточной толщине слоя формовочной смеси, особенно в нижней полуформе.

Такой дефект, как обжим (выдавливание формы), образуется при наличии крючков или неровностей, выступающих над нижним контуром опоки. Нельзя допускать перестановку собранных форм на новые подопочные плиты или другие опоры.

Размерные пороки связаны также с различного рода сдвигами, перекосами, смещениями. Чаще всего эти дефекты не являются следствием недоработки технологического процесса. Возможными причинами их образования являются:

- использование моделей и стержневых ящиков, требующих ремонта;
- изменение контура формы в процессе транспортировки или хранения;
- срезка выступающих углов и болванов, подпилровка стенок, заправка толломок формы при формовке и сборке;
- неправильное использование съемных частей стержневых ящиков при изготовлении стержней, смятие или коробление во время их сушки;
- применение моделей и стержневых ящиков, выполненных с отклонениями от чертежей;
- неправильное расположение на модели соединительных штифтов;
- износ направляющих втулок и штырей на опоках;
- неправильный монтаж моделей на плитах или неправильное расположение знаков на модели;
- назначение повышенных зазоров по знакам стержней.

Для борьбы с короблением необходимо применять модели с большой жесткостью, чтобы исключить их деформацию при формовке, а также уменьшить скорость охлаждения отливок в период перехода

сплава из пластичного состояния в упругое, что способствует снижению напряжений, являющихся основной причиной коробления отливок.

Коробление отливок может происходить и при их термической обработке. Оно вызывается неравномерностью и резким изменением температурного поля отливки, например, во время закалки, а также деформациями, вызванными действием силы тяжести отливок. Поэтому не допустима укладка тонкостенных отливок навалом на подину печи.

Для тонкостенных отливок необходимо предусматривать наличие стержней, толщина которых не должна превышать толщину стенок отливок.

9.3.2. Пороки поверхности отливок

Поверхностные дефекты портят товарный вид открытых, механически не обрабатываемых поверхностей, а также снижают эксплуатационные свойства отливок. Если в технических условиях не указаны допустимые отклонения по величине углублений и выступов на поверхности отливки, то они могут быть таких размеров, чтобы толщина стенки отливки не уменьшалась на величину, более чем это регламентируется допусками на размеры.

Складчатость образуется чаще всего на верхней поверхности отливки при заливке форм, особенно при медленной заливке, что вызывает деформацию верхней полости формы. Образование неровностей происходит и из-за пониженной жидкотекучести сплава. Применение высокотермостойких облицовочных формовочных смесей, повышение температуры заливки и скорости подъема уровня расплава в форме предупреждают образование указанного дефекта.

Грубая поверхность чаще всего образуется при формовке сырому с использованием крупнозернистого формовочного песка. Применение песков средних фракций, а также противопопригарных покрытий и формовка по-сухому являются надежным средством получения отливок без этого дефекта.

Одним из распространенных дефектов отливок является пригар. Различают три вида пригара: механический, химический и термический. Термический пригар сравнительно легко удаляется с поверхности отливок.

Изучение механизма образования пригара позволяет найти и методы уменьшения возможности его образования. Вопросы образования пригара подробно рассмотрены в соответствующем разделе учебника, поэтому приведем лишь наиболее часто применяемые технологические методы уменьшения пригара на отливках:

- ограничения по температуре заливки;
- применение стержней для получения углублений с тонкими стенками в массивной стенке отливки, даже если эти углубления можно получить по модели;
- повышение теплоаккумулирующей способности тех частей формы, где наиболее вероятно образование пригара;
- ограничение длительности простоя собранной формы из-за гигроскопичности применяемых смесей или связующих материалов;
- применение противопригарных красок;
- правильный подбор крупности песка в зависимости от рода сплава и массы отливки.

Наиболее сложным дефектом по механизму образования и методам борьбы являются ужимины. Имеется несколько разновидностей ужимин, и для устранения каждой из них требуются свои технологические приемы.

Ужимина образуется не только при отслоении формы, но и при отслоении теплоизоляционного покрытия (противопригарной краски). По внешнему виду эти ужимины не отличаются друг от друга. Они обычно образуются с верхней стороны плоских стенок отливок. Формирование ужимин происходит наиболее интенсивно при длительном тепловом воздействии. Чаще всего они образуются при формовке по сырому, а также при применении смесей с повышенным содержанием глины и пылевидных фракций песка. Процесс образования ужимины связан с процессами расширения и сжатия формовочной смеси при нагреве. Нагруженная (уплотненная) смесь при начальном нагреве, связанном с заливкой сплава в форму, расширяется из-за расширения кварца, а при более сильном нагреве сжимается из-за усадки глины. Поэтому на поверхности формы, нагретой до более высоких температур, происходит усадка смеси, а в наиболее глубоких слоях происходит ее расширение. В результате этих процессов на поверхности формы образуется трещина, лепестки которой впоследствии отслаиваются так, что под них затекает жидкий металл.

Для уменьшения вероятности образования ужимин необходимо:

- уменьшить объемное расширение смеси, путем замены свежего песка на отработанную смесь;
- увеличить деформационную способность смеси за счет применения рассредоточенных по фракциям песков;
- увеличить пористость внутренних слоев смеси с помощью добавления в смесь древесных опилок или каменноугольной пыли;
- уменьшить разность температур на поверхности и внутри формы, которая достигается снижением температуры заливки, применением формовочных материалов с высокой теплопроводностью;

- увеличить давление, приложенное к поверхности формы;
- повысить прочность поверхностного слоя;
- снизить содержание глины за счет применения бентонитовых глин;
- применить тепловую сушку форм и стержней;
- ограничить продолжительность выдержки собранных форм;
- выполнить рифление на поверхности формы.

9.3.3. Нарушение сплошности стенок отливки

Большинство пороков этой группы являются неисправимыми дефектами. Поэтому предупреждение пороков – основная мера борьбы с ними.

Газовые раковины образуются в результате механического проникновения газа из формы или стержня в затвердевающий металл отливки, неполного вытеснения газов жидким металлом из замкнутых полостей формы и выделением газов, растворенных в сплаве, а также протекания химических реакций, прежде всего, у поверхности холодильников и жеребеек от ржавчины или влаги на них. Последняя причина дефектов легко устраняется при применении соответствующей очистки и подготовки холодильников и жеребеек.

Для уменьшения сопротивления выходу газов из стержня необходимо правильно выполнять вентиляционные каналы, отводящие газы в знаковую часть. В форме для выхода газов необходимо предусматривать установку прибылей или выпоров. При применении закрытых прибылей стенки формы должны обладать хорошей газопроницаемостью. К эффективным мерам борьбы с газовыми дефектами следует отнести раскисление сплавов, подогрев или прокалывание заливочных ковшей (после ремонта), сифонный способ заливки форм и др.

При изготовлении тонкостенных отливок в сырых песчаных формах возникает дефект, называемый ситовидной пористостью. Механизм его образования заключается в том, что под действием высокой температуры сплава на внутренней поверхности формы начинается реакция паров воды с металлом. При этом выделяется атомарный водород, который легко диффундирует через тонкий закристаллизовавшийся слой отливки. На границе с жидким расплавом атомарный водород превращается в молекулярный и образует пузырек, стремящийся всплыть вверх. Но этому препятствует кристаллизация сплава. Дефект вскрывается обычно при механической обработке.

Резкое снижение брака по ситовидной пористости достигается путем более полного раскисления сплава, уменьшения содержания влаги, пылевидных фракций песка и глины в формовочных смесях, сокращения простоя собранных форм.

Утяжины образуются при медленном затвердевании сплава в районах выступающих частей формы или стержня и повышенном давлении газов, выделяемых этими частями при нагреве. Чаще всего утяжины образуются во внутренних углах массивных частей отливки. Из-за недостаточного питания этих углов вследствие нарушения направленности затвердевания или низкой жидкотекучести сплава давление в жидком сплаве из-за его усадки уменьшается. Вследствие возникшего перепада давлений тонкая корочка затвердевшего расплава вдавливается внутрь расплава, образуя утяжину. Очевидно, что для устранения утяжин необходимо снизить перепад давлений и увеличить скорость затвердевания металла. Одной из эффективных мер предупреждения образования утяжин является применение наружных холодильников в местах расположения выступов.

К технологическим мероприятиям также относятся:

- увеличение радиуса скругления внутренних углов формы;
- облицовка выступающих частей формы смесью с высокой температуропроводностью;
- понижение температуры заливки сплава.

Усадочная пористость в отливках появляется в виде микро- или макропористости. В первом случае тонкие несплошности усадочного происхождения располагаются между первичными зёрнами, ухудшают пластические свойства сплава, а также могут снижать коррозионную стойкость и усадочную пористость, особенно в стальных отливках.

Макропористость выявляется после травления темплетов на серых отпечатках или методом рентгенографии. Она снижает механические свойства сплавов. Усадочная пористость образуется в осевой зоне протяженных стенок отливок в сплавах с широким интервалом кристаллизации. Чем больше интервал затвердевания, тем более сплав склонен к образованию усадочной пористости. Предупреждение образования усадочной пористости достигается с помощью улучшения условий питания отливок, в частности, применения прибылей.

Засоры в отливках образуются в результате поломки стенок формы и при небрежном их исправлении, поломке при сборке формы, размыва литниковой системы или формы движущимся потоком металла, при образовании ужимов и т.д. Поражение отливки засорами, особенно в виде рассредоточенных включений усадочной пористости, часто является при механической обработке отливки.

Потоки жидкого металла, поступающие в полость формы, оказывают одновременно тепловое и механическое воздействие на ее стенки. В результате недостаточной термостойкости формовочных материалов происходят растрескивание стенок, осыпаемость и смывание жидким расплавом частиц формы. Особенно часто размывание происходит в местах присоединения питателей. Поэтому правильный выбор места подвода металла к отливке, точный расчет литниковой системы, обеспечивающий соответствующую скорость потока в устье питателей, оптимальный подбор формовочных материалов снижают вероятность размыва формы.

Оксидные пленки характерны для отливок, сплавы которых содержат элементы, обладающие большим родством с кислородом. Оксиды хрома, алюминия, титана являются основными составляющими плен. Основными методами борьбы с пленками являются:

- повышение температуры заливки сплава;
- максимально возможное сокращение продолжительности заливки литейных форм;
- преимущественный подвод металла к отливке сифонным способом;
- создание восстановительной атмосферы в форме;
- применение раскисления расплава перед заливкой в форму.

Горячие трещины относятся к наиболее распространенным видам литейных дефектов. Они образуются в области пластических деформаций сплава, когда его механические свойства низки и создаются достаточно незначительные сопротивления со стороны литейной формы или стержня для образования горячей трещины. Такие свойства сплава, как температурный интервал кристаллизации, линейная усадка, прочность и пластичность в области высоких температур, являются основными характеристиками трещиностойчивости.

Различают внутренние и наружные горячие трещины. Внутренние трещины образуются чаще всего в наиболее толстых частях отливки. Для них неприемлемо правило «Где тонко, там и рвется». Наружные горячие трещины являются результатом сопротивления со стороны формы или стержня.

Основные меры борьбы с горячими трещинами:

- улучшение технологичности конструкции литых деталей;
- повышение скорости охлаждения тепловых узлов отливки;
- применение рациональных методов подвода металла к стенкам отливки с целью снижения градиента температур;
- применение усадочных ребер, способствующих упрочнению наиболее опасных мест отливки;
- применение податливых смесей;

- для тонкостенных отливок возможно повышение температуры заливки сплава.

Холодные трещины чаще всего образуются на отливках замкнутой конструкции при наличии неравномерных по толщине стенок. Их появление – результат образования напряжений в отливке, которые подразделяются на три вида: термические, фазовые и усадочные.

Природа и механизм возникновения этих напряжений подробно рассматриваются в разд. 3 [47]. Отметим лишь, что как термические, так и фазовые напряжения могут быть сжимающими и растягивающими. Усадочные напряжения всегда растягивающие. Поэтому необходимо учитывать их взаимное действие и снижение или увеличение суммарных напряжений. При этом наличие того или иного вида и знака напряжений может определяться не только химическим составом сплава, но и конструкцией отливки. Так при изготовлении из стали отливок зубчатых колес, маховиков, шкивов нужно учитывать, что спицы и ступицы всегда имеют напряжения одного знака, а обод – противоположного. Нельзя заранее считать, что в ободе, имеющем большую толщину, чем спицы, всегда возникают растягивающие напряжения, а в спицах сжимающие. Более опасны обратные соотношения.

Борьба с холодными трещинами сводится к мерам, снимающим напряжения: обеспечение равномерности толщины стенки отливки, применение наружных холодильников для ускорения охлаждения толстых частей отливки, применение стержней с малой толщиной стенки, правильный подвод металла, правильный выбор места установки прибылей и др.

9.3.4. Пороки структуры и неоднородности химического состава

Пороки структуры возникают, как правило, из-за неправильно выбранных химического состава сплава, режима термической обработки, условий охлаждения отливки. Неоднородность химического состава является результатом ликвационных процессов, особенно характерных для толстостенных отливок, когда в расплаве появляются сильно ликвирующие элементы. Одно из эффективных средств устранения ликвации – быстрая скорость кристаллизации отливки. Скорость обеспечивается максимально возможным снижением температуры заливки, применением внутренних холодильников.

Несоответствие структуры, как правило, приводит к несоответствию требований, касающихся механических, физических и химических

свойств отливок. Для исправления структуры иногда достаточно повторной термической обработки отливок.

К общим мероприятиям по борьбе с дефектами можно отнести:

- обеспечение технологической документацией;
- организацию контроля за исполнением технологии;
- изучение брака и принятие оперативных решений по предупреждению повторения выявленных дефектов;
- получение повседневной информации исполнителей технологического процесса о выявленных дефектах;
- разъяснение причин брака и др.

Основными средствами исправления дефектов отливок являются заварка, заделка эпоксидными композитами, пропитка герметизирующими материалами, а также установка различных пробок, заглушек, втулок. Заварка является наиболее надежным способом исправления дефектов. Заваркой устраняют раковины, незаливки, трещины и др.

В заключение приведем характерные признаки, причины возникновения и меры предупреждения основных дефектов отливок (таблица).

Пороки отливок

Наименование порока	1	2	3	4
	Характерные признаки	Причины возникновения	Меры предупреждения	
Недолит	Наличие незаполненных металлом элементов отливки, неполностью заполненные металлом стенки отливки, нечеткое воспроизведение контуров отливки	Недостаточное количество металла Низкая температура заливки Недостаточная жидкотекучесть сплава вследствие отклонений в химическом составе, неполного раскисления сплава, наличия графитной следи в чугуне Уход металла в разъем формы Малая площадь сечения питателей, неправильный подход литников к полости формы	Перерасчет количества металла Повышение температуры заливки Изменение химического состава, качественное раскисление сплава, исключение из шихты высококремнистых низкокачественных доменных чугунов Повышение качества сборки формы Увеличение площади сечения питателей, применение раскислителя подвода сплава, приближение места подвода сплава к тонкостенным элементам формы Изменение конструкции, увеличение толщины стенок отливки Увеличение числа вентиляционных каналов, установка выпоров, повышение газопроницаемости формы	
Коробление	Искажение размеров и конфигурации отливки при сохранении	Неравномерность охлаждения отдельных частей отливки вследствие ее нерациональной конструкции	Изменение конструкции отливки (установка усадочных ребер, галтелей, изменение толщины стенок и взаим-	

1	2	3	4
	<p>ности ее сплошности</p>	<p>Неправильный подвод металла, усиливающий неравномерность охлаждения (подвод в толстые стенки) Высокая температура заливки Низкая прочность формы Неправильная укладка отливок при термообработке</p>	<p>Подвод металла в более тонкие и концевые части отливки Уменьшение температуры заливки Повышение степени уплотнения форм Равномерная, плотная укладка отливок Применение моделей с обратным уклоном Применение термообработки для снятия напряжений перед механической обработкой отливок</p>
Пригар	<p>Грубая шероховатая поверхность отливки с приварившимся к ней слоем формовочной или стержневой смеси, оксидов расплава и продуктов их взаимодействия с оксидами формовочных</p>	<p>Высокая температура заливки Низкая скорость заливки Повышенный разогрев формы в месте подвода сплава Недостаточная огнеупорность формовочных материалов Высокая порность формы</p>	<p>Снижение температуры заливки. Повышение скорости заливки, увеличение площади питателей Распределение подвода сплава, осуществление его через несколько питателей Применение материалов с большей огнеупорностью (магнезит, хромит) Применение мелких фракций песка, увеличение степени уплотнения форм</p>

1	2	3	4
	материалов	Некачественное окрашивание или припыливание поверхности формы Несоблюдение рецептуры формовочных и стержневых смесей Нарушение технологии приготовления смеси	мы, добавление в формовочную смесь мелкозернистых материалов (например маршаллита) Улучшение качества краски и равномерности ее нанесения Строгое соблюдение рецептуры смесей Соблюдение технологии приготовления смеси
Ужимины	Вмятина, узкая канавка на поверхности отливки, заполненная формовочной смесью и прикрытая слоем металла	Наличие трещин на поверхности формы Неравномерное и сильное уплотнение формы Низкая газопроницаемость и плохая вентиляция формы Повышенное содержание глины Повышенное объемное расширение материала формы при нагреве Низкая деформационная способность материала формы	Обеспечение качественного изготовления формы Обеспечение равномерного уплотнения на заданном технологическом уровне Повышение газопроницаемости и вентиляции формы Снижение содержания глины за счет применения бентонитов Снижение объемного расширения материала формы за счет замены свежего песка отобранной формовочной смесью Увеличение деформационной способности путем применения песков с рас-

1	2	3	4
Слай	Наличие на отливке сквозных или поверхностных углублений с закругленными краями, образованных полностью слившейся потоками расплава	<p>Недостаточная скорость заливки формы</p> <p>Высокая температура заливки</p> <p>Высокая газотворность формы</p>	<p>средоточенной зерновой основой</p> <p>Увеличение площади питателей</p> <p>Снижение температуры заливки</p> <p>Снижение органических добавок и влаги в смеси</p> <p>Применение рифления поверхности формы</p>
	<p>Наличие на отливке сквозных или поверхностных углублений с закругленными краями, образованных полностью слившейся потоками расплава</p>	<p>Недостаточная температура заливки</p> <p>Недостаточная жидкотекучесть сплава</p> <p>Недостаточная скорость заливки формы</p> <p>Неправильный подвод расплава к полости формы</p> <p>Прерывистая заливка</p> <p>Низкая газопроницаемость и плохая вентиляция формы</p>	<p>Повышение температуры заливки</p> <p>Повышение жидкотекучести путем корректировки химического состава сплава</p> <p>Увеличение площади питателей</p> <p>Рассредоточить подвод расплава, приблизить места подвода к тонким стенкам отливки</p> <p>Обеспечить непрерывность заливки</p> <p>Повышение газопроницаемости и обеспечение свободного выхода газов из всех участков полости формы при заливке</p>

1	2	3	4
Объемные газовые раковины	Несплошности в объеме отливки сферической или округлой формы с блестящей поверхностью чаще синеватого оттенка	Высокое содержание газов в металле Пониженная газопроницаемость формы Повышенная газотворность форм Недостаточная вентиляция форм и стержней Высокая скорость заливки форм. Низкая температура заливки Недостаточная просушка форм и стержней Некачественная окраска форм и стержней Повышенная влажность формовочной смеси	Применение менее окисленной шихты, качественное раскисление и рафинирование металла Изменение состава формовочных смесей Изменение состава формовочных смесей Улучшение вентиляции форм и стержней Уменьшение площади сечения питателей Увеличение температуры заливки Соблюдение технологии сушки Соблюдение технологии окраски Снижение влажности формовочной смеси
Поверхностные газовые раковины	Несплошности в подкорковом поверхностном слое отливки, имеющие вид взрывных камер	Проникновение газов из форм в расплав через затвердевшую корку в момент удаления конституционной влаги из каолиновой глины Высокая температура заливки Низкая скорость затвердевания отливки	Снижение содержания глины за счет применения бентонитовых глин Снижение температуры заливки Применение более теплопроводных материалов в облицовочной смеси

1	2	3	4
Усадочные раковины	Открытые или закрытые пустоты с сильно шероховатой поверхностью со следами дендритной структуры, с грубокристаллическим строением	Нарушение условий направленного затвердевания Недостаточный объем металла в прибыли и недостаточная высота прибыли Неправильная установка прибылей Высокая температура заливки Неправильный подвод металла Низкая скорость заливки при подводе металла снизу	Корректировка конструкции детали, применение напусков, внутренних и наружных холодильников Изменение размеров и конструкции прибылей Правильный выбор мест установки прибылей Снижение температуры заливки Применение подвода металла под прибыль, в толстостенные части отливки Повышение скорости заливки
Горячие трещины	Разрывы или надрывы в теле отливки с окисленной поверхностью и характерным межкристаллитным изломом	Нетехнологичная конструкция отливки Недостаточная подавляемость стержней	Улучшение конструкции отливки, обеспечение плавных переходов стенок, радиусов скруглений, галтелей и т.п. Увеличение подавляемости стержней за счет применения пустотелых стержней, добавки в стержневую смесь древесных опилок, связующих, обеспечивающих снижение прочности стержней в нагретом состоянии

1	2	3	4
Холодные трещины	Прямолнейные и извилистые разрывы или надрывы с чистой поверхностью и внутрикристаллическим изломом	Несоблюдение требований по химическому составу сплава Преждевременная выбивка форм Неправильный подвод металла Неправильное расположение холлодильников Высокая температура заливки Нетехнологичная конструкция отливки Высокая температура заливки Неправильный подвод металла Плохая податливость форм и стержней	Соблюдение требований по химическому составу сплава Изменение времени до выбивки форм Обеспечение рассредоточенного подвода металла Правильная установка или изменение конструкции холлодильников Снижение температуры заливки Улучшение конструкции отливки, обеспечение минимальных перепадов толщин стенок, увеличение конусности и уклонов поверхностей и т.п. Снижение температуры заливки Обеспечение рассредоточенного подвода металла в наиболее тонкие части отливки Повышение податливости форм и стержней

Контрольные вопросы

1. В стальной отливке с небольшим градиентом температуры по высоте появились усадочные дефекты. Наличие прибылей не дало желаемого результата. Что необходимо изменить в технологии для устранения указанного дефекта?
2. В отливке с небольшим градиентом температуры возникли напряжения. Каковы причины их появления и меры по устранению напряжений?
3. В отливке появился дефект – ужимина. Влияет ли глина, входящая в состав формовочной смеси, на образование этого дефекта? Как необходимо изменить ее содержание для устранения дефекта?
4. Какое влияние и почему окажет на образование ужимин замена свежего формовочного песка на горелую смесь?
5. Почему внутренняя горячая трещина чаще образуется в наиболее толстой части отливки?
6. Почему применение податливых формовочных смесей снижает вероятность образования холодных трещин в отливке?
7. Можно ли отличить газовый дефект в отливках, возникший по вине металла, от дефекта, возникшего по вине литейной формы?
8. Назовите основные внешние признаки, отличающие газовый дефект от усадочного.
9. Чем может быть вызвано образование пригара на отливках?
10. Что такое отбел на чугунных отливках? Как его устранить? Является ли отбел устранимым дефектом?
11. Как отличить горячую трещину от холодной?
12. Прибыль установлена сверху. Как влияет на возможность появления усадочных раковин продолжительность заливки при подводе сплава снизу и сверху (под прибыль)?
13. Как влияет продолжительность заливки на образование объемных газовых раковин?
14. Отливка склонна к образованию холодных трещин. В какие ее части (тонкие или толстые) следует подводить металл?
15. Отливка склонна к образованию усадочных раковин. В какие ее части (тонкие или толстые) следует подводить металл?

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Г. Г. Справочник молодого литейщика. – М.: Вышш. шк., 1983. – 207 с.
2. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.
3. Берг П. П. Формовочные материалы. – М.: Машгиз, 1963. – 408 с.
4. Бондарев О. А. Исследование связи геометрии песчаной газопроницаемой формы с напряженностью ее газового режима при получении отливок из серого чугуна: Автореф. дис. ... канд. техн. наук/Урал. политехн. ин-т. – Свердловск, 1987. – 20 с.
5. Борсук П. А., Лясс А. М. Жидкие самотвердеющие смеси. – М.: Машиностроение, 1979. – 254 с.
6. Васильевский П. Ф. Литниковые системы стальных отливок. – М.: Машгиз, 1956. – 163 с.
7. Вейник А. И. Теория затвердевания отливки. – М.: Машгиз, 1960. – 435 с.
8. Вёрстш А. Очистка отливок: Пер. с венг./Под ред. Г.Ф. Баландина. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
9. Воздвиженский В. М., Жуков А. А., Бастраков В. К. Контроль качества отливок. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
10. Головин С. Я. Краткий справочник литейщика. – М.; Л.: Машгиз, 1960. – 375 с.
11. Гуляев Б. Б. Затвердевание и неоднородность стали /Под ред. Ю. А. Нехендзи. – М.: Металлургиздат, 1950. – 228 с.
12. Гуляев Б. Б., Корнюшкин О. А., Кузин А. В. Формовочные процессы. – Л.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
13. Денисов В. А. Расчет прибылей стальных отливок // Теплообмен между отливкой и формой: Сб. – Минск: Вышэйш. шк., 1967. – С. 227–233.
14. Долотов Г. П., Кондаков Е. А. Печи и сушила литейного производства. – М.: Машиностроение, 1984. – 232 с.
15. Дубницкий Г. М. Литниковые системы. – М.; Свердловск: Машгиз, 1962. – 256 с.
16. Жуковский С. С. Прочность литейной формы. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
17. Жуковский С. С., Лясс А. М. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей. – М.: Машиностроение, 1978. – 224 с.
18. Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
19. Интяков Н. Г. Метод расчета прибылей для фасонных отливок//Проблемы теплообмена при литье: Сб. – Минск: Изд-во БПИ, 1960. – С. 76–81.

20. Ипатов Н. К., Фатесв В. А. Сравнение размеров прибылей по разным методам расчета//Теплофизика в литейном производстве: Сб. – Минск: Изд-во АН БССР, 1963. – С. 64 – 67.
21. Крымов В. Г., Фишкин Ю. Е. Изготовление литейных стержней. – М.: Высш. шк., 1991. – 256 с.
22. Ложичевский А. С. Литейные металлические модели. – М.: Машиностроение. 1973. – 349 с.
23. Матвеев И. В., Тарский В. Л. Оборудование литейных цехов: Учеб. для учащихся сред. спец. учеб. заведений. – М.: Машиностроение. 1985. – 400 с.
24. Медведев Я. И., Валисовский И. В. Технологические испытания формовочных материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 309 с.
25. Могилев В. К., Лев О. И. Справочник литейщика: Справ. для проф. обучения рабочих на пр-ве. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
26. Нехендзи Ю. А. Стальное литье. – М.: Metallurgizdat, 1948. – 766 с.
27. Орлов Г. М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
28. Парфенов Л. И. Оператор-литейщик на автоматах и автоматических линиях. – М.: Высш. шк., 1991. – 224 с.
29. Попов А. Д. Расчет прибылей для отливок. – М.: Машгиз, 1957. – 55 с.
30. Пржибыл Й. Затвердевание и питание отливок. – М.: Машгиз, 1957. – 287 с.
31. Рабинович Б. В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 423 с.
32. Руководство технолога-литейщика/НТО НИИПТМаш. – Краматорск, 1990. – 116 с.
33. Руссиян С. В., Баранов И. А. Проектирование технологических процессов литейного производства. – М.: Машгиз, 1951. – 246 с.
34. Рыжиков А. А. Теоретические основы литейного производства. – М.: Свердловск: Машгиз, 1961. – 447 с.
35. Серебро В. С. Оценка условий внедрения газа в расплав из стержня //Литейное производство. – 1990. – №9. – С. 15–16.
36. Серебряков В. В., Фишкин Ю. Е. Механизированное изготовление стержней в литейном производстве. – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.
37. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мецеракова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.1. – 656 с.
38. Степалов Ю. А., Ссменов В. И. Формовочные материалы. – М.: Машиностроение, 1969. – 158 с.
39. СТП ПЗ88–89. Отливки фасонные стальные и чугунные. Введ.

01.07.89//Сборник технологических инструкций ОГМ по стальному литью/УЗТМ НИИТЯЖмаш – Свердловск, 1989. – 19 с.

40. Гущин С. Н. и др. Сушка в литейном производстве: Учеб. пособие/С. Н. Гущин, Г. В. Воронов, И. П. Рейкин, М. Д. Казяев. – Свердловск: Изд-во Урал. политехн. ин-та, 1988. – 80 с.

41. Технологическая инструкция на кислородную обрезку прибылей и газоплазменную поверхностную очистку стальных отливок (25092.00011)// Сборник технологических инструкций ОГМ по стальному литью/ УЗТМ НИИТЯЖмаш. – Свердловск, 1989. – 18 с.

42. Формовочные материалы и смеси/С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек. – Киев: Выща шк., 1990; Прага: СНТЛ, 1990. – 418 с.

43. Формовочные процессы / Б. Б. Гуляев, О. А. Корнюшкин, А. В. Кузин и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 264 с.

44. Хворинюв Н. И. Затвердвание отливок. – М.: ИЛ, 1965. – 92 с.

45. Цветное литье:Справ./Н.М.Галдина, Д.Ф.Чернса, Д.Ф.Иванчук и др.; Под ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.

46. Чуркин Б. С. Технологические расчеты заполнения форм сплавом: Метод. указания по курсовому и диплом. проектированию. – Свердловск: Изд-во Урал. политехн. ин-та, 1984. – 35 с.

47. Чуркин Б. С. Теоретические основы литейных процессов: Учеб. пособие/Под ред. Э. Б. Гофмана; Свердлов. инж.-пед. ин-т. – Свердловск, 1991. – 200 с.

48. Чуркин Б. С., Гофман Э. Б. Основы литейной гидравлики: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Свердл. инж.-пед. ун-та, 1992. – 236 с.