

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

Учебник

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. А. П. Трухова

Допущено

*Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Машины и технологии литейного
производства» направления подготовки дипломированных
специалистов «Машиностроительные технологии и оборудование»*

УДК 621.74(075.8)

ББК 34.61я73

Т384

Авторы:

А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов,
Б. П. Благонравов, А. А. Минаев, Э. Ч. Гини

Рецензенты:

зав. кафедрой «Технология литейного производства» Российского
государственного технологического университета им. К. Э. Циолковского
(МАТИ), д-р техн. наук, проф. *В. С. Моисеев*;
канд. техн. наук *И. Н. Васильев*

Технология литейного производства: Литье в песчаные
Т384 формы: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Тру-
хов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов и др.; Под ред. А. П. Тру-
хова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 528 с.
ISBN 5-7695-1757-3

Изложены основы технологии изготовления отливок в разовых формах из дисперсных материалов. Приведены расчеты литниковых систем, характер взаимодействия отливки и формы, особенности формирования точности размеров при проектировании и изготовлении деталей. Описаны литейные дефекты и методы их контроля.

Для студентов машиностроительных вузов и специалистов, занятых в области производства литых изделий.

УДК 621.74(075.8)

ББК 34.61я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Трухов А. П., Сорокин Ю. А., Ершов М. Ю.,
Благонравов Б. П., Минаев А. А., Гини Э. Ч., 2005
© Издательский центр «Академия», 2005

ISBN 5-7695-1757-3

Предисловие	3
Введение. Исторический очерк о развитии литейного производства	4
Глава 1. Системный анализ технологических процессов изготовления отливок	21
1.1. Технологический процесс изготовления отливок в песчано-глинистых формах	21
1.2. Системный анализ технологических процессов изготовления отливок. Примеры использования	22
Глава 2. Технологичность литых деталей. Возможности их изготовления	27
2.1. Сплав	27
2.2. Минимальная толщина стенки	28
2.3. Радиусы переходов и сопряжений стенок литых изделий	30
2.4. Литейные радиусы	33
2.5. Формовочные (литейные) уклоны	35
2.6. Минимальный диаметр литого отверстия	42
2.7. Оценка конструкционной технологичности литых деталей	44
2.7.1. Анализ технологичности с учетом возможных способов формообразования отливок	45
2.8. Точность отливки	57
2.9. Шероховатость поверхности отливок	58
2.10. Герметичность отливок	58
Глава 3. Формовочные материалы, смеси и литейные формы	59
3.1. Требования, предъявляемые к формовочным смесям и формам	59
3.2. Формовочные пески	61
3.2.1. Кварцевые пески	61
3.2.2. Классификация песков по ГОСТ 2138—91	62
3.2.3. Определение содержания глинистых составляющих	64
3.2.4. Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности (ГОСТ 29234.3—91)	65
3.2.5. Область применения кварцевых песков	68
3.2.6. Некварцевые пески	68
3.3. Формовочные глины и песчано-глинистые смеси	71

3.3.1. Классификация глин	73
3.3.2. Активация глин	80
3.3.3. Способы введения глин в формовочную смесь	81
3.3.4. Специальные добавки в песчано-глинистые смеси	82
3.3.5. Песчано-глинистые смеси	82
3.4. Неглинистые связующие материалы и песчаные смеси с ними	107
3.4.1. Песчаные смеси с неорганическими связующими материалами	108
3.4.2. Песчаные смеси на органических связующих	117
3.5. Противопожарные добавки и покрытия литейных форм	133
3.6. Регенерация песков	137
3.7. Технологические свойства смесей	140
Глава 4. Модельно-стержневая оснастка и опоки	160
4.1. Модельно-стержневая оснастка	160
4.2. Деревянные модели и стержневые ящики	162
4.3. Металлические модели, модельные плиты и стержневые ящики	165
4.3.1. Металлические модели	165
4.3.2. Модели стоячков, воронок и чаш	166
4.3.3. Модельные плиты	167
4.3.4. Стержневые ящики	171
4.3.5. Опоки	177
4.4. Технологии послойного прототипирования для изготовления моделей	180
Глава 5. Методы упрочнения литейных форм и стержней	183
5.1. Механические способы уплотнения	183
5.1.1. Прессование	184
5.1.2. Уплотнение встряхиванием	191
5.1.3. Уплотнение с помощью пескомета	194
5.1.4. Уплотнение пескодувным и пескострельным методами	196
5.1.5. Импульсное уплотнение	199
5.1.6. Прессово-ударное уплотнение	202
5.1.7. Уплотнение форм из самотвердеющих смесей	202
5.2. Тепловые способы упрочнения	202
5.2.1. Сушка форм и стержней горячими газами	204
5.2.2. Сушка инфракрасным излучением	206
5.2.3. Сушка токами высокой частоты	207
5.3. Химические способы упрочнения	207
5.4. Физические способы упрочнения	209
5.4.1. Вакуумно-пленочный способ изготовления формы	209
5.4.2. Литье по газифицируемым моделям	211
Глава 6. Технология ручной формовки	213

6.1. Формовочный инструмент	214
6.2. Формовка в почве (кессонах)	217
6.2.1. Формовка в мягкой постели	217
6.2.2. Формовка в твердой постели	220
6.3. Формовка в опоках по разъемной модели	222
6.4. Формовка в двух опоках с подрезкой	224
6.5. Формовка по модели с отъемными частями	225
6.6. Формовка с перекидным болваном	226
6.7. Формовка с подъемным болваном	228
6.8. Формовка с фальшивой опокой	229
6.9. Формовка в трех опоках	230
6.10. Формовка по шаблону	231
6.10.1. Формовка вращающимся шаблоном	231
6.10.2. Формовка протяжными шаблонами	233
6.11. Формовка в стержнях	234
6.12. Формовка по скелетным моделям	236
Глава 7. Технология машинной формовки	238
7.1. Опочная формовка	239
7.2. Безопочная формовка	242
7.3. Автоматизированная опочная и безопочная формовка	244
Глава 8. Изготовление стержней	246
8.1. Ручное изготовление стержней с конвективной сушкой	246
8.2. Машинное изготовление стержней с конвективной сушкой	250
8.3. Технология изготовления стержней по горячей оснастке	251
8.3.1. Бункерный способ изготовления оболочковых стержней	253
8.3.2. Пескодувный способ изготовления оболочковых стержней путем надува смеси	254
8.3.3. Центробежный способ изготовления оболочковых стержней	255
8.3.4. Кронинг-процесс	256
8.4. Изготовление стержней по холодной оснастке	257
8.5. Сборка, контроль и хранение стержней	258
Глава 9. Протяжка моделей и стержневых ящиков	260
9.1. Анализ усилий, действующих на формы при протяжке моделей	260
9.2. Конструктивные решения, обеспечивающие качественную протяжку моделей	262
Глава 10. Сборка форм	265
10.1. Установка стержней и контроль их положения	265
10.2. Сборка полуформ	267

10.3. Крепление полуформ	268
Глава 11. Заливка форм	270
11.1. Разливочные ковши	270
11.2. Расчет емкости ковша	272
11.3. Расчет числа ковшей или заливочных устройств	273
11.4. Автоматизация заливки	275
Глава 12. Выбивка отливок из форм	277
12.1. Определение температуры и времени выбивки отливок и времени их охлаждения после выбивки	277
12.2. Этапы выбивки отливок из форм	281
12.3. Вибрационная выбивка	281
12.4. Инерционная выбивка	282
12.5. Выбивка методом прошивания	283
12.6. Разделение смеси и отливок	285
12.7. Удаление стержней из отливок	287
12.7.1. Гидравлическая выбивка стержней	288
12.7.2. Электрогидравлическая выбивка стержней	289
12.8. Методы отделения литниковых систем от отливок	289
12.9. Очистка отливок от пригара и мелких заливок	290
12.9.1. Дробеметная очистка отливок	292
12.9.2. Дробеструйная очистка отливок	296
12.10. Специальные методы очистки	296
12.10.1. Электрохимическая очистка	296
12.10.2. Вибрационная очистка	298
12.11. Зачистка отливок	298
Глава 13. Литниковые системы	301
13.1. Конструкции литниковых систем	301
13.2. Расчет сужающихся литниковых систем	313
13.2.1. Определение площади питателя (узкого сечения)	313
13.2.2. Определение площадей сечений других, кроме питателя, элементов	317
13.2.3. Определение размеров сечений элементов литниковой системы	318
13.2.4. Определение площадей сечений и размеров других, кроме питателей и литниковых ходов, элементов литниковой системы	324
13.3. Расчет расширяющихся литниковых систем	328
13.4. Особенности расчета литниковых систем для отливок из алюминиевых и других сплавов, склонных к пленообразованию	329
Глава 14. Получение плотных отливок	333
14.1. Наружные холодильники	335
14.2. Внутренние холодильники	338
14.3. Технологический напуск	340
14.4. Конструкции прибылей	342

14.5. Расчет прибылей	351
14.5.1. Определение тепловых узлов	351
14.5.2. Определение числа прибылей	352
14.5.3. Расчет массы (объема) и размеров прибылей для отливок, изготавливаемых в песчано-глинистых формах	357
14.5.4. Расчет холодильников	359
Глава 15. Особенности взаимодействия отливки и формы	360
15.1. Давление металла на форму и стержни	360
15.2. Расчет груза	363
15.3. Подутие отливок	364
15.4. Образование газовых раковин в отливках	366
15.5. Нагрев поверхностных слоев формы и связанные с этим явления	372
15.5.1. Неоднородность термического расширения сухой корки и влияние его на линейную усадку отливки	373
15.5.2. Ужимины	375
15.5.3. Образование трещин в безопочных формах с вертикальным разъемом	380
Глава 16. Формирование точности отливок	384
16.1. Основные понятия и терминология	384
16.2. Точность размеров	388
16.2.1. Особенности формирования точности размеров	388
16.2.2. Анализ факторов, влияющих на точность размеров	390
16.3. Точность формы и расположения элементов	402
16.4. Шероховатость и неровность поверхностей отливок	406
16.4.1. Шероховатость поверхностей отливок	406
16.4.2. Неровность поверхностей отливок	407
16.5. Точность массы отливок	408
16.6. Припуски на механическую обработку	409
16.6.1. Исходный литейный припуск	410
16.6.2. Параметр геометрической точности	412
16.6.3. Определение общего припуска	413
16.7. Пути повышения точности отливок	425
16.7.1. Стабилизация технологических параметров ...	426
16.7.2. Повышение геометрической точности отливок	427
16.7.3. Использование асимметричных допусков в размерах отливок	428
16.7.4. Уменьшение систематических погрешностей....	429
16.7.5. Уменьшение припусков на обработку	430
16.8. Нормирование параметров точности	431
16.8.1. Принцип равной точности	431

16.8.2.	Нормирование допусков размеров отливок	432
16.8.3.	Нормирование допусков формы и расположения	437
16.8.4.	Нормирование допусков неровности поверхности	438
16.8.5.	Нормирование допусков массы	439
16.9.	Обобщенные параметры точности отливок	439
Глава 17.	Литейные дефекты и методы их контроля	442
17.1.	Классификация литейных дефектов	442
17.1.1.	Первая группа дефектов — несоответствие по геометрии	442
17.1.2.	Вторая группа дефектов — дефекты поверхности	444
17.1.3.	Третья группа дефектов — несплошности в теле отливки	446
17.1.4.	Четвертая группа дефектов — включения	447
17.1.5.	Пятая группа дефектов — несоответствие по структуре	448
17.2.	Контроль и аттестация точности отливок	449
17.2.1.	Контроль точности	449
17.2.2.	Методы и средства контроля	449
17.2.3.	Определение объемов партии и выборки для проведения контроля точности размеров	453
17.2.4.	Пример проведения контроля	454
17.2.5.	Аттестация точности отливок	454
17.2.6.	Аттестация и определение фактического класса точности размеров	455
17.2.7.	Корректировка модельно-стержневой оснастки	456
17.3.	Контроль чистоты поверхности	457
17.4.	Контроль химического состава	458
17.4.1.	Термографический контроль углеродного эквивалента	459
17.4.2.	Спектральный контроль	460
17.5.	Контроль герметичности	461
17.6.	Контроль температуры	462
Глава 18.	Проектирование технологического процесса изготовления отливок	466
18.1.	Разработка чертежа отливки	468
18.1.1.	Выбор баз механической обработки	468
18.1.2.	Определение допусков и припусков на механическую обработку	470
18.2.	Проектирование технологии литейной формы	475
18.2.1.	Рекомендации по выбору положения отливки в форме и плоскости разъема	475
18.2.2.	Формирование внешних и внутренних поверхностей отливок	479

18.3. Конструирование знаков стержней	481
18.3.1. Конструирование знаков стержней для опочной формовки	481
18.3.2. Особенности конструирования знаков стержней для безопочной формовки	487
18.4. Разработка технического задания на изготовление технологической оснастки (модельного комплекта) ...	490
18.5. Примеры разработки технологического процесса ...	491
18.6. Особенности проектирования технологического процесса гибкого автоматизированного производства отливок	494
18.7. САПР изготовления отливок в сырых песчано-глинистых формах	510
Список литературы	515

ПРЕДИСЛОВИЕ

Продуктом литейного производства является отливка, которая используется как литая заготовка, если в дальнейшем частично или полностью подвергается механической обработке, и в отдельных случаях (см. гл. 16) как деталь, которая устанавливается в изделие без обработки.

Производство любого технического продукта непременно связано с использованием учения о совокупности и последовательности операций, о материалах, инструментах и машинах, применяемых в его производстве. Литейное производство также является многоматериальным, многооперационным сложнейшим технологическим процессом, изложению которого и посвящен данный учебник.

За долгий период существования литейного производства накоплены колоссальные знания в этой области, позволившие сделать определенные обобщения, разработать инженерные методы расчета, моделирования, создать программы для ЭВМ, на основе которых проводятся расчеты процессов заполнения формы, затвердевания отливки и т. д.

Знания данного предмета имеют довольно широкую область применения, связанную с литейным производством. Ориентировочно более 10 млн человек в мире имеют прямое или косвенное отношение к литейному производству, поэтому можно считать несомненным, что, несмотря на целевую направленность данного учебника на подготовку специалистов по конкретным специальностям, его материал окажется востребован более широкой читательской аудиторией.

Учебник написан сотрудниками кафедры «Машины и технология литейного производства им. П. Н. Аксенова» МГТУ «МАМИ» А. П. Труховым, Ю. А. Сорокиным, М. Ю. Ершовым, Б. П. Благонравовым, а также А. А. Минаевым (ООО «Минаев и партнеры») и Э. Ч. Гини (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Предисловие и главы 1, 13—15 написаны А. П. Труховым, главы 2—5, 7—11, 16, 18 — совместно А. П. Труховым и Ю. А. Сорокиным, за исключением параграфа «Приготовление формовочных смесей» в подразд. 3.3.5 (автор М. Ю. Ершов), подразд. 5.1 (автор Б. П. Благонравов) и подразд. 18.6 (автор Э. Ч. Гини). Введение написал А. А. Минаев, главу 6 написали совместно М. Ю. Ершов, А. П. Трухов и Ю. А. Сорокин, главу 12 — Б. П. Благонравов и главу 17 — М. Ю. Ершов.

Исторический очерк о развитии литейного производства

Технология получения отливок известна человечеству с древнейших времен. Ее история начиналась на заре земных цивилизаций ранее 4 тыс. лет до н. э. За такой исторический период литейное производство превратилось в одну из отраслей промышленности, использующей наряду с древнейшими традициями все современные достижения науки и техники: компьютерные технологии, лазеры, электронику и автоматику, композиционные материалы, сплавы с заранее заданными свойствами, биотехнологии и др.

В современной научно-технической и исторической литературе отдельным вопросам и периодам развития литейного производства были посвящены работы многих специалистов в данной области: П. Н. Аксенова, Г. Ф. Баландина, А. А. Горшкова, Б. Б. Гуляева, Л. И. Леви, Л. М. Мариенбаха, Ю. А. Нехендзи, Г. М. Орлова, А. М. Петриченко, Б. В. Рабиновича, Н. Н. Рубцова, В. М. Шестопала и др.

Для развития литейной техники и технологии характерны некоторые общие закономерности, в частности расширение ассортимента применяемых природных материалов (в первую очередь по их прочности), постоянное совершенствование применяемых натуральных и искусственных материалов (также по их прочности), рациональное количественное использование материалов, создание искусственных материалов с заранее заданными свойствами и др.

Кроме того, эволюция литейного производства определяется применением все более сложных источников энергии; возрастающей интенсивностью технологических процессов; увеличением числа их параметров; последовательным движением от использования механических процессов, физических и химических, к техническому воплощению биологических процессов, к замене машинами функций человека в литейном производстве: энергетической, транспортной функции, технологического изменения обрабатываемого материала, контрольно-измерительной и, наконец, логической.

Анализ и систематизация основных качественных изменений в развитии техники и технологии литейного производства позволили установить главные требования, предъявляемые машиностро-

нием к своей заготовительной базе, — это прочность и точность производимых отливок.

На основе выявленных признаков выделены три основных периода развития техники и технологии литейного производства, начиная с момента зарождения машиностроения: конец XVIII в. — первая четверть XX в. — конец 1940-х гг. — конец XX в.

Техника и технология литейного производства в период конец XVIII в. — первая четверть XX в. В период мануфактурного производства в России были подготовлены материальные и экономические предпосылки машинного производства. Первые машиностроительные заводы в России, которые начали строить в конце XVIII в., были литейные.

Удешевление продукта и рост потребности самих металлургических заводов способствовали постепенному развитию машиностроения, которое в свою очередь дало металлургическим заводам средства для совершенствования и роста. Одновременно с машиностроительной индустрией возникли новые технические средства, являющиеся областью сбыта продуктов чугунолитейного производства, в частности развитие рельсовых путей, мостостроение, применение пара для движения судов (1807) и паровозов (1827) и т. д.

Важным моментом в развитии чугунолитейного производства с возникновением машиностроения явилось отделение процесса вторичной плавки чугуна, в основном ваграночной, от исходной металлургической базы. Новые архивные материалы подтверждают, что вагранки в России появились сначала при металлургических заводах для отливки предметов домашнего обихода.

Первая в России паровая машина с использованием литых деталей собственного производства была построена на Александровском металлургическом заводе в Петрозаводске (1790). Частный завод Берда (1792) в течение первых же лет с момента основания производил литые детали для паровых машин, токарных станков для Тульского оружейного завода, а также для паровых судов.

В 1846 г. в России были построены первые паровозы и вагоны широкой колеи (1524 мм) для Николаевской железной дороги (Петербург — Москва). Этот год считается началом отечественного заводского паровозо- и вагоностроения.

В области технологии формовки российские литейщики имели большой опыт по производству колоколов, пушек, который раскрыт в работе Н. Н. Рубцова [39]. Это была так называемая «медленная формовка», применявшаяся и в более ранний период. Данная непроизводительная технология, требующая повышенной квалификации литейщиков, сопряжена с высоким браком литья.

С развитием машиностроения возникла потребность в производстве большого количества точных однотипных отливок, которые стали формовать с помощью моделей и разъемных опок в

песчано-глинистые формы. Во второй половине XIX в. этот способ сделался основным при производстве машиностроительного литья, хотя в данном более прогрессивном методе формовки, как и в прежнем «медленном», весь процесс производства форм осуществляется в основном вручную. Эмпирический, рецептурный подход применялся как к подбору оптимальных составов формовочных смесей, так и к установлению необходимых физико-механических свойств отливки. В результате получаемые разнообразные составы смесей зависели от местных условий.

Даже в первом отечественном руководстве по чугунолитейному производству, написанном русским металлургом, горным инженером А. Ф. Мевисом (1859), еще отсутствуют рекомендации о применении простейшей техники при формовке. Так, при описании основных способов формовки приведена следующая их классификация: 1) формовка в тощем или сыром песке: почвенная формовка (открытая, с сердечниками, с перекрышей); опочная формовка (в двух составных опоках, в трех и многосоставных опоках); 2) формовка в жирном сухом песке, или в так называемой массе; 3) глиняная формовка, или глиняная маска; 4) статуарная, или кусочная, формовка; 5) формовка или скорее отливка в металлических формах.

С середины XIX в. в литейных цехах начинают применять при изготовлении литейных форм механические приспособления, которые до 1870-х гг. применялись редко. Только в снаряжном массовом производстве уже с 1860-х гг. использовались протяжные формовочные машины. По способу действия немецкий металлург того времени А. Ледебур подразделил формовочные машины на три категории: 1) осуществляющие протяжку модели из формы; 2) осуществляющие набивку формы формовочной смесью и протяжку модели; 3) обеспечивающие изготовление с помощью сегмента тел вращения, например формовку зубчатых колес, требующих большой точности при больших размерах.

Однако на долю машинной формовки приходилось лишь 8% выпуска литья. С помощью машин формовались только мелкие отливки. Разделение труда в литейных цехах этого периода почти полностью отсутствовало, использовался последовательный режим работы. Формовщики занимались не только изготовлением форм, они также подготавливали формовочную смесь, вели заливку и выбивку форм. Практически литейщик выполнял все операции по изготовлению отливки, кроме плавки металла, приготовления облицовочных смесей и стержней. Основным типом литейщика того времени был не литейщик-оператор, а литейщик широкого профиля, который практически выполнял все функции. Техника литейных цехов ограничивалась установкой примитивных ручных консольных и тихоходных мостовых кранов и простейших бегунов, глиномялок, грохотов, барабанов для очистки полученного литья.

Потребность развивающегося машиностроения в более прочных конструкционных сплавах способствовала быстрому совершенствованию техники и технологии плавки. В этот период была изобретена технология получения отливок из отбеленного чугуна. В первом руководстве по чугунолитейному производству А. Ф. Мевюса указывается, что валки с отбеленной поверхностью применялись не только для медеплющильных станков, но и для прокатки железа. Помимо отливки из отбеленного чугуна валков широкое применение в этот период получили литые чугунные колеса с отбеленным ободом.

До 1917 г. производство отливок из ковкого чугуна было крайне незначительно и имело преимущественно полукустарный характер. Ковкий чугун применяли главным образом в сельскохозяйственном машиностроении.

С развитием машиностроения возросли требования и к конструкционному материалу, из которого отливались детали машин. В первую очередь возросли требования к его прочности, а это вызвало переход к изготовлению изделий из литой стали, в связи с чем получили развитие разные способы ее производства. Появление нового более дешевого и быстрого способа получения стали — бессемеровского процесса (1856) — разрешало эту проблему. Первыми заводами в России, которые наладили у себя бессемеровский процесс, были Нижне-Салдинский на Урале и Обуховский в Петербурге.

Первая мировая война 1914—1918 гг. явилась мощным стимулом для производства предметов вооружения, послужила экзаменом, в частности, машиностроению и литейному производству. Большая потребность в снарядах, особенно крупных калибров, не могла быть удовлетворена производством одних лишь штампованных снарядов; развитие получил выпуск литых снарядов, производство которых оказалось более дешевым.

При производстве снарядов из сталистого чугуна заводам предоставлялась полная свобода выбора как способов получения металла, так и типов плавильных печей. В то же время по прочности сталистый чугун должен был строго удовлетворять техническим условиям, состоявшим из испытаний образцов на удар под копром и на разрыв. Например, образцы для испытания на разрыв должны были иметь предел прочности не ниже 230 Н/мм^2 (23 кгс/мм^2).

Для литья снарядов формовку вели самыми разными способами. Большие снаряды формовали в трех опоках (один разъем на центрирующем утолщении, а другой у дна снаряда, чтобы можно было подвести металл снизу через искривленный конец литника). Для изготовления снарядов применялась и машинная формовка. Способ быстрой формовки требовал особой формовочной смеси и специальной формы головки модели снаряда, обеспечивающей достаточное уплотнение формы. Модели, имевшие приближитель-

Таблица В1. Сведения о литейном производстве России к 1913 г.

Вид отливок	Выпуск, т	Число цехов и участков	Средний выпуск отливок на одно предприятие, т	Число рабочих
Из серого чугуна	576 000	Нет сведений		
Из ковкого чугуна	7111	То же		
Из цветных, медных и других сплавов	23 405	232	2600	17 996
Из стали	77 153	46	1700	35 543
Итого	683 669	278	2475	53 538

но форму снарядов, впрессовывались под давлением в формовочную смесь, заполнявшую опоку, таким образом достигалось формообразование.

Освоение производства сталистого чугуна в последующем послужило основой для появления еще более совершенного модифицированного серого чугуна.

Доля машиностроения в выпуске продукции крупной промышленности составляла в 1913 г. всего 7 %. Внутреннее производство покрывало потребность страны в машинах не более чем наполовину. Удельный вес машиностроения России в мировом машиностроении в 1913 г. составил 3,5 %. К 1913 г. общее состояние литейного производства в России характеризовалось данными, приведенными в табл. В1.

По объему производства отливок из черных сплавов Россия в этот период занимала четвертое место в мире после США, Германии и Англии.

Техника и технология литейного производства в период от первой четверти XX в. до конца 1940-х гг. Этот период совпадает с осуществлением планов индустриализации советской республики, когда потребовались высокие темпы развития техники и технологии, в том числе и литейного производства. Массовый выпуск сложной продукции машиностроения должен был базироваться на массовом производстве отливок. Так появились конвейерные литейные цехи с параллельным режимом работы на заводах «Красный Путиловец», «Подольский механический», Сталинградский тракторный завод (СТЗ), Харьковский тракторный завод (ХТЗ), «Россельмаш», ГАЗ, ЗИЛ и др.

Для снабжения литьем группы машиностроительных заводов отдельных районов страны в Москве был построен завод «Станколит», в Ленинграде — «Ленстанколит» и в Тбилиси — «Тбилисский центролит». Основные технологические процессы формовки и производства стержней на этих литейных предприятиях целиком были переведены на машинную формовку с применением

встряхивающих и прессовых формовочных машин и пескодувных стержневых машин. Вагранка, как основной плавильный агрегат в чугунолитейных цехах новых заводов, оказалась хорошо приспособленной к непрерывной выдаче металла на конвейер. Принцип работы вагранок был сохранен, увеличена лишь их производительность, механизирована загрузка. Старые и реконструированные литейные цехи обеспечивали норму съема литья с 1 м² площади цеха примерно 2,0... 3,5 т в год. Новые литейные цехи с непрерывным потоком производства увеличили эту норму до 10... 17 т в год при годовом выпуске литья до 100 тыс. т.

Внедрение конвейерного поточно-массового производства отливок было гигантским скачком в развитии техники и технологии литейного производства, изменившим сам принцип его организации. Резко возросшая потребность в механизации всех других отраслей промышленности привела к созданию мощных заводов, обеспечивающих производство самого разнообразного оборудования для многих отраслей промышленности. Были созданы заводы по производству невиданного до сих пор тяжелого оборудования для металлургии, машиностроения и химии, в их числе «Уралтяжмаш», «Уралхиммаш», Краматорский машиностроительный и др. Развитие паровозостроения и вагоностроения также потребовало поставок высококачественного чугуна и стального литья. Характер продукции этих заводов для среднего и тяжелого машиностроения — единичное и мелкосерийное литье — связан с особым инженерным решением многих задач и технологии литейных цехов этих заводов. Потребовалось применение большого количества грузоподъемного и тяжелого оборудования, а также пескометной формовки. Для подобного рода машиностроительных заводов были построены литейные цехи как составная часть этих заводов (например, на «Уралтяжмаше»).

Овладение техникой и технологией массового производства литья в первую очередь связано с такими качественными показателями литья, как прочность (например, для серого чугуна $\sigma = 300... 480 \text{ Н/мм}^2$) и точность отливки. Основным чугуноплавильным агрегатом в литейных цехах оставалась вагранка, а главные технологические процессы формовки были переведены на машинную формовку с применением встряхивающих и прессовых формовочных машин, обеспечивающих получение более точного литья и освобождающих формовщиков от энергетических, транспортных функций и функции технологического изменения материала при производстве форм и стержней, т. е. от тяжелого ручного труда.

С 1933 г. предприятие «Красная Пресня» становится первым в стране специализированным заводом по производству литейной техники. Заводом «Красная Пресня» в 1928 — 1929 гг. выпущено 119 литейных машин, в 1930 г. — 411, в 1931 г. — 763, в 1932 г. — 1166. Для сравнения, в США в это время около 40 предприятий

занимались производством литейного оборудования, которые только в 1929 г. изготовили 5,5—6 тыс. формовочных машин.

В 1930 г. на заводе «Красная Пресня» впервые выпускаются пневматическая встряхивающая машина типа машины Баденского завода и прессовая пневматическая машина со штифтовым подъемом, которые заменяют старые ручные машины.

К числу выпускаемых стержневых машин относятся шнековые машины, машины для круглых стержней типа «Перфект», машины для фасонных стержней типа «Осборн-42» и др.

Смесеприготовительное оборудование того периода представлено усовершенствованной конструкцией бегунов типа «Симпсон-2», которые вытеснили бегуны старой конструкции с нижним и верхним приводом, а старые машины для подготовки формовочной смеси были заменены аэраторами типа «Рапа» производительностью 40 м³/ч и машиной «Ройер» производительностью 10 м³/ч.

На основе конструкторского бюро завода в 1937 г. организовано Центральное конструкторское бюро литейного оборудования (ЦКБЛО). В этот период резко изменились структура выпускаемой литейной техники и удельный вес ее отдельных групп (табл. В2).

По сравнению с периодом 1929—1932 гг. возрос удельный вес пневматических, формовочных и стержневых машин за счет снижения использования ручных и смесеприготовительных машин. Кроме того, появился новый вид литейного оборудования — выбивные машины. К 1937 г. в литейном производстве страны было задействовано 14 тыс. разных машин и освоено 56 новых типов машин. Ранее выпускавшиеся встряхивающие и прессовые формовочные машины постепенно вытеснялись более производительными формовочными машинами типа «Осборн» моделей 275, 332, 333, 405, 702, «Лансберг» (полуавтомат), «Никольс», «Герман» и др. Наряду с этими образцами на заводе разработана оригиналь-

Таблица В2. Литейное оборудование СССР в 1937 г.

Литейные машины	Число единиц литейного оборудования	Удельный вес оборудования каждого вида в общем выпуске литейных машин, %
Формовочные, ручные	242	0,5
Формовочные, пневматические	958	39,0
Стержневые, ручные	138	0,5
Стержневые, пневматические	463	5,0
Смесеприготовительные	2408	44,0
Очистные	313	8,5
Выбивные	199	2,5
Всего	4721	100

ная отечественная конструкция ручных машин со штифтовым подъемом, имеющая ряд преимуществ по сравнению с иностранными машинами этого типа.

Одношпиндельная ручная машина для круглых стержней типа «Перфект» была заменена более производительными пневматическими пескодувными машинами типа «Демлер» и «Осборн», обеспечивающими изготовление более сложных стержней. Заводом «Красная Пресня» в 1937 г. освоена оригинальная конструкция многоплунжерной стержневой машины-автомата системы инженера Б. З. Черняка для массового изготовления цилиндрических или призматических стержней. Кроме указанных машин были освоены машины типов «Осборн-40», «Осборн-93» и «Чемпион».

Изготовленная на заводе «Красная Пресня» формовочная машина типа «Никольс-18» производительностью 800 опок в смену освобождала в случае ручной формовки тех же деталей и за то же время не менее 20 человек. Внедрение формовочной машины типа «Герман», например на ХТЗ, привело к значительному повышению точности отливок и уменьшению массы формуемой и отливаемой рамы трактора на 40 кг.

Завод «Красная Пресня» в тот период выпускал более совершенные и мощные смешивающие бегуны типа «Симпсон № 2» и «Симпсон № 3» (последние с индивидуальным электроприводом), а в 1933 г. был выпущен мощный дезинтегратор производительностью 10 м³/ч с индивидуальным электроприводом.

Значительное усовершенствование претерпела смесеприготовительная техника, учитывались опыт и потребности вновь созданных мощных цехов. Для усовершенствования очистных барабанов внедрена очистка струями песка, освоены пескоструйные столы и пескоструйные камеры. Выбивные машины были представлены пневматическими решетками, вибрационными коромыслами, пневматическими толкателями и выбивными горизонтальными машинами для выбивки стержней и т. д.

Около 80 % всего литейного оборудования страны выпускалось на заводе «Красная Пресня», остальное составляли литейные машины, выпускаемые другими предприятиями, в числе которых Горловский завод им. С. М. Кирова, мастерские Днепропетровского индустриального института, Усманский завод и т. д. или заводы-потребители, производящие оборудование для нужд своих цехов, — ЗИЛ, ГАЗ, «Станколит», завод им. П. И. Войкова и др.

Несмотря на успехи отечественного литейного машиностроения, выпуск литейного оборудования в стране составлял лишь 6 % производимого в США количества формовочных машин по видам, 15 % выбивного оборудования и в среднем 11,3 % по учетным группам литейного оборудования.

Недостаточным было также изготовление лабораторной аппаратуры для литейных цехов. Приборы для испытания формовоч-

ных смесей, выпускаемые на Усманском заводе, не удовлетворяли потребности в них. Тем не менее дальнейшее совершенствование литейной техники продолжалось. Разрабатывались и осваивались крупные формовочные машины типа «Герман» с подъемной силой 3...5 т, формовочные машины с разделением операций встряхивания, прессования и выема модели, пескометов стационарного и передвижного типов, машин для литья под давлением и др. В 1940 г. налажен серийный выпуск 32 моделей машин, в том числе четырех машин для литья в металлические формы. Всего в 1940 г. выпущена 421 литейная машина. К 1941 г. в литейном производстве страны было задействовано более 32 тыс. различных машин. Специальное печное оборудование нельзя было изготовлять местными силами. В то время в США около 40 фирм были заняты изготовлением печного оборудования для литейных цехов, в Германии — около 35, в Англии — 25, а в СССР эту задачу решала только одна организация.

Постоянно растущие требования к качеству литья и непрерывная борьба за снижение брака вызвали усиление контроля технологического процесса. К этому времени в большинстве литейных цехов имелась необходимая контрольная аппаратура отечественного производства, в частности для испытания формовочных материалов.

Начало изучения формовочных материалов в СССР связывают с первыми публикациями по этому вопросу в 1926 г. Позже начались работы в этой области в научно-исследовательских институтах и на заводах Москвы и Ленинграда. Были обследованы месторождения и изучены свойства формовочных песков в районах Москвы (Люберецкое месторождение), Ленинграда, Тамбова и Липецка. Эти формовочные материалы и до настоящего времени сохраняли большое значение для литейного производства.

В 1931 г. организован трест «Союзформолитье», на который были возложены задачи изыскания новых месторождений, их разработки для снабжения заводов формовочными песками, производства аппаратуры для испытания песков и др. К работам по изучению свойств формовочных материалов приступили тогда же специалисты-литейщики ЦНИИТмаша, Оргавтопрома, Московского автозавода и др. В результате появились разработки стандартных методов исследования и испытания формовочных материалов и смесей, введены в действие стандарты на формовочные пески и глины. Были начаты исследования взаимодействия жидкого металла и литейной формы. Большое влияние на развитие учения о формовочных материалах оказали работы ученых П. П. Берга, К. Н. Карлова, И. Б. Куманина, А. М. Лясса, С. К. Колачевой, А. А. Рыжикова, А. Л. Туманского и др.

Для предотвращения пригара и улучшения поверхности отливок стали широко применять маршаллит (пылевидный кварц). Поз-

же этот материал был использован и для изготовления форм при производстве литья по выплавляемым моделям.

Для сокращения расхода свежих формовочных песков отработанные смеси подвергали процессу восстановления, получившему название «регенерация».

Для подготовки инженерно-технических работников быстро развивающегося литейного производства в нашей стране были созданы специальные литейные кафедры в МВТУ (ныне МГТУ) им. Н. Э. Баумана, в МИСиСе, в Ленинградском политехническом, Уральском политехническом, Киевском политехническом, Харьковском политехническом и ряде других институтов. Наряду с подготовкой специалистов-литейщиков сотрудники этих кафедр развернули научную деятельность. Был организован выпуск специальной технической литературы и учебников. Научно-исследовательские работы в области литейного производства велись и в научно-исследовательских институтах, например, в ЦНИИТмаше (Москва), Институте металлов (Ленинград) и др. Первая советская научно-исследовательская лаборатория по литейному производству была организована профессором П. П. Бергом в 1929 г. в ленинградском Институте металлов. На базе заводских лабораторий также решались конкретные задачи, способствующие развитию литейного производства. Так было с переделкой печей Дресслера. Данные изыскания, начатые на ЗИЛе, явились результатом специальных научно-исследовательских работ, проводимых совместно с литейным отделом ЦНИИТмаша. На заводе «Россельмаш» под руководством М. М. Закладного глубоко изучались вопросы теории графитизации белого чугуна, на ЗИЛе исследовались вопросы использования горшков для отжига из халиловских чугунов и др.

Дальнейшему развитию ваграночного процесса способствовало открытие положительного влияния на свойства чугуна его высокотемпературного перегрева. Так как главенствующее значение в процессах ваграночной плавки имеют металлургические особенности процесса, их изучение позволило решить ряд важных задач, в частности задачу получения низкоуглеродистого чугуна, со снижением при этом расхода стали в результате использования вагранок с горном небольшой высоты и замены части холостой коксовой калоши силикатной калошей.

Новые данные об особенностях горения углерода были использованы профессором Л. М. Мариенбахом для разработки конструкции вагранки с двумя и тремя рядами фурм. В отличие от иностранных вагранок в отечественных вагранках с многорядным фурменным поясом дутье вводится в сравнительно узкую область холостой калоши, что приводит без увеличения расхода топлива к повышению производительности агрегата и к большему перегреву чугуна.

В 1938 г. в Академии наук СССР был заслушан доклад М. Г. Евангулова и Ю. А. Смирнова на тему «Автоматизация и телемеханиза-

ция в литейном производстве», в котором делался вывод о возможности применения принципов автоматизации во всех областях литейного производства, которые позволят поднять литейную технику на более высокий уровень.

Развитие литейного производства в 1930—1940 гг. создало благоприятные условия для высоких темпов развития машиностроения и металлообработки. По объему выпуска отливок Советский Союз уже в 1936 г. занял первое место в Европе и второе место в мире после США. За десять лет производство чугунного литья возросло в 5, ковкого чугуна — в 12 и стального литья — в 18 раз.

Быстрый рост промышленности СССР того периода был прерван войной. К началу Великой Отечественной войны общий выпуск литья в стране составлял приблизительно 6 млн т в год. При этом свыше 85 % всего производимого литья приходилось на долю вновь построенных или полностью реконструированных цехов.

Непрерывно возрастающие требования развивавшегося машиностроения к качеству литья вызвали усиление научного контроля технологических процессов. Целенаправленным стало применение теоретических достижений металлургии, металлографии, физики и физической химии к разрешению практических задач литейного производства. Впервые в отечественной литературе А. Н. Егорновым было сформулировано теоретическое объяснение процесса модифицирования. К изучению свойств формовочных материалов приступили лаборатории ЦНИИТмаша, Оргавтопрома, ЗИЛа и др. Большую роль в развитии учения о литейных машинах сыграла научная школа МВТУ им. Н. Э. Баумана и Института стали, возглавлявшаяся профессором Н. П. Аксеновым, а в дальнейшем кафедре «Машины и технология литейного производства», созданная в 1942 г. в МАМИ как общетехническая, а с 1943 г. ставшая профилирующей, которую возглавил профессор П. Н. Аксенов.

В период Великой Отечественной войны с целью ускорения производства отливок успешно была решена задача получения в кокилях отливок из чугуна, стали и цветных сплавов. Большие работы были проведены по изысканию заменителей дефицитных шихтовых и формовочных материалов.

Техника и технология литейного производства в период 1950—1990-е гг. В истории машиностроения на этот период приходится создание специализированной отрасли литейного производства — литейного машиностроения. За последние 50 лет литейное машиностроение прошло ряд этапов своего развития. Литейная техника начального периода заменяла только энергетическую, транспортную функции человека, а также его функцию технологического изменения материала. Благодаря созданию машин с автоматизированным циклом работы стала возможна замена и контрольно-измерительной функции человека. В настоящее время выпускают-

ся автоматические линии, управляемые ЭВМ, т. е. заменяется последняя функция человека в производстве — логическая.

В области техники и технологии плавки литейных сплавов перспективными являются прямая электроплавка черных металлов в индукционных, вакуумно-индукционных, плазменно-индукционных и дуговых печах, а также дуплекс-процессы с применением электропечей. Созданы магнитодинамические установки бесковшовой заливки, позволяющие более эффективно управлять процессами приготовления сплавов, внепечной обработки, формирования и кристаллизации отливок.

Благодаря модифицированию, легированию и термической обработке созданы новые типы чугунов с особыми физическими свойствами. На основе достижений отечественной (ЦНИИТмаш, ГАЗ, НИИСЛ и др.) и зарубежной науки разработана технология получения структурного графита шаровидной формы, обеспечившая повышенную прочность чугуна σ около 1200 Н/мм^2 (120 кгс/мм^2). Особый интерес представляет новый вид чугуна с вермикулярной формой графита (разработки ЦНИИТмаша).

В перспективе значительно уменьшится доля отливок углеродистой стали, тогда как производство отливок из стали, модифицированной редкоземельными элементами (РЗМ), непрерывно растет. Наиболее перспективны экономнолегированные, а также ванадиевые стали. Управление природой включений и структурой стали для получения заданных ее свойств — путь, на котором возможен значительный прогресс в сталелитейной технологии.

Продолжает совершенствоваться технология литья из цветных сплавов и, в первую очередь, из алюминиевых и магниевых сплавов. В последнее время сравнительно широкое применение получило изготовление отливок из титановых сплавов. Большое развитие получили композиционные материалы, применяющиеся для отливок, работающих в сложных термодинамических условиях, например в турбо- и ракетостроении, где требуются материалы с повышенными физико-механическими свойствами.

Перспективными являются технологические процессы, разработанные в ЦНИИТмаше совместно с заводами тяжелого машиностроения и станкостроения. Эти процессы основаны на затвердевании формовочной смеси с органическими или неорганическими связующими материалами с заданными свойствами в оснастке. При этом удается значительно повысить точность размеров отливок. Для данной технологии характерны следующие перспективные направления: замена горячих технологий холодными; уменьшение доли связующих благодаря упрочнению добавок; использование связующих на основе протеина и др. Большой интерес представляет разработанная во ВНИИлитмаше технология изготовления формовочных смесей, основанная на техническом применении биологических процессов.

Интенсивные научно-практические исследования в области специальных способов литья содействовали увеличению их доли в общем выпуске литья. Так, например, с развитием турбореактивной авиации потребовалось массовое изготовление деталей высокой точности размеров и сложной конфигурации. Данная сложная техническая задача была решена воспроизводством на промышленной основе известного с древнейших времен способа литья по восковым моделям, применявшимся для единичного изготовления высокоточных художественных отливок.

Была осуществлена комплексная автоматизация в области кокильного литья, также известного с древнейших времен.

Литье под давлением на всем протяжении своего существования расширяло ассортимент вовлекаемых все более и более тугоплавких литейных сплавов. В последнее время успешно ведутся работы по применению литья под давлением для сталей.

Развитие специальных способов литья осуществляется и по пути разработки новых способов, например, таких, как способ электрошлакового литья, разработанный в Институте электросварки имени Е. О. Патона в Киеве; высокопроизводительный способ непрерывного литья для получения отливок сложного профиля, а также производства уникальных отливок для атомной отрасли — контейнеров для хранения отработавшего ядерного топлива.

Следующим важнейшим направлением, характеризующим развитие техники и технологии литейного производства, явилось повышение его концентрации и специализации. Большую роль в развитии этого направления сыграла разработка новой методики проектирования литейных цехов и заводов с использованием типовых проектов. Значительный успех литейного производства в этот период ознаменован появлением литейных цехов-заводов ВАЗа и КамАЗа, оснащенных на основе лучших достижений отечественной и зарубежной техники и технологии.

В настоящее время литье в сырые формы является самой распространенной технологией в цехах массового производства. Значение этого процесса сохранится в обозримом будущем. В последние годы метод изготовления сырых форм получил дальнейшее развитие благодаря созданию и эффективному использованию автоматических линий.

Широко внедряется пескочетный способ набивки литейных форм, чему способствует освоение производства пескочетов с дистанционным и программным управлением.

Специалистами ТНИИСа и ВНИИлитмаша разработано программирующее устройство для автоматизации процесса пескочетной формовки. Применение методов программного управления при набивке литейных форм позволяет существенно стабилизировать рабочий процесс, увеличить производительность и оздоровить условия труда. На бывшем заводе «Станколит» в качестве объекта

управления был взят пескомет модели 296М производительностью до 25 м³/ч по уплотненному объему смеси, используемой для изготовления средних и крупных форм.

Для изготовления литейных стержней распространение получили пескометные машины, серийный выпуск которых налажен на ряде заводов литейного машиностроения. На заводах внедряется разработанный ВНИИлитмашем процесс сушки и охлаждения форм под вакуумом, позволяющий значительно сократить цикл изготовления чугунных отливок и повысить стабильность их свойств.

При всех своих преимуществах литье в сырые песчаные формы имеет недостатки, в числе которых непроизводительная переработка около 70 % формовочных смесей, не участвующих в процессах формирования отливок.

Для покрытия расхода песка необходимо расширение старых и введение в строй новых карьеров. Так, в 1974 г. для нужд литейного производства страны потребовалось 20,3 млн т формовочного песка. В настоящее время ежегодный расход свежих песков в литейных цехах составляет около 14 млн т, и каждая тонна песка перевозится в среднем на расстояние 700 км. Поэтому сокращение расхода свежих песков должно значительно улучшить экономические показатели литейного производства и способствовать решению экологических проблем.

Значительный интерес в связи с этим представляет разработанная ВНИИлитмашем технология приготовления формовочных и стержневых материалов и смесей. В новой технологии для упрощения процесса приготовления и уменьшения расхода освежающих добавок при обеспечении технологических свойств предусматривается введение искусственно выращенных микроорганизмов.

Расход формовочного песка на 1 т годных отливок составлял в нашей стране в 1960 — 1974 гг. в среднем 809...864 кг, в то время как в США за период 1960 — 1971 гг. израсходовано всего 410...440 кг, т. е. в 2 раза меньше.

В литейном производстве в настоящее время применяют свыше 100 различных технологических процессов изготовления стержней и форм, более 400 видов связующих материалов и свыше 300 различных противопожарных покрытий.

Развитие современных технологических процессов показывает, что изготовление форм и стержней в литейном производстве вступило в период, когда современные средства механизации и автоматизации, резко сокращающие и исключают ручной труд и существенно увеличивающие производительность труда, основываются, как правило, на использовании новых свойств и новых составов формовочных смесей. Период широкого использования сырых стержней, в значительной степени снижающих точность отливок, давно прошел. Перспективными, отвечающими современным требованиям литейного производства, являются процес-

сы, в которых затвердевание стержней, изготовленных из смесей с органическими и неорганическими связующими материалами, происходит в оснастке, что повышает точность размеров стержней и отливок. Примером могут служить быстротвердеющие смеси.

В нашей стране быстротвердеющие смеси с жидким стеклом для литейного производства получили промышленное применение с 1949 г. благодаря работам, проведенным специалистами ЦНИИТ-маша и заводов тяжелого машиностроения и станкостроения.

С быстрым распространением холоднотвердеющих смесей в литейном производстве возникает острая проблема регенерации этих смесей, так как для изготовления 1 т отливок с применением формовочных смесей на смолах холодного отверждения (ХТС) требуется в среднем 3 т песка. Применение технологии изготовления форм из ХТС без использования регенерата экономически нецелесообразно. Кроме того, если учесть, что в ближайшем будущем разработка месторождений формовочных песков, как уже отмечалось выше, резко сократится, то ясно намечается тенденция к возрастанию использования технологических процессов с экономным расходом формовочных материалов. Примером может служить V-процесс, магнитная формовка и др. Актуальным является решение проблемы регенерации формовочных смесей с использованием всех достижений науки и техники. Для регенерации ХТС рекомендуются механический и термический методы при явных экономических преимуществах механического метода. Гидравлический метод для регенерации ХТС не используется, так как пленки смолы нерастворимы в воде.

В литейном производстве операция выбивки стержней, особенно стержней крупных и сложных отливок, является одной из наиболее трудоемких и тяжелых операций. Трудоемкость очистки литья составляет 20... 25 % трудоемкости изготовления отливок.

В начале XX в. стержни из крупных отливок удаляли обычно при помощи лома, кувалды, отбойного пневматического молотка. Такой метод, естественно, давал низкую производительность и был сопряжен с интенсивным выделением пыли, что делало условия работы на этой операции крайне вредными.

Проблема очистки литья была решена путем создания принципиально нового метода, основанного на использовании электрогидравлического эффекта. Метод был изобретен и разработан в 1950-х гг. в нашей стране. В Николаевском ЦКБ электрогидравлики разработаны и изготавливаются машины для очистки литья на основе электрогидравлического эффекта.

Результатом общего кризиса 1990-х гг. стало закрытие многих литейных цехов в стране. Выпуск отливок в России резко снизился с 16 до 6,2 млн т в 2002 г. (по экспертным оценкам). После распада СССР из одиннадцати заводов, выпускающих литейное оборудо-

вание, в России остались только три: ОАО «Сиблитмаш», ОАО «Амурлитмаш» и ОАО «Усманский завод литейных машин».

По данным Российской ассоциации литейщиков, литейное производство в настоящее время стабилизировалось, однако восстановление ряда литейных цехов и научно-исследовательских организаций весьма проблематично.

Анализ основных направлений развития литейного производства в XX в. на базе его патентно-информационной модели. Изобретения являются достоверной информационной базой, отражающей основные направления развития литейного производства, которая может служить основой для отраслевой информационной модели, поскольку структура и динамика изобретательской активности являются объективными показателями состояния развития литейного производства.

Обсуждая современное состояние и перспективы возрождения литейного производства России, специалисты отрасли называют следующие первоочередные мероприятия:

- создание банка данных по материалам, технологиям, оборудованию с целью оценки научно-технического потенциала литейного производства;
- разработка концепции реструктуризации литейного производства;
- повышение качества литья, а следовательно, и конкурентоспособности продукции литейного производства;
- дальнейшее освоение компьютерной техники и ее внедрение в литейное производство.

Многолетняя ретроспектива информационной модели и несомненный потенциал упреждения изобретений позволяют использовать информационную модель для анализа и проведения прогнозных расчетов развития литейного производства.

Динамика появления изобретений как закономерность имеет характер чередуемых подъемов и спадов при преимущественном росте числа изобретений. Причем даже при снижении числа изобретений на макроуровне научный и технический прогресс в отрасли не останавливается.

В условиях нестабильной и особенно кризисной экономики характер изобретательской активности приобретает отличительные черты. Закономерностью для литейного производства стал общий спад числа изобретений, и единичные, даже высокоэффективные изобретения не могут преодолеть отрицательного влияния общего снижения творческого потенциала.

При резком замедлении динамики создания изобретений в литейном производстве поиски выхода из ситуации должны базироваться прежде всего на изучении структуры изобретательской активности, выявлении направлений, определяющих в максимальной степени процесс получения научных и технических достиже-

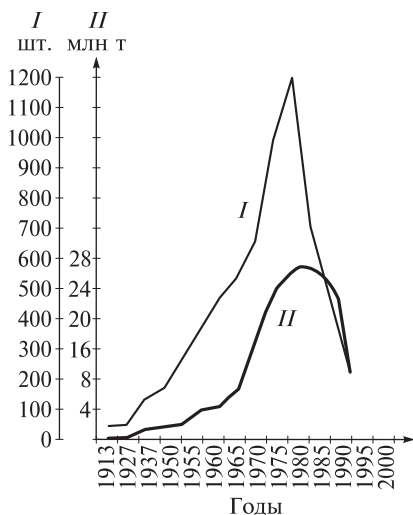


Рис. В1. Динамика регистрации изобретений по литейному производству в России (кривая I) и динамика выпуска отливок в год (кривая II)

ний. Знание такой структуры позволяет оценить долю вклада каждого направления в процесс развития литейного производства и с учетом взаимных связей этих направлений обоснованно подойти к распределению ресурсов, к принятию управленческих решений при формировании

приоритетных направлений развития литейного производства.

Яркой отличительной чертой развития литейного производства в XX в. был динамичный рост научно-технической и патентной информации. В этом можно убедиться, сопоставляя динамику регистрации изобретений по литейному производству в России (кривая I на рис. В1) с динамикой нарастания выпуска отливок в год (кривая II). Для анализа в основном использованы бумажные носители патентной информации, но применение полученной информационной модели может быть эффективным и для современных машиночитаемых носителей информации по литейному производству.

Информационную модель можно использовать для формирования содержательной части прогноза развития литейного производства, для выявления долгосрочных (устойчивых) тенденций, влияющих на развитие отрасли, с тем чтобы оценить и определить перспективные направления развития техники и технологии литейного производства.

К концу XX в. значительно возросло патентование отливок в качестве промышленных образцов — изделий дизайна. Это свидетельство того, что продукция литейного производства — отливки — оценивается как соответствующие не только техническим показателям (прочности и точности размеров), но и требованиям новизны и оригинальности, т. е. отливки являются продуктом дизайнерской деятельности и обладают эстетическими и эргономическими особенностями.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

В настоящее время известны 54 способа литья. Общепринятое определение способа литья пока не сформулировано. Имеются предложения определять способы литья по классификационным признакам, число которых по разным источникам [18, 48] колеблется от пяти до десяти. Приведем шесть главных классификационных признаков:

- основа материала формы;
- природа связующих добавок;
- тип оснастки;
- способ уплотнения (упрочнения);
- способ заливки;
- способ воздействия на жидкий расплав в процессе кристаллизации.

Каждый способ литья отличается от других хотя бы по одному из этих признаков. Из 54 способов литья 35 (64 %) основаны на использовании дисперсных материалов, в основном это традиционные способы литья в объемные формы из дисперсных материалов. Остальные способы литья относятся к специальным способам (видам). Определение специального способа (вида) литья также не сформулировано, однако общепринято специальными считать способы, которые описаны в учебнике [47].

1.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ

В данном учебнике рассматривается технология способов литья, относящихся к объемным формам из дисперсных материалов. На схеме (рис. 1.1) представлен один из вариантов технологического процесса изготовления отливок в разовые песчано-глинистые формы.

Техническим заданием для литейного цеха является чертеж детали (*Д*), на основании которого производится разработка технологического процесса (*Т*). Исполнение задания начинается с подготовительных работ по обеспечению шихтовыми материалами (*Ш*), исходными компонентами и приготовлению формовочных и стержневых смесей (*См*), проектированию и изготовлению

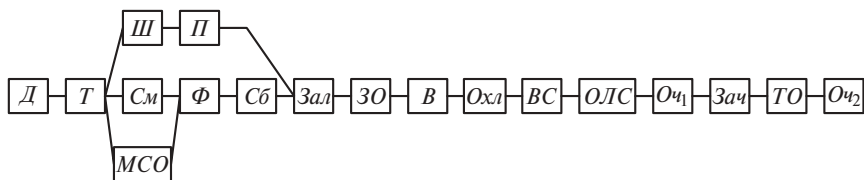


Рис. 1.1. Структурная схема технологического процесса изготовления отливок в разовые песчано-глинистые формы

модельно-стержневой оснастки (МСО). Шихтовые материалы расплавляют в плавильных печах (П), из формовочных и стержневых смесей изготавливают формы и стержни (Ф). Готовые формы и стержни собирают (Сб) и заливают расплавленным металлом (Зал). В залитых формах металл затвердевает, превращается в отливку и охлаждается (ЗО) до температуры выбивки (В), после достижения которой отливку выбивают, и далее она охлаждается на воздухе (Охл) до температуры 50 °С, при которой разрешаются технологические операции с отливкой: из отливки выбивают стержни (ВС) и осуществляют отделение литниковой системы и прибылей (ОЛС). Операция отделения от отливки пригоревшей формовочной и стержневой смеси называется первичной очисткой (Оч₁), операция удаления заливок, швов, заусенцев называется зачисткой (Зач), затем следует термическая обработка (ТО) отливки, после чего возможна вторичная ее очистка (Оч₂).

1.2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Первым шагом к анализу процессов изготовления отливок является их классификация. Различные классификации данного процесса приведены в работе [18]; классификация основ материалов литейных форм; классификация модельно-опочной оснастки; классификация способов уплотнения дисперсных формовочных материалов; классификация способов заливки.

Некоторые задачи литейного производства (заливка формы, затвердевание отливки, расчет литниково-питающих систем, расчет параметров уплотнения формовочной смеси и т.п.) в настоящее время решены или решаются с использованием математических методов и ЭВМ.

Однако такой подход можно реализовать только для отдельных процессов сложного многоматериального многооперационного технологического процесса изготовления отливок. В целом технологический процесс, как отмечено выше, состоит из отдельных этапов, представляющих, в свою очередь, также сложные технологические

процессы (например, плавка, смесеприготовление, изготовление модельно-стержневой оснастки т.п.). Таким образом, если рассматривать технологический процесс изготовления отливок в целом, то создать его математическую модель и математическое описание от исходных материалов до получения готового продукта — отливки в настоящее время практически невозможно. Отсюда возникает сложность задачи по управлению качеством отливок, т.е. неизбежны брак отливок, длительная отладка технологии из-за низкой воспроизводимости результатов воздействия. Справедливым является афоризм литейщиков: «брак пришел и ушел», в котором учитывается то обстоятельство, что одновременно (иногда разными людьми) проводится опробование изменения разных параметров, но остается неизвестным, какое из них устранило брак.

При анализе, построении, обеспечении надежности, управлении и оптимизации процесса литья целесообразно использование системного анализа (подхода), который составляет методологическую основу решения сложных проблем (задач). При этом применяют статистические методы, теорию множеств, логический анализ и синтез, теорию распознавания образов, теорию графов, сетевого планирования и управления.

Примером использования системного анализа с применением статистических методов может служить нормирование точности отливок с анализом факторов, влияющих на точность, разработкой ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) и рекомендательных таблиц для назначения классов и степеней точности отливок (подробнее см. гл. 16).

Следует заметить, что для составления рекомендательных таблиц выделены обобщенные параметры, в том числе: собственно технологический процесс изготовления отливок (способ литья); вместо этапа «плавка» (см. рис. 1.1) использован «вид сплава»; из этапа «смесеприготовление» использованы три характеристики формовочной смеси: прочность $\sigma_{\text{н}}$, твердость (по твердомеру 04412A(071)) и влажность; из этапа «изготовление модельно-стержневой оснастки» выделен материал оснастки и обобщенный параметр — серийность производства; сборка форм отражена в уровне механизации и автоматизации; технологическая дисциплина в обобщенном виде включена в параметр «культура производства», термическая обработка отражена в непосредственном виде и по факту (есть, нет). Наконец, параметры отливки — это наибольший габаритный размер и «сложность отливки», принятая в простой градации: простая, средней сложности и сложная. Параметры отливки, очевидно, определяют влияние на точность отливки процессов взаимодействия отливки формы, которые происходят при заливке, затвердевании и охлаждении.

Из изложенного ясно, что при комплексном подходе анализ и его результат зависят от поставленной задачи. Кроме того, при

современном уровне знаний выделение факторов, оценка их взаимодействия носят приближенный субъективный характер. Экспериментальная оценка факторов заключается в статистической обработке данных, относящихся к готовому объекту — в нашем случае к отливке. Безусловно, необходимо накопление данных, увеличение числа анализируемых факторов и приближение различного уровня моделей к реальным процессам.

На уровне обобщенных параметров удалось создать технологическую дискретную модель формирования точности, которая подвергалась и непрерывно подвергается производственной проверке, в общем и целом соответствуя реальной точности отливок. При использовании обобщенных параметров в ГОСТ 26645 — 85 (изм. № 1, 1989 г.) предполагается, что технологическая дисциплина изменяется дискретно в соответствии с низкой, средней и высокой культурой производства.

Системный анализ был использован в работах ВНИИлитмаш для определения необходимых и достаточных контролируемых показателей качества бентонитовых глин. При этом применен метод корреляционного анализа зависимостей показателей качества между собой по значениям коэффициентов парной корреляции [52].

Основой для определения коэффициентов парной корреляции являются статистические данные. При этом для определения коэффициентов парной корреляции необходимо иметь результаты испытаний не менее 56 партий бентонита. Результаты испытаний подвергаются статистической обработке, при этом определяются коэффициенты парной корреляции.

Испытания проводили на дашуковском бентоните по следующим восьми показателям:

1 — предел прочности при сжатии во влажном состоянии на технологической пробе;

2 — предел прочности при разрыве в зоне конденсации на технологической пробе;

3 — водопоглощение;

4 — концентрация водородных ионов (рН);

5 — содержание катионов кальция;

6 — содержание катионов магния;

7 — содержание катионов натрия и калия;

8 — расход активирующего компонента (Na_2CO_3).

Полученные статистической обработкой результатов испытаний коэффициенты парной корреляции представляют в виде матрицы (табл. 1.1).

Цифрами 1 — 8 по горизонтали и по вертикали обозначены приведенные выше показатели качества.

Положительные и отрицательные (со знаком «—») значения коэффициентов парной корреляции указывают соответственно на прямое и обратное направления изучаемой зависимости.

Таблица 1.1. Матрица коэффициентов парной корреляции восьми показателей

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0,0511	0,1665	0,4651	-0,0856	-0,2714	0,2431	0,2998
2	0		0,5575	0,0374	-0,2038	-0,5079	0,2766	0,2708
3	0	1/2		0,4056	-0,7261	-0,5885	0,8269	0,7949
4	1/2	0	1/2		-0,2897	-0,3723	0,4516	0,4060
5	0	0	-1	0		0,3568	-0,7686	-0,7486
6	0	-1/2	-1/2	0	0		-0,7033	-0,7080
7	0	0	1	1/2	-1	-1		0,9840
8	0	0	1	1/2	-1	-1	1	

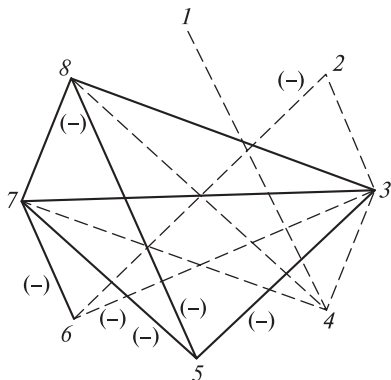
Интерпретируются значения коэффициентов следующим образом: величины от +0,7 до +1 (или от -0,7 до -1) принимаются за линейную сильную прямую (или обратную) связь, а величины от +0,4 до +0,7 (или от -0,4 до -0,7) — за линейную слабую прямую (или обратную) связь. По результатам исследования значимости коэффициентов построены графы (рис. 1.2), вершины которых означают соответствующие показатели качества активированных бентонитовых порошков, а линии связи между вершинами указывают на взаимосвязь показателей между собой.

В данном случае для оптимизации контроля качества принят порог значимости 0,4, т.е. значения коэффициентов ниже порога значимости указывают на отсутствие линии связи, и в левой части матрицы коэффициентов (см. табл. 1.1) они заменены нулем. Сильные связи обозначены цифрой 1, а слабые — 1/2.

Данные взаимосвязи показателей качества активированных порошков, представленные графами на рис. 1.2, дают основание для вывода, что изменение состава обменных катионов (5—7) нахо-

Рис. 1.2. Графы взаимосвязи показателей качества активированных порошков (сплошные линии — сильная прямая или обратная связь; штриховые линии — то же, слабая связь; отсутствие линии — связи нет):

1 — предел прочности при сжатии во влажном состоянии ($\sigma_{\text{в}}$); 2 — предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги ($\sigma_{\text{з,к}}$); 3 — водопоглощение; 4 — концентрация водородных ионов (рН); 5 — содержание катионов кальция; 6 — содержание катионов магния; 7 — содержание катионов натрия и калия; 8 — расход активирующего реагента (Na_2CO_3)



дится в функциональной связи с количеством реагента-активатора (8) и водопоглощением (3), причем в отношении катионов щелочноземельных металлов (5, 6) наблюдается сильная обратная взаимосвязь (-). Наличие слабой прямой взаимосвязи между водопоглощением (3) и пределом прочности при разрыве в зоне конденсации влаги (2) указывает на возможность контроля качества активированного бентонита по любому из указанных показателей.

Аналогичная функциональная связь предполагает возможность вывода об уровне прочности при сжатии во влажном состоянии (1) по концентрации водородных ионов (4).

Для определения степени активации и качества активированных бентонитовых порошков обязательному контролю должен подвергаться показатель водопоглощения (3), имеющий сильные и слабые прямые и обратные взаимосвязи со всеми исследованными параметрами качества активированного бентонита, кроме предела прочности при сжатии во влажном состоянии. Следует учесть, что показатель водопоглощения (3) имеет сильную прямую взаимосвязь с расходом реагента, вводимого в бентонит для активации, что предопределяет строгое соблюдение режимов активации и гарантирует качество активированных бентонитовых порошков.

Для оперативного контроля качества активированных бентонитовых порошков, выпускаемых Дашуковским комбинатом бентонитовых глин (ОАО «Бентонит»), выбран показатель водопоглощения, имеющий максимальное число функциональных связей с другими исследованными параметрами, а также показатель предела прочности при сжатии во влажном состоянии, имеющий слабую прямую взаимосвязь только лишь с показателем концентрации водородных ионов.

Имеются также попытки использования комплексного подхода при рассмотрении отдельных технологических процессов, которые являются этапами общего процесса изготовления отливок (см. рис. 1.1). Например, следует упомянуть, что для решения задачи питания отливок успешно использована теория множеств [3] как один из методов системного анализа, в частности конфигурации отливок.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ. ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Как отмечалось, в данном учебнике рассматривается способ литья в объемные формы из дисперсных материалов, чаще всего в песчано-глинистые формы. Поэтому изложение возможностей изготовления отливок, т. е. их технологичность, приводится именно для этого способа.

При обсуждении технологичности во внимание, как правило, принимают следующие параметры: сплав; минимальная толщина стенки; минимальный диаметр литого отверстия; радиусы сопряжения стенок; литейные радиусы; точность отливки по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.); шероховатость поверхности; формовочные уклоны по ГОСТ 3212—80; требования к герметичности отливки и конструкционная технологичность.

Технолог-литейщик при приеме заказа на отливку в конкретном производстве оценивает возможность ее изготовления, т. е. ее технологичность, исходя из условий конкретного производства (из какого сплава будет изготовлена в цехе отливка, на каком оборудовании осуществляется плавка, формовка и т. п., какие возможности у цеха изготовить отливки по массе, габаритам и т. д.).

Каждый из перечисленных параметров далее рассматривается подробно с учетом возможностей способа литья в песчано-глинистые формы.

2.1. СПЛАВ

В песчано-глинистых формах можно, в принципе, изготавливать отливки практически любых размеров и массы из любых сплавов, если они будут удовлетворять заказчика по качественным показателям, перечисленным в списке параметров, начиная с точности отливки.

Исключение составляют прежде всего титановые сплавы, так как они имеют высокую температуру заливки (выше 1700 °С), активно вступают в реакцию с материалом формы (за исключением графита, который и является основным материалом формы для титановых сплавов); их плавку ведут в гарнисаже (затвердевшем слое титанового сплава).

Естественно, что при изготовлении отливок из разных сплавов необходимо учитывать их особенности, например, при изготовлении отливок из магниевых сплавов в формовочную смесь вводят гидроксид бора $B(OH)_3$ (тривиальное название «борная кислота») и серу для предотвращения их окисления и возгорания. С учетом перечисленных выше параметров возможности изготовления отливок из разных сплавов будут неодинаковые, и это должно учитываться.

2.2. МИНИМАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА СТЕНКИ

В первую очередь конкретные особенности сплавов учитываются при выборе минимально возможной толщины стенки. Толщина стенки отливки назначается конструктором из соображений прочности и принимается технологом-литейщиком. В результате статистической обработки толщин стенок и масс готовых отливок из чугуна и стали (т. е. результатов совместной работы конструкторов и технологов-литейщиков) установлена зависимость [3]

$$h = am_0^b,$$

где h — толщина стенки отливки, мм; m_0 — масса отливки, кг; a, b — коэффициенты, $a = 3,5 \dots 10$; $b = 0,15 \dots 0,25$.

Пользоваться данной зависимостью при оценке минимальной толщины стенки конкретной отливки нельзя, так как введение значений коэффициентов a и b , которые получены без учета многих факторов, приводит к колебаниям значений толщины стенки более чем в 3 раза.

В курсе «Литейные сплавы и плавка» подробно обсуждался вопрос о жидкотекучести сплава и было рассмотрено влияние прежде всего толщины стенок и их протяженности или площади, а также температуры ликвидуса и интервала кристаллизации (чем выше температура ликвидуса и шире интервал кристаллизации, тем хуже жидкотекучесть). Была приведена «критическая» толщина стенки для песчано-глинистых форм. Для чугуновых отливок она составляет 3...5 мм, для отливок из углеродистой стали — 5...8 мм. Название «критическая» означает наименьшую минимальную толщину стенок с учетом «средних» технологических характеристик — температуры заливки, влажности смеси и т. п. Критическая толщина стенки также является некоторой статистической величиной из производственных данных. Использовать эту величину литейщики могут, но с учетом того, что меньшую толщину стенки получить практически нельзя.

Для оценки толщины стенки конкретной отливки можно предложить данные, представленные в табличной форме, учитывающие вид сплава, массу, протяженность стенки отливки и класс

точности ее размеров изготовления (табл. 2.1). Влияние вида сплава и протяженности стенки отливки определяется величиной жидкотекучести. Влияние массы примерно учитывается по уравнению (2.1). По поводу влияния класса точности размеров на минимальную толщину стенки следует привести данные из практики, согласно которым попытки изготовления отливки блока цилиндров автомобильного двигателя из высокопрочного чугуна взамен серого с меньшей, чем 3...5 мм, стенкой окончились неудачей именно из-за невозможности обеспечить точность более тонкой стенки.

Таблица 2.1. Минимальная толщина стенки отливок при их изготовлении в песчано-глинистых формах

Сплавы	Масса отливок, кг	Протяженность стенки, мм	Минимальная толщина стенки, мм, с учетом классов точности размеров отливки (КР _о)		
			5—7	8—10	11т—16
Алюминиевые и магниевые	До 0,2	До 100	3,0	4,0	5,0
	Свыше 0,2 до 1,5	100... 250	4,0	5,0	7,0
	Свыше 1,5 до 5,0	250... 630	5,0	6,0	8,0
Оловянные бронзы	До 1,0	До 100	3,5	4,5	5,5
	Свыше 1,0 до 7,0	100... 250	4,5	5,5	6,5
	Свыше 7,0 до 30	250... 630	5,5	6,5	8,0
Медные	До 0,6	До 100	4,0	5,0	6,0
	Свыше 0,6 до 15	100... 250	5,0	6,0	8,0
	Свыше 15 до 60	250... 630	6,0	8,0	10,0
СЧ15—СЧ20	До 0,5	До 100	3,0	4,0	5,0
	Свыше 0,5 до 12	100... 250	5,0	6,0	8,0
	Свыше 12 до 50	250... 630	6,0	8,0	10,0
	Свыше 50 до 300	630... 1600	8,0	10,0	12,0
СЧ21—СЧ35 ВЧ35—ВЧ50	До 1,0	До 100	3,5	5,0	6,0
	Свыше 1,0 до 50	100... 250	6,0	7,0	9,0
	Свыше 50 до 100	250... 630	7,0	9,0	11,0
	Свыше 100 до 500	630... 1600	9,0	11,0	13,0
ВЧ60—ВЧ100	До 2,5	До 100	4,0	6,0	7,0
	Свыше 2,5 до 100	100... 250	7,0	8,0	10,0
	Свыше 100 до 300	250... 630	8,0	10,0	12,0
	Свыше 300 до 1000	630... 1600	10,0	12,0	14,0
Легированная сталь	До 12,0	До 100	5,0	5,0	8,0
	Свыше 12,0 до 100	100... 250	7,0	9,0	10,0
	Свыше 100 до 500	250... 630	9,0	11,0	14,0
	Свыше 500 до 3000	630... 1600	12,0	14,0	18,0
Углеродистая сталь	До 40,0	До 100	6,0	7,0	9,0
	Свыше 40,0 до 300	100... 250	8,0	10,0	12,0
	Свыше 300 до 1000	250... 630	10,0	14,0	16,0
	Свыше 1000 до 3000	630... 1600	14,0	16,0	20,0

В табл. 2.1 влияние класса точности размеров на минимальную толщину стенки отражено с учетом того, что допуск на толщину стенки не должен превышать половины номинального значения толщины стенки.

Выше приведены данные о минимальной толщине наружных стенок отливки. Из производственного опыта известно, что толщина внутренних стенок может быть на 10...20 % меньше, чем наружных. Поэтому для уменьшения массы отливки этим следует пользоваться.

2.3. РАДИУСЫ ПЕРЕХОДОВ И СОПРЯЖЕНИЙ СТенок ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Плавность перехода от тонких к толстым сечениям, правильное сопряжение и достаточная величина радиусов обеспечивают получение отливок без литейных дефектов (усадочных раковин, пористости, трещин, ужимин и т. д.). Малый радиус приводит к напряжениям (трещинам), ужиминам в отливках, большой — к увеличению массы отливки, усадочным дефектам в отливках (увеличению теплового узла).

В правильно сконструированной литой детали отношение толщин стенок (h) должно удовлетворять неравенству $h_1/h_2 \leq 2$. В ма-

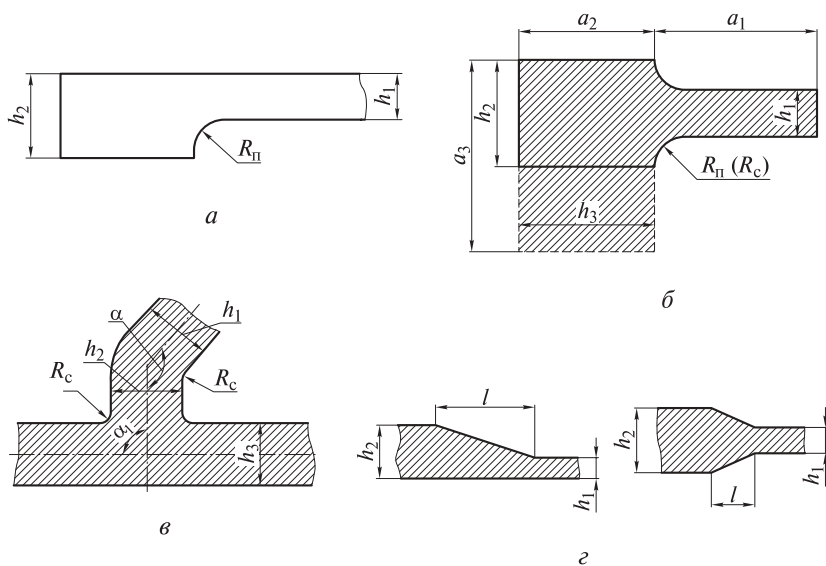


Рис. 2.1. Радиусы $R_{\text{П}}$ односторонних (а) и двусторонних (б) переходов, радиусы R_c сопряжений (в), длина l сопряжений стенок в виде клина (г): h_1, h_2, h_3 — толщины стенок; a_1, a_2, a_3 — протяженность стенки; α — угол сопряжения

шиностроительных отливках приведенное отношение может быть больше — $h_1/h_2 \leq 4$.

Сопряжения стенок, различающихся по толщине менее чем в 2 раза, выполняются посредством радиуса перехода $R_{\text{п}}$ или радиуса сопряжения R_c (рис. 2.1, а, б, в). Радиус сопряжения R_c можно определить по уравнению

$$R_c = K(h_1 + h_2)/2,$$

где $K = 1/2 \dots 1/3$.

Радиус угловых L-образных сопряжений (R_c) зависит не только от толщины стенки, но и от угла α между сопрягаемыми стенками (рис. 2.1, в), а также от класса дефектности (табл. 2.2). Классы дефектности 1, 2, 3-й характеризуют соответственно низкую, среднюю и высокую склонности отливок к таким дефектам, как усадочные раковины, горячие и холодные трещины, ужины.

Таблица 2.2. Радиусы сопряжений R_c стенок отливки

$(h_1 + h_2)/2$, мм	Класс дефектности отливки	Величина R_c , мм, в зависимости от угла сопряжения α , °					
		до 50	свыше 50 до 75	свыше 75 до 105	свыше 105 до 135	свыше 135 до 165	свыше 165
До 1,5	1	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
	2	0,6	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
	3	0,8	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Свыше 1,5 до 3	1	0,6	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
	2	0,8	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
	3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,2
Свыше 3 до 5	1	2,0	2,5	3,0	3,0	4,0	5,0
	2	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0
	3	3,0	3,2	5,0	5,0	6,0	8,0
Свыше 5 до 8	1	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0
	2	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	8,0
	3	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0
Свыше 8 до 10	1	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	8,0
	2	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0
	3	5,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0
Свыше 10 до 20	1	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0
	2	5,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0
	3	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
Свыше 20 до 30	1	5,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0
	2	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
	3	8,0	10,0	12,0	12,0	14,0	16,0
Свыше 30 до 40	1	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
	2	8,0	10,0	12,0	12,0	14,0	16,0
	3	10,0	12,0	14,0	14,0	16,0	18,0

$(h_1 + h_2)/2$, мм	Класс дефектности отливки	Величина R_c , мм, в зависимости от угла сопряжения α , °					
		до 50	свыше 50 до 75	свыше 75 до 105	свыше 105 до 135	свыше 135 до 165	свыше 165
Свыше 40 до 50	1	8,0	10,0	12,0	12,0	14,0	16,0
	2	10,0	12,0	14,0	14,0	16,0	18,0
	3	12,0	14,0	16,0	16,0	18,0	20,0
Свыше 50	1	10,0	12,0	14,0	14,0	16,0	18,0
	2	12,0	14,0	16,0	16,0	18,0	20,0
	3	14,0	16,0	18,0	18,0	20,0	22,0

Следует также различать радиусы сопряжений R_c и радиусы переходов R_n .

Из рис. 2.1, б видно, что при определении радиуса сопряжения R_c или перехода R_n возможна некоторая неопределенность. Действительно, если радиус определяется для сплошного контура, то принимают во внимание толщины стенок h_1 и h_2 , если же учесть показанный на рисунке штрихом контур, то во внимание принимаются толщины стенок h_1 и h_3 . Для устранения неопределенности при нахождении R_n и R_c следует учесть протяженность стенок.

На основании практического опыта принято *граничное значение протяженности* $[a_i]$, которое для первой и второй стенок составляет

$$[a]_1 = (h_1/2) + 7; [a]_2 = (h_2/2) + 7.$$

Реальную протяженность стенки по чертежу следует сравнить с граничным значением, вычисленным для каждой из стенок по приведенным уравнениям, и выбрать вид радиуса.

Если $a_1 > [a]_1$ и $a_2 > [a]_2$, то определяется R_c ; для трех пар неравенств — $a_1 \leq [a]_1$ и $a_2 \leq [a]_2$, $a_1 \leq [a]_1$ и $a_2 \geq [a]_2$, $a_1 \geq [a]_1$ и $a_2 \leq [a]_2$ — определяется R_n .

Радиусы переходов R_n односторонних (рис. 2.1, а) и двусторонних (рис. 2.1, б) определяются по табл. 2.3. При прочих равных условиях радиусы сопряжения и переходов для отливок из алюминиевых сплавов в 1,25 раза меньше, а для стальных в 1,25 раза больше, чем для чугуновых.

Если отношение толщин сопрягаемых стенок более 2, то переход двух стенок выполняют в виде клина (рис. 2.1, з).

Длина клина l рассчитывается по уравнению

$$l = 4(h_1 - h_2).$$

Радиусы сопряжения и переходов назначаются при конструировании литой детали. Однако этот параметр является оценочным с точки зрения технологичности, но его также назначает техно-

Таблица 2.3. Радиусы переходов R_n

$(h_1 + h_2)/2$, мм	Величина R_n , мм, переходов	
	односторонних	двусторонних
До 5	5	3
Свыше 5 до 6	6	5
Свыше 6 до 8	8	6
Свыше 8 до 10	10	6
Свыше 10 до 12	12	8
Свыше 12 до 14	15	8
Свыше 14 до 18	16	8
Свыше 18 до 20	20	8
Свыше 20 до 25	25	10

лог после нанесения припусков на сопрягаемые поверхности и технологических напусков.

2.4. ЛИТЕЙНЫЕ РАДИУСЫ

Литейный радиус предусматривается в углах стенок отливки.

Слишком малый литейный радиус приводит к подрыву формы (стержня), отбелу кромок и появлению холодных трещин в чугунных отливках.

Величина литейного радиуса выбирается в зависимости от толщины стенки отливки. Толщина стенки H определяется из чертежа детали как наименьшая из сторон, формирующих угол отливки (рис. 2.2). Если h_2 меньше h_1 , то для определения литейного радиуса R по табл. 2.4 следует принять $H = h_2$.

В реальных отливках на литейный радиус кроме толщины стенки влияют склонность к подрыву и трещинам песчано-глинистых форм и стержней при их выеме и склонность к образованию отбела и холодных трещин в чугунных отливках. Эти факторы оцениваются тремя классами, которые были названы «классами дефектности»: 1, 2 и 3-й классы дефектности отливок характеризуют соответственно низкую, среднюю и высокую склонность отливок к названным дефектам. Технолог на основании своего опыта может выбрать необходимый класс и определить литейный радиус по табл. 2.4.

Если угол детали образуется обрабатываемыми поверхностями (рис. 2.2, б), то после нанесения припусков Z_1 и Z_2 литейный радиус в отливке может быть определен из соотношения (рис. 2.2, б)

$$R = (Z_1 + Z_2)/2.$$

Если угол образуется обрабатываемой и необрабатываемой поверхностями чугунной детали (рис. 2.2, в), то литейный радиус принят равным Z — припуску на обрабатываемую поверхность:

$$R = Z.$$

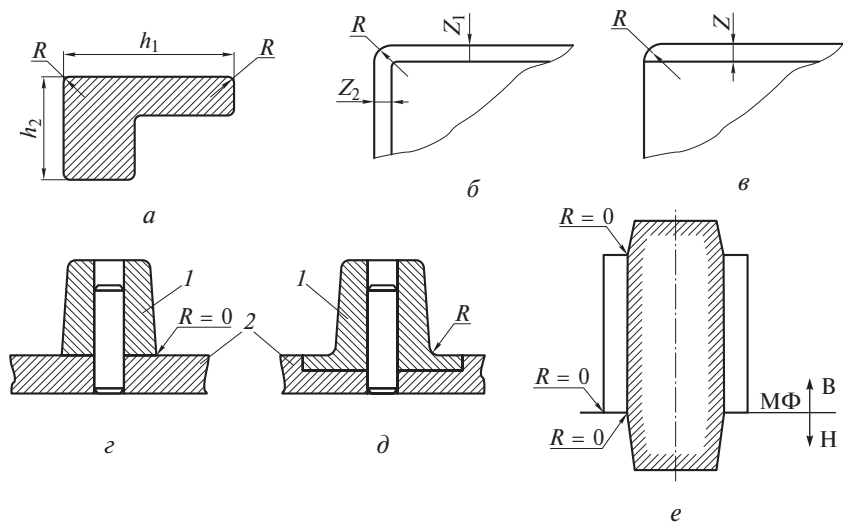


Рис. 2.2. Литейный радиус R на необрабатываемых поверхностях (а), на обрабатываемых поверхностях (б, в), на модельной оснастке (з, д), на углах, образуемых стержнем и плоскостью разреза (е):

I — элемент литниковой системы; 2 — модельная плита; $M\Phi$ — разъем модели и формы; B, H — соответственно верх и низ формы; h_1, h_2 — толщины стенок; Z, Z_1, Z_2 — припуски

Понятие «литейный радиус» применимо не только к отливке, но и к элементам литниковой системы, поскольку его отсутствие ($R = 0$) приводит к подрыву формы в элементах литниковой системы (рис. 2.2, з). На рис. 2.2, д изображен шлакоуловитель I с литейным радиусом и модельная плита 2 . Иногда для предотвращения подрыва используют врезку шлакоуловителей, с тем чтобы обеспечить литейный радиус, который должен составлять 2...3 мм.

Таблица 2.4. Данные к определению литейного радиуса R

Толщина стенки H , мм	Литейный радиус R , мм, для классов склонности отливок к дефектам		
	1	2	3
До 5	1	2	3
Свыше 5 до 10	2	3	4
Свыше 10 до 30	2	3	4
Свыше 30 до 40	3	4	5
Свыше 40 до 50	3	4	5
Свыше 50 до 60	4	5	6
Свыше 60	5	6	7

Требования по литейному радиусу указываются на чертеже отливки надписью типа: «*Неуказанные литейные радиусы $R \geq 3$ мм*».

Литейный радиус ($R = 0$) отсутствует в плоскости разъема и на пересечении формы и стержня (рис. 2.2, *е*), так как в этих местах, как правило, образуются заливки, которые впоследствии зачищаются.

2.5. ФОРМОВОЧНЫЕ (ЛИТЕЙНЫЕ) УКЛОНЫ

Формовочные (литейные) уклоны предусматриваются на моделях, в стержневых ящиках, в металлических формах для обеспечения извлечения соответственно модели из формы, стержня из стержневого ящика и отливки из металлической формы.

В настоящее время при назначении формовочных уклонов используется ГОСТ 3212—92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные. Стержневые знаки. Допуски размеров», согласно которому существуют три типа уклонов (рис. 2.3, *а, б, в*).

Тип 1 назначается на обрабатываемые поверхности детали (N_d — размер детали) сверх припуска на обработку Z (за счет увеличения размеров и массы отливки) (на рис. 2.3, *а*, показан знаком «+»). Тип 2 назначается на необрабатываемые поверхности отливки, не сопрягаемые по контуру с другими деталями, за счет частичного увеличения (знак «+») и уменьшения (знак «-») размеров отливки (N_0) (рис. 2.3, *б*). Тип 3 назначается на необрабатываемые поверхности отливки, сопрягаемые по контуру с другими деталями, за счет уменьшения размеров детали (на рис. 2.3, *в* показано знаком «-») и ее массы.

Величина формовочного уклона зависит от высоты (h_1, h_2, H) формообразующей поверхности (рис. 2.3, *г*): чем меньше высота (например, h_1), тем больше уклон (угол α_1). Для сырой формовки это связано с тем, что поверхностные слои формы более подвержены подрыву, чем глубинные.

Формовочные уклоны α на чертежах задаются тремя способами (см. на рис. 2.3, *д, е, ж*).

На чертеже отливки в ТУ литейные уклоны указываются обязательной строкой, например, типа: «*Неуказанные литейные уклоны — не более 2°* ».

Если в стержневом ящике требуется выполнение уклона на вертикальную стенку отливки, то согласно ГОСТу величина его должна соответствовать уклону модели на эту стенку (угол α на рис. 2.3, *з*) для соблюдения равномерной толщины стенки отливки, и, наоборот, если уклон не требуется, то допускается вариант, показанный на рис. 2.3, *и*.

Правильно выбранные тип и величина уклона обеспечивают наиболее рациональные значения толщины стенки отливки и ее массы. На величину литейного уклона влияют следующие факторы:

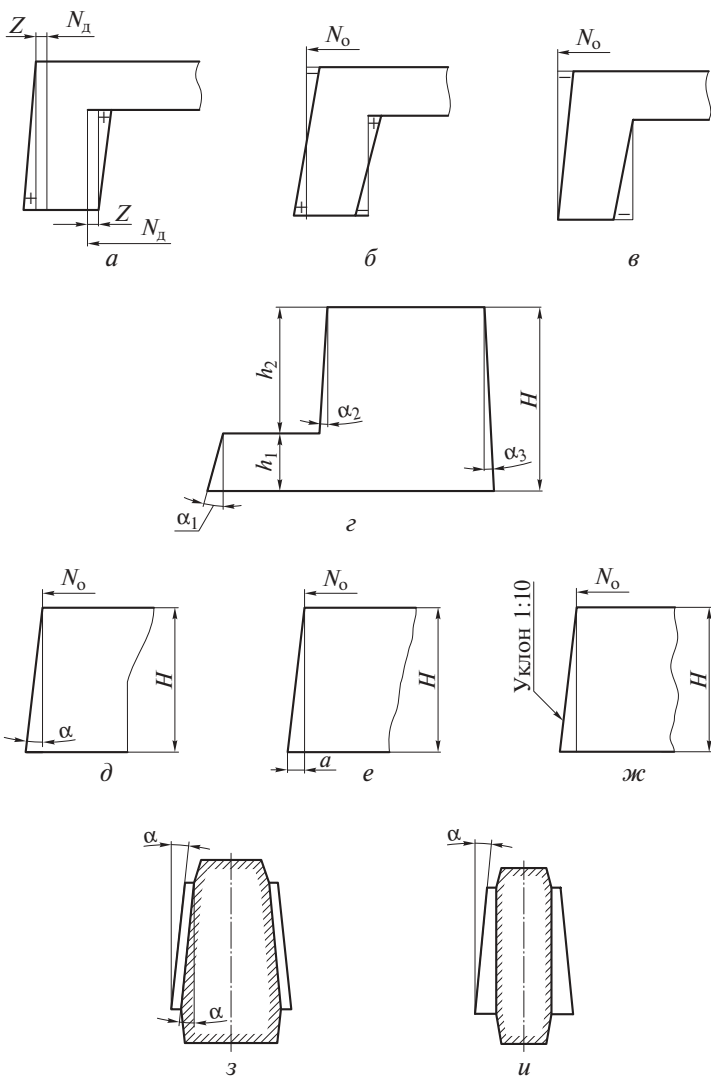


Рис. 2.3. Типы литейных уклонов, их обозначение на чертеже отливки, взаимосвязь литейных уклонов с высотой формообразующего элемента и взаимосвязь литейных уклонов формы и стержня:

a — для обрабатываемых поверхностей; *б* — для необрабатываемых поверхностей, не сопрягаемых с другими поверхностями; *в* — для необрабатываемых поверхностей, но сопрягаемых с другими поверхностями; *г*, *д* — обозначение литейного уклона его углом в градусах; *е* — то же, абсолютная величина размера уклона *a*, мм; *ж* — то же, отношение абсолютной величины размера к высоте формообразующей поверхности; *з* — взаимосвязь литейных уклонов формы и стержня, когда для стержня необходим литейный уклон; *и* — то же, когда у стержня нет литейного уклона

- материал и чистота поверхности модели (стержневого ящика);
- вид поверхности: внутренняя или внешняя;
- наличие антифрикционных смазок;
- технологические свойства формовочных смесей.

В последнее десятилетие появились новые процессы формовки, которые обеспечивают изготовление качественной формы при значительно меньших уклонах (в частности, импульсная формовка сетевого давления). При вакуумной формовке возможно изготовление форм с нулевыми или даже отрицательными уклонами.

При изготовлении отливок в металлических формах также предусматриваются уклоны для обеспечения (облегчения) извлечения отливок, но они не называются формовочными. Стандарты для их назначения в настоящее время не разработаны.

По ГОСТ 3212—92 можно назначать уклоны для моделей при литье по выплавляемым моделям, которые по существу являются отливками. Тем не менее уклоны называются формовочными.

Следовательно, уклоны необходимы на моделях (затем они передаются формам и потом отливкам), в стержневых ящиках (затем они передаются стержням и потом отливкам), в металлических формах и на металлических стержнях (затем они передаются отливкам). Назначение уклонов одинаковое — обеспечить извлечение модели, стержня, отливки. Однако в случае изготовления моделей и стержней уклоны обеспечивают извлечение при формовке, поэтому они называются формовочными. В случае металлических форм уклоны обеспечивают извлечение отливки, поэтому называются просто уклонами, или литейными уклонами¹.

Актуальным является предложение о названии всех уклонов «литейными» и разработке единой методики их определения для всех технологических процессов изготовления форм, стержней и отливок.

Статистическая обработка данных таблицы ГОСТ 3212—92 по методу наименьших квадратов позволила получить уравнение единицы $i_{л.у}$ литейных уклонов, мкм, в зависимости от высоты h формообразующей поверхности:

$$i_{л.у} = 1,4616 + 7,52 \cdot 10^{-3}h + 11,68 \cdot 10^{-6}h^2.$$

С учетом основного ГОСТ 3212—92 с его таблицами, интервалами высот основной формообразующей поверхности было разработано 22 класса литейных (формовочных) уклонов, в которых заложена тенденция в сторону больших значений уклонов. Значения литейных (формовочных) уклонов приведены в табл. 2.5, при

¹ Неточным является иногда используемый для этого случая термин «формовочный уклон».

Высота формообразующей поверхности, мм	Класс литейного уклона										
	12-й	13-й	14-й	15-й	16-й	17-й	18-й	19-й	20-й	21-й	22-й
До 10	1°26'/0,25	1°43'/0,3	2°17'/0,4	2°52'/0,5	3°26'/0,6	4°00'/0,7	4°34'/0,8	5°43'/1,0	6°51'/1,2	9°05'/1,6	11°19'/2,0
Свыше 10 до 18	1°17'/0,30	1°42'/0,4	2°08'/0,5	2°34'/0,6	3°25'/0,8	3°50'/0,9	4°16'/1,0	5°07'/1,2	6°48'/1,6	8°29'/2,0	9°19'/2,2
Свыше 18 до 30	0°52'/0,35	1°14'/0,5	1°29'/0,6	1°58'/0,8	2°28'/1,0	2°57'/1,2	3°27'/1,4	3°56'/1,6	4°55'/2,0	5°24'/2,2	5°54'/2,4
Свыше 30 до 50	0°36'/0,40	0°53'/0,6	1°02'/0,7	1°20'/0,9	1°37'/1,1	1°55'/1,3	1°52'/1,5	2°40'/1,8	3°15'/2,2	3°33'/2,4	3°59'/2,7
Свыше 50 до 80	0°27'/0,50	0°38'/0,7	0°43'/0,8	0°54'/1,0	1°11'/1,3	1°22'/1,5	1°07'/1,7	1°49'/2,0	2°10'/2,4	2°27'/2,7	2°43'/3,0
Свыше 80 до 120	0°21'/0,60	0°28'/0,8	0°32'/0,9	0°39'/1,1	0°49'/1,4	0°56'/1,6	0°47'/1,9	1°17'/2,2	1°35'/2,7	1°45'/3,0	2°06'/3,6
Свыше 120 до 180	0°16'/0,70	0°21'/0,9	0°23'/1,0	0°28'/1,2	0°35'/1,5	0°42'/1,8	0°44'/2,0	0°56'/2,4	1°10'/3,0	1°24'/3,6	1°34'/4,0
Свыше 180 до 250	0°13'/0,80	0°18'/1,1	0°23'/1,4	0°26'/1,6	0°32'/2,0	0°39'/2,4	0°42'/2,7	0°52'/3,2	0°58'/3,6	1°05'/4,0	1°21'/5,0
Свыше 250 до 315	—	0°17'/1,4	0°21'/1,7	0°25'/2,0	0°31'/2,5	0°37'/3,0	0°41'/3,4	0°49'/4,0	0°55'/4,5	1°01'/5,0	1°13'/6,0
Свыше 315 до 400	—	—	0°20'/2,1	0°24'/2,5	0°30'/3,1	0°36'/3,7	0°39'/4,2	0°48'/5,0	0°53'/5,5	0°58'/6,0	1°08'/7,0
Свыше 400 до 500	—	—	—	0°23'/3,0	0°29'/3,8	0°35'/4,5	0°37'/5,1	0°46'/6,0	0°50'/6,5	0°54'/7,0	1°01'/8,0
Свыше 500 до 630	—	—	—	—	0°27'/4,4	0°32'/5,2	0°37'/6,0	0°43'/7,0	0°46'/7,5	0°49'/8,0	1°01'/10,0
Свыше 630 до 800	—	—	—	—	—	0°32'/6,7	0°32'/7,6	0°43'/9,0	0°46'/9,5	0°48'/10,0	0°58'/12,0
Свыше 800 до 1000	—	—	—	—	—	—	—	0°42'/11,0	0°44'/11,5	0°46'/12,0	0°54'/14,0
Свыше 1000 до 1250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°43'/14,0	0°49'/16,0
Свыше 1250 до 1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°39'/16,0	0°49'/20,0
Свыше 1600 до 2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°34'/20,0	0°46'/24,0
Свыше 2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°45'/30,0

* В числителе — угловой размер литейного уклона в градусах и минутах, в знаменателе — линейный размер литейного уклона в миллиметрах.

этом 1-й класс является перспективным. Значения уклонов приведены в градусах с точностью до минут и в миллиметрах. Уклоны, приведенные в табл. 1—4 ГОСТ 3212—92, соответствуют 14-му и 15-му классам (табл. 1), 18-му и 19-му классам (табл. 2), 13, 16, 17-му классам (табл. 3), 9-му, 12-му классам (табл. 4).

Различие в уклонах соседних классов определяется множителем 1,25, который определен ранее, при разработке ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Было установлено, что любое технологическое воздействие вызывает изменение параметра в 1,25 раза.

Таблица 2.6. Рекомендуемые данные при выборе классов литейных уклонов

Технологический процесс*	Литейные формы, формы для моделей, материал оснастки, модели и стержневые ящики для их изготовления	Класс литейного уклона для поверхности	
		наружной	внутренней
1. Вакуумная формовка	Металл	6	7
	Дерево	8	9
2. Литье под давлением: цинковые сплавы алюминиевые сплавы магниеые сплавы медные сплавы стали	Металл		
		7	9
		9	11
		9	11
		10	12
		11	13
3. Литье в кокиль под низким давлением: цинковые сплавы алюминиевые сплавы магниеые сплавы медные сплавы стали	Металл		
		8	10
		10	12
		11	13
		12	14
		13	15
4. Пресс-формы для изготовления моделей	Выплавляемые	8	10
	Выжигаемые	9	11
	Газифицируемые	9	11
5. Стержни, изготавливаемые: в холодной оснастке в горячей оснастке вне оснастки	Металл	13	14
	Металл	14	15
	Металл	16	18
	Дерево	18	20

* В процессах 6—10 ПГС — песчано-глинистая смесь;
АФЛ — автоматическая формовочная линия;
ХТС — холоднотвердеющая смесь.

Технологический процесс*	Литейные формы, формы для моделей, материал оснастки, модели и стержневые ящики для их изготовления	Класс литейного уклона для поверхности	
		наружной	внутренней
6. Формы из ПГС (АФЛ, опочная)	Металл	16	18
7. Формы из ПГС (АФЛ, безопочная)	Металл	17	19
8. Формы из ПГС (поточно-механизованное производство)	Металл	17	19
	Дерево	18	20
9. Формы из ПГС (ручная)	Дерево	19	21
10. Формы из ХТС	Металл	13	14
	Дерево	15	16
11. Формы оболочковые	Металл	13	14

В рекомендательной табл. 2.6 приведены данные по назначению классов литейных уклонов. При этом классы литейных уклонов назначаются по следующим входным параметрам: технологический процесс, вид поверхности (наружная, внутренняя), материал моделей, вид формовки, вид отверждения форм и стержней, заливаемый сплав при литье в металлические формы.

Таблица 2.6 является открытой, т. е. ее структура позволяет вносить новые технологические процессы, а также учитывать совершенствование существующих. При разработке ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) было принято, что под точностью отливки понимается степень приближения ее размеров, формы, расположения, показателей качества поверхности и массы к соответствующим параметрам детали (см. гл. 16). Поэтому однозначно можно утверждать, что одним из показателей степени приближения являются литейные уклоны, а именно класс литейных уклонов, который должен быть указан на чертеже детали или отливки вместе с параметрами точности по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

Следует отметить, что надпись на чертеже отливки в технических условиях «*Неуказанные уклоны не более 2°*» часто воспринимается однозначно — уклоны 2°. Однако уклоны зависят от высоты формообразующей поверхности (см. подразд. 2.5) и их значения будут разными для поверхностей с разными высотами.

Данные, приведенные в табл. 2.5 и 2.6, *не утверждены в Госстандарте* и могут быть использованы только в качестве рекомендаций.

2.6. МИНИМАЛЬНЫЙ ДИАМЕТР ЛИТОГО ОТВЕРСТИЯ

Возможность получения литого отверстия в отливках связана прежде всего со спекаемостью стержня, а также с возможностями протяжки сырых «болванов». Под минимальным диаметром литого отверстия далее понимается отверстие, которое может быть выполнено с применением стержня.

Возможность изготовления литого обрабатываемого отверстия определяется после назначения припуска на обработку.

Минимальный диаметр литого отверстия определяется, как правило, толщиной стенки отливки и глубиной (высотой) отверстия.

Часто сложности возникают при определении толщины стенки. Предложено все тела, в которых выполняются отверстия, подразделять на два типа. К первому типу относят тела, для которых отношение глубины (высоты) отверстия H к толщине стенки h больше или равно единице (это, например, гильзы, втулки; в этом случае $h = h_1$) (рис. 2.4, *a*); ко второму типу — тела, для которых данное отношение меньше единицы (например, плиты). За толщину стенки для таких тел принимается большая из толщин стенок, окружающих отверстие, т. е. $h = h_1$ (рис. 2.4, *б*). Тела первого типа в реальных отливках усложняются различными ребрами, фланцами и другими элементами, поэтому возможен промежуточный вариант как сочетание вышеотмеченных элементов (рис. 2.4, *в*). Толщина стенки h в этом случае может быть выбрана по уравнению $h = (h_1 + h_2)/3$, при этом учитывается тепловое влияние фланца на стержень.

Для заданных значений толщины h отливки и глубины (высоты) H отверстия минимальный диаметр литого отверстия для чугунных отливок определяется по табл. 2.7, для стальных отливок — по табл. 2.8. В последнем случае (стальные отливки) следует учитывать тип сечения отверстия, вводя поправочный коэффициент,

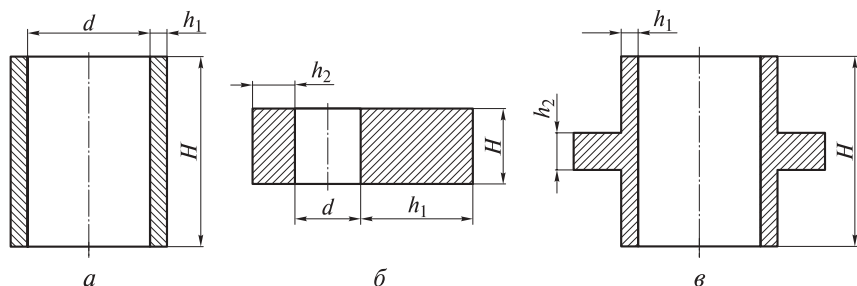


Рис. 2.4. Эскизы тел к определению минимального диаметра литого отверстия в отливке типа:

a — цилиндр; *б* — плита; *в* — цилиндр с фланцем; d — диаметр отверстия; h_1, h_2 — толщины стенок; H — высота (глубина) отверстия

Таблица 2.7. Минимальный диаметр литого отверстия для чугуновых отливок

Глубина (высота) H отверстия, мм	Минимальный диаметр d , мм, отверстия при толщине стенки отливки h , мм					
	до 10	свыше 10 до 20	свыше 20 до 30	свыше 30 до 40	свыше 40 до 50	свыше 50 до 60
До 10	6	10	12	14	16	18
Свыше 10 до 20	10	12	14	16	18	20
Свыше 20 до 30	12	14	16	18	20	24
Свыше 30 до 40	14	16	18	20	24	28
Свыше 40 до 50	16	18	20	22	28	30
Свыше 50 до 60	18	20	22	28	30	32

Таблица 2.8. Минимальные литые отверстия в отливках из углеродистых сталей

Глубина (высота) H отверстия, мм	Минимальный диаметр d , мм, отверстия при толщине стенки отливки h , мм						
	до 40	свыше 40 до 60	свыше 60 до 80	свыше 80 до 100	свыше 100 до 150	свыше 150 до 200	свыше 200 до 300
До 40	24	30	35	40	40	40	40
Свыше 40 до 60	28	35	40	45	50	50	50
Свыше 60 до 80	32	45	50	55	60	65	65
Свыше 80 до 100	35	50	55	60	65	70	75
Свыше 110 до 150	40	55	60	65	70	75	90
Свыше 150 до 200	45	60	65	70	75	80	100
Свыше 200 до 300	50	65	70	75	80	90	110
Свыше 300 до 500	55	70	75	80	95	110	130
Свыше 500 до 800	60	75	80	90	100	120	140
Свыше 800 до 1000	65	80	90	100	110	130	160
Свыше 1000 до 1500	70	90	100	120	140	150	180
Свыше 1500 до 2000	75	95	110	130	150	180	200
Свыше 2000 до 2500	80	100	120	140	160	200	220

Таблица 2.9. Данные к определению минимальных литых отверстий в отливках из углеродистых сталей

Характер отверстия	Сечение отверстия	Соотношение сторон	Определяемая величина	Поправочный коэффициент
Сквозное	Квадратное	1:1	Сторона квадрата	1,2
	Прямоугольное	Менее 2:1	Меньшая сторона	1
		Более 2:1	То же	0,7
Закрытое с одной стороны	Круглое	—	Диаметр	1,2
	Квадратное	1:1	Сторона квадрата	1,4
	Прямоугольное	Менее 2:1	Меньшая сторона	1,2
Более 2:1		То же	0,8	
Закрытое прибылью	Круглое	—	Диаметр	1,4

используя данные табл. 2.9. Для отливок из алюминиевых сплавов минимальные отверстия можно определять по табл. 2.7, уменьшая полученные значения в 1,25 раза.

2.7. ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Одним из показателей технологичности литой детали является ее конструкционная сложность. При этом технологичным считается изделие, которое является простым и экономичным по таким показателям, как изготовление модельно-стержневой оснастки и изготовление литейной формы, а также по очистным и зачистным операциям.

На рис. 2.5 приведены примеры технологичных (a' — $ж'$) и нетехнологичных (a — $ж$) конструкций литых деталей по отмеченным выше признакам.

На рис. 2.5, a литая деталь считается нетехнологичной, поскольку на модели обрабатываемые бобышки 1 имеют разную высоту.

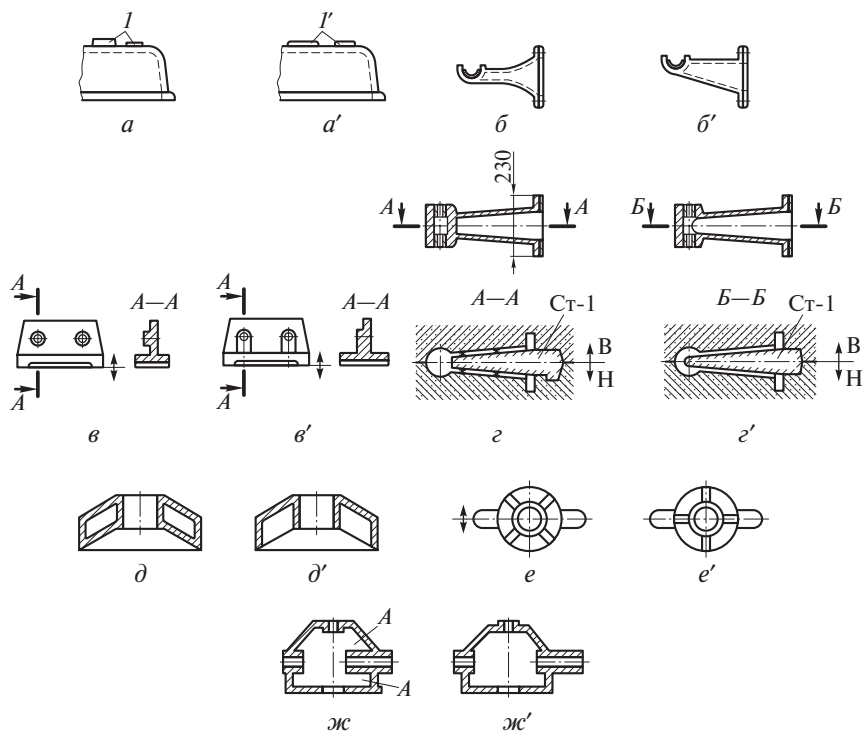


Рис. 2.5. Конструкционная технологичность литых деталей a' — $ж'$ в сравнении с нетехнологичными конструкциями этих же деталей a — $ж$

Более технологично их выполнять одинаковыми по высоте l' , чтобы при изготовлении модели была возможность их совместной механической обработки за один проход без переналадки станка, так как при этом уменьшается стоимость модели.

Кронштейн, изображенный на рис. 2.5, б, выполнен по сложной криволинейной поверхности, т.е. с точки зрения изготовления модели он нетехнологичен опять-таки из-за увеличенной стоимости модели. Плоские поверхности (рис. 2.5, б') позволяют резко снизить стоимость изготовления модели.

Выступающие бобышки, расположенные выше плоскости разъема (рис. 2.5, в), при изготовлении формы приведут к вынужденному использованию либо отъемных частей, либо стержней. В первом случае это понизит геометрическую и размерную точность отливки, а во втором приведет к их удорожанию. Поэтому предпочтительнее конструкцию следует сделать такой, как показано на рис. 2.5, в'.

Следует избегать конструкций с консольными стержнями (с одним знаком) (рис. 2.5, г).

Необходимо предусматривать в корпусных конструкциях (рис. 2.5, д) открытые полости для простоты и экономичности изготовления литейной формы (рис. 2.5, д').

При выполнении внутренних поверхностей отливки следует устранять многоступенчатость, так как из-за усадки отливки в ней могут возникнуть горячие или холодные трещины.

В случае увеличения жесткости конструкции за счет ребер (рис. 2.5, е), их следует располагать во взаимно-перпендикулярном направлении относительно плоскости разъема (рис. 2.5, е').

В конструкции, изображенной на рис. 2.5, ж, на внутренних поверхностях отливки следует учитывать высокую вероятность образования пригара из-за значительного прогрева стержня в полостях, обозначенных буквой А, что приведет к большим затратам на очистных операциях.

2.7.1. Анализ технологичности с учетом возможных способов формообразования отливок

Изготовлению отливки предшествуют проектирование технологии литейной формы, конструирование и изготовление модельной оснастки. На стадии проектирования технологии разрабатываются возможные варианты способов формообразования при разных положениях отливки в форме. На основе анализа возможных вариантов выбирают способ формообразования, обеспечивающий получение отливки прежде всего в соответствии с ГОСТом или ТУ при наименьшей стоимости затрат.

Варианты могут оцениваться по многим показателям, в их числе следующие: 1) степень приближения заготовки к обрабо-

танной детали; 2) затраты материалов, энергии и труда на изготовление модельной оснастки, форм, стержней и сборки (возможность замены стержней болванами, возможность размещения большего числа моделей в опоке данного размера и т.д.); 3) наиболее благоприятные условия получения плотной отливки (без рыхлостей, трещин); 4) меньшая опасность нарушения «сплошности» металла в виде газовых раковин, неметаллических включений; 5) меньшая трудоемкость очистных работ (удаление литников, прибылей, напусков, механического пригара, заусенцев, заливов).

Показатели 1 и 2 (и отчасти 4 и 5) имеют прямое отношение к задаче формообразования отливки, которая сводится в основном к решению «пространственной» или «геометрической» задачи, обусловленной особенностями конфигурации отливки. Показатель 3 оценивает успешное решение задачи формирования отливки и требует учета процессов кристаллизации, охлаждения и усадки металла.

Для отливок из серого чугуна (особенно эвтектического или околоэвтектического состава и при наличии жесткой формы) первые два показателя являются определяющими. Для сплавов, образующих твердые растворы и характеризующихся относительно большим изменением объема при затвердевании (сталь, белый чугун, высокопрочный чугун, цветные сплавы и др.), решающим является показатель 3, даже если при этом придется получать отливку в положении, усложняющем и ее формовку, и ее механическую обработку.

Одновременное рассмотрение вопросов формообразования и формирования отливки во всей их сложности не представляется возможным из-за многообразия отливок.

В качестве первого шага ниже рассматриваются только методы формообразования. Приведенные при этом схемы охватывают основные способы получения форм для отливок разной конфигурации. Изучение схем должно способствовать развитию пространственного воображения и способности к геометрическому анализу у начинающего технолога, с тем чтобы применение методики предварительной разработки всех возможных технологических вариантов формообразования (при различных положениях отливки в форме — о чем было сказано ранее) стало обязательным условием при выборе оптимального технико-экономического решения.

Введем термин «тело» для обозначения понятий «отливка» или «модель». Тогда все реальные тела в зависимости от их геометрии по определенным признакам можно разбить на пять групп сложности [41]. Каждую группу будет характеризовать свое стилизованное тело-представитель (рис. 2.6, *a—d*).

Первая группа (рис. 2.6, *a*): тела без поднутрений и выступов; проекции сечений, перпендикулярные направлению выема

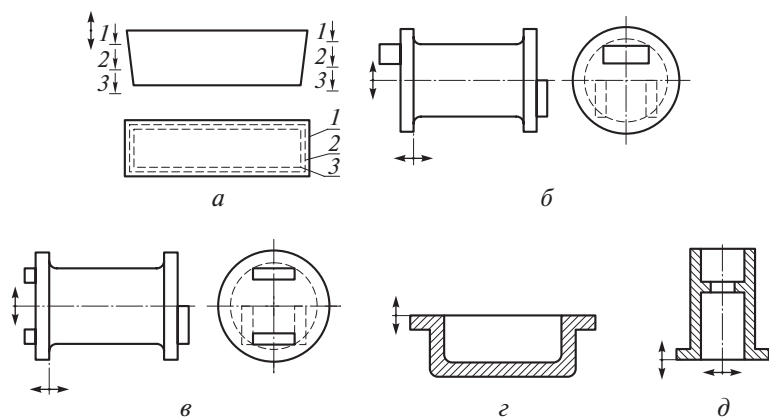


Рис. 2.6. Группы сложности тел в зависимости от их геометрии (а—д):
 1, 2, 3 — проекции условных сечений; \leftrightarrow и \updownarrow — линии разреза отливки

модели, по мере удаления (1—1, 2—2, 3—3) от плоскости разреза формы сверху вниз непрерывно уменьшаются и вписываются одно в другое. Форма может состоять из одной или двух частей.

Вторая группа (рис. 2.6, б): тела без поднутрений с одним внешним выступом относительно плоскости разреза формы, расположенным так, что признак первой группы нарушается скачкообразно или монотонно один раз; возможно формообразование при помощи болвана (подрезки), без отъемных частей и внешних стержней. Форма состоит из двух частей.

Третья группа (рис. 2.6, в): тела с выступом над выступом или поднутрением, представляющие собой сочетание в любой комбинации нескольких тел первой и второй групп. Их формообразование при помощи болвана невозможно — требуются стержни, отъемные части, газифицированные вставки или форма должна состоять из трех частей.

Четвертая группа (рис. 2.6, г): тела с одной внутренней полостью, которая отвечает признаку первой группы. Формообразование может выполняться болваном или стержнем. Форма состоит из двух частей или при наличии грибовидного знака стержня из одной части.

Пятая группа (рис. 2.6, д): тела с двумя полостями, разделенными перегородкой, полости отвечают признакам второй или третьей групп. Формообразование может выполняться болванами, стержнями или одновременно теми и другими. Форма состоит из двух или более частей.

Тела первой группы. Все поверхности обрабатываются, и, следовательно, задача формообразования упрощается, поскольку литейные уклоны будут удалены при механической обработке. Для

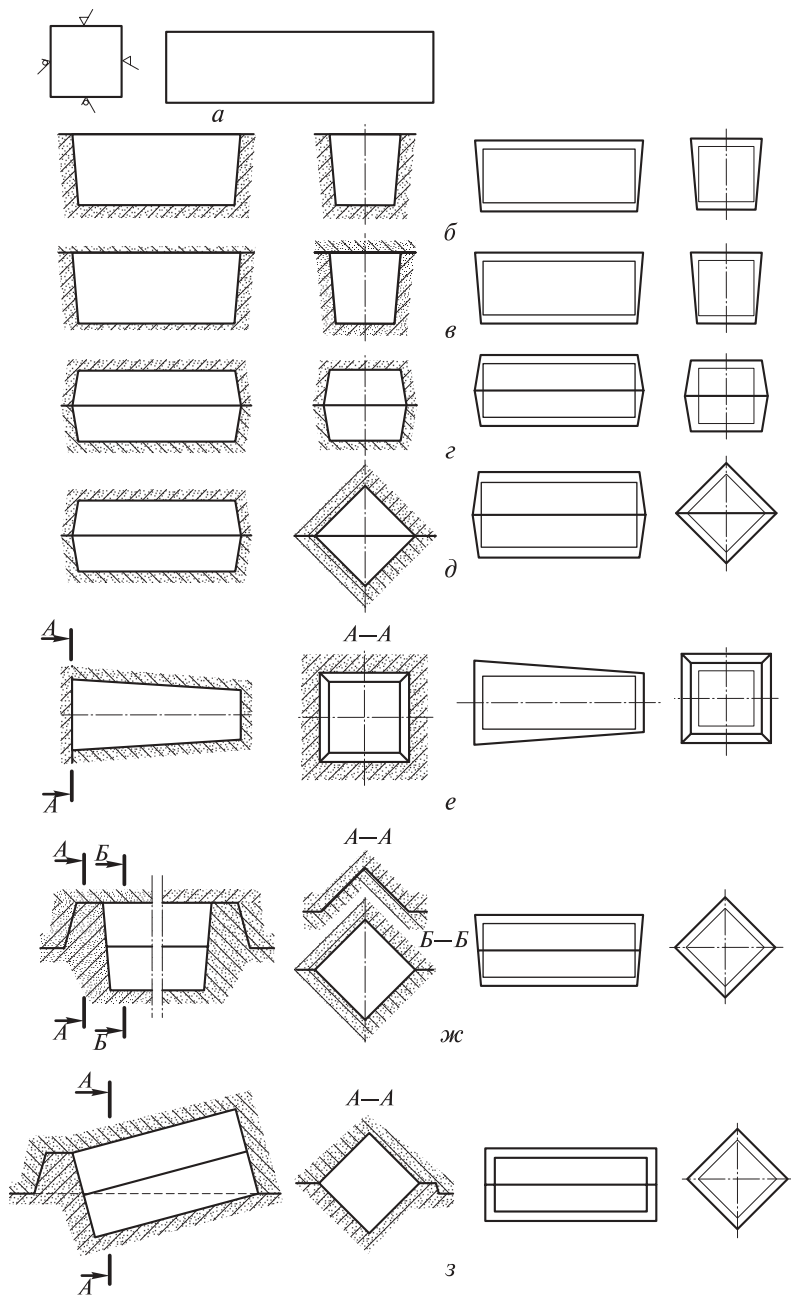


Рис. 2.7. Тело первой группы сложности (а) и варианты его формообразования (б—з)

этих тел при оценке рациональности варианта важную роль играет точность отливки, в частности, величина припуска на обработку (рис. 2.7, а — \sphericalangle — необрабатываемая поверхность; \sphericalangle — обрабатываемая поверхность). На рис. 2.7, б — изображены схемы форм в разрезе и отливок, на поперечном разрезе которых тонкой линией нанесены припуски на механическую обработку. Рассмотрим конкретные варианты формообразования.

Открытая форма; полость, образующая тело, расположена в нижней полуформе; формовочный уклон односторонний; периметр продольного и поперечного сечений — трапеция (рис. 2.7, б). К преимуществам можно отнести простоту формовки и минимальную массу литниковой системы. К недостаткам следует отнести быстрое окисление и захлаживание открытой поверхности металла; всплытие шлака на верхнюю поверхность; формирование на верхней поверхности утяжины, что приводит к существенному увеличению припуска на верхнюю поверхность тела. Область применения: единичное производство для неотчетливых отливок.

Формовка в двух полуформах; тело находится в нижней полуформе; литейный уклон односторонний; периметр продольного и поперечного сечений — трапеция (рис. 2.7, в). Заливка осуществляется с напором, припуск на нижнюю и верхнюю поверхности одинаков. Для торцевых поверхностей требуются односторонние литейные уклоны.

Формовка в двух полуформах; тело расположено в верхней и нижней полуформах; периметр продольного и поперечного сечений — шестиугольник (рис. 2.7, г). Вариант используется, когда тело не может быть расположено в одной полуформе (по высоте опоки). В этом случае при расчете припусков следует принять во внимание смещение элементов тела. Для торцевых и боковых поверхностей требуются двусторонние литейные уклоны. Припуск на боковые поверхности будет больше, чем в варианте на рис. 2.7, в.

Тело расположено в форме таким образом, что в сечении получается квадрат постоянного сечения (рис. 2.7, д). В этом случае у боковых поверхностей литейные уклоны получаются естественным образом, двусторонние литейные уклоны необходимы только на торцевые поверхности. Припуск на боковые поверхности меньше, чем в варианте на рис. 2.7, г.

Тело формируется в двух полуформах, но расположено вертикально в нижней полуформе; поперечный периметр — квадрат переменного сечения (рис. 2.7, е). Припуск на боковые поверхности в этом случае возрастет (необходимо учесть, что при $\text{tg} 1^\circ = 0,0175$ и при высоте формообразующей поверхности, равной 100 мм, абсолютное значение уклона составит 1,75 мм, а на 200 мм — 3,5 мм).

Формовка в двух полуформах; тело находится в обеих полуформах; поперечный периметр — квадрат постоянного сечения, но в отличие от варианта на рис. 2.7, д торцы имеют односторон-

ний уклон (рис. 2.7, ж). В этом случае используется торцевая подрезка. Следует отметить, что использование подрезки в парных опоках по металлическим моделям приводит к удорожанию технологии, однако при крупносерийном и массовом производстве отливок это окупается.

Формовка в двух полуформах; тело находится в обеих полуформах под наклоном; формовочный уклон отсутствует; поперечный периметр — квадрат постоянного сечения; периметр продольного сечения — прямоугольник (рис. 2.7, з). С точки зрения припусков на механическую обработку вариант наиболее целесообразен. В варианте использованы боковая и торцевая подрезки.

Усложним задачу, представив тело первой группы (рис. 2.8, а), у которого обрабатываются торцевые и две продольные поверхности. Две оставшиеся поверхности должны быть выполнены в процессе литья, причем угол между этими поверхностями должен быть равен 90° .

Для получения прямого угла между необрабатываемыми поверхностями применена модель с отъемной частью (рис. 2.8, б). Припуск на механическую обработку по длине тела равномерный.

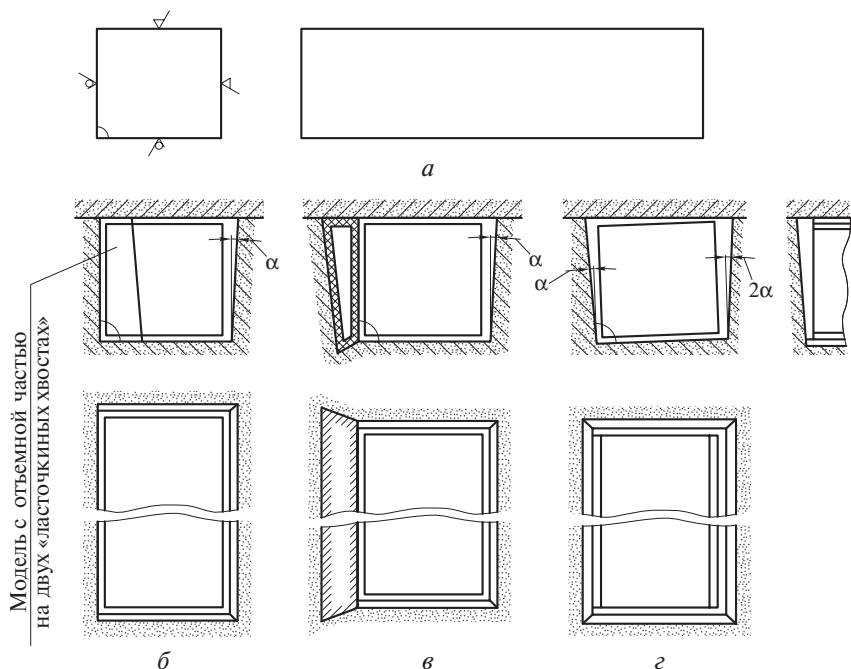


Рис. 2.8. Тело первой группы сложности (а) и варианты его формования (б—г)