ДЛЯ ВУЗОВ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Часть 2

Под общей редакцией
доктора техн. наук, проф.,
заслуженного деятеля науки РФ **А.И. Евстигнеева**
и доктора техн. наук, проф. **Е.А. Чернышова**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 150400 «Технологические машины и оборудование» и по специальности 150204 «Машины и технология литейного производства»

МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2012

УДК 621.74.04:621.74 (075.8)
ББК 34.61я73
С 71

Авторы:
А.И. Евстигнеев, Е.А. Чернышов, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, В.В. Черномас, И.Г. Сапченко, Б.Н. Марьин, А.В. Свиридов, М.В. Салина, В.И. Якимов, Н.В. Захарова, С.Г. Жилин

Рецензенты:
Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета Ри Хосен (г. Хабаровск); доктор технических наук, профессор Е.В. Ковалевич (ГНЦ РФ НПО ЦНИИТМАШ, г. Москва)

С 71 **Специальные технологии литейного производства:** учеб. пособие. Ч. 2 / под общ. ред. А.И. Евстигнеева, Е.А. Чернышова. — М.: Машиностроение, 2012. — 436 с.

ISBN 978-5-94275-635-2

Приведены основные сведения о специальных технологиях получения отливок в разовых и металлических формах. Рассмотрены способы литья: по выплавляемым и газифицируемым моделям, в электрофоретические, гипсовые, углеродистые формы, литье под регулируемым давлением, в оболочковые и магнитные формы, художественное литье.

Дана информация о материалах, литейной оснастке, оборудовании, технологических особенностях, области применения и технико-экономических показателях. Материал изложен в доступной форме и сопровождается контрольными вопросами.

Для студентов машиностроительного и металлургического профилей, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров. Может быть полезно для магистров, инженеров и специалистов заготовительных производств.

УДК 621.74.04:621.74 (075.8)
ББК 34.61я73

ISBN 978-5-94275-635-2

© Издательство «Машиностроение», 2012
© А.И. Евстигнеев, Е.А. Чернышов, 2012

Предисловие

Современный этап развития техники и технологий промышленного производства характеризуется жесткой конкуренцией как на международном, так и на внутреннем рынке. Следовательно, для повышения эффективности литейного производства необходимо более широкое внедрение специальных способов литья, которые позволяют повысить качество отливок, снизить расход энергии, металла и формовочных материалов, а также трудоемкость изготовления отливок и их себестоимость.

Эти вопросы и затрагивает настоящее издание, которое является продолжением ранее изданных учебных пособий в издательстве «Машиностроение»: «Специальные технологии литейного производства» (Ч. 1), 2009 г. и «Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления», 2008 г.

В настоящем пособии принята следующая форма изложения материала, касающаяся описания специальных технологий литья в разовые и металлические формы:

- технологические особенности и схемы процесса;
- применяемые материалы, оснастка и оборудование;
- возможные дефекты, причины образования и способы их предупреждения;
- технико-экономические показатели и область применения;
- контрольные вопросы.

Учебное пособие подготовлено коллективом авторов, работающих в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете и Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева в содружестве с представителями промышленных предприятий и научных организаций. Материал изложен в доступной форме для студентов и молодых специалистов литейного производства.

Авторы надеются, что при получении базовых знаний у студентов появятся желание и интерес расширить свой кругозор в области специальных литейных технологий. Ответы на вопросы, которые заинтересуют их на более глубоком уровне, они могут найти в технической литературе по ссылкам, имеющимся в конце каждой главы.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Машины и технологии литейного производства», «Литейное производство черных и цветных металлов» при изучении дисциплин «Специальные способы литья», «Технология литейного производства».

Авторы с благодарностью и признательностью примут все предложения и критические замечания по улучшению настоящего пособия, которые следует направлять по адресу: 681013, Комсомольск-на-Амуре, просп. Ленина, 27, КнАГТУ, кафедра «Машины и технология литейного производства». E-mail: kmtlp@knastu.ru, а также 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24. E-mail: taep@nntu.nnov.ru.

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Литье по выплавляемым моделям

1.1. Общие сведения

С ростом потребности промышленности в точных отливках возрастает роль специальных способов литья, обеспечивающих высокую точность размеров, низкий уровень шероховатости поверхности, снижение материалоемкости, трудоемкости и повышение эксплуатационных характеристик готовых деталей.

Перечисленным требованиям по этим показателям отвечает способ точного литья по выплавляемым (выжигаемым или растворяемым) моделям, имеющий в настоящее время общее название — способ литья по выплавляемым моделям.

Литьем по выплавляемым моделям называется метод получения литых деталей по разовым моделям в неразъемные керамические огнеупорные формы. После формирования на поверхности модели керамической оболочки модель перед заливкой металла удаляют выплавлением, выжиганием или растворением. Процесс получения отливок литьем по выплавляемым моделям является многооперационным и включает в себя следующие технологические операции.

1. Изготовление моделей в разъемной пресс-форме из материалов:

а) с низкой температурой плавления (выплавляемая модель);

б) способных легко растворяться в воде или других растворителях (растворяемая модель);

в) способных сгорать без образования твердого остатка (выжигаемая модель).

Полученные тем или иным способом модели обычно собирают в блоки вместе с отдельно изготовленными элементами литниковой системы.

2. Формирование керамической огнеупорной оболочки на поверхности модельного блока. Чаще всего для этого используют специальную суспензию для оболочковых форм, состоящую из связующего и пылевидного наполнителей. Такую суспензию наносят несколько раз окунанием модельного блока в раствор суспензии, причем после нанесения каждого слоя суспензии на него наносят слой огнеупорного песка и просушивают. Эти операции повторяют для получения оболочки требуемой толщины (обычно 3…15 слоев). Для нанесения керамики на модельный блок используют также метод электрофореза (см. гл. 2).

3. Удаление моделей из оболочковой формы проводят, используя методы выплавления, растворения или выжигания. Иногда эти методы комбинируют друг с другом.

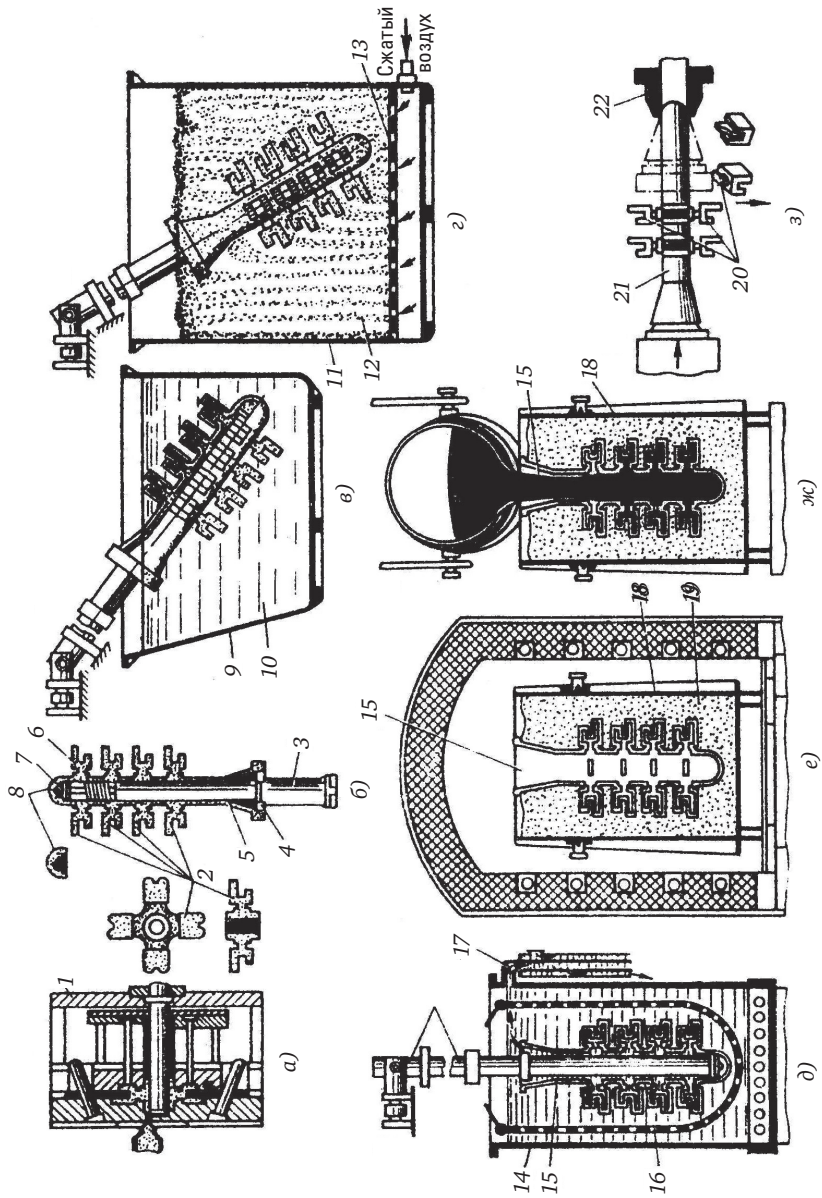
4. Прокаливание керамических оболочковых форм проводят в соответствующих печах при температуре 800…1100 °С. При этом из оболочки удаляются все летучие компоненты, а из формы — остатки модельного состава, и при повышенных температурах происходит упрочнение формы перед ее заливкой металлом.

5. Заливка форм расплавом металла проводится по четырем вариантам: без опорного наполнителя и с опорным наполнителем; в горячую или холодную форму в зависимости от прочности формы и требуемых физико-механических свойств получаемой отливки.

Выбивка, очистка и термообработка отливок. Удаление керамической оболочки после заливки и охлаждения обычно проводят

Рис. 1.1. Схема изготовления мелких отливок по выплавляемым моделям в условиях крупносерийного и массового производств:

а — изготовление звеньев моделей; *б* — сборка звеньев моделей на металлический стояк-каркас; *в* — нанесение суспензии на блок моделей; *г* — обсыпка слоя суспензии на блок моделей в пескосыпе; *д* — выплавление модельного состава из оболочки формы в горячей воде; *е* — проходная прокалочная печь; *ж* — заливка формы жидким металлом после прокаливания; *з* — отделение отливок от стояка на горизонтальном гидравлическом прессе; *1* — автоматизированная пресс-форма; *2* — звено моделей; *3* — стояк-каркас; *4* — опорная часть; *5* — модель литниковой чаши; *6* — пружинное устройство для закрепления стопки звеньев моделей; *7* — гайка; *8* — колпачок из модельного состава; *9* — бак; *10* — огнеупорная суспензия; *11* — пескосып; *12* — псевдокипящий слой песка; *13* — пористый фильтр; *14* — ванна для выплавления моделей; *15* — оболочковая форма; *16* — приемная сетка для оболочек; *17* — сливное устройство для отделения расплава модельного состава от воды; *18* — опока с оболочкой; *19* — сыпучий опорный наполнитель; *20* — отливки; *21* — стояк отливки; *22* — фильера для отделения отливки от стояка


Сжатый воздух
а)
б)
в)
г)
д)
е)
ж)
з)

на вибрационных установках. Остатки керамики из глубоких отверстий удаляют с помощью химических методов ее растворения. В большинстве случаев выбивку и очистку отливок совмещают с операцией отделения отливки от литниково-питающей системы.

Общая схема процесса литья по выплавляемым моделям мелких деталей в условиях крупносерийного и массового производств представлена на рис. 1.1.

Изготовленные в специальной многоместной (рис. 1.1, *а*) пресс-форме *1* точные разовые звенья моделей *2* собираются в блок на общую литниковую систему механическим скреплением на металлическом стояке-каркасе *3* (рис. 1.1, *б*) либо припаиванием, после чего на модельный блок наносится суспензия *10* (рис. 1.1, *в*), состоящая из связующего раствора и огнеупорного порошка (кварцевого, алюмосиликатного, корундового и др.). Слой суспензии для фиксации его на поверхности модельного блока и упрочнения присыпается кварцевым песком *12* или крошкой другого огнеупорного материала, например, шамотом в пескосыпе *11*, имеющем в нижней части пористый фильтр *13* для прохождения сжатого воздуха (рис. 1.1, *г*), затем просушивается. На модельный блок последовательно наносятся несколько (обычно от четырех до десяти) слоев, образующих неразъемную оболочковую керамическую форму *15*, из которой выплавлением (рис. 1.1, *д*) или растворением, или выжиганием, удаляются модели. Затем оболочка прокаливается в печи (рис. 1.1, *е*) для удаления органических остатков связующего и модельного состава и заливается в горячем или охлажденном состоянии (рис. 1.1, *ж*). Если прочность и термостойкость оболочки недостаточны, ее перед прокаливанием или перед заливкой заформовывают в опорный наполнитель *19* (песок, шамотную крошку и др.). После заливки и затвердевания металла блок отливок очищается от оболочки и отливки *20* отделяются от литниковой системы, например, срезаются специальным трубчатым инструментом — фильерой *22*, как показано на рис. 1.1, *з*. Далее следуют операции окончательной очистки, термообработки, отделки и контроля отливок.

1.2. Исходные материалы для изготовления моделей и модельные составы

В настоящее время используют широкую номенклатуру различных химических соединений, на основе которых изготовляют модели. Выбор материала модели зависит, в первую очередь, от способа удаления моделей. Наиболее широкий выбор материалов используется для выплавляемых моделей. Независимо от способа удаления моделей к модельным составам предъявляют следующие основные требования.

Модельные составы должны обладать:

- относительно высокой температурой размягчения, что позволяет сохранять форму моделей при технологических операциях изготовления формы в цеховых условиях;
- сравнительно низкой температурой плавления или разложения для облегчения изготовления моделей и удаления их из формы;
- высокой текучестью для легкого заполнения пресс-формы;
- высокой растворимостью для облегчения удаления растворимых моделей;
- низкой усадкой для обеспечения точности размеров моделей;
- минимальным коэффициентом термического расширения, обеспечивающим целостность формы при выплавлении или выжигании моделей;
- технологически необходимой прочностью и твердостью, обеспечивающими целостность модели при изготовлении формы;
- химической инертностью к материалу пресс-формы и керамической оболочки;
- удовлетворительной адгезией к материалам керамической формы;
- минимальной зольностью;
- способностью к регенерации в случае повторных использований и быть безвредными для окружающих.

Для изготовления выплавляемых моделей применяются следующие материалы:

Парафин — смесь предельных углеводородов состава $C_{18}H_{38}$—$C_{35}H_{72}$ с температурой плавления 40…65 °С, плотностью 880…

915 кг/м^3, не растворим в воде и спиртах, растворим в большинстве органических растворителей и минеральных маслах, инертен к большинству химических реагентов. При 140 °С окисляется кислородом воздуха до органических кислот. В промышленности парафин получают депарафинизацией масляных дистиллятов нефти или сухой перегонкой бурого угля и горючих сланцев. Применяется во многих отраслях промышленности: пищевой, спичечной, химической, электротехнической и др.

Для модельных составов применяют технический парафин — воскоподобную массу белого цвета, содержащую до 3% масла. Зольность не превышает по массе 0,1%. Является недефицитным и относительно дешевым материалом.

Церезин — смесь предельных углеводородов C_{36}—C_{55} с температурой плавления 65…88 °С. Не растворим в воде и спиртах, растворим в бензоле и ограниченно растворим в минеральных маслах. Выделяют из озокерита, петролатума, отложений на трубах, образующихся в трубопроводах при добыче и перекачивании нефти.

Синтетический церезин получают из синтез-газа (смесь CO и H_2). Применяют в качестве компонента пластичных смазок, изоляционного материала в электротехнике, для изготовления свечей (в смеси с парафином), в косметике и медицине. Представляет собой воскообразное вещество от белого до коричневого цвета. Для изготовления модельных составов чаще используют синтетический церезин.

Стеарин — смесь высших жирных карбоновых кислот, в основном пальмитиновой и стеариновой. Температура плавления 53…65 °С, практически не растворим в воде и ограниченно растворим в органических растворителях. Входит в состав животных жиров и растительных масел. В промышленности получают дистилляцией и кристаллизацией жирных кислот, полученных гидролизом гидрированных подсолнечного, хлопкового масел и животных жиров. Применяется для синтеза высших спиртов, в резинотехнической промышленности, в производстве мыла и свечей. Представляет собой полупрозрачную массу белого или желтоватого цвета. Стеарин дорог, дефицитен и способен взаимодействовать с этилсиликатом, поэтому имеет ограниченное применение в литейном производстве.

Буроугольный воск — смесь углеводородов, входящих в состав воскоподобных, смоляных асфальтообразных веществ. Температура плавления 40…90 °С. Не растворим в воде и растворим в большинстве органических растворителей. Получают из бурых углей при обработке различными растворителями. Однородный материал темно-коричневого цвета с высокими механическими свойствами. Хорошо совмещается с парафином, церезином и другими синтетическими восками.

Торфяной воск — смесь органических соединений сложного состава. Температура плавления 50…75 °С. Получают обработкой торфа различными растворителями. Хорошо сплавляется с парафином, церезином, стеарином и буроугольным воском. Обладает более высокой прочностью и теплостойкостью по сравнению с парафином и церезином.

Канифоль — стеклообразное вещество от светло-желтого до темно-коричневого цвета, не растворимое в воде, растворимо в эфире, абсолютном спирте, бензоле. Состоит из смоляных кислот, насыщенных и ненасыщенных жирных кислот и неомыляемых соединений. Содержится в сосне, ели, кедре и лиственнице. Температура размягчения 40…75 °С, температура плавления 100…140 °С, плотность канифоли составляет 1070…1090 кг/м^3. Получают экстрагированием бензином измельченной смолистой древесины с последующей отгонкой растворителя. Применяется канифоль для модификации лакокрасочных материалов, при производстве электроизоляционных мастик, в качестве флюса при пайке металлов. Для модельных составов используют в основном сосновую канифоль в сочетании с парафином, церезином и полистиролом.

Полиэтилен — продукт поляризации этилена, термопластичный полимер общей формулы $(CH_2—CH_2)_n$. В зависимости от способа полимеризации различают три вида полиэтилена:

1) полиэтилен высокого давления или низкой плотности;
2) полиэтилен среднего давления;
3) полиэтилен низкого давления или высокой плотности.

Полиэтилен высокого давления — мягкий и эластичный материал с температурой плавления 105…108 °С и плотностью 910…920 кг/м^3. Степень кристалличности 55% и твердость по Бринеллю 1,4…2,5 кг/см^2. Полиэтилены среднего и низкого давле-

ния — жесткие продукты с температурами плавления 120…125 °С и 127…130 °С, степенью кристалличности 85% и 95%, твердостью 4,5…5,8 кг/см^2 и 5,6…6,5 кг/см^2 соответственно. Полиэтилены стойки ко многим агрессивным жидкостям и органическим растворителям, на холоде они не растворяются в органических жидкостях. При температуре порядка 70…80 °С полиэтилены растворяются в бензоле и его производных. Полиэтилены представляют собой воскоподобные материалы, выпускаемые промышленностью в виде блоков, листов, гранул. Из полиэтилена изготовляют трубы, изоляцию, пленку, тару и т.д. Полиэтилен хорошо сваривается. К недостаткам полиэтилена относят сравнительно высокую усадку (до 4%) и высокую вязкость в расплавленном состоянии. Наиболее употребительны в литейном производстве как добавка в модельные составы, низкомолекулярные полиэтилены — полиэтиленовые воски, имеющие низкую температуру плавления и отличающиеся малой зольностью.

Легкоплавкие сплавы — сплавы, температура плавления которых ниже, чем у олова (232 °С). Содержат в различных соотношениях и сочетаниях олово, висмут, индий, свинец, кадмий, цинк, сурьму, галлий и другие элементы. Известны сплавы Вуда, Розе и Ньютона на основе висмута. Применяются в качестве припоев, металлических замазок и уплотнений. Для изготовления моделей используют сплавы с температурами плавления 60…100 °С.

В качестве материала для ***растворяемых моделей*** используют в основном хорошо растворимые в воде соединения с низкой температурой плавления:

Карбамид (мочевина, амид угольной кислоты) — $CO(NH_2)_2$, кристаллическое, хорошо растворимое в воде и спиртах соединение с температурой плавления 132,7 °С и плотностью 1340 кг/м^3. Получают карбамид из аммиака и углекислого газа. Применяют для получения мочевиноформальдегидных смол, красителей, лекарств, для депарафинизации нефти, как удобрение в сельском хозяйстве. После плавления и затвердевания карбамид образует прочную модель. Обладает низкой усадкой, ниже 0,1%.

Нитрат натрия (натриевая, или чилийская селитра) — $NaNO_3$, кристаллическое вещество с температурой плавления 308 °С и плотностью 2260 кг/м^3. Хорошо растворим в воде, глицерине. Получают поглощением оксидов азота щелочными рас-

творами. При нагреве выше температуры плавления разлагается. Применяется как удобрение, компонент закалочных ванн, в производстве стекла.

Нитрит натрия — $NaNO_2$, кристаллическая соль белого или желтого цвета с температурой плавления 271 °С и плотностью 2170 кг/м^3. Температура разложения выше 320 °С. Хорошо растворяется в воде и спиртах. Получают поглощением оксидов азота и щелочными растворами с последующим разделением нитрата и нитрата натрия. Применяется в производстве азокрасителей, пищевой промышленности, при извлечении из буровых вод йода.

Нитрат калия (калийная селитра) — KNO_3, кристаллическое вещество с температурой плавления 336 °С и плотностью 1900…2110 кг/м^3. Температура разложения около 400 °С. Хорошо растворим в воде. Получают при взаимодействии нитрата натрия с хлоридом калия. Применяется как удобрение, в производстве стекол и черного пороха. Как и нитрат натрия является гигроскопичным соединением.

Нитрит калия — KNO_2, кристаллическое вещество с температурой плавления 440 °С и плотностью 1920 кг/м^3. Является гигроскопичным соединением. Получают восстановлением расплава нитрата калия свинцом. Применяется в производстве азокрасителей.

В качестве материала для ***выжигаемых моделей*** используются в основном полимеры, имеющие относительно низкие температуры плавления и относящиеся к группе термопластичных полимеров:

Полистирол — продукт полимеризации стирола, термопластичный полимер. Представляет собой бесцветное, твердое, стеклоподобное вещество плотностью 1050 кг/м^3. При 80…150 °С он переходит в каучукоподобный материал, а при 250…300 °С разлагается с образованием стирола. Полистирол обладает большой стойкостью к воде, бензину, спиртам, кислотам и щелочам, он растворим в ароматических углеводородах и сложных эфирах. Низкомолекулярные полистиролы при нагреве легко переходят в вязкотекучее состояние, что позволяет их использовать для получения моделей. Переработка высокомолекулярного полистирола возможна только методом литья под давлением. В промышленности полистирол используется в производстве волоконной оптики,

армированных волокон, электротехнике, приборо- и машиностроении.

Пенополистирол — относится к вспененным пластмассам (пенопластам), содержащим в твердой полимерной матрице замкнутые газонаполненные ячейки. Кажущаяся плотность пенополистирола достигает 20…40 кг/м^3. Получают пенополистирол двумя способами: 1) суспензионной полимеризацией стирола в присутствии легкокипящих жидкостей — пентана и изопентана; полученные гранулы при переработке в изделия нагревают, и легкокипящая жидкость вспенивает гранулы полимера, находящегося в высокоэластичном состоянии; 2) полимеризацией в массе стирола с последующим смешиванием полученного полимера с лимонной кислотой и порофорами; при экструдировании этой смеси происходит вспенивание полистирола. Используют пенополистирол в качестве тепло- и звукоизоляционного материала в строительстве, упаковочного материала для транспортировки приборов. В литье по выплавляемым моделям пенополистирол используется для изготовления выжигаемых и растворяемых моделей.

Модельные составы могут быть ***классифицированы*** по ряду признаков, например, в зависимости от природы и количественного соотношения образующих их компонентов, свойств, методов изготовления моделей, способа удаления последних из оболочек форм и т.д.

Наиболее существенным является первый классификационный признак, так как природа и соотношение компонентов модельного состава определяют его физико-механические, химические и технологические свойства, а следовательно, и рациональные методы использования. По указанному признаку используемые в промышленности модельные составы могут быть подразделены на 7 групп.

Первая группа включает в себя модельные составы, представляющие собой сплавы восков, воскоподобных материалов, содержащие в ряде случаев различные улучшающие добавки (например, повышающие прочность и теплоустойчивость, снижающие хрупкость и т.д.).

Основными компонентами составов 1-й группы могут быть парафины, стеарин, натуральный и синтетический церезин, буро-

угольный (монтановый) и торфяной воск (битум), сложные эфиры высших кислот, в отдельных случаях натуральные воски: пчелиный, канделильский, карнаубский.

В качестве улучшающих (пластифицирующих, упрочняющих, повышающих теплостойкость) добавок используют этилцеллюлозу, кубовый остаток горячего крекинга парафина, полиэтилен, касторовое масло и другие продукты.

Наиболее характерными и распространенными составами (табл. 1.1) 1-й группы являются ПЦБКо70-12-13-5 (Р-3), ПБСв60-25-15 (ИПЛ-2), ПС50-50, ПБТТр25-35-35-5 (ВИАМ-102), а также составы на основе парафина, церезина и полиэтиленовых восков (например, МВС-3А). Отдельные компоненты, входящие в модельный состав, обозначаются следующим образом: П — парафин, С — стеарин, Ц — церезин, Цс —синтетический церезин, ПсВ — полистирол вспенивающийся, Пэ — полиэтилен, Км — касторовое масло, Псм — пластическая смазка ПВК, Пвс — поливиниловый спирт, Поп — продукт окисления парафиновых углеводородов, Б — буроугольный воск, Ко — кубовый остаток горячего крекинга парафина, Т — торфяной воск, Тэ — триэтаноламин, Пс — полистирол (компактный), Пэв — полиэтиленовой воск, Кб — карбамид, Бк — борная кислота, Бн — битум, Нк — нитрат калия, Нн — нитрат натрия, К — канифоль, Св — сибирский воск, См — смола буроугольная, Мс — магний серно-кислый, Л — ликоподий. Цифрами указано соответственно процентное содержание компонентов (по массе). В скобках приведены наименования составов (торговые марки), не несущие информацию о компонентах состава.

Во вторую группу входят модельные составы на основе натуральных и синтетических смол, термопластов (например, полиэтилена и полистирола) с добавками воскообразных материалов, таких, как синтетический церезин, парафин и др. Их используют для изготовления выплавляемых, а в ряде случаев — выжигаемых моделей; отличаются от составов 1-й группы более высокой прочностью и теплоустойчивостью. Однако применение этих составов весьма ограниченно ввиду наличия у каждого из них специфических недостатков. Для 2-й группы наиболее характерен модельный состав КПсЦ50-30-20.

Третья группа включает в себя водорастворимые модельные составы на основе карбамида, азотных и азотно-кислых солей

1.1. Некоторые модельные составы первой группы и их свойства

Модельный состав	$t_{пл}$ (капле-падения), °С	Тепло-устой-чивость	Температура состава в пастообраз-ном состоя-нии, °С	Свободная линейная усадка, % (при запрессовке пастообразного состава)	$\sigma_и$ при 18…20 °С, МПа	Вязкость кинемати-ческая при 100 °С, 10^{-6}, $м^2/с$	Жидко-текучесть, мм (по спираль-ной пробе)	Зольность, % масс.
ПЦБКо70-12-13-5 (Р-3)	77…80	33	53…56	0,7…0,9	3,6…3,7	—	492	0,05…0,03
ПБСв60-25-15 (ИПЛ-2)	75…80	33…40	48…70	0,6…1,0	2,4…4,0	8,6	—	0,075…0,124
ПС50-50	53,3	30	42…45	0,8…1,0	1,8…2,0	4,38	650	0,03…0,1
ПБТТэ25-35-35-5 (ВИАМ-102)	75…85	35	—	0,9…1,4	4,7…5,0	—	—	0,15…0,3
ПЦБ62-25-13	75…85	32	—	—	3,4	—	—	0,10
ПЦПэв67-25,5-7,5 (МВС-3А)	75…80	43	55…56	0,7…1,0	6,3	8,13	—	0,02

щелочных металлов (нитраты и нитриты калия и натрия), поливинилового спирта и других материалов, плавящихся при температуре не выше 350 °С. Эти составы обладают малой усадкой (около 0,20%), высокой прочностью, хорошо удаляются из оболочек форм растворением в воде, их недостатки — хрупкость и гигроскопичность. Наиболее распространены составы КбБк98-2 и КбНк90-10 (МОН-10К).

Четвертая группа содержит термопласты, из которых практически применяют компактный (монолитный) полистирол, вспенивающийся стирол.

В пятую группу входят легкоплавкие металлы и сплавы. В качестве модельного материала используют ртуть, свободно заливаемую в пресс-формы при комнатной температуре и замораживаемую в охлажденном до минус 60 °С ацетоне.

Шестая группа содержит модельные составы, представляющие собой смеси или сплавы составов различных групп, например, водорастворимых (группа 3) и воскообразных (группа 1) материалов. Характерным модельным составом является ПБТТ50-25-20-5. Ввиду сложности приготовления и повторного использования эти составы применяют редко.

Седьмая группа включает в себя составы с наполнителями. Основой их являются преимущественно составы 1-й группы, в которые вводят порошки, например, синтетических смол, плотность которых близка к плотности расплава основы. Такие порошки образуют твердую взвесь в расплавах основы, снижая и стабилизируя усадку состава, следовательно, повышая размерную точность моделей, а также увеличивая их прочность и формоустойчивость. Введение 10…15% порошка синтетической смолы снижает свободную линейную усадку модельного состава с 1,5…2 до 0,5…1,0%.

1.3. Пресс-формы

Требования к пресс-формам. Пресс-форма — это инструмент для изготовления моделей отливки и элементов литниково-питающей системы. От требований к точности модели зависит необходимая точность размеров рабочей полости формы и соответственно размеров отливки. Поэтому главное требование

к пресс-форме заключается в том, чтобы полученная в ней модель отливки имела заданные точность размеров и шероховатость поверхности.

Точность размеров модели и качество воспроизведения ее конфигурации зависят от точности размеров полости пресс-формы и ее конструкции; чем меньше разъемов имеет пресс-форма, тем выше точность моделей. Поэтому необходимо стремиться к минимальному числу разъемов. Однако для получения сложных моделей в пресс-формах выполняется несколько разъемов, чтобы модель можно было извлечь из пресс-формы.

Для лучшего заполнения полости пресс-формы модельным составом она должна иметь соответствующую литниковую систему, а для удаления воздуха из полости пресс-формы при заполнении ее модельным составом — вентиляционную систему.

Конструкция пресс-формы должна быть такой, чтобы модель можно было легко и быстро, без деформаций и повреждений, извлечь из рабочей полости пресс-формы.

Большинство модельных составов имеют низкую теплопроводность, а поэтому медленно охлаждаются в пресс-форме, исходя из этого, пресс-форма должна обеспечить достаточную скорость охлаждения. Это достигается устройством в ней системы охлаждения водой или другими теплоносителями. Такие пресс-формы часто используют в массовом производстве, где важно обеспечить высокую производительность оборудования. Для получения в одной пресс-форме необходимого количества качественных моделей она должна обладать требуемой долговечностью. Пресс-форма должна иметь простую конструкцию, чтобы можно было легко и быстро ее изготовить, а материалы для нее не должны быть дефицитными.

Классификация пресс-форм. Пресс-формы классифицируют по следующим признакам:

- по материалу, из которого они изготовлены, — металлические, гипсовые, из пластмасс, комбинированные;
- способу изготовления — механической обработкой, литьем, гальванопластикой и металлизацией, электроискровой и электрохимической обработкой;
- степени механизации операций сборки, разборки и удаления моделей — ручные, механизированные, автоматизированные;

• конструктивным признакам — с вертикальным, горизонтальным или комбинированным разъемом, с отъемными частями или без них, многоместные или одноместные, с устройствами для принудительного охлаждения или с естественным охлаждением, с выталкивателями для удаления моделей или без них.

По конструкции и методам изготовления обычно различают пресс-формы для единичного и мелкосерийного, серийного и массового производств.

Пресс-формы для единичного и мелкосерийного производств

В единичном и мелкосерийном производствах применяют пресс-формы из гипса, дерева и пластмассы. Такие пресс-формы просты в изготовлении, позволяют получать достаточно точные модели, но имеют небольшую долговечность. Пресс-формы изготовляют с одной рабочей полостью (гнездом). Конструкцию пресс-формы упрощают уменьшением (или исключением) числа вспомогательных элементов и механизмов. Сборку, установку стержней, разборку пресс-формы и удаление моделей выполняют вручную.

Гипсовые пресс-формы изготовляют по модели-эталону (мастер-модели). Для повышения прочности гипсовую пресс-форму армируют металлической проволокой или в состав гипсовой суспензии вводят поливинилацетатную эмульсию.

Пресс-формы по модели-эталону изготовляют также из сплавов на основе свинца, олова, цинка, алюминия. Пресс-формы для сложных моделей иногда изготовляют методами гальванопластики с последующей металлизацией.

Пресс-формы для серийного и массового производств

В серийном и массовом производствах применяют многогнездные пресс-формы. В серийном производстве пресс-формы изготовляют из стали и алюминиевых сплавов. Детали пресс-формы получают обработкой резанием. Как правило, пресс-формы имеют горизонтальную поверхность разъема, что обусловлено удобством извлечения моделей, так как сборку, разборку, извлечение и съем моделей выполняют вручную.

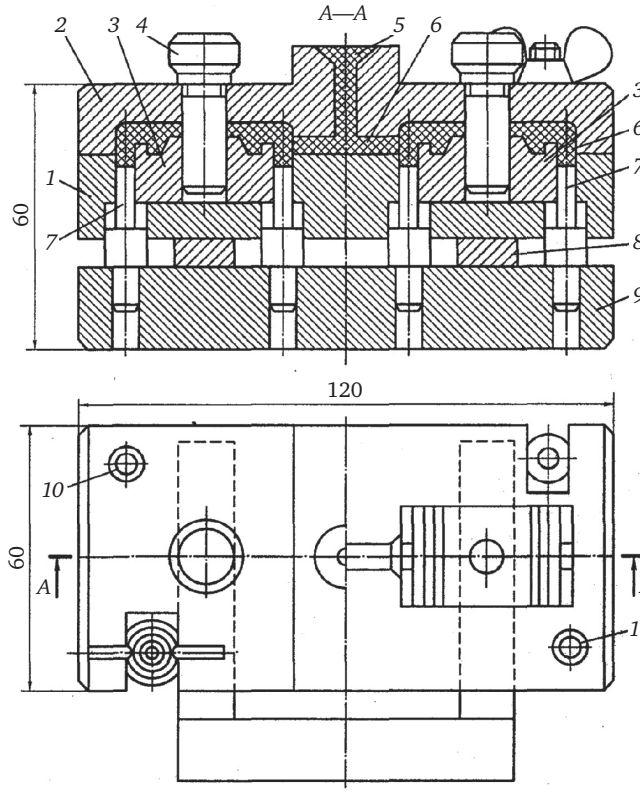


Рис. 1.2. Пресс-форма для изготовления моделей в серийном производстве:

1 — нижняя матрица; *2* — верхняя съемная матрица; *3* — вставки; *4* — подвижный стержень; *5* — литниковый канал; *6* — питатели; *7* — толкатели; *8* — фиксатор; *9* — плита основания; *10* — направляющие штыри

Пресс-форма (рис. 1.2), предназначенная для изготовления двух моделей, состоит из нижней *1* и верхней съемной *2* матриц. Нижняя матрица имеет вставки *3,* которые оформляют сложную часть модели. Вставки крепят к нижней матрице винтами. Цилиндрическое отверстие в модели оформляется подвижным стержнем *4*. Точность соединений матриц обеспечивается направляющими штырями *10*. Скрепляют матрицы откидными болтами с барашками. Модельный состав запрессовывают (или заливают) через литниковый канал *5* и питатели *6*. После затвердевания моделей

удаляют стержни и снимают верхнюю матрицу. Чтобы освободить модели, которые удерживаются толкателями *7*, нужно извлечь фиксатор *8* и опустить нижнюю матрицу *1* до плиты основания *9*.

В массовом производстве для моделей сложной конфигурации применяют стальные пресс-формы. Простые детали пресс-формы изготовляют обработкой резанием, сложные — литьем с последующей доводкой обработкой резанием, шлифованием. Перемещение стержней, матриц и запирание пресс-форм осуществляются реечными, винтовыми, пневматическими механизмами. Пресс-формы, как правило, выполняют с вертикальным разъемом.

В матрицах монтируют сменные вкладыши с формообразующими полостями, что удлиняет продолжительность эксплуатации пресс-формы. Для сокращения длительности цикла изготовления модели в стенках пресс-форм выполняют каналы водяного охлаждения. Полости сложной конфигурации, глухие карманы пресс-форм вентилируют с помощью узких каналов по разъему или по стержням.

Пресс-форма (рис. 1.3) состоит из подвижной *9* и неподвижной *7* матриц, неподвижных стержней *5*, выполняющих отверстия

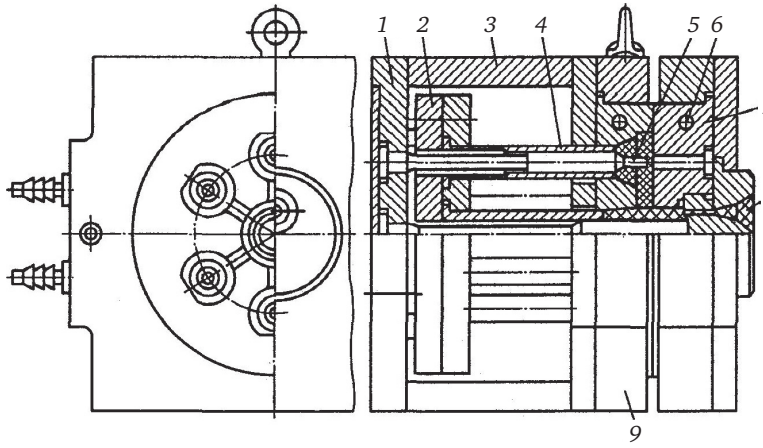


Рис. 1.3. Пресс-форма для изготовления моделей в массовом производстве:

1 — плита стержней; *2* — плита выталкивателей; *3* — стойка; *4* — трубчатый толкатель; *5* — стержень; *6* — канал системы термостатирования пресс-формы; *7* — неподвижная матрица; *8* — канал для подачи модельного состава; *9* — подвижная матрица

и полости в моделях, плиты *2* выталкивателей моделей, плиты *1* стержней, стоек *3*, трубчатых толкателей *4*, каналов *8* для заполнения полости пресс-формы модельным составом, каналов *6* системы термостатирования пресс-формы. При раскрытии пресс-формы звено моделей остается в неподвижной матрице и удаляется из нее толкателями после того, как подвижная матрица будет на расстоянии, большем высоты моделей. Такие пресс-формы устанавливают на карусельных автоматах для изготовления моделей.

Матрицы и вставки, оформляющие полости, изготовляют из стали марок 35, 40, 40Х; стержни, выталкиватели, литниковые втулки — из стали марки У8А; плиты выталкивателей, стойки, основания — из стали марки 35.

Стержни, оформляющие отверстия, оси которых перпендикулярны к плоскости разъема пресс-формы, чаще всего делают неподвижными. Отверстия, оси которых расположены параллельно плоскости разъема, выполняют подвижными стержнями. Для перемещения подвижных стержней применяют копирные механизмы, механизмы с зубчатыми передачами, наклонным пальцем, с винтовыми канавками. Такие механизмы позволяют перемещать стержни на любую длину хода и развивать значительные усилия при удалении стержней.

Размеры рабочей полости пресс-формы рассчитывают с учетом усадки модельного состава, расширения керамической формы при прокаливании и заливке, а также усадки металла отливки. Шероховатость поверхности рабочей полости пресс-формы должна быть в пределах $Ra = 0{,}16\ldots0{,}04$ мкм. Меньшая шероховатость поверхности удорожает стоимость изготовления пресс-формы и практически не улучшает качества поверхности отливки.

Исполнительные размеры полости пресс-формы подсчитывают по приближенным формулам:

для наружных (охватываемых) размеров отливки

$$D_n = D_0 + D_0 У_{общ}/100 - 0{,}5\delta_0 = D_0(1 + У_{общ}/100) - 0{,}5\,\delta_0;$$

для внутренних (охватывающих) размеров отливки

$$D_n = D_0(1 + У_{общ}/100) + 0{,}5\,\delta_0,$$

где D_n — номинальный размер формообразующей полости пресс-формы, мм; D_0 — номинальный размер отливки, мм; δ_0 — допуск

на размер отливки, мм; $У_{общ}$ — суммарная линейная усадка металла, %;

$$У_{общ} = У_м + У_0 + У_ф,$$

где $У_м$ — свободная линейная усадка модели, %; $У_ф$ — относительное расширение формы при нагреве (прокаливании) перед заливкой; $У_0$ — свободная линейная усадка металла, %.

Точность размеров формообразующей полости пресс-формы следует назначать на 1…2 квалитета выше требуемой точности отливки. Допуск на размер в пресс-форме назначают не более $0{,}2\delta_0$ на тот же размер отливки.

Пресс-формы для пенополистироловых моделей

Такие пресс-формы изготавливают чаще всего из алюминиевых сплавов, реже из стали. Их также можно изготавливать из различных полимеров с наполнителями, которые повышают теплопроводность стенок пресс-формы. При выборе полимера необходимо учитывать, что температура его размягчения не должна превышать 150…160 °С. Пресс-формы должны обладать достаточной теплопроводностью, стойкостью против коррозии при контакте с теплоносителем (водой, паром и др.), достаточной механической прочностью и минимальной адгезией к полистиролу.

Конструкция пресс-формы должна иметь необходимые технологическую прочность и жесткость, так как при вспенивании гранул в замкнутом объеме давление на стенки пресс-формы достигает 0,6 МПа, поэтому на внешних стенках необходимо предусматривать ребра жесткости.

Для быстрого нагрева гранул и меньшего охлаждения теплоносителя, а также для равномерного протекания процесса формирования модели пресс-формы необходимо изготовлять равностенными с толщиной стенок 8…10 мм. Это обеспечивает и быстрое охлаждение всех частей модели перед ее удалением из пресс-формы.

Металлические пресс-формы могут быть изготовлены как литыми, так и механической обработкой из проката, поковок или штампованных заготовок. Отъемные части пресс-формы должны быть плотно подогнаны друг к другу по плоскости разъема, а стенки пресс-форм должны иметь перфорацию для выхода воздуха и

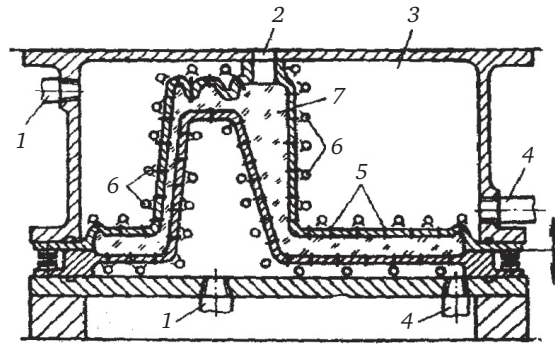


Рис. 1.4. Пресс-форма с паровой камерой и вентами для подачи пара к гранулам полистирола:

1, *4* — отверстия для подачи и выхода пара соответственно; *2* — отверстия для задува гранул; *3* — паровая камера; *5* — венты; *6* — форсунки для воды; *7* — модель

теплоносителя из рабочей полости. Отверстия в стенках пресс-формы необходимо выполнять круглыми или в виде узких щелей. Они служат как для непосредственного подвода перегретого пара в полость пресс-формы, так и для отвода из нее остывшего пара и воды, образовавшейся при его конденсации.

Отверстия в пресс-формах, служащие для заполнения предварительно вспененными гранулами, должны иметь специальные затворы.

Для изготовления особо тонкостенных пенополистироловых моделей (2…3 мм) пресс-формы снабжают паровой камерой (рис. 1.4). Из паровой камеры пар через венты, расположенные в стенках рабочей полости пресс-формы, поступает внутрь ее и нагревает находящиеся в ней гранулы.

При выборе конструктивных элементов пресс-форм используют рекомендации ГОСТ 19 947—74 … ГОСТ 19 999—74 «Пресс-формы для выплавляемых моделей».

1.4. Технология изготовления моделей

Технология изготовления моделей зависит, прежде всего, от свойств материалов, которые используют в этом процессе. Несмотря на некоторые различия, общими операциями при изго-

товлении моделей являются: подготовка пресс-формы, заполнение пресс-формы модельным составом, охлаждение пресс-формы ниже температуры плавления или размягчения модельного состава, извлечение моделей из пресс-формы и выдержка моделей до окончания усадки.

Подготовка пресс-формы заключается в удалении из полости пресс-формы остатков модельного состава, нанесении смазочного материала на рабочую поверхность и ее подготовке до рабочей температуры.

При изготовлении моделей из воскообразных составов заполнение пресс-формы осуществляется свободной заливкой или заливкой под давлением расплавленного модельного состава, запрессовкой модельного состава в пастообразном состоянии или в твердом гранулированном виде.

Свободную заливку модельного состава используют при изготовлении полых моделей из легкоплавких и растворимых модельных материалов. Этот способ практически не применяется для модельных составов с повышенной усадкой вследствие снижения размерной точности получаемых моделей. Пустотелые модели получают удалением незатвердевшей части модельного состава сжатым воздухом.

Заливку под давлением расплавленного модельного состава используют при изготовлении пустотелых и монолитных моделей. Давление в рабочей полости пресс-формы создается с помощью поршня или сжатого воздуха. При этом используют прессы различных конструкций: винтовые, рычажные, пневматические и гидравлические. Давление в пресс-форме поддерживается до тех пор, пока модельный состав не затвердеет. Заливка под давлением позволяет получать наиболее точные модели вследствие компенсации усадочных эффектов при затвердевании модельного состава. При использовании гранул вспенивающегося полистирола модели изготовляют на термопластоавтоматах из расплавленных гранул (рис. 1.5). Процесс изготовления моделей заключается в следующем. В рабочий обогреваемый цилиндр *1* загружают гранулы модельного состава *2*, после расплавления полистирола до состояния пены последняя впрыскивается прессующим поршнем *3* в пресс-форму *4* под давлением и затвердевает. После затвердевания пресс-форма раскрывается и модель извлекают. Получае-

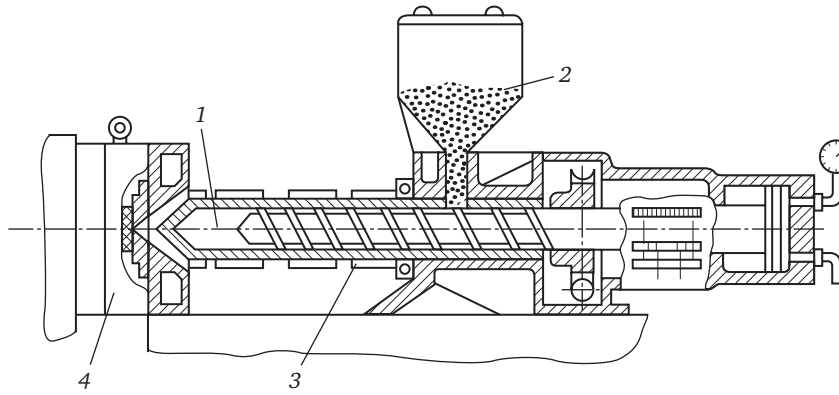


Рис. 1.5. Термопластоавтомат:
1 — рабочий цилиндр; *2* — полистирол в гранулах; *3* — поршень; *4* — пресс-форма

мая пенополистироловая модель обладает высокой теплоустойчивостью, малой плотностью и высокой размерной точностью.

Запрессовку модельного состава в пастообразном состоянии для получения моделей осуществляют в двух вариантах: без замешивания воздуха и с замешиванием воздуха до 25% по объему. Запрессовку осуществляют ручными и автоматическими шприцами (рис. 1.6). Модельные составы, содержащие равномерно распределенные воздушные включения, хорошо запрессовываются и имеют небольшую и стабильную усадку, но по сравнению с модельными составами без воздушных включений имеют более низкую прочность.

Модельный состав через трубопровод *1* подается в полость *2*. Поршень *7* пневмоцилиндром *9* отводится в крайнее левое положение, крышка *8* отходит от поршня *7* при сжатии пружины *3*, и модельный состав по каналам *6* попадает в левую часть полости *2*. Одновременно пружина *10* сжимается, и цилиндр *11* перемещается влево, при этом происходит отделение запрессовочного устройства от пресс-формы. При обратном ходе поршня *7* запрессовочное устройство поджимается к пресс-форме пружиной *10*, крышка *8* перекрывает каналы *6*, и поршень *7* выдавливает модельный состав через отверстие *4* в пресс-форму. После заполнения пресс-формы излишки модельного состава поступают в левую часть полости *2* через обратный клапан *5* и отверстие в штоке поршня.

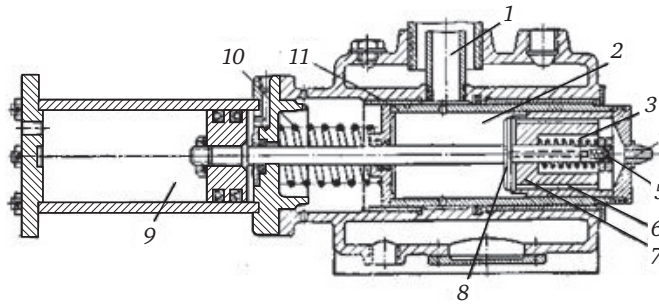


Рис. 1.6. Автоматический шприц для запрессовки пастообразного модельного состава:

1 — трубопровод; *2* — рабочая полость; *3* — пружина клапана; *4* — выпускное отверстие; *5* — обратный клапан; *6* — канал; *7* — рабочий поршень; *8* — крышка; *9* — пневмоцилиндр; *10* — пружина; *11* — цилиндр

Запрессовка под давлением порошкообразного или гранулированного модельного состава также позволяет получать пористые модели, содержащие в порах воздух, которые отличаются высокой размерной точностью и чистотой поверхности.

Модели из пенополистирола можно также получать вспениванием гранул полистирола в металлической пресс-форме. Процесс получения моделей этим способом состоит из следующих операций: нанесение на форму разделительного покрытия, загрузка формы предварительно подвспененными гранулами, нагрев формы для окончательного вспенивания гранул пенополистирола, охлаждение формы с моделью и извлечение готовой модели. Заполнение формы подвспененными гранулами осуществляется с помощью вакуума, задувки гранул сжатым воздухом, инжекторами и т.д. Нагрев формы проводится горячей водой, паром, токами высокой частоты.

Охлаждают модель в проточной воде или обдувкой воздухом. Крупные модели, особенно с различной толщиной стенки, охлаждают на воздухе естественным путем, так как при принудительном охлаждении в них возникают внутренние напряжения, ведущие к искажению размерно-геометрической точности моделей. В процессе охлаждения моделей происходит окончательная усадка моделей и их размеры стабилизируются.

Хранят модели при температурах ниже температуры размягче-

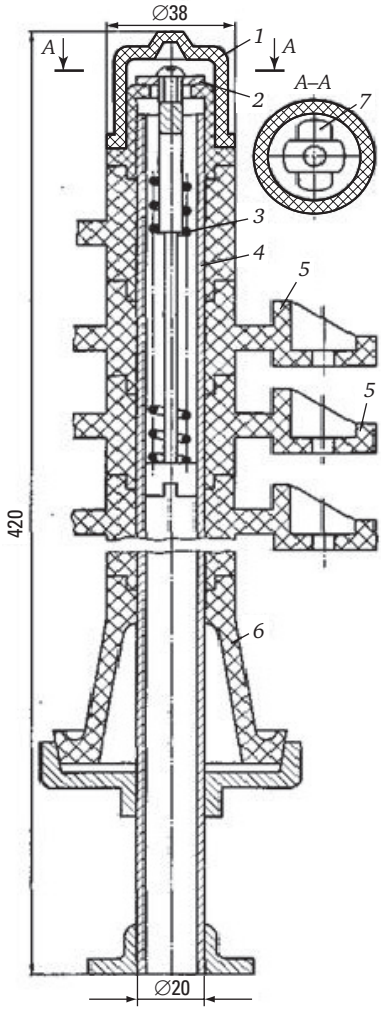


Рис. 1.7. Модельный блок:
1 — колпачок; *2* — шпилька; *3* — пружина; *4* — стояк-каркас; *5* — звенья моделей; *6* — модель литниковой воронки; *7* — паз

ния модельного состава, используя также специальную оснастку в виде подставок и опор.

Для увеличения производительности труда и снижения себестоимости отливок отдельные модели собирают в блоки с общей литниковой системой. Сборку моделей в блоки осуществляют припаиванием, приклеиванием и механическим скреплением.

Припаивание моделей к литниковой системе проводят с помощью электрических паяльников с плоским и широким жалом.

Сборка в кондукторах позволяет точно фиксировать отдельные элементы блока друг относительно друга. Модель и литниковый стояк помещают в кондуктор, и место их соединения заливают расплавленным модельным составом. Кондукторы применяют в основном для сборки моделей из плохо припаивающихся составов.

Склеивание применяют только для модельных составов, не поддающихся пайке, и в основном для моделей из пенополистирола. Модели склеивают с помощью клеящих веществ или растворителей модельного состава.

Сборку блока механическим скреплением применяют в крупносерийном и массовом производствах (рис. 1.7). В этом случае звенья модели *5* изготовляют в виде секций, имеющих центральное кольцо (секции модели стояка), с помощью которого секции

нанизывают на металлический стояк *4*. На этот же стояк нанизывают модель литниковой воронки *6*. Затем нажимают на каркас *4*, при этом пружина *3* и стержень с поперечной шпилькой *2* выходят из трубы. Колпачок *1*, покрытый модельным составом, надевают на стержень. Затем колпачок *1* поворачивают на 90°, при этом шпилька *2* заходит в паз *7* колпачка. После этого снимают давление со стояка-каркаса, пружина разжимается и колпачок стягивает звенья моделей.

1.5. Технология изготовления керамической оболочковой формы

Оболочковая форма в литье по выплавляемым моделям представляет собой многослойную неразъемную керамическую оболочку, изготовленную на основе выплавляемой, выжигаемой или растворяемой модели. Такая многослойная керамическая оболочка должна обладать необходимой технологической прочностью, газопроницаемостью, огнеупорностью, химической инертностью. Кроме того, она должна иметь необходимые чистоту поверхности и точность размеров в отношении получаемой отливки.

Оболочковые формы обычно используют в двух вариантах: без опорного наполнителя; с опорным наполнителем. По первому варианту (рис. 1.8, *а*) форму прокаливают и заливают без опорного наполнителя. В этом случае, как правило, для увеличения прочности приходится увеличивать количество слоев оболочки и для ее изготовления использовать более качественные (термостойкие) и дорогостоящие материалы.

Во втором варианте оболочка заформовывается в упрочняющий опорный наполнитель, который может быть сыпучим (рис. 1.8, *б*) или содержать связующее (жидкое стекло, гидравлические вяжущие и др.) (рис. 1.8, *в*). Заформовывание оболочки в опорный наполнитель обычно проводят либо после удаления модели, либо после процесса прокаливания. Опорный наполнитель упрочняет оболочку, поэтому ее можно изготовлять с меньшим количеством слоев, и защищает оболочку от резкого перепада температур при ее прокаливании. В качестве опорных наполнителей используют шамот, кварцевый песок, бой оболочковых форм.

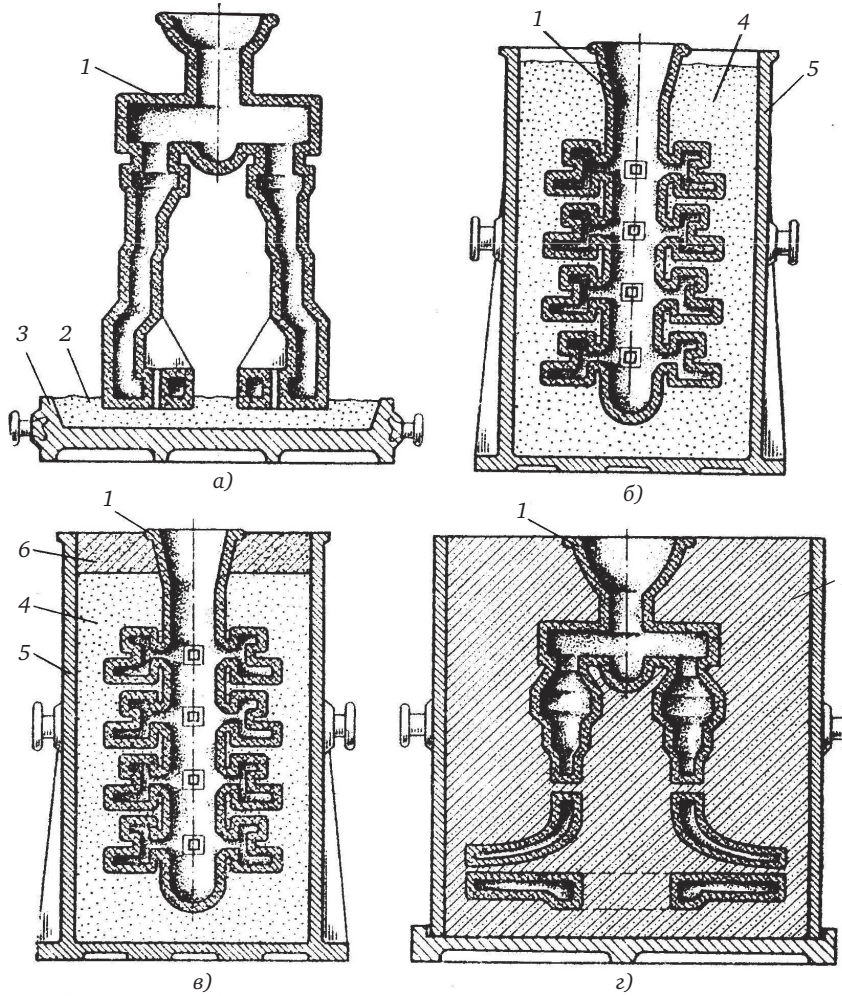


Рис. 1.8. Разновидности форм, изготовленных по выплавляемым моделям: *а* — оболочковая без опорного наполнителя; *б* — с сыпучим опорным наполнителем (сухим); *в* — с опорным наполнителем, содержащим связующее; *г* — с сыпучим опорным наполнителем и пробкой на связующем (комбинированный опорный наполнитель); *1* — оболочковая форма; *2* — песчаная постель; *3* — поддон; *4* — сыпучий наполнитель; *5* — опока; *6* — пробка; *7* — опорный связующий наполнитель

Применяют и комбинированные формы (рис. 1.8, *г*) с сыпучим наполнителем и торцовой пробкой на связующем.

Применение опорного наполнителя с заформовкой в него оболочки до прокаливания формы значительно увеличивает продолжительность тепловой обработки последней, что связано с большим расходом теплоты, удлинением технологического цикла производства отливок, дополнительными расходами на материал опорного наполнителя, его транспортирование и подготовку, заформовку в опоки. Возникает необходимость в парке опок из жаростойких материалов, а также в проведении дополнительных операций при выбивке отливок из формы.

К достоинствам применения опорных наполнителей относится то, что они упрочняют оболочку формы, ввиду чего ее можно изготовлять более тонкой, с меньшим количеством слоев. Опорный наполнитель защищает оболочку от резких изменений температур («термических ударов») при нагреве формы в прокалочной печи, а также после извлечения из нее перед заливкой. Это особенно важно для предотвращения растрескивания и деформации оболочек, изготовленных из материалов, в которых протекают значительные объемные изменения при нагреве и охлаждении, например из кристаллического кварца или магнезита. Положительная роль опорного наполнителя может проявляться в период заливки форм и кристаллизации металла, так как, сохраняя высокую температуру оболочки, наполнитель обеспечивает хорошую заполняемость ее расплавом и благоприятные условия питания тонкостенных отливок.

1.5.1. Материалы для изготовления форм

Для изготовления керамических оболочковых форм используют следующие материалы: огнеупорные формовочные материалы; связующие; растворители; технологические добавки.

Огнеупорные формовочные материалы

Огнеупорные формовочные материалы используют в литье по выплавляемым моделям в качестве наполнителя суспензии, обсыпки каждого слоя огнеупорного покрытия оболочки и опорного материала. В зависимости от своего назначения огнеупорные материалы различаются по гранулометрическому составу. Размер зерна пылевидных материалов для суспензии не превышает

0,05 мм. Для обсыпки применяют огнеупоры с размером зерна 0,2 мм и выше, а для опорного материала — крошку размером зерна 1…3 мм. К огнеупорным материалам предъявляют следующие требования: высокая огнеупорность, отсутствие полиморфных превращений при нагревании и охлаждении, низкий температурный коэффициент линейного расширения, химическая стойкость, а также доступность и дешевизна.

Кварц, или кремнезем (SiO_2) — распространенный в природе кристаллический минерал плотностью 2650 кг/м^3 и температурой плавления 1713 °С. Инертен к расплавам многих металлов и сплавов. Существенным недостатком кварца являются его полиморфные превращения, протекающие при изменении температуры, которые сопровождаются резким изменением объема кварцевых зерен. Особенно интенсивно этот процесс для кварца протекает при температуре 573 °С, когда происходит превращение β-кварца в α-кварц. Это приводит к возникновению внутренних напряжений в оболочках и в конечном итоге к их короблению и растрескиванию. Кварц по химическим свойствам относится к кислым материалам и не пригоден к использованию при получении отливок из титана и ряда высокомарганцовистых сталей.

Пылевидный кварц относится к материалам природного и искусственного происхождения. Природный пылевидный кварц — маршалит содержит 96…98% SiO_2, имеет нестабильный химический состав, аморфную структуру и органические примеси. Искусственный пылевидный кварц получают размолом наиболее чистого кварцевого песка в струйных мельницах. В виде примесей пылевидный кварц может содержать железо и оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов, которые являются коагуляторами этилсиликатного связующего, резко снижающими его живучесть.

Поэтому при использовании пылевидного кварца в составе этилсиликатной суспензии эти примеси нейтрализуют прокалкой и обработкой растворами кислот.

Самым лучшим огнеупорным материалом на основе кварца является плавленый кварц, который получают из обычного кварца при нагреве свыше температуры плавления. Плавленый кварц (кварцевое стекло) имеет аморфную структуру, не претерпевает полиморфных превращений при нагреве, а термический коэффициент линейного расширения у него в 20 раз меньше, чем

у природного кристаллического кварца. Плавленый кварц намного дороже природного кварца, однако использование плавленого кварца позволяет увеличить термостойкость, прочность и размерно-геометрическую точность форм и отливок.

Циркон $ZrSiO_4$ — представляет собой природный минерал силикат циркония, плотность которого 4560 кг/м^3 и температура плавления 2550 °С. Цирконовый песок обладает высокой огнеупорностью и химической инертностью по отношению ко многим литейным сплавам и их оксидам, низким коэффициентом теплового расширения. Содержит примеси оксидов железа, алюминия, титана, свободного оксида кремния и, кроме того, соединения урана. Примеси снижают температуру плавления циркона до 1540 °С, что накладывает ограничения по использованию такого цирконового песка при получении отливок из ряда легированных сталей.

В литье по выплавляемым моделям циркон используют как огнеупорный материал для обсыпки и как наполнитель суспензии в виде концентрата цирконового порошкообразного (КЦП), тонкодисперсного (КЦПТ) и зернистого (КЦЗ).

Дистен-силлиманит состоит из двух минералов — дистена и силлиманита. Дистен $Al_2[SiO_4]O$ — минерал подкласса ортосиликатов плотностью 3500 кг/м^3 , при нагреве до 1385…1410 °С превращается в муллит с выделением избыточного SiO_2. Силлиманит $Al[Al\ SiO_5]$ — минерал подкласса ленточных силикатов плотностью 3240 кг/м^3, так же, как и дистен, при нагреве превращается в муллит (1530 °С). Получают дистен-силлиманитовый концентрат при переработке титан-цирконовых песков.

В литье по выплавляемым моделям используют как зернистый (КДСЗ), так и порошковый концентрат (КДСП).

Муллит $3Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$ — минерал из группы дистен-силлиманита. Обладает высокими огнеупорными свойствами (температура плавления 1825…1850 °С), плотность 3100…3200 кг/м^3; химически стоек и имеет небольшой коэффициент теплового расширения. Относится к редким минералам, поэтому для промышленных нужд его получают путем обжига дистена и силлиманита в электропечах. Более перспективным материалом является плавленый муллит, который обладает лучшими характеристиками для литейных процессов, чем спеченный муллит.

Высокоглиноземистый **шамот** $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ — огнеупорная глина, или каолин, обожженный до потери пластичности. Содержит 30…70% муллита и имеет огнеупорность 1690…1770 °С. Шамот не имеет полиморфных превращений, химически инертен по отношению к расплавам металлов, линейное расширение шамотных оболочек в 3,5 раза меньше, чем на кварцевом песке. Шамотный песок (зерновой шамот — ШЗ) получают размолом кускового шамота и рассева на фракции, его используют в качестве обсыпки. Выпускается и пылевидный шамот (ШП) для использования в качестве огнеупорной основы этилсиликатных суспензий. Применение высокоглиноземистого шамота позволяет увеличить точность отливок и снизить брак оболочек по трещинам.

Электрокорунд α-Al_2O_3 — синтетический материал, получаемый из чистого глинозема в электрических печах. Плотность электрокорунда 3960 кг/м^3, а температура плавления зависит от его чистоты и находится в пределах 2000…2120 °С.

Различают белый электрокорунд, получаемый из высокочистого глинозема, и нормальный электрокорунд, который получают восстановительной плавкой бокситов, содержащих до 8% вредных примесей. Электрокорунд обладает небольшим коэффициентом термического расширения, химически стоек при контакте с расплавами многих металлов. Изготовленные на его основе оболочковые формы обладают высокой термостойкостью, трещиностойкостью и механической прочностью, могут заливаться металлом без опорного наполнителя. Используют электрокорунд в качестве обсыпки и наполнителя суспензии. Применение электрокорунда в литейном производстве сдерживается его дороговизной.

Магнезит металлургический MgO — огнеупорный материал. Получают обжигом при температуре свыше 1500 °С природного магнезита ($MgCO_3$). Имеет плотность 3580 кг/м^3 и обладает высокой огнеупорностью (температура плавления 2800 °С). В вакууме при высоких температурах MgO возгоняется, что препятствует использованию его в условиях вакуума. В литье по выплавляемым моделям с использованием этилсиликата имеет ограниченное применение, поскольку является коагулятором гидролизованного раствора этилсиликата. Наиболее целесообразно его использование для производства отливок из высокомарганцовистых сталей.

Кроме вышеперечисленных, в литье по выплавляемым моде-

лям используют карбиды, бориды, нитриды, силициды и другие соединения. В общем случае выбор огнеупорного формовочного материала определяется его доступностью и ценой.

Практически во всех случаях огнеупорные материалы подвергают предварительной обработке: дроблению, помолу, промывке, сушке, прокаливанию и рассеиванию на фракции.

Связующие

В настоящее время в современном производстве литья по выплавляемым моделям используют широкую номенклатуру связующих материалов, однако наибольшее распространение получили связующие на основе кремнийорганических соединений.

Этилсиликат (ЭТС) относится к классу кремнийорганических полимеров — полиорганосилоксанов, который содержит в своем составе органические и неорганические остатки. Это обеспечивает таким соединениям высокую термостойкость и растворимость в органических растворителях. Этилсиликат является продуктом реакции этилового спирта с четыреххлористым кремнием — $(C_2H_3O)_4Si$, который также называется тетроэтоксисиланом. В общем случае количество соединений, образующихся при получении этилсиликата, зависит от условий проведения реакции и влажности этилового спирта. Вода, содержащаяся в реакционной смеси, способствует протеканию побочных реакций гидролиза образующегося этилсиликата, в результате чего образуется сложная смесь тетраэтоксисилана с высокомолекулярными соединениями, которая собственно и называется техническим этилсиликатом. В этом материале отсутствует неорганический полимер SiO_2, который образуется в результате проведения специальной реакции гидролиза. Однако именно SiO_2 является связующим материалом оболочки керамической формы. Условное содержание SiO_2 входит в обозначение марок этилсиликатов. У нас в стране выпускается этилсиликат двух марок: ЭТС-32 и ЭТС-40 и реже используется ЭТС-50, являющийся готовым связующим. Цифры, указанные в марке этилсиликата, соответствуют среднему содержанию SiO_2 в этилсиликате.

Некоторые физико-химические свойства этилсиликатов представлены в табл. 1.2.

1.2. Физико-химические свойства этилсиликатов

Показатель	ЭТС-32	ЭТС-40		ЭТС-50
		Первый сорт	Высший сорт	
Внешний вид	Прозрачная жидкость, допускается опалесценция	Прозрачная жидкость, допускается опалесценция и незначительный осадок	Прозрачная жидкость, без осадка, допускается опалесценция	Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета
Плотность при 20 °С, кг/м^3	1000	1040…1070	1050…1070	1180…1250
Кинематическая вязкость при 20 °С, м^2/с	1,6	3,5…6,0	3,5…6,0	50…200
Массовая доля компонентов, %:				
диоксида кремния	30…34	38…42	40…42	51…54
хлористого водорода, не более	0,1	0,1	0,05	0,1
тетраэтоксисилана	50…70	10…15	10…15	—
этоксильных групп	—	70…75	70…73	57…61
этилового спирта, не более	—	1,5	1,5	2,0
фракции с температурой кипения до 110 °С, не более	2,0	—	—	2,0

Наиболее высокими связующими свойствами обладает ЭТС-50.

Гидролиз этилсиликата. Этилсиликаты, не обладая связующими свойствами, являются исходными продуктами для получения связующих. Для этого их подвергают реакции гидролиза в присутствии катализаторов, чаще всего соляной кислоты. Поскольку этилсиликат не растворяется в воде, то гидролиз протекает лишь на поверхности раздела фаз этилсиликат—вода. Для проведения реакции во всем объеме реакционной смеси необходимо использовать растворители, обеспечивающие смешение обоих компонентов реакции — этилсиликата и воды. Чаще всего в качестве растворителей для реакции гидролиза используют этиловый спирт и ацетон. Реакцию гидролиза этилсиликата можно представить следующей схемой:

$$(C_2H_5O)_4Si + H_2O \rightarrow (C_2H_5O)_3SiOH + C_2H_5OH;$$

$$(C_2H_5O)_3SiOH + H_2O \rightarrow (C_2H_5O)_2Si(OH)_2 + C_2H_5OH;$$

$$(C_2H_5O)_2Si(OH)_2 + H_2O \rightarrow (C_2H_5O)Si(OH)_3 + C_2H_5OH;$$

$$(C_2H_5O)Si(OH)_3 + H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + C_2H_5OH.$$

Одновременно с процессом гидролиза этилсиликата протекают многочисленные процессы поликонденсации продуктов гидролиза по гидроксильным ОН-группам:

$$(C_2H_5O)_3SiOH + HOSi(C_2H_5O)_3 \rightarrow$$
$$\rightarrow (C_2H_5O)_3Si{-}O{-}Si(C_2H_5O)_3 + H_2O.$$

Образующиеся продукты также подвергаются реакции гидролиза:

$$(C_2H_5O)_3Si{-}O{-}Si(C_2H_5O)_3 + H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow (C_2H_5O)_3Si{-}O{-}Si(C_2H_5O)_2OH + H_2O$$

и поликонденсации:

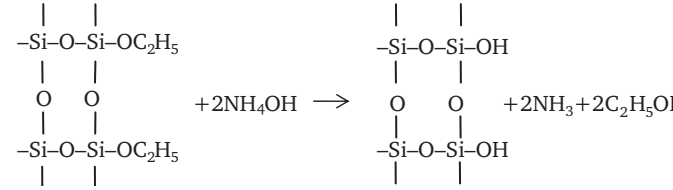
$$(C_2H_5O)_3{-}Si{-}O{-}Si(C_2H_5O)_2OH + HOSi(C_2H_5O)_3 \rightarrow (C_2H_5O)_3Si{-}O{-}\underset{\displaystyle OC_2H_5}{\overset{\displaystyle |}{Si}}{-}O{-}Si(C_2H_5O)_3 + H_2O.$$

В результате этих реакций образуется гамма сложных продуктов — полисилоксанов.

Сущность реакции гидролиза заключается в замещении в молекулах этоксильных групп (OC_2H_5) на гидроксильные группы (ОН). Полнота этого замещения зависит от количества прибавляемой воды и с ее увеличением возрастает. Это количество молей воды для гидролиза оценивают мольным отношением $H = H_2O/OC_2H_5$, где H_2O и OC_2H_5 — число молей воды, взятой для гидролиза, и этоксигрупп в исходном этилсиликате соответственно. Продолжительность процесса гидролиза этилсиликата зависит от многих факторов и прежде всего от качества этилсиликата, количества воды и катализатора, температуры и т.д. В общем случае гидролиз ЭТС-32 протекает быстрее, чем ЭТС-40, так как содержание этоксильных групп в ЭТС-32 (85%) больше, чем в ЭТС-40 (70%).

Этилсиликаты гидролизуются любым количеством воды, поскольку затраченная на гидролиз вода выделяется на стадии поликонденсации. В зависимости от этого образуются различные продукты реакций гидролиза и поликонденсации, обладающие различными физико-химическими свойствами.

Поэтому принято связующие растворы на основе органических растворителей подразделять на три типа в зависимости от мольного соотношения m (отношения числа молей воды к количеству этоксильных групп): Орг-1 ($m = 0{,}25\ldots0{,}35$), Орг-2 ($m = 0{,}56\ldots0{,}7$) и Орг-3 ($m = 1$). В зависимости от этого параметра определяется способ сушки наносимых на модель слоев покрытий. Оболочки на получаемых гидролизованных растворах сушат влажным аммиаком (воздушно-аммиачная сушка). В этом случае количество воды недостаточно для полного гидролиза этилсиликата, а твердение оболочки протекает за счет окончательного гидролиза этилсиликата гидроксидом аммония:



В результате образуется гель кремневой кислоты. Оболочки на основе растворов Орг-2 сушат во влажном воздухе, чтобы процессы гидролиза и поликонденсации этилсиликата завершились. А сушку оболочковых форм на основе растворов типа Орг-3, содержащих наибольшее количество воды, осуществляют в сухом воздухе.

В общем случае связующие свойства гидролизованных растворов этилсиликатов зависят от вида и качества исходного этилсиликата, расчетного количества условного содержания SiO_2, количества воды, вида и количества катализатора и органического растворителя, температуры и времени гидролиза, интенсивности перемешивания и порядка ввода компонентов, продолжительности и условий хранения.

На практике используют следующие способы проведения гидролиза этилсиликатов: однофазный, совмещенный, двух- или многофазный, без органических растворителей.

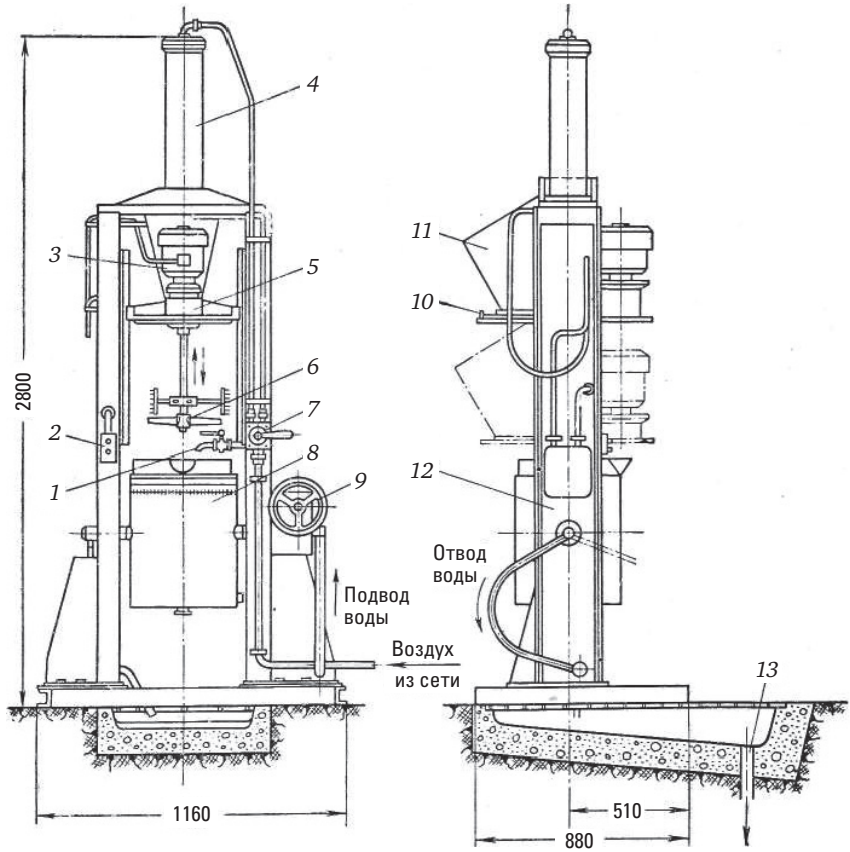


Рис. 1.9. Гидролизер для приготовления суспензий:
1 — кран; *2* — электромагнитный пускатель; *3* — электродвигатель; *4* — пневматический подъемник; *5* — механизм мешалки; *6* — крыльчатка; *7* — кран подъемника; *8* — бак; *9* — поворотный механизм; *10* — бункер; *11* — задвижка бункера; *12* — станина; *13* — сток в канализацию

При однофазном (раздельном) способе в водоохлаждаемый бак гидролизера (рис. 1.9) наливают растворитель, подкисленную воду и перемешивают в течение 1…2 мин, после этого, не выключая мешалку, в раствор постепенно вливают этилсиликат с таким расчетом, чтобы температура раствора не превышала 45 °С. Перемешивание продолжают до тех пор, пока температура раствора не упадет до 20 °С. Затем полученный раствор выдерживают в те-

чение 16…24 ч до окончания процесса гидролиза. Раствор типа Орг-3 используют сразу после приготовления.

Полученный гидролизованный раствор используют в дальнейшем для приготовления суспензии.

При совмещенном способе гидролиза в гидролизер загружают при непрерывном перемешивании растворитель, подкисленную воду и этилсиликат, а затем пылевидный огнеупорный материал в количестве $^3/_4$ от расчетной массы и перемешивают в течение 40…60 мин. Затем дозагрузкой оставшейся части пылевидного наполнителя доводят вязкость суспензии до расчетной.

Двух- или многофазный способ заключается в том, что в гидролизер загружают все компоненты не полностью, а по частям. Сначала заливают часть растворителя и часть этилсиликата и перемешивают их, а затем в два-три приема добавляют часть подкисленной воды. После стабилизации температуры раствора в гидролизер добавляют вторую порцию компонентов при двухфазном или очередную при многофазном способе.

Гидролиз без органических растворителей проводят по совмещенному способу, не применяя органических растворителей. В этом случае используют воду, подкисленную соляной или серной кислотой, а для лучшего смачивания суспензией модели в нее дополнительно вводят поверхностно-активные вещества (ОП-7, ОП-10).

При использовании ЭТС-50 суспензию готовят, не проводя процесса его гидролиза, поскольку ЭТС-50 фактически является готовым связующим. Связующий раствор готовят в гидролизерах, разбавляя ЭТС-50 ацетоном до 10%-ного содержания в нем SiO_2 по совмещенному способу. В этом случае каждый слой формы сушат с помощью воздушно-аммиачной сушки с 10% аммиака.

По такой же технологической схеме готовят суспензии на основе готового связующего, представляющего собой гидролизованный раствор ЭТС-40 в изопропиловом спирте.

Методика расчета содержания компонентов гидролизованного раствора. При расчете расхода материалов, необходимых для проведения гидролиза, нужно рассчитать количество воды, растворителя и катализатора (HCl) с учетом требуемого типа раствора, условий сушки и заданной прочности формы.

Необходимое количество воды $m_в$ (кг) для получения связую-

щего раствора (гидролизованного ЭТС) из 1 кг ЭТС гидролиза можно рассчитать по формуле

$$m_в = 0{,}004\, m a_э,$$

где m — число молей воды на одну этоксильную группу; $a_э$ — массовая доля этоксильных групп в исходном этилсиликате, % (по сертификату на ЭТС).

Значение m выбирают с учетом содержания этоксильных групп в исходном этилсиликате и в зависимости от способа сушки оболочки. Рекомендуемые значения m приведены в табл. 1.3.

1.3. Рекомендуемые значения параметра *m*

Метод сушки слоев керамической формы	Массовая доля этоксильных групп в ЭТС, %	Значение параметра m
Воздушная сушка	60…65	0,5…0,6
	65…72	0,6…0,8
Воздушно-аммиачная сушка	60…65	0,2…0,3
	65…72	0,3…0,5

Количество растворителя $m_р$ находится по формуле

$$m_р = \frac{(SiO_2)_{ЭТС}}{(SiO_2)_{связ}} - (1 + m_в),$$

где $(SiO_2)_{ЭТС}$ — массовая доля SiO_2 в ЭТС, %; $(SiO_2)_{связ}$ — требуемая массовая доля SiO_2 в связующем растворе, %.

При расчете необходимого количества растворителя можно придерживаться соотношения, что при использовании ЭТС-32 готовят гидролизованные растворы, содержащие 14…18% SiO_2, а в случае ЭТС-40 — от 10 до 12%.

Определив необходимое количество растворителя, необходимо учесть, что в нем содержится вода, поэтому количество воды для гидролиза ЭТС корректируют. Растворитель, как правило, дозируют в литрах, следовательно, рассчитанное (кг) количество растворителя делят на его плотность.

Количество соляной кислоты для гидролиза определяется содержанием этоксильных групп и для HCl плотностью 1190 кг/м^3: V_{HCl}=0,114$a_э$, где V_{HCl} — количество соляной кислоты, мл, на 1 кг этилсиликата.

В общем случае количество соляной кислоты можно рассчитывать из условия 0,3% по массе ее содержания в гидролизованном растворе этилсиликата.

Готовые связующие (ГС) представляют собой гидролизованный раствор этилсиликата в органическом растворителе. Поставщиками таких связующих являются обычно заводы — изготовители этилсиликатов. Массовая доля условного диоксида кремния в ГС составляет от 16 до 22%. В России наиболее распространены готовые связующие на основе ЭТС-40 следующих марок: ГС-20Э (массовая доля SiO_2 16…20%), ГС-12Э (массовая доля SiO_2 12…16%), ГС-12И (массовая доля SiO_2 16…20%) и др. За рубежом, в Западной Европе, известны ГС, выпускаемые в Германии фирмой Wacker (под маркой VP) и Англии фирмой Monsanto (под маркой Silester).

В нашей стране ГС не нашли широкого использования вследствие ограниченного срока их годности и нестабильности свойств во время хранения.

Коллоидные растворы кремнезема (кремнезоли) получают из жидкого стекла специальной его обработкой. К кремнезолям относятся связующие КС и АРК. Связующее КС получают из жидкого стекла путем его фильтрации через катионообменные смолы и представляет собой водный раствор коллоидального кремнезема. Связующее АРК отличается от связующего КС тем, что его получают вытеснением кремнезоля из водного раствора в ацетон неорганическими солями. Массовая доля SiO_2 в этих связующих достаточно низкое и составляет 9…12%. Кремнезоли отличаются низкой устойчивостью и прочностью керамических форм на их основе, намного уступают формам на основе этилсиликатов. По причине плохих технологических свойств связующие КС и АРК не могут конкурировать с более дорогими, но качественными связующими. Поэтому их использование целесообразно для изготовления только облицовочных слоев в комбинированных формах, поскольку при этом обеспечивается очень высокое качество поверхности отливок. Упаривание растворов кремнезоля позволяет повысить в них массовую долю SiO_2 до 50%. Их используют как упрочняющие добавки в этилсиликатных связующих.

В настоящее время промышленность освоила выпуск новых качественных марок кремнезолей, которые с успехом используют при изготовлении керамических форм в литье по выплавляемым

моделям. Они содержат в своем составе специальные добавки (пеногасители, загустители, понизители вязкости, гидрофибизаторы), которые позволяют резко повысить живучесть кремнезолей и стабильность свойств получаемых форм на их основе. За рубежом и в нашей стране используют кремнезоли марок Snowtex (Япония), Syton (Англия), Ludox-SL, Nalcoaq, Pascot (США), Сиалит-20 и Сиалит-20С (Россия).

Жидкое стекло образуется при растворении силикат-глыбы (силиката натрия или калия) в горячей воде и представляет собой водный раствор силикатов натрия или калия переменного состава в зависимости от концентрации раствора жидкого стекла. Условно состав жидкого стекла можно выразить формулой $Me_2O \cdot n\ SiO_2$, где Ме—К или Na. В литейном производстве чаще используют натриевое жидкое стекло: $Na_2O \cdot n\ SiO_2$. К недостаткам оболочек на жидком стекле относится их разупрочнение в процессе прокаливания и заливки при температурах 750…800 °С, хотя их прочность при более низких температурах превосходит прочность оболочек, полученных на основе гидролизованных растворов этилсиликата. Для борьбы с этим недостатком разработано несколько способов модификации жидкого стекла, которые заключаются в обработке сформированной керамической оболочки на жидком стекле различными неорганическими соединениями. При такой обработке происходит образование новых соединений на основе диоксида кремния, которые проявляют высокую термостойкость во всем технологическом интервале температур использования оболочковых форм.

Другие неорганические связующие. Известны неорганические связующие на основе оксинитратов и оксихлоридов алюминия и других металлов, многочисленные фосфатные связующие на основе алюминия, марганца, хрома, железа и ортофосфорной кислоты, а также некоторые легкоплавкие соли неорганических кислот. Однако такие связующие пока не получили широкого распространения.

Растворители

При приготовлении связующих растворов широко применяют различные растворители: этиловый и изопропиловый спирты, ацетон, эфироальдегидную фракцию.

Этиловый спирт (C_2H_5OH) — бесцветная жидкость, которая смешивается с водой, спиртами, глицерином и другими органическими растворителями. С водой образует азеотропную смесь, которая кипит при температуре 78,1 °С. Промышленность выпускает четыре группы этилового спирта: синтетический этанол (гидратация этилена), гидролизный этанол (гидролиз древесины), пищевой этанол (осахаривание крахмала) и сульфитный этанол (переработка сульфитных щелоков).

Изопропиловый спирт [$CH_3CH(OH)CH_3$] — получают в промышленности гидратацией пропилена, технический изопропиловый спирт содержит в своем составе около 20% воды. Хорошо растворим в воде, этиловом спирте, бензоле, этиловом эфире.

Ацетон (CH_3COCH_3) — получают несколькими способами: окислением изопропилбензола или изопропилового спирта, гидратацией ацетилена и ацетон-бутанольным брожением углеводов. Хорошо растворим в воде и во многих органических растворителях. В отличие от спиртов технический ацетон практически не содержит в своем составе воду.

Эфироальдегидная фракция (ЭАФ) — является отходом древесно-целлюлозного производства и спирта. В состав ЭАФ входят этиловый спирт (83…85%), метиловый спирт (до 1,5%), эфиры (до 30%), альдегиды и кислоты (до 1,5%), сивушные масла (до 2%).

Добавки

Добавки используют в литье по выплавляемым моделям в качестве катализаторов и регуляторов свойств связующих растворов и огнеупорных суспензий. В качестве катализатора реакции гидролиза этилсиликатов используют соляную кислоту (HCl) плотностью 1190 кг/м^3. Серная кислота (H_2SO_4, плотность неразбавленной кислоты 1840 кг/м^3) играет роль катализатора и нейтрализатора вредных неорганических и органических примесей в огнеупорных материалах. Ортофосфорную кислоту (H_3PO_4, плотность концентрированной кислоты 1830 кг/м^3) используют для связывания вредных примесей в воде и огнеупорных наполнителях суспензии.

Поверхностно-активные вещества вводят в суспензию для

улучшения смачивания и прилипания суспензии к поверхности модели, что повышает чистоту поверхности отливок.

Дистиллированная вода применяется для проведения процесса гидролиза. Водопроводная вода плохо подходит для этих целей, поскольку содержит соли щелочно-земельных металлов, железа и органические соединения, которые негативно влияют на качество получаемых суспензий и керамических форм в целом.

Цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее. Используется для приготовления формы с прочным наполнителем. Для литья по выплавляемым моделям можно использовать любые марки цемента.

1.5.2. Приготовление суспензии

Приготовление суспензий сводится к перемешиванию гидролизованного раствора этилсиликата или другого связующего с пылевидным огнеупорным наполнителем. При совмещенном способе гидролиза приготовление суспензии и гидролиз этилсиликата проводят в одну стадию. Чем интенсивнее и длительнее перемешивание компонентов суспензии, тем выше ее текучесть и прочность готовых оболочковых форм. Обычно текучесть суспензии на основе пылевидного кварца в зависимости от слоя оболочки составляет от 20 до 80 с и более.

Текучесть суспензии определяют вискозиметром ВЗ-4 по времени истечения суспензии из воронки определенного объема с калиброванным отверстием. Это время истечения суспензии является условной вязкостью. Для получения первого облицовочного слоя оболочки используют, как правило, менее текучие суспензии, с большим значением условной вязкости. Соотношение твердой и жидкой фаз в суспензии в среднем равно 70:30 (в процентах по массе).

Для приготовления суспензий используют специальный смеситель — мешалку, представляющую собой охлаждаемый проточной водой бак с лопастной мешалкой. Число оборотов мешалки составляет обычно не менее 2800 мин$^{-1}$. На рис. 1.10 представлен общий вид быстроходной пропеллерной мешалки.

В крупносерийном и массовом производствах суспензию на основе этилсиликата при совмещенном способе изготовляют на

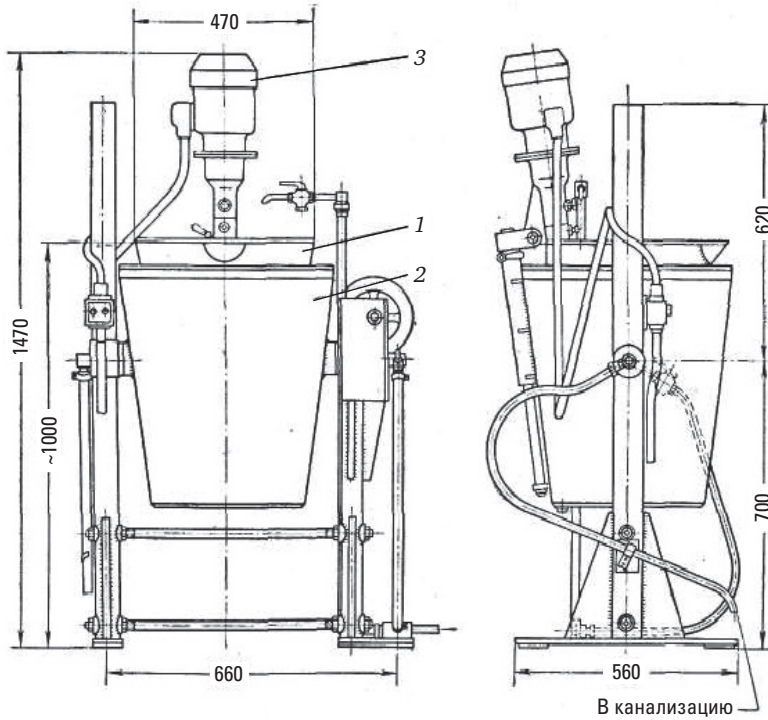


Рис. 1.10. Общий вид быстроходной пропеллерной мешалки:
1 — бак; *2* — водяная рубашка; *3* — электродвигатель

автоматизированных установках (рис. 1.11).

По трубопроводам *1* в дозаторы *2* вводят жидкие компоненты. В горизонтальную лопастную мешалку *3* непрерывно поступают подкисленная вода и растворитель, а из бункера *8* по вибролотку *7* непрерывно загружается пылевидный кварц, который дозируется по массе устройством *6*. После перемешивания пылевидного кварца с водой и растворителем в мешалке *3* массу заливают последовательно в одну из пропеллерных мешалок *4*, в которую по трубопроводу подается ЭТС. В мешалках проводится гидролиз ЭТС и приготовляется совмещенным способом суспензия. Готовая суспензия выдается через трубопровод *5*.

В настоящее время вместо традиционных устройств находят применение ускоренные методы для приготовления этилсиликат-

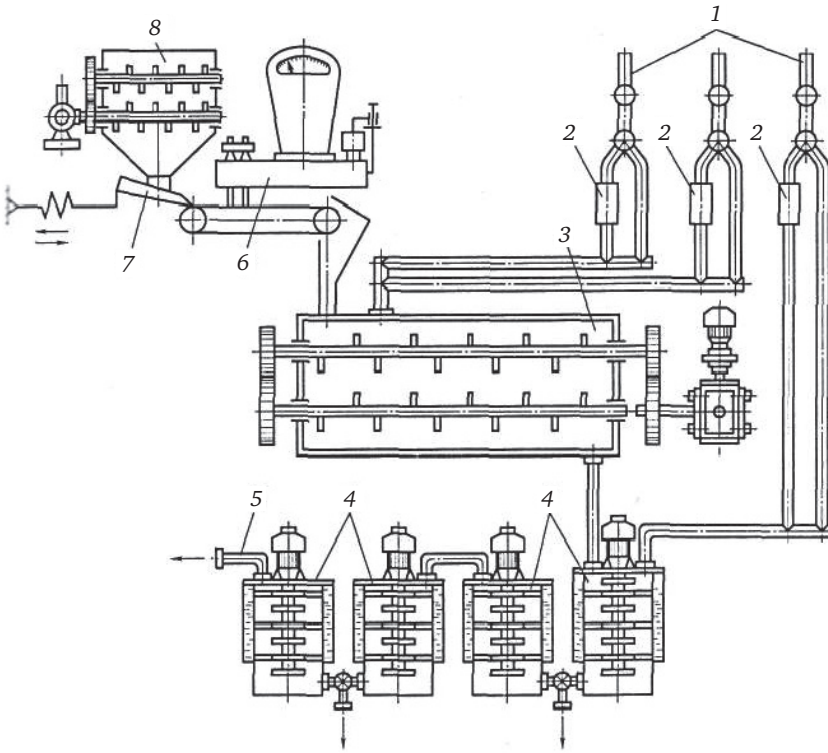


Рис. 1.11. Автоматизированная установка для приготовления суспензии: *1* — трубопроводы для подачи жидких компонентов; *2* — дозаторы; *3* — лопастная мешалка; *4* — пропеллерные мешалки; *5* — трубопровод выпуска готовой суспензии; *6* — дозатор пылевидного наполнителя суспензии; *7* — вибролоток; *8* — бункер с пылевидным наполнителем

ных связующих и суспензий с помощью барботажных установок, в которых приготавливаемый продукт продувается сжатым воздухом.

Установлено, что барботажная технология позволяет регулировать кинетику процесса гидролиза этилсиликата, стабильность свойств связующего. Продолжительность приготовления связующего сокращается в 1,5…2 раза, увеличиваются живучесть суспензии и прочность керамических оболочек.

1.5.3. Нанесение суспензии на поверхность модельных блоков и обсыпка их огнеупорным материалом

Полученную суспензию наносят на блоки моделей путем погружения модельных блоков в ванну с суспензией. В случае крупных форм суспензию можно наносить с помощью обливания моделей или окраской кистью. Операцию нанесения суспензии можно проводить вручную, с помощью манипуляторов или цепных конвейеров с копирными устройствами.

Погружение блока проводят таким образом, чтобы на поверхности моделей не осталось неокрашенных мест. Вынутый из суспензии блок медленно вращают в различных направлениях для равномерного распределения суспензии по поверхности модельного блока.

Для нанесения суспензии вручную применяют бак-смеситель конструкции НИИТавтопром (рис. 1.12). Бак *1* в форме усеченного конуса помещен в охладительный кожух, через который в процессе работы пропускается водопроводная вода. Кожух с баком установлен на станине *3* с помощью цапф и может наклоняться поворотным механизмом для слива суспензии и очистки бака. На баке сбоку, занимая небольшую часть его рабочего объема, установлен механический смеситель, состоящий из электродвигателя *7*, на валу которого закреплен шток с крыльчаткой *8*, находящейся в нижней части бака и помещенной в защитный кожух, что исключает повреждение модельных блоков *9* при погружении их в бак. Включают и выключают электродвигатель смесителя нажатием кнопок на пульте. Частота вращения крыльчатки обычно равна 2800 мин$^{-1}$, что обеспечивает хорошее перемешивание суспензии в процессе работы, предупреждает оседание в нижнюю часть бака пылевидной составляющей. Для поддержания постоянной вязкости суспензии необходимо периодически компенсировать испарение растворителя добавкой связующего раствора низкой концентрации (5…7% SiO_2).

В механизированном и автоматизированном производствах для нанесения суспензии на модельные блоки используют манипуляторы и конвейерные установки.

Схема автоматической установки для нанесения суспензии представлена на рис. 1.13.

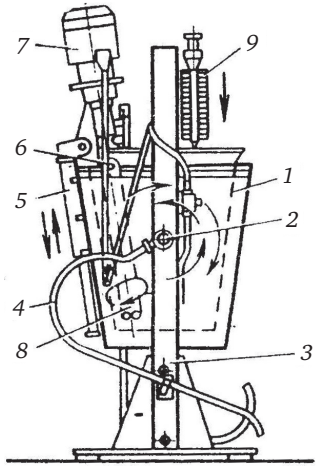


Рис. 1.12. Бак-смеситель для нанесения суспензии на блоки моделей:
1 — водоохлаждаемый бак; *2* — полая цапфа; *3* — станина бака; *4* — гибкий шланг для подвода через цапфу; *5* — подвижная реечная штанга для перемещения смесителя; *6* — трубчатый кожух вала смесителя; *7* — электродвигатель; *8* — крыльчатка смесителя; *9* — модельный блок

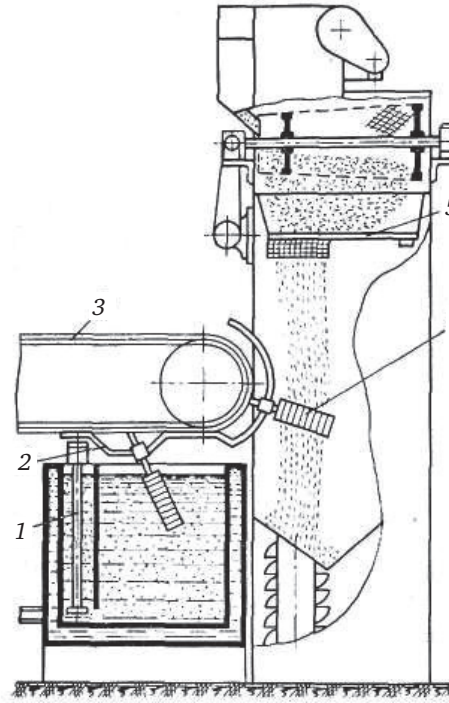


Рис. 1.13. Автоматическая установка для нанесения суспензии:
1 — ванна с суспензией; *2* — копир; *3* — конвейер; *4* — модельный блок; *5* — пескосып

Модельный блок *4* передвигается цепным конвейером *3* и по копиру *2* опускается в ванну *1* с керамической суспензией, непрерывно вращаясь вокруг своей оси с помощью катка, который находится на подвеске стояка.

Сразу после нанесения слоя суспензии модельный блок присыпают кварцевым песком или другим обсыпочным материалом. Для присыпания слоев суспензии применяются барабанные и элеваторные пескосыпы, а также пескосыпы с псевдоожиженным кипящим слоем песка, которые имеют наибольшее распространение. Схема установки для обсыпки блока моделей в кипящем слое песка представлена на рис. 1.14.

Установка представляет собой емкость *1*, в нижней части ко-

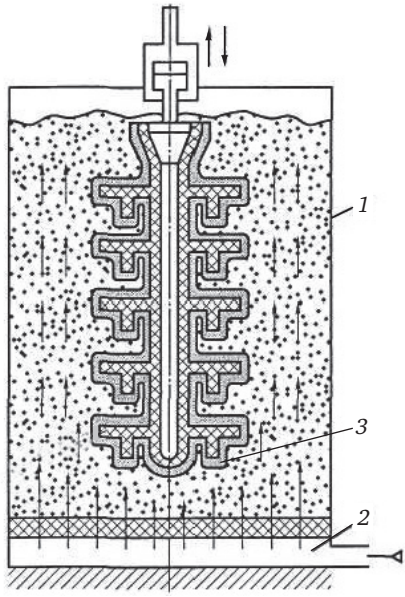


Рис. 1.14. Установка для обсыпки блока моделей в кипящем слое песка:
1 — емкость с песком; *2* — мембрана; *3* — блок моделей

торой расположена мембрана *2*, через которую в емкость с песком поступает сжатый воздух и переводит песок в псевдоожиженное состояние, блок моделей *3* погружают, как в жидкость, в слой кипящего песка. Глубина псевдоожиженного слоя должна обеспечивать возможность полного погружения в него модельного блока и обычно составляет 0,5…0,8 м.

В отдельных случаях для уплотнения обсыпочного слоя подачу сжатого воздуха после погружения модельного блока в кипящий слой песка отключают. При этом песок оседает и глубоко внедряется в слой суспензии. Для извлечения блока из емкости с песком его снова переводят в псевдоожиженное состояние.

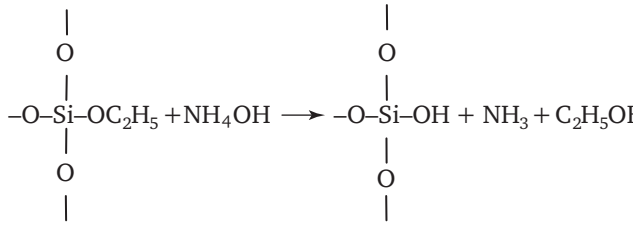
1.5.4. Сушка оболочек

Каждый полученный слой оболочковой формы после нанесения суспензии и обсыпки песком подвергается просушиванию в потоке воздуха или при использовании в качестве связующего растворов этилсиликата, полученных гидролизом малым количеством воды — парами аммиака.

Во время сушки воздухом протекают процессы испарения жидкой фазы и коагуляция золя кремниевой кислоты с переходом его в гель, что приводит к отвердению пленки связующего.

Для обеспечения максимальной прочности слоя оболочки необходимо удаление не менее 80…90% жидкой фазы перед последующим отвердением пленки связующего. Для интенсификации удаления растворителей используют сушку в атмосфере сухого подогретого воздуха в вакуумных камерах.

Использование паров аммиака позволяет ускорить коагуляцию этилсиликатного связующего за счет омыления оставшихся после гидролиза этоксильных групп:



Продолжительность сушки на воздухе в зависимости от условий составляет 2…8 ч, а в парах аммиака примерно 60 мин.

Конструкции и размеры сушильных установок зависят от масштабов производства. При небольших масштабах сушат блоки

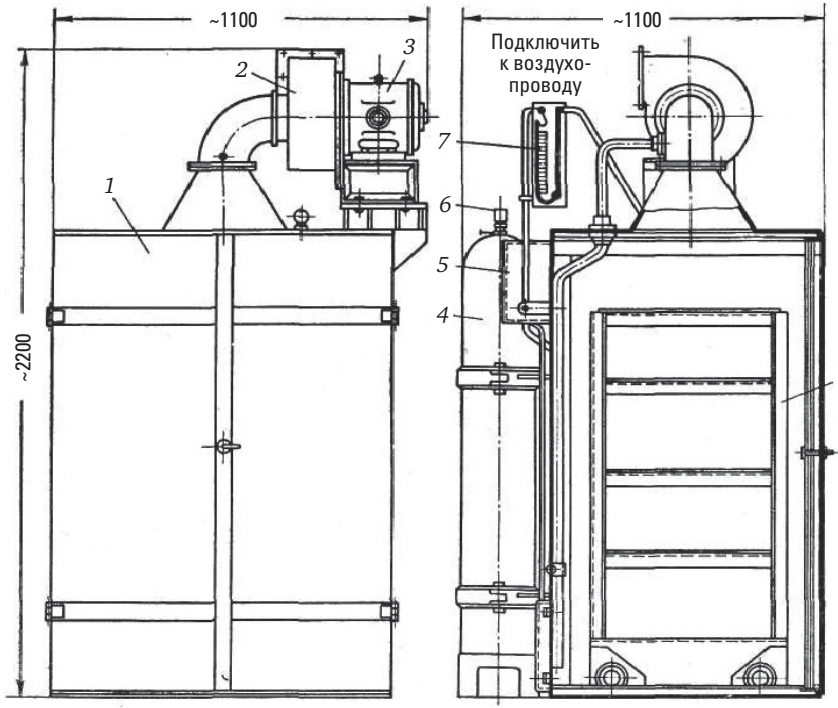
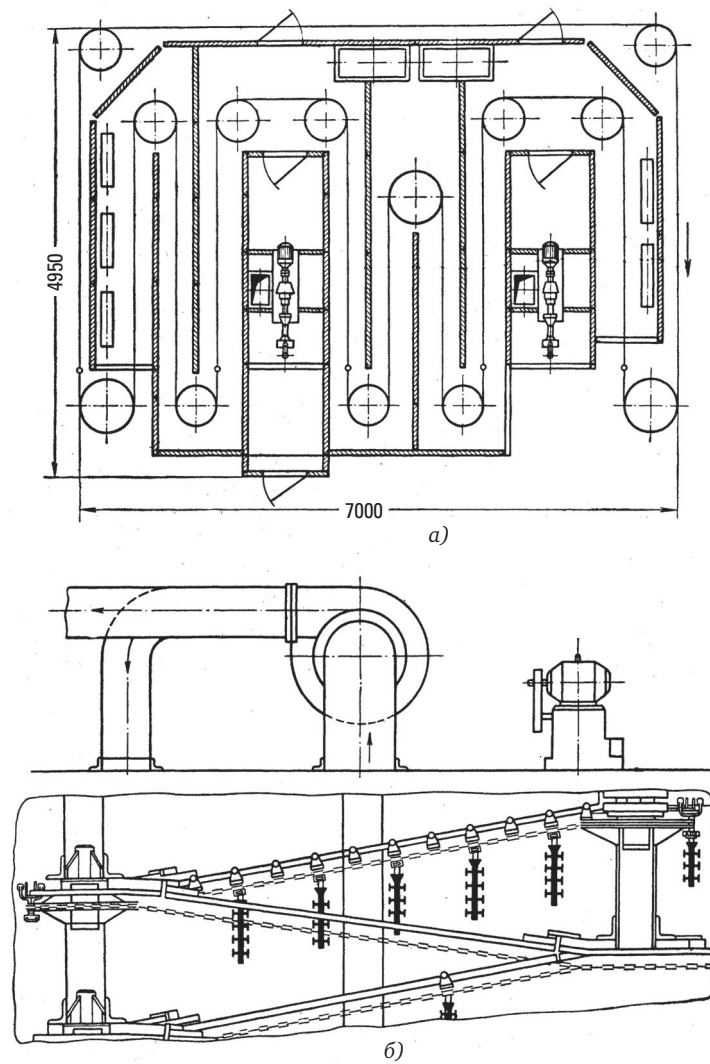


Рис. 1.15. Вытяжной шкаф:
1 — шкаф; *2* — вентилятор; *3* — электродвигатель; *4* — баллон с газом; *5* — пневмоэлектроклапан; *6* — редукционный клапан; *7* — реометр; *8* — этажерка



а)

б)

Рис. 1.16. Конвейерное сушило:
а — вертикальное; *б* — горизонтальное

в вытяжных шкафах или камерах с тележками (рис. 1.15) при атмосферном давлении.

В массовом производстве используют горизонтальные или вертикальные сушила (рис. 1.16), с кондиционированием возду-

ха по влажности и температуре. Вертикальные сушила занимают меньше производственных площадей, в них лучше организовать поток воздуха.

1.5.5. Удаление моделей

Способ удаления моделей зависит, прежде всего, от природы модельного состава. Воскообразные модельные составы удаляют из керамической формы выплавлением с помощью горячей воды, пара, горячего воздуха, расплава модельного состава.

Самое главное условие при использовании этих способов — это обеспечение быстрого нагрева модели со стороны керамической оболочки. Это связано с тем, что при медленном нагреве расширяющийся модельный состав может деформировать оболочковую форму, что приводит к образованию трещин или ее полному разрушению. Быстрый разогрев слоя модельного состава, непосредственно примыкающего к поверхности оболочки, приводит к его оплавлению, впитыванию в поры формы или вытеканию из нее. Вследствие этого между формой и оставшейся модельной массой образуется зазор, который предохраняет разрушение или деформацию оболочки.

Поэтому наиболее эффективным, с этой точки зрения, является выплавление моделей в расплаве модельного состава, позволяющего проводить эту операцию при температурах 120…160 °С.

Наиболее простым и дешевым способом является выплавление модельного состава горячей водой, позволяющее обеспечить на 90…95% возврат модельного состава. При этом протекает процесс разупрочнения этилсиликатных оболочек в горячей воде, особенно при длительности процесса свыше 10…15 мин, и повышается вероятность их разрушения вследствие расширения модельного состава. Этот способ наиболее приемлем для керамических оболочковых форм на жидком стекле, поскольку в этом случае происходит упрочнение такой оболочки.

В зависимости от способа выплавления и масштабов производства для выплавления модельного состава используют шкафы для выплавления горячим воздухом, автоклавы, ванны и т.д. На рис. 1.17 представлена схема установки для выплавления модельного состава из оболочек в воде.

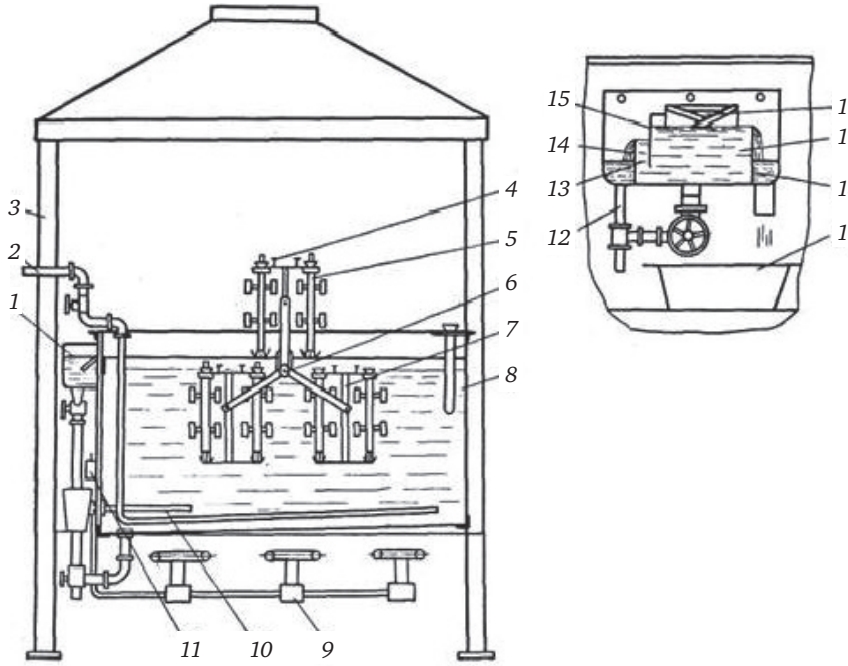


Рис. 1.17. Установка для выплавления модельного состава из оболочек в воде:

1 — разделительная коробка; *2* — водопроводные трубки; *3* — каркас; *4* — зажимы; *5* — модельные блоки; *6* — подвижное колесо; *7* — блокодержатели; *8* — ванна; *9* — газовая горелка; *10* — терморегулятор; *11* — газорегулятор; *12* — сливная труба; *13* — камера для воды; *14*, *15* — перегородки; *16* — сливное отверстие; *17* — камера смеси; *18* — перегородка; *19* — сборник

Растворимые солевые и карбамидные составы растворяют в воде при 20…40 °С и реже водяным паром. При этом расширение модельного материала не происходит и трещины в оболочковой форме не образуются.

Полимерные модели чаще всего удаляют растворением их в различных органических растворителях или их смесях. Пенополистироловые модели удаляют растворением в толуоле, ацетоне, трихлорэтилене и других комбинированных растворителях.

Пенополистироловые выжигаемые модели можно удалять из формы выжиганием. В этом случае также нужно обеспечить быстрый нагрев формы, поскольку при медленном нагреве расши-

ряющаяся пенополистироловая модель может разорвать оболочку. Для более полного сгорания пенополистирола в печи создают окислительную среду.

Наиболее выгодным вариантом в случае полимерных моделей является сочетание процессов растворения и выжигания при удалении модельных составов. Растворение в этом варианте проводят до появления зазора между моделью и керамической оболочкой, чтобы расширяющийся модельный состав при дальнейшем его выжигании не смог повредить форму. При этом экономится значительное количество органического растворителя.

В настоящее время начинает широко применяться автоклавный метод выплавления моделей перегретым насыщенным паром под давлением. Находят применение и способы, использующие для выплавления токи высокой частоты (2500 Гц) и энергию сверхвысоких частот (СВЧ-нагрев, 2450 МГц).

1.5.6. Прокаливание оболочковых форм

Прокалку оболочковых форм проводят в двух вариантах: с опорным наполнителем и без опорного наполнителя. Целью данной операции является выжигание остатков модельного состава после удаления моделей, воды, остатков растворителя и продуктов неполного гидролиза этилсиликата. Все эти соединения обладают повышенной газотворностью и могут вызывать многочисленные виды брака при заливке формы металлом.

Во время прокаливания происходит спекание связующего и огнеупорного материала, что приводит к повышению прочности оболочки, в форме образуются микротрещины и поры, которые увеличивают газопроницаемость оболочки до 10…25 единиц, а нагрев оболочки обеспечивает лучшее заполнение формы жидким расплавом при заливке.

Обычно максимальная температура нагрева оболочковых форм при прокалке составляет 900…1100 °С, однако скорость нагрева зависит от материала стенки формы и ее толщины.

Если прокалку оболочек проводят в опорном наполнителе, то перед прокалкой оболочки заформовывают в сыпучий опорный материал, в качестве которого используют сухой кварцевый песок, остатки оболочек после выбивки и очистки отливок, шамот-

ную крошку и другие огнеупорные материалы. В процессе формовки оболочковые формы помещают в опоку, представляющую собой контейнер из жаростойкой стали, засыпают огнеупорным материалом, уплотняют на вибростоле и только затем прокаливают. Формовка оболочек в опорные наполнители проводится для упрочнения оболочек во время прокалки и заливки металлом. Общая продолжительность прокаливания форм в этом случае составляет 6…8 ч.

Прокалку оболочек без опорного наполнителя проводят в тех же опоках, только без их заполнения огнеупорным материалом. Оболочки без опорного наполнителя прокаливают в течение 1…2 ч, после чего начинается процесс их постепенного охлаждения до нужной температуры. Иногда проводят прокалку оболочковых форм без опорного наполнителя, а затем их формируют в горячий наполнитель, что существенно ускоряет эту технологическую операцию.

1.6. Заливка, выбивка и очистка отливок

Общепринятой технологией считается заливка жидкого металла в горячие формы сразу после их прокаливания. При этом температура формы при заливке зависит от природы заливаемого металла, материала формы, конфигурации и толщины стенки отливки. В общем случае перепад температур между формой и расплавом металла не должен превышать термостойкость формы. В противном случае при заливке металла может происходить растрескивание формы вплоть до ее полного разрушения. Алюминиевые сплавы заливают при температуре формы 400…700 °С, медные сплавы — при 600…800 °С, а жаропрочные сплавы и стали — при 800…1000 °С. При получении отливок с толстыми стенками для улучшения структуры металла расплав заливают в формы, имеющие температуру 200…400 °С, а тонкостенные отливки — 1100…1400 °С.

При изготовлении отливок из сплавов, склонных к окислению, плавку и заливку ведут в вакууме в специальных плавильно-заливочных установках.

Для заливки форм используют ковши различной емкости. При вместимости ковша до 30 кг жидкого металла заливку проводят

вручную. Для заливки сталей применяют стальные футерованные ковши, а для цветных сплавов используют графитовые тигли. Широко применяется бесковшовая заливка металла с помощью поворотных печей.

После заливки металлом формы охлаждают на плацу естественным образом, а для ускорения процесса охлаждения применяют охлаждение сжатым воздухом или водой.

Выбивка форм после заливки и охлаждения проводится опрокидыванием контейнеров на провальные решетки. В случае использования жидких упрочняющих материалов (на основе жидкого стекла, цемента) выбивка осуществляется на выбивных решетках.

Для массового производства отливок используют автоматизированные линии, совмещающие прокалку, формовку, заливку форм, выбивку и охлаждение отливок.

В таких агрегатах технологические установки объединены транспортным устройством в единую систему. Например, агрегат для формовки и заливки (рис. 1.18) состоит из газовой печи *1* прокаливания форм, заливочной карусели *3* со звездочками *4* и камеры охлаждения *6*, объединенных конвейером *9*.

Формы устанавливают на подвески конвейера *9*, литниковую воронку закрывают колпачком, который предохраняет полость формы от засоров песком при формовке на подвеске. Конвейер транспортирует подвески с оболочковыми формами через печь прокаливания. Прокаленные формы после выхода из печи формуют в опорный (горячий) материал на карусели. Опускание подвесок выполняется пневматическим цилиндром. На участке формовки блоков в карусели с помощью неподвижно установленных труб *2* с отверстиями создается зона кипящего слоя песка. После заливки форм и затвердевания отливок блок на подвеске извлекается «лифтом» *5* из карусели *3* и транспортируется в камеру охлаждения *6*. Блоки отливок охлаждаются распыленной водой. Обломки оболочковой формы, отделившиеся от блока *7* отливок, падают на конвейер *8* и направляются на регенерацию. Производительность агрегата 90 блоков/ч. Скорость конвейера 0,6 м/мин. Шаг подвесок 400 мм. Длительность прокаливания 24 мин.

Предварительную очистку отливок от формы выполняют на пневматических вибрационных установках или пневмолотками.

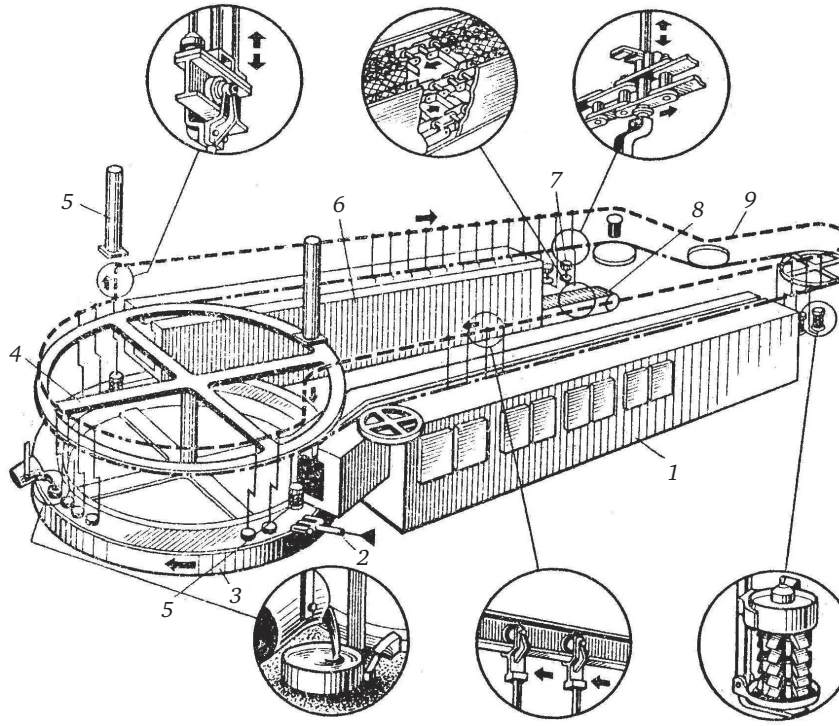


Рис. 1.18. Агрегат для прокаливания, формовки, заливки, выбивки оболочковых форм:
1 — газовая печь; *2* — труба; *3* — заливочная карусель; *4* — звездочка; *5* — лифт; *6* — камера охлаждения; *7* — блок отливок; *8*, *9* — конвейеры

В некоторых случаях отделение оболочковой формы от отливки происходит при резком охлаждении формы водой.

Для отделения отливок от литниковой системы применяют несколько способов, причем выбор способа зависит от материала, формы и размера отливок, а также от типа производства.

Отбивку отливок от литниковой системы осуществляют с помощью вибрационных установок, позволяющих отделить деталь от литниковой системы в месте пережима, который является концентратором напряжений. Этот способ используется для отливок из углеродистых сталей.

Отрезку отливок на металлорежущих станках используют лишь в том случае, если другие способы невозможны в связи со

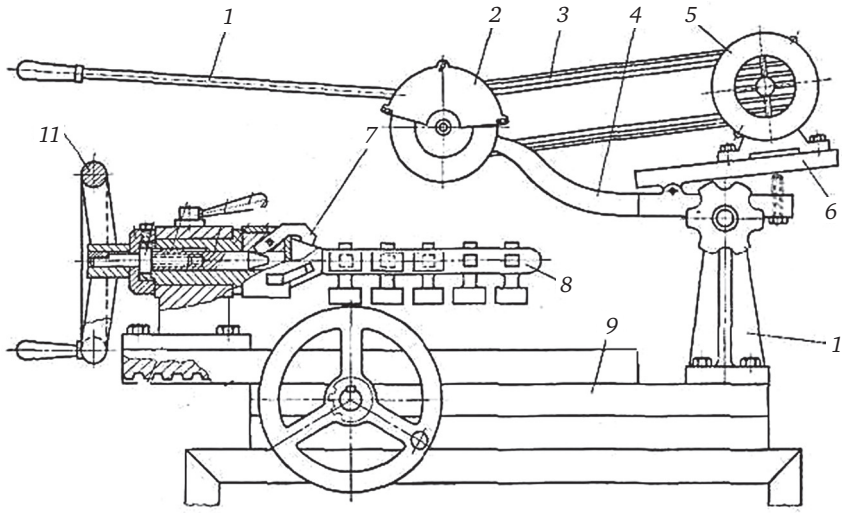


Рис. 1.19. Устройство для отрезки отливок от стояка с помощью дисковой пилы:
1 — рукоятка; *2* — абразивный круг; *3* — клиноременная передача; *4* — рычаг; *5* — электродвигатель; *6* — переходная плита; *7* — трехкулачковый патрон; *8* — литейный блок; *9* — опорная плита; *10* — кронштейн; *11* — штурвал

сложной конструкцией литниковых систем. Нужно учитывать при этом, что стойкость режущего инструмента достаточно ограничена вследствие ударных нагрузок и абразивного воздействия на инструмент остатков керамики на отливках. Для отрезки применяют токарные, фрезерные и шлифовальные станки, дисковые пилы и механические ножовки. Использование в этих целях абразивных кругов позволяет намного увеличить производительность этой операции (рис. 1.19).

Этот способ подходит к ограниченной номенклатуре отливок и литниковых систем, поскольку в процессе резки происходит отгибание литников, которые могут при этом упираться в стояк или в верхний ряд изделий и деформироваться.

Крупные отливки и прибыли удобнее всего отделять газопламенной резкой. Однако следует учитывать, что в процессе нагрева горелкой в отливках могут возникать термические напряжения, которые могут приводить к различным деформациям отливок.

Анодно-механическая резка применяется в очень редких слу-

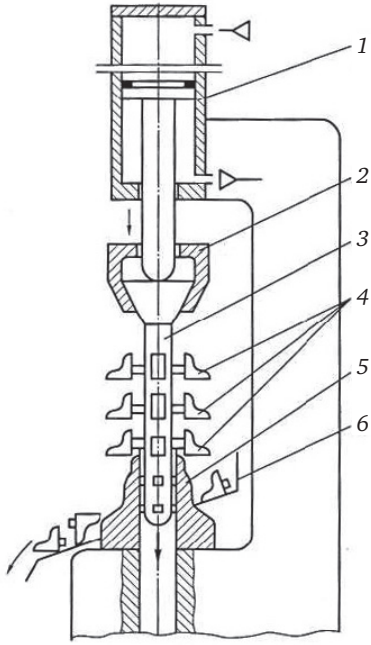


Рис. 1.20. Отделение литников с помощью пресса:
1 — гидроцилиндр; *2* — зажимной патрон; *3* — стояк с отливками; *4* — отливки; *5* — обрезная матрица; *6* — лоток

чаях, если для получения отливок используют труднообрабатываемые сплавы.

Отделение литников с помощью пресса представлено на рис. 1.20.

В процессе окончательной очистки отливок удаляют остатки керамической оболочки из труднодоступных полостей и углублений. Трудноотделяемые части керамической формы и стержни удаляются механическими, химико-термическими, электрохимическими и электрогидравлическими способами.

Из механических способов наиболее употребительна пескоструйная очистка, которая позволяет проводить окончательную очистку литых изделий от остатков керамической оболочки и окалины. Вследствие сильного пылеобразования пескоструйная очистка повсеместно была заменена гидроабразивной очисткой. Наиболее широко метод гидроабразивной очистки используется при получении медных, алюминиевых и магниевых сплавов. Изменением концентрации абразивных частиц в составе пульпы можно варьировать эффективность такой обработки. Наиболее мягкие условия обработки достигаются, когда очистку проводят гидравлическим способом, используя для этих целей струю воды под давлением 20…30 МПа, которая не содержит в своем составе абразивный материал. Схема гидроабразивной установки представлена на рис. 1.21.

Очистка в дробеметных и дробеструйных камерах применяется для деталей из твердых сплавов. Для дробеструйной обработки используют установки непрерывного и периодического действия.

Химико-термические способы очистки применяют в основном для очистки мелких стальных отливок, когда механические спо-

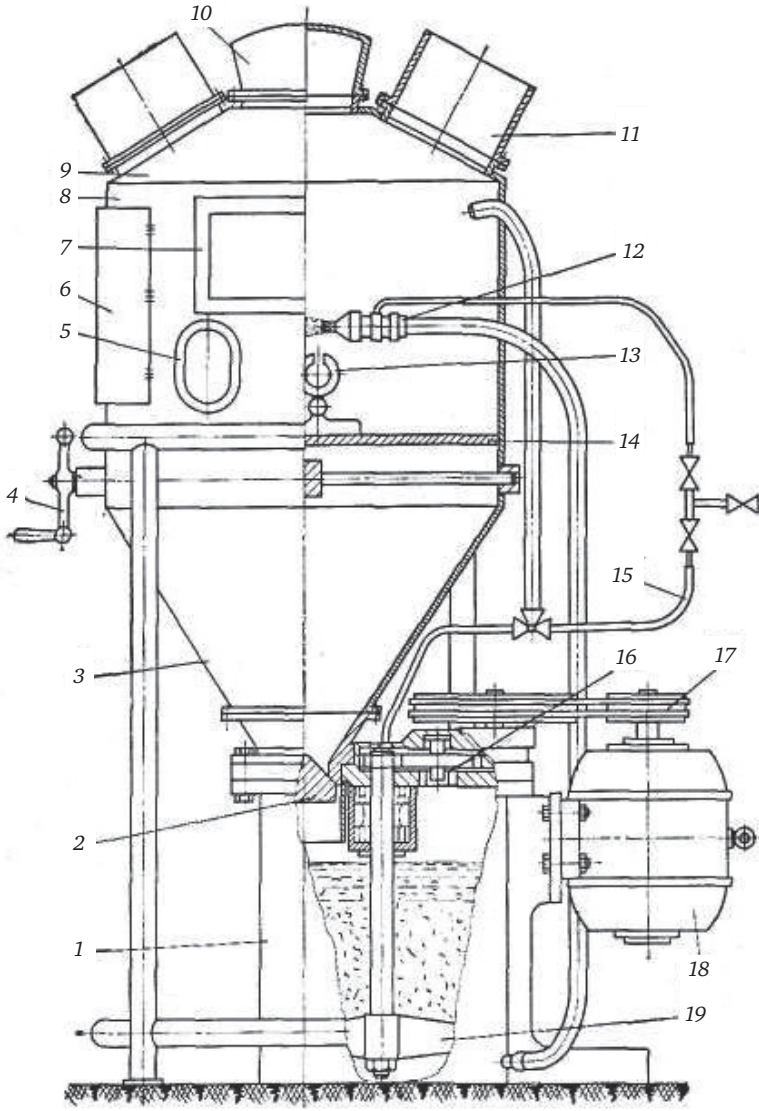


Рис. 1.21. Гидроабразивная установка:
1 — бак; *2* — клапан; *3* — конус; *4* — рукоятка; *5* — специальный лаз; *6* — дверца; *7* — окно для наблюдения; *8* — камера; *9* — крышка камеры; *10* — вентиляционный отвод; *11* — электролампы; *12* — струйный аппарат; *13* — зажим для деталей; *14* — плита; *15* — труба для сжатого воздуха; *16* — шестерни привода мешалки; *17* — ременная передача; *18* — электродвигатель; *19* — мешалка

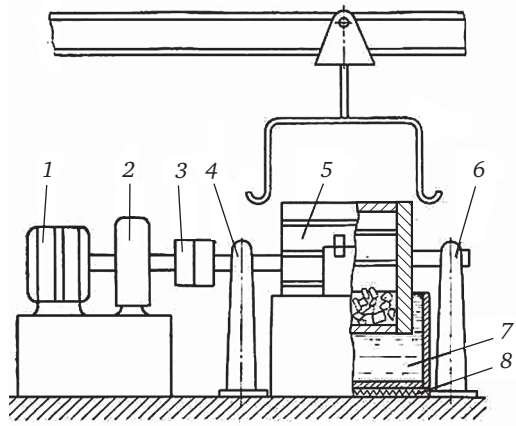


Рис. 1.22. Установка с вращающимся барабаном для выщелачивания отливок:
1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — муфта сцепления; *4*, *6* — стойки; *5* — барабан с деталями; *7* — ванна с горячим раствором щелочи; *8* — электронагреватель

собы не обеспечивают полного удаления остатков керамической оболочки из отливок сложной конфигурации. Суть способа состоит в химическом растворении остатков оболочки на кварцевой основе горячими растворами щелочей, в качестве которых используют КОН или NaOH 30…55%-ной концентрации. В процессе обработки кремнезем остатков формы взаимодействует со щелочью по реакции

$$2KOH+2SiO_2 \rightarrow K_2Si_2O+H_2O.$$

Для ускорения процесса растворения кремнезема щелочную очистку проводят во вращающихся барабанах (рис. 1.22).

После обработки отливок горячей щелочью их отмывают в ванне проточной водой.

Для растворения остатков формы, изготовленной с использованием некварцевых огнеупорных материалов на этилсиликатном связующем, предложено применять расплав кальцинированной соды, который способен взаимодействовать с диоксидом кремния, являющимся конечным продуктом гидролиза этилсиликата после прокалки формы:

$$Na_2CO_3 + SiO_2 \rightarrow Na_2\,SiO_3 + CO_2.$$

Очистка отливок с помощью электрогидравлического метода осуществляется в ванне с водой, в которой создается направленный электрозаряд, приводящий к образованию в водной среде мощной ударной волны, воздействующей на очищаемую отливку. Близко к этому способу примыкает и электроискровой способ, который применяют для отливок из углеродистых и легированных сталей, обладающих высокой прочностью.

После отделения литниковой системы от отливок на отливках остаются выступы от питателей, выпоров, прибылей. Остатки литниково-питающей системы удаляют на наждачных станках или с помощью отрубных прессов и шлифовальных установок.

1.7. Методы испытания оболочковых форм

В литье по выплавляемым моделям керамическую оболочку испытывают на прочность при изгибе и газопроницаемость.

Определение прочности оболочки при изгибе выбрано из тех соображений, что в технологическом процессе изготовления отливок по выплавляемым моделям форма испытывает в основном напряжение изгиба. Для проведения испытаний готовят плоские образцы в виде пластин размерами 20×40×3 мм, используя форму из легкоплавкого модельного состава (рис. 1.23).

При изготовлении пластин придерживаются технологии получения оболочковой формы. Испытывают на изгиб в непрокаленном и прокаленном состояниях по схеме, приведенной на рис. 1.24.

Испытания на газопроницаемость проводят по стандартной методике на прокаленных образцах в виде диска диаметром 50 мм и толщиной 3 мм. Технология изготовления образцов такая же, как и при испытании образцов на изгиб. Для определения газопроницаемости используют приборы мод. 042М или мод. 5037. Для этого приготовленный и прокаленный образец помещают в патрон Фишера гладкой поверхностью вниз и уплотняют в патроне подкачкой воздуха в резиновую камеру. Затем патрон с образцом устанавливают в прибор и проводят испытание.

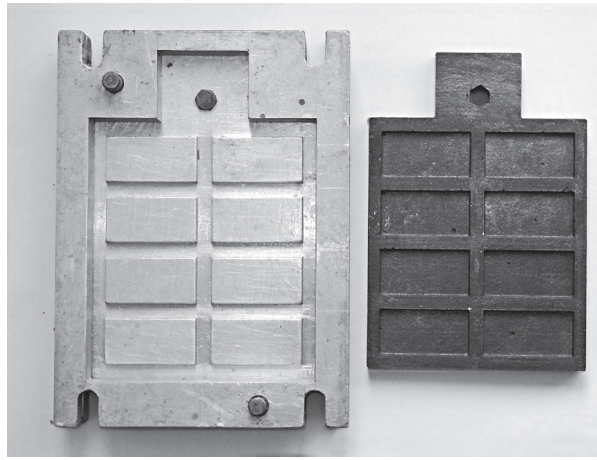


Рис. 1.23. Пресс-форма и выплавляемая модель для изготовления образцов оболочек для испытания на изгиб

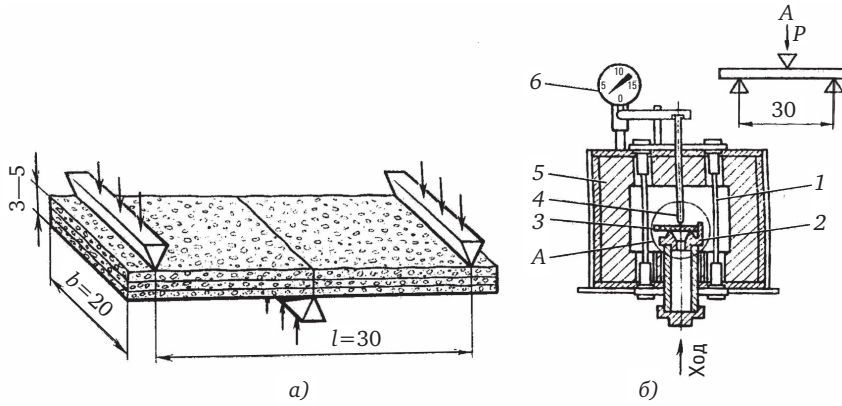


Рис. 1.24. Принципиальная схема определения $\sigma_и$, МПа:
а — нагружение образца; *б* — испытание при высоких температурах; *1* — силитовые нагреватели; *2* — опоры; *3* — образец; *4* — шток; 5 — печь; *6* — динамометр

1.8. Дефекты отливок

Дефекты отливок в литье по выплавляемым моделям можно подразделить на дефекты, возникающие вследствие нарушения и недоработки технологии изготовления формы или технологии плавки, заливки и охлаждения металла.

Условно все дефекты подразделяют на следующие группы:

• дефекты отливок по вине формы (поверхностные дефекты; внутренние дефекты; несоответствие размерно-геометрической точности отливок);

• несоответствие химического состава и структуры;

• несоответствие механических свойств.

К поверхностным дефектам относятся повышенная шероховатость, заливы, пригар, обезуглероженный слой.

Повышенная шероховатость отливок является результатом недостаточного качества поверхности моделей и возникает вследствие плохой подготовки пресс-формы при изготовлении моделей, пробивания первого слоя оболочки песком при обсыпке или образования в полости формы налета кремнезема в виде «пушка».

Для предотвращения такого дефекта полость пресс-формы должна быть очищена от остатков модельного состава, излишков смазочного материала и воды. Для улучшения смачиваемости модели суспензией необходимо проводить обезжиривание поверхности модели или использовать в составе суспензии поверхностно-активные вещества. Для исключения пробивания первого слоя суспензии песком следует применять для обсыпки первого слоя более мелкий песок. Налет кремнезема появляется в полости формы вследствие неполного гидролиза этилсиликата, особенно если гидролиз проведен при недостатке воды. В этом случае целесообразно использовать сушку формы в парах аммиака или изменить технологию гидролиза.

Образование *пригара* является следствием химического взаимодействия материала отливки и формы между собой. Для устранения пригара нужно в составе оболочки использовать материалы, обладающие высокой химической инертностью, такие, как плавленый кварц, циркон, электрокорунд.

С образованием *обезуглероженного* слоя на отливках из углеродистых сталей борются введением в состав суспензии для первого слоя углеродных материалов, чаще всего графита.

Заливы, гребешки, наплывы образуются в результате затекания расплавленного металла в трещины оболочковой формы, образующиеся вследствие ее недостаточной прочности на различных технологических этапах изготовления. Увеличение прочности формы решается использованием высококачественных материа-

лов и различными технологическими приемами, в том числе и с помощью армирования керамических оболочковых форм.

К внутренним дефектам отливок относятся усадочные раковины, пористость, засоры, газовые раковины и горячие трещины.

Усадочные раковины и *пористость* образуются при недостаточном обеспечении питания отливки при ее затвердевании. Этот вид брака обычно устраняют совершенствованием конструкции литниковой системы.

Засоры образуются вследствие захвата расплавленным металлом при его заливке в форму песчинок из дефектных мест стенки формы или при попадании песка в полость формы при ее формовке в сыпучий наполнитель. Устранение засора осуществляют повышением прочности оболочки и удалением попавших в полость формы песчинок эжектированием сжатым воздухом.

Возникновение *газовых раковин* связано с недостаточной газопроницаемостью оболочки и устраняется изменением конструкции литниково-питающей системы.

Образование *горячих трещин* обусловлено нетехнологичностью конструкции отливки или слишком высокой температурой заливаемого сплава. Борьба с горячими трещинами сводится к изменению конструкции отливки или технологии ее получения.

Несоответствие размеров и геометрической точности отливок обусловлено нестабильностью свойств материалов, используемых при изготовлении моделей, формы и заливного металла. Искажение размера и формы моделей происходит при нарушении технологии их получения и хранения.

Причины *несоответствия химического состава*, *структуры* и *механических свойств* отливок те же, что и при других способах литья: отклонение в составе шихтовых материалов, нарушение режимов плавки, несоблюдение принципа направленного затвердевания отливки в форме, наличие газов и неметаллических включений и др.

1.9. Повышение качества отливок по выплавляемым моделям

Качество отливок, получаемых методом литья по выплавляемым моделям, формируется на всех этапах их изготовления — от производства моделей и до финишных операций и зависит от большого числа переменных технологических факторов.

Напряжения, возникающие в оболочковых формах в процессе формообразования, удаления моделей, формовки, прокаливания и заливки их расплавом металла, нередко приводят к появлению трещин в оболочковой форме вплоть до нарушения ее целостности, что в конечном итоге приводит к браку отливок.

Наиболее распространенными видами брака отливок по вине формы являются засор и поверхностные дефекты. Они связаны с повышенной деформацией и растрескиванием форм из кристаллического кварца на операциях сушки форм, удаления моделей, транспортирования форм, заформовывания оболочек в опорный наполнитель, прокаливания и заливки расплавом. Это связано с тем, что кристаллический кварц при нагревании испытывает полиморфное обратимое превращение при 573 °С, при этом происходит расширение оболочковой формы, приводящее к ее растрескиванию и деформации.

Одним из способов решения этой проблемы является исключение или частичная замена кристаллического кварца, по вине которого образуются перечисленные дефекты, на плавленый кварц, шамот, электрокорунд, циркон, дистен-силлиманит и другие огнеупорные материалы, обладающие низким коэффициентом термического расширения.

Другим путем, позволяющим существенно улучшить технологические свойства оболочковых форм, является широко распространенный в технике способ армирования.

В настоящее время известен широкий круг технологических вариантов изготовления армированных оболочковых керамических форм, основанных на армировании оболочки путем обсыпки поверхности блока армирующим материалом или путем введения армирующего компонента в состав суспензии. В качестве армирующих добавок используют различные вещества: волокнистые органические добавки, рубленую проволоку, асбест, шамот,

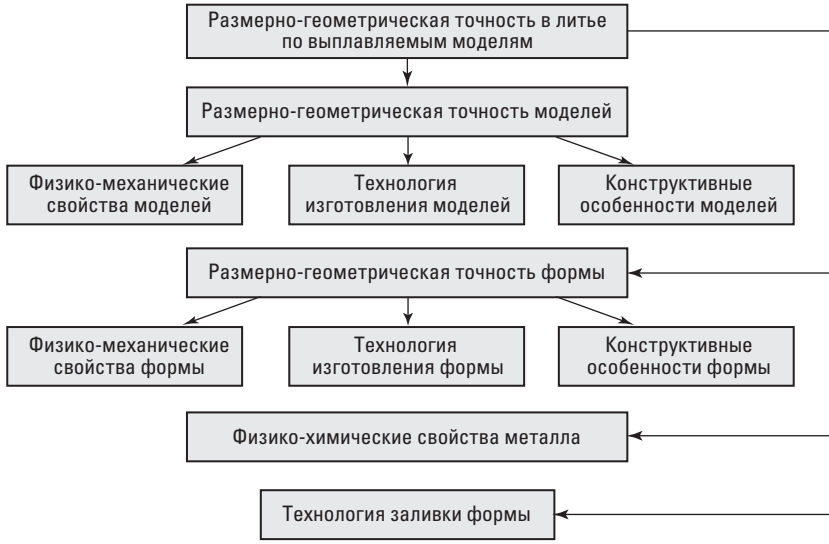


Рис. 1.25. Факторы, определяющие размерно-геометрическую точность отливок в литье по выплавляемым моделям

стекловолокно, волокнистый графит, минеральную вату, бой оболочек.

Особо следует отметить пористые армирующие добавки — аглоперит, перлит, керамзит, зольный гравий, пеношамот, высокопористый диатомит, использование которых позволяет наряду с увеличением прочности существенно увеличить трещиностойкость оболочковых форм.

Размерно-геометрическая точность отливок, получаемых литьем по выплавляемым моделям, также зависит от множества факторов.

Существенное влияние на размерную и геометрическую точность отливок оказывает модель. Наличие дефектов модели, а также ее физико-химические свойства оказывают непосредственное влияние на качество будущих отливок. Свойства моделей, в свою очередь, зависят от свойств материалов конструкции пресс-форм и технологии изготовления моделей.

На размерную и геометрическую точность отливок большое влияние оказывают напряжения и деформации, возникающие в процессе охлаждения отливок, что приводит к их короблению.

В целом формирование размерно-геометрической точности отливок является сложным многовариантным процессом, зависящим от множества различных факторов (рис. 1.25). При этом их влияние на этот процесс может изменяться в зависимости от варианта осуществления способа литья по выплавляемым моделям.

1.10. Проектирование литниково-питающих систем

Литниково-питающая система при заливке в оболочковые формы предназначена для заполнения формы расплавом, питания затвердевающей отливки, а также часто является конструкцией, на которой монтируются модели.

Поэтому при разработке конструкции литниково-питающей системы следует учитывать условия получения качественных отливок и необходимость обеспечения механической прочности элементов конструкции (например, питателя), а также технологичность блока на всех операциях процесса, при изготовлении модели, формообразовании, отрезке отливок.

Типы литниково-питающих систем

В ЛВМ различают три типа литниково-питающих систем (ЛПС) (рис. 1.26).

ЛПС I типа применяют при изготовлении отливок массой 1,5 кг (рис. 1.26, I, *а*). Блок моделей собирается из отдельных звеньев, которые монтируются на стояке. В этом случае стояк служит центральным элементом при сборке моделей и прибылью для питания отливок. При изготовлении тонкостенных отливок, модели которых могут деформироваться, стояк является опорным элементом (рис. 1.26, I, *б*, *в*, *г*). Сборку такого блока моделей осуществляют с помощью пайки. Расплав подводится в массивные узлы отливок. Литниковая система не имеет питающих элементов — прибылей, так как отливка питается от стояка; также отсутствуют элементы, регламентирующие скорость заливки и удерживающие шлак и оксиды.

ЛПС II типа (рис. 1.26, II, *а*—*в*) применяют при изготовлении отливок сложной конфигурации и ответственного назначения,

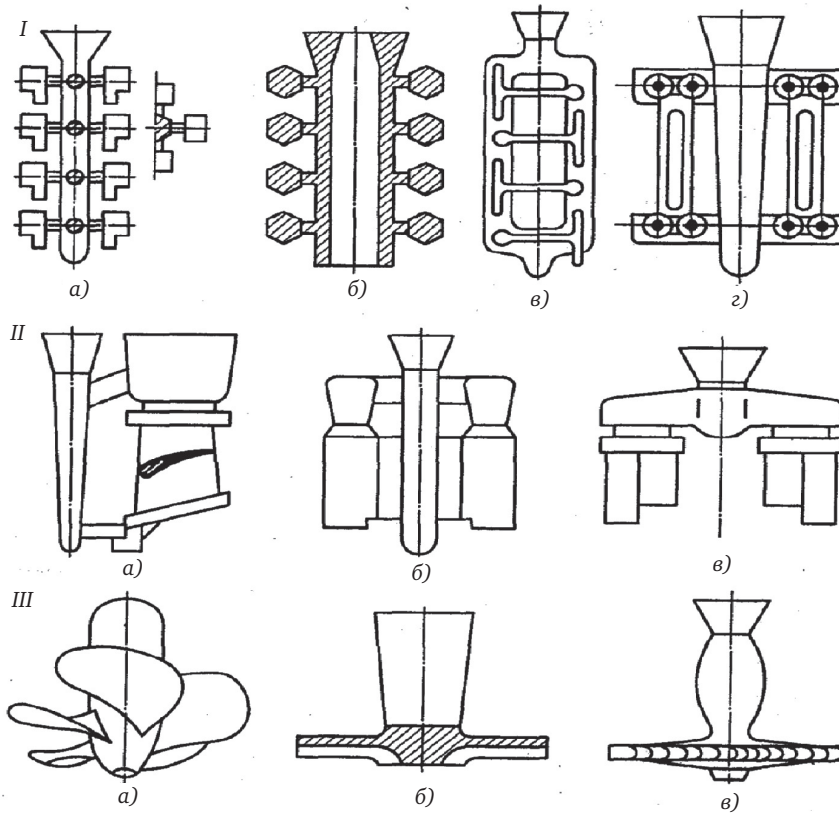


Рис. 1.26. Основные типы литниково-питающих систем

тонкостенных, а также средней и большой массы из легированных сталей. Литниковая система представляет собой стояк в сочетании с местными (рассредоточенными) прибылями. Такая литниковая система позволяет регулировать скорость заполнения формы с помощью суженного сечения.

ЛПС III типа (рис. 1.26, III, *а*—*в*) применяют при изготовлении отливок типа крыльчаток, колес, гребных винтов, имеющих тонкостенные лопасти и массивную центральную часть, питаемую прибылью. Заливка металла ведется через прибыль.

Расчет размеров элементов ЛПС для отливок, изготовляемых в оболочковых формах по выплавляемым моделям, основан на соблюдении принципа последовательного затвердевания. Наи-

большее применение получили два способа расчета: по модулю охлаждения (приведенным толщинам) и диаметру вписанных сфер. Первый способ используют для ЛПС I типа, а второй — для ЛПС II и III типов. Оба способа основаны на использовании экспериментальных и производственных данных.

Первый способ разработан М.Л. Хенкиным для ЛПС I типа.

Исходными данными для расчета является модуль охлаждения массивного узла отливки и ее масса.

Модуль охлаждения сечения питателя $\delta_п$ (отношение площади сечения питателя к его периметру) определяют по эмпирической формуле

$$\delta_п = \frac{2\sqrt[4]{\delta_o^3 G}\sqrt[3]{l_п}}{\delta_{ст}},$$

где δ_o — модуль охлаждения отливки или ее массивного узла; G — масса отливки, г; $l_п$ — длина питателя, мм; $\delta_{ст}$ — модуль охлаждения сечения стояка (отношение площади сечения стояка к его периметру);

$$\delta_{ст} = \frac{2\sqrt[4]{\delta_o^3 G}\sqrt[3]{l_п}}{\delta_п}.$$

В представленных формулах отражена зависимость между размерами ЛПС и отливки, а также размерами элементов ЛПС через модули охлаждения $\delta_{ст}$, δ_o, $\delta_п$ и массу отливки G.

Для получения качественных отливок должно выполняться следующее условие: $\delta_{ст} > \delta_п > \delta_o$, так как при этом обеспечивается направленное затвердевание от отливки к стояку и питание отливки.

По приведенным формулам рассчитывали размеры ЛПС для большого числа стальных отливок. Данные расчета после производственной проверки сведены в таблицы, подобные табл. 1.4.

По заданной массе отливки (известна по чертежу) определяют δ_o и выбирают значение $l_п$ из условий сборки блоков моделей и отрезки отливок. В среднем при $G < 0{,}5$ кг длина $l_п = 4…10$ мм, при $0{,}5 < G < 1{,}5$ кг длина $l_п = 8…12$ мм. Затем по табл. 1.4, пользуясь известными G и δ_o, находят диаметр стояка $D_{ст}$ и размеры питателя. В разностенных отливках с массивными частями модуль

охлаждения $\delta_о$ можно рассчитывать только по размерам массивной части, примыкающей к питателю.

Если рассчитанное значение $D_{ст} > 60$ мм, то применяют литниковую систему с коллекторами, которые выполняют функцию питающих элементов литниково-питающей ситемы.

1.4. Диаметр стояков $D_{ст}$ и модули охлаждения $\delta_п$ (приведенные толщины) в зависимости от приведенной толщины узла $\delta_о$ и массы G отливок

G, г	Характеризуемый параметр	Значения параметра в зависимости от приведенной толщины узла отливки $\delta_о$, мм										
		1,1	1,8	2,5	3,0	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,8	6,7
50	$D_{ст}$, мм	20	20	25	25	30	—	—	—	—	—	—
	$\delta_п$, мм:											
	при $l_п$= 4 мм	1,75	2,50	2,50	3,00	3,00	—	—	—	—	—	—
	при $l_п$= 8 мм	2,00	3,00	3,20	3,50	3,75	—	—	—	—	—	—
50… 100	$D_{ст}$, мм	20	20	25	30	30	30	30	35	—	—	—
	$\delta_п$, мм:											
	при $l_п$= 4 мм	2,00	2,75	3,00	3,50	3,75	4,0	4,5	—	—	—	—
	при $l_п$= 8 мм	2,50	3,50	3,75	3,50	4,30	4,75	5,0	4,5	—	—	—
100… 200	$D_{ст}$, мм	20	25	30	30	35	35	40	40	40	45	45
	$\delta_п$, мм:											
	при $l_п$= 4 мм	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,95	4,5	4,5	5,0
	при $l_п$= 8 мм	3,0	3,5	3,75	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	5,75	6,25

Второй способ, разработанный Н.Н. Лященко, применяют для расчета размеров элементов ЛПС II и III типов. Размеры прибылей определяют по методу вписанных сфер (окружностей). При расчете размеров прибыли учитывают дистанцию ее действия R. Как правило, тонкие стенки отливок располагают вертикально, а металл в полость формы подводят снизу. Проверку правильности назначения размеров каналов литниково-питающих систем ведут гидравлическим методом. Площадь суженного сечения $f_{с.с}$ (см^2) определяют по формуле

$$f_{с.с} = \frac{G}{\rho \mu \tau_{зап} \sqrt{2gH_р}}$$

или

$$f_{с.с} = \frac{M}{\rho \mu \sqrt{2gH_р}},$$

где G — масса отливки, г; ρ — плотность жидкого металла, г/см^3; $\mu = 1{,}4\ldots1{,}5$ с учетом энергии струи расплава из ковша (значения μ больше, чем, например, при заливке песчаных форм, так как стенки оболочковой формы имеют низкую шероховатость); $\tau_{зап}$ — продолжительность заполнения формы, мин; g — ускорение свободного падения, см/с^2; $H_р$ — расчетный напор столба металла в узком сечении, см; M — массовая скорость заливки, г/с, $M = kl_{max}/d_{ст}$; k — коэффициент, зависящий от способа подвода расплава в полость формы: для верхнего подвода — 0,05, для бокового подвода — 0,06, для нижнего подвода — 0,08; l_{max} — наибольшая протяженность тонкой стенки отливки, мм; $d_{ст}$ — толщина тонкой стенки отливки, мм.

В целях облегчения и ускорения проектирования литниково-питающих систем для отливок по выплавляемым моделям основные конструкции ЛПС и их элементы — литниковые чаши, зумпфы, питатели, стояки и т.д. — должны выполняться по соответствующим ГОСТам.

1.11. Автоматизация технологического процесса

Качество отливок и эффективность производства при литье по выплавляемым моделям зависят от стабильности технологических режимов на всех основных этапах этого многооперационного процесса.

Вместе с тем для многих операций технологического процесса требуется выполнение сложных манипуляций (изготовление моделей, сборка их в блоки, формовка и т.д.). Причем выполнение многих операций связано с тяжелыми условиями труда. Поэтому автоматизация технологического процесса изготовления отливок в оболочковых формах решает следующие основные задачи: повышение качества отливок и производительности труда путем стабилизации режимов технологического процесса на всех его операциях; освобождение рабочих от выполнения трудоемких, монотонных работ и улучшение условий их труда.

В зависимости от характера производства (единичное, серийное, массовое), номенклатуры отливок и предъявляемых к ним требований проблема автоматизации производства отливок в оболочковых формах решается разными способами.

В массовом производстве отливок из углеродистых и низколегированных сталей используют автоматизированные линии, выполняющие следующие операции: приготовление модельных составов; изготовление моделей; приготовление суспензии; изготовление оболочковых форм; прокалка форм; заливка их расплавом; охлаждение отливок; предварительная очистка отливок от остатков формы и отделение их от литников; окончательная очистка отливок и термическая обработка отливок. Такие линии позволяют комплексно автоматизировать производство отливок.

В серийном производстве осуществляется автоматизация выполнения отдельных операций, таких, как изготовление моделей или звеньев модельных блоков, приготовление суспензии, изготовление оболочковых форм, их прокаливание и т.д. Для автоматизации этих отдельных операций используют унифицированные агрегаты, которые в зависимости от размеров моделей и годовой производительности участка, цеха составляют комплекты технологического оборудования. Однако ряд операций выполняется вручную (например, сборка моделей в блоки пайкой и т.д.).

Автоматизированные линии для массового производства и комплекты технологического оборудования для серийного и мелкосерийного производств имеют в своем составе многие виды однотипного оборудования. Это, например, установки для приготовления пастообразного модельного состава, карусельные автоматы для изготовления моделей, автоматизированные установки для приготовления суспензии.

В автоматизированных линиях для массового производства отливок используют автоматические системы машин, например, для прокаливания, формовки, заливки форм, выбивки, охлаждения отливок. В таких агрегатах технологические установки объединены транспортным устройством в единую систему.

При изготовлении средних и крупных отливок в мелкосерийном производстве для нанесения суспензии, обсыпочного материала на модели, удаления моделей из оболочек используют манипуляторы.

Повысить степень автоматизации в единичном и серийном производствах при ЛВМ возможно, применяя гибкие производственные системы ЛВМ (ГПС ЛВМ). Принцип создания ГПС — компоновка гибких комплексов из отдельных модулей. В малооперационных процессах литья в металлические формы комплекс

составляется из однотипных модулей на базе однотипного технологического агрегата.

Структурная схема процесса литья по выплавляемым моделям, включающая в себя последовательно изготовление моделей, форм, отливок, финишные и контрольные операции, предопределяет создание комплекса ГПС ЛВМ из модулей разного функционального назначения. При разработке ГПС ЛВМ требуется обеспечить межмодульную совместимость: технологическую, конструктивную, информационную. Критерием выбора рациональной конструкции модуля может служить какой-либо из следующих параметров: габаритный размер отливки, толщина стенок, вид сплава, тип производства отливок, свойства формовочных материалов.

1.12. Эффективность литья по выплавляемым моделям и область применения

На основе анализа технологического процесса и производственного опыта можно отметить следующие преимущества литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям.

1. Возможность изготовления практически из любых сплавов отливок сложной конфигурации, тонкостенных, с малой шероховатостью поверхности, высокой размерной и массовой точностью, минимальными припусками на механическую обработку, а следовательно, резким сокращением отходов металла в стружку.

Этим способом получают отливки массой от нескольких грамм до 300 кг, по габаритам до 1 м, минимальная толщина стенки 0,6 мм. Наиболее распространенное литье — толщина стенки 2…5 мм, протяженность 20…100 мм и более. Шероховатость поверхности отливок от $Rz = 20$ мкм до $Ra = 1{,}25$ мкм и повышенная точность размеров (до 9…10-го квалитетов).

2. Высокое качество отливок. Форма после прокаливания не содержит газотворных составляющих, что исключает вероятность образования газовых раковин в отливках. В горячей форме отливка затвердевает медленно, что способствует фильтрации жидкого металла из ЛПС в отливку и получению плотного металла в ней.

3. Уменьшение расхода формовочных материалов для изготовления 1 т отливок, снижение материалоемкости производства.

4. Улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного производства на окружающую среду.

Однако этот способ обладает и недостатками.

1. Многооперационность, трудоемкость и длительность процесса изготовления формы.

2. Большая номенклатура материалов, используемых для изготовления формы (модельные составы, суспензия, обсыпка блоков, опорный материал).

3. Повышенный расход металла на ЛПС, следовательно, невысокий технологический выход годного (ТВГ).

4. На отливках из углеродистых сталей характерным дефектом является окисленный и обезуглероженный поверхностный слой глубиной до 0,5 мм. Причина этого заключается во взаимодействии, в основном, кислорода воздуха с металлом отливки при ее затвердевании и охлаждении. С увеличением в среде, окружающей отливку, газов-окислителей O_2, CO_2 и паров H_2O при высоких температурах процессы обезуглероживания интенсифицируются. Меры борьбы: создание вокруг отливки восстановительной газовой среды, быстрое охлаждение (сокращение времени реакции) и др.

Литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления отливок в различных отраслях промышленности, например, автомобильной, тракторостроении, приборостроении, авиационной промышленности, медицинской технике.

Указанные возможности метода позволяют максимально приблизить отливки к готовой детали, а в ряде случаев получить литую деталь, дополнительная механическая обработка которой перед сборкой не требуется. Вследствие этого резко снижаются трудоемкость и стоимость изготовления готового изделия, уменьшается расход металла и инструмента, экономятся энергетические и материальные ресурсы, сокращается потребность в рабочих высокой квалификации, в оборудовании, приспособлениях, производственных площадях.

И, хотя стоимость 1 т отливок, получаемых по выплавляемым моделям, в 3…10 раз выше, чем изготовляемых другими способами, отмеченные выше преимущества делают этот процесс экономически выгодным при пересчете всех затрат на получение готовой детали, изделия. Экономическая эффективность существенно

зависит от выбора номенклатуры отливок, изготовляемых этим способом.

Использование ЛПВМ особенно эффективно для получения деталей машин взамен изготовления их из кованых заготовок или проката, позволяет в среднем уменьшить отход металла в стружку на 34…90%, снизить трудоемкость обработки резанием на 25…85%, себестоимость изготовления деталей на 20…80%.

Этим способом получают отливки из различных сталей, жаропрочных сплавов и сплавов с особыми свойствами на основе Ni, Co, Mo, Ti, а также медных и алюминиевых сплавов.

Расширение номенклатуры получаемых по выплавляемым моделям отливок и увеличение объема их выпуска способствуют увеличению использования энерго- и металлосберегающих процессов, снижению удельной металлоемкости машин, замене технологических процессов, основанных на резании металлов, экономичными методами формообразования деталей, внедрению высокоэффективных методов повышения прочностных свойств металлов и повышению их качества.

1.13. Новые направления в литье по выплавляемым моделям

Анализ причин, которые приводят к повышенному браку отливок, особенно по засору, в литье по выплавляемым моделям, позволил наметить пути решения проблемы по снижению данного дефекта и на их основе разработать новые варианты технологических процессов получения качественных отливок.

Одной из главных причин образования данного дефекта является низкая трещиноустойчивость оболочковых форм, выражающаяся в образовании сквозной трещины в оболочке, особенно при их прокаливании и заливке металлом.

Для устранения этого явления предложены новые технологические варианты изготовления оболочковых форм с барьерным слоем, препятствующим развитию сквозной трещины.

В качестве барьерного слоя могут быть использованы высокопористые слои, образование которых происходит за счет газифицирующих добавок или пористого наполнителя.

При использовании таких материалов в структуре оболочки образуются микротрещины, которые не распространяются на всю толщину оболочки, поскольку напряжения, сконцентрированные в конце трещины, локализуются в порах оболочки.

1.13.1. Использование пористых и газифицируемых материалов для изготовления пористых оболочковых форм

Одним из путей образования пористого строения оболочковых форм является использование пористых огнеупорных материалов в качестве наполнителей суспензий (мелкозернового) или обсыпочного зернистого материала (более крупной фракции).

Из ряда природных пористых материалов наибольший интерес представляет вспученный перлит.

Вспученный перлит представляет собой пористый материал, получаемый термической обработкой из дробленых вулканических пород (вулканического стекла), способных при нагревании вспучиваться, и используемый, в данном случае, в качестве источников порообразования. По химическому составу вспученный перлит представляет собой алюмосиликат с незначительной массовой долей щелочей и состоит из следующих компонентов (%): SiO_2 — 65,7…81,4; Al_2O_3 — 6,6…16,3; Fe_2O_3 — 0,1…3,1; MgO — 0…1,5; CaO — 0,3…8; $K_2O + Na_2O_2$ — 2…8; SO_3 — 0…1,2.

Вспученный перлит обладает высокой огнеупорностью, низкой теплопроводностью, 0,06…0,09 Вт/(м·К), и, что самое важное, высокой пористостью (96,7%).

Высокая стойкость вспученного перлита к воздействию кислой среды (99,5%), какой является этилсиликатная суспензия, и низкая к щелочной (12…13%) представляет последний приемлемым материалом для формообразования при ЛВМ.

Отмеченные особенности вспученного перлита и послужили поводом для опробования его в качестве порообразующего материала по двум вариантам: в качестве наполнителя суспензии (мелкозернистая фракция) и обсыпочного материала (крупнозернистая фракция).

Использование вспученного перлита в составе этилсиликатной суспензии. Данная технология предусматривает предварительное замешивание мелкозернистой фракции вспученного

перлита в стандартную огнеупорную суспензию и нанесение последней на модельный блок. Использование вспученного перлита как компонента огнеупорной суспензии известно для изготовления объемных керамических форм по постоянным и выплавляемым моделям.

В табл. 1.5 представлены составы исследуемых суспензий, на базе которых формировали опытные образцы.

1.5. Составы исследуемых суспензий

Ингридиент	Массовая доля, %				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Этилсиликат-40	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Вода	12,2… 12,25	12,2… 12,25	12,2… 12,25	12,2… 12,25	12,2… 12,25
Сульфанол	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Соляная кислота	0,2…0,25	0,2…0,25	0,2…0,25	0,2…0,25	0,2…0,25
Пылевидный кварц	75	73,93	72,86	72,32	71,79
Вспученный перлит	—	1,07	2,14	2,68	3,21

Количество вспученного перлита, вводимого в состав суспензии, оказывает значительное влияние на первоначальную плотность раствора, а именно, при увеличении его количества в суспензии наблюдается уменьшение плотности суспензии, которая при дальнейшей выдержке в течение 1 ч повышается и далее остается постоянной. У контрольной суспензии (№ 1) плотность остается все время постоянной. Изменение условной вязкости (по ВЗ-4), как первоначальной, так и во время выдержки таких суспензий, зависит прямо пропорционально от количества вводимого перлита. С увеличением содержания вспученного перлита первоначальная вязкость тоже увеличивается. В процессе выдержки по сравнению с контрольной суспензией для экспериментальных суспензий характерен более резкий рост вязкости. Это объясняется тем, что вспученный перлит представляет собой алюмосиликат с наличием щелочных соединений, способствующих коагулированию суспензии и снижению ее живучести.

Кроме того, такие суспензии обладают низкой седиментационной устойчивостью и требуют постоянного перемешивания.

Использование суспензий с добавками вспученного перлита для облицовочного слоя недопустимо вследствие неудовлетворительной чистоты его поверхности и малой твердости, что приводит в конечном счете к нарушению геометрии отливки и снижению качества ее поверхности. Поэтому такие суспензии применимы только начиная со второго слоя.

Наибольшая разрушающая нагрузка для непрокаленных и невытопленных образцов отмечается у образцов со вторым, третьим и совместно со вторым и третьим армирующими слоями. Аналогичное имеет место и для прочности при изгибе.

Содержание вспученного перлита в суспензии выше 2,65% недопустимо, так как наблюдается отслаивание суспензии в процессе нанесения огнеупорного слоя.

Изменение разрушающей нагрузки образцов после их прокаливания при температуре 950 °С и охлаждения совместно с печью показало некоторое понижение прочностных свойств оболочковых форм. Наиболее высокая разрушающая нагрузка, так же, как и прочность при изгибе, характерна для образца со вторым армирующим слоем.

Фрактографией излома образца, изготовленного с тремя армирующими слоями на суспензии, содержащей 2,14% вспученного перлита, установлено, что такая суспензия способствует образованию мелкодисперсной пористости в оболочковой форме

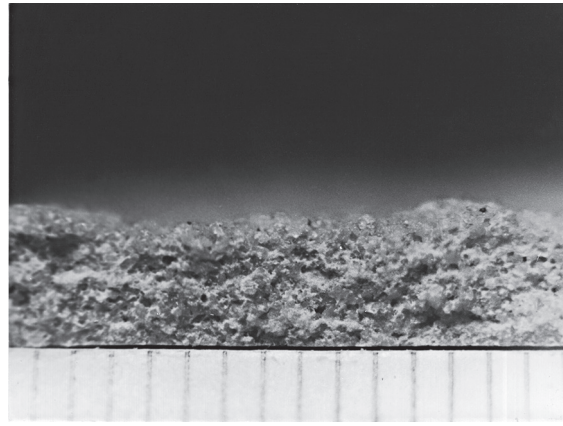


Рис. 1.27. Структура оболочковой формы из суспензии со вспученным перлитом

(рис. 1.27). При этом появляется возможность управления дислокациями пористости в заданном слое оболочки.

Исследование зависимости пористости оболочек от количества вводимого в суспензию вспученного перлита показало, что наиболее резкое повышение пористости наблюдается у образцов с тремя армирующими слоями. Таким образом, управляя количеством армированных слоев в оболочке и содержанием в суспензии вспученного перлита, можно управлять как свойствами суспензии, так и технологическими свойствами оболочковых форм, а следовательно, и качеством отливок.

Однако использование суспензии со вспученным перлитом в ее составе создает дополнительные трудности из-за большой разницы в реологических свойствах и трудности замешивания легкого вспученного перлита в жидкий раствор связующего.

Использование вспученного перлита в качестве обсыпочного материала. Другим технологическим вариантом использования вспученного перлита оболочек является обсыпка одного или нескольких промежуточных слоев оболочек вспученного перлита после нанесения огнеупорной обмазки на блок моделей.

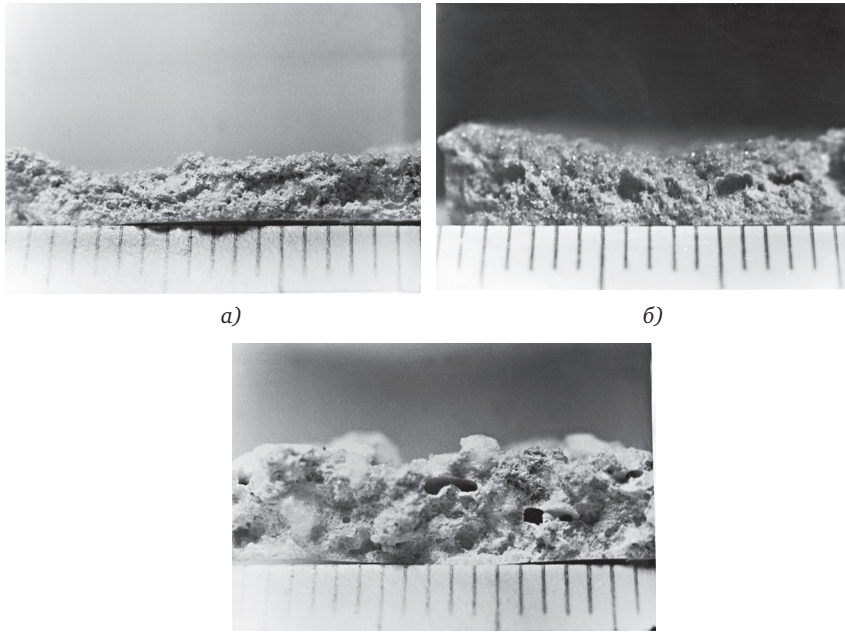
Нанесение вспученного перлита проводилось окунанием модельного блока непосредственно в свободнолежащий материал. Использование вспученного перлита фракции более 4 мм неприемлемо, так как наблюдается отрыв гранул материала при сушке огнеупорного слоя обдувом воздухом.

Использование порообразующего материала для образования первого слоя огнеупорного покрытия не рекомендуется, так как слой не обладает достаточной жесткостью и прочностью и может явиться причиной засора и нарушения геометрии отливок.

Для однослойного варианта обсыпки характерна наибольшая толщина оболочки с ее плавным увеличением при укрупнении фракции перлита. Наиболее тонкостенной является оболочка с трехслойной обсыпкой и мелкой фракцией перлита, склонная к более резкому утолщению при увеличении фракции.

Таким образом, наиболее целесообразным является использование более крупной фракции перлита, что приводит к повышению толщины оболочки и ее жесткости в целом.

Исследование зависимости прочности оболочковых форм от фракции вспученного перлита и вариантов обсыпки позволило



а) *б)*

в)

Рис. 1.28. Строение прокаленных четырехслойных оболочковых форм со вспученным перлитом:
а — фракция 0,75 мм во 2-м слое; *б* — фракция 0,75 мм во 2-м и 3-м слоях; *в* — фракция 4 мм во 2-м и 4-м слоях

установить следующее: наблюдается общее падение прочностных свойств оболочек при увеличении фракции вспученного перлита.

В процессе испытания прокаленных образцов с использованием в качестве обсыпки перлита с фракцией до 0,75 мм были замечены неполное их разрушение и остановка трещины в зоне пористого слоя (рис. 1.28, *а*). В данном случае вспученный перлит в структуре оболочки является своего рода псевдопорой, которая способствует остановке трещины и препятствует ее дальнейшему распространению.

Анализ степени трещиностойкости таких оболочковых форм, проведенный с помощью метода потери прочности оболочек после термического удара, показал, что наиболее оптимальными вариантами являются оболочки с вспученным перлитом во втором и третьем слоях, для которых характерна повышенная разру-

шающая нагрузка. Детальное изучение прохождения трещин по толщине образца (рис. 1.29) показало ее остановку на пористых слоях.

Лучшие результаты были получены при использовании пятислойных этилсиликатных оболочковых форм с обсыпкой третьего слоя, когда заливаемость оболочек без опорного наполнителя достигла 70…80%. К тому же залитые без опорного наполнителя блоки в отличие от контрольных (с опорным наполнителем) не имеют пригоревшего слоя.

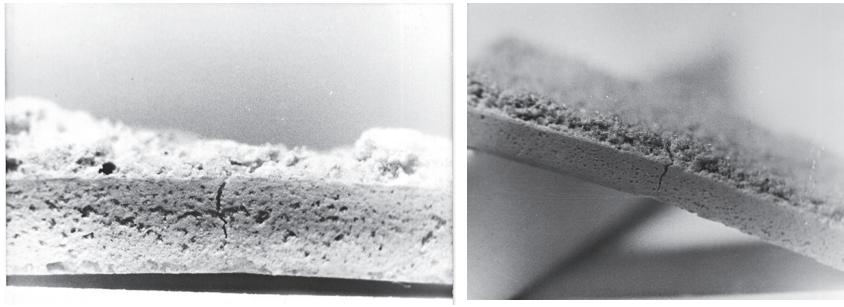
При этом улучшается очистка залитых опытных блоков, сокращается расход электроэнергии при прокаливании оболочковых форм до 4 раз при улучшении санитарно-гигиенических условий на участке заформовывания оболочек в опорный наполнитель.

Исследование структуры прокаленных оболочковых форм (рис. 1.28) показало, что вспученный перлит образует фронт последовательно расположенных пор или межслойную пористость, где размеры пор зависят не только от фракции порообразующего материала (рис. 1.28, *а*, *в*), но и от взаимного расположения пористых слоев (рис. 1.28, *б*). Фракционность порообразующего материала и количество образованных на его основе огнеупорных слоев позволяют управлять степенью истинной пористости оболочковых форм, что предотвращает растрескивание огнеупорного покрытия в процессе сушки из-за усадочных деформаций и повышает физико-механические свойства форм.

Применение вспученного перлита для обсыпки наносимого на блок моделей слоя суспензии определяет возможность образования пористости на стадии формирования оболочки.

Экспериментально определено неполное разрушение прокаленных оболочковых форм при статическом изгибе (рис. 1.29, *а*), характерное для образцов с использованием мелкой (до 0,75 мм) фракции вспученного перлита в обсыпке второго или третьего огнеупорного покрытия. Детальное изучение прохождения трещины по толщине образца (рис. 1.29, *б*) показало ее остановку на пористых слоях.

Использование газифицирующих материалов. В качестве порообразующих для оболочковых форм могут быть применены органические газифицирующие при термообработке материалы, а именно: полиэтилен, полипропилен, полистирол и другие ма-



а) *б)*

Рис. 1.29. Состояние прокаленного образца (*а*) **со вспученным перлитом мелкой фракции в промежуточных слоях и распространение трещины** (*б*) **по его толщине после испытания на прочность при статическом изгибе**

териалы с адекватными или близкими свойствами. Отличительной технологической особенностью этих материалов перед ранее рассмотренным является гладкая поверхность и округлая форма гранул, что позволит образовывать поры в структуре оболочки с гладкой поверхностью округлой формы. Последнее, несомненно, должно отразиться на повышении прочности оболочек в силу равномерного распределения напряжений вокруг поры, не имеющей поверхностных дефектов — побудителей образования трещин.

Предварительные исследования на невспененном полистироле разных фракций (1,5; 2; 4) показали некоторое увеличение прочности образцов оболочек в непрокаленном и невытопленном состоянии. Вероятно, это связано с равномерным распределением напряжений вокруг гранулы полистирола в процессе испытаний, что предотвращает раннее образование и развитие трещин, при этом толщина оболочек резко возрастает.

При воздействии низкотемпературной тепловой обработки при выплавлении моделей в горячей воде или в расплаве модельной массы отмечается вспучивание полистирола, что приводит к растрескиванию оболочек или полному их расслоению при прокаливании.

Такое явление характерно и для других органических материалов (полипропилена, полиэтилена и др.).

Поэтому дальнейшие исследования проводили с материалами, способными вспучиваться при нагреве.

Типичным представителем материалов такого типа является пенополистирол, который предварительно вспенивается. Для армирования применяли пенополистирол фракций 1,5; 3; 5 мм.

Опробовывались три варианта использования пенополистирола для четырехслойных оболочковых форм: только второй слой, только третий и совместно второй и третий. В процессе сушки оболочки имели повышенную влажность, но тем не менее не оказывали существенного воздействия на влажность последующих слоев и на цикл сушки оболочковых форм в целом.

Изучение изломов образцов после выплавления в расплаве модельной массы показало, что происходит усадка гранулы пенополистирола с выделением газа.

Пенополистирол полностью отсутствует в структуре формы после 40…50-минутного вытапливания образцов в расплаве модельной массы, после чего оболочки могут быть направлены на прокаливание.

Изучение изломов прокаленных образцов показало наличие в структуре оболочки керамических пор с гладкой поверхностью (рис. 1.30). Поры разделяют форму как бы на два слоя, соединенных между собой поперечными столбиками, образуя жесткий каркас. Однако чем меньше фракция порообразующего материала, тем менее прочны связи (столбики) слоев. В процессе прокаливания при прогреве формы в структуре имеют место термические

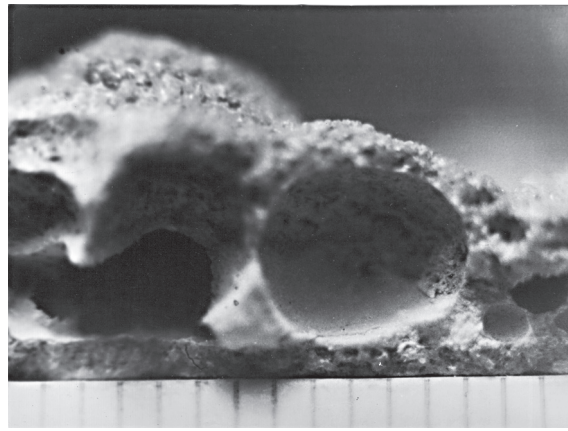


Рис. 1.30. Строение прокаленной четырехслойной оболочковой формы, изготовленной с применением пенополистирола

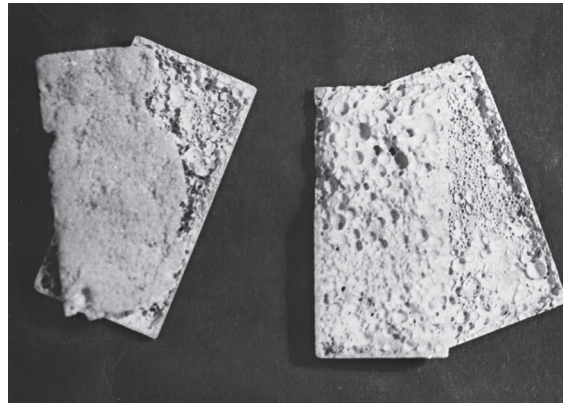


Рис. 1.31. Прокаленные четырехслойные образцы, изготовленные с применением пенополистирола фракции 1,5 мм при обсыпке:
слева — второго слоя; справа — третьего слоя

напряжения, и если связи тонкие, то они разрушаются (рис. 1.31), обеспечивая свободное перемещение слоев при деформировании под воздействием изгибающих моментов и повышая прочность оболочки в целом.

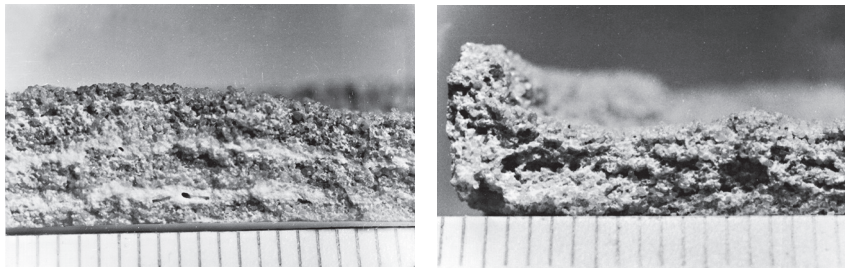
Наиболее приемлемым вариантом является обсыпка второго слоя оболочки. При этом зародившаяся в результате растяжения верхних слоев оболочки трещина гасится в пористом слое, который является как бы демпфирующим.

В отличие от технологии порообразования вспученным перлитом, пенополистирол не может быть применен для обсыпки последних огнеупорных слоев форм в силу полного газифицирования при термообработке, что, в свою очередь, является нецелесообразным.

Предварительные исследования структур прокаленных четырехслойных оболочек, изготовленных с использованием пенополистирола в обсыпке огнеупорных слоев, показали, что при использовании последнего реализуется возможность получения пористости в структуре формы.

1.13.2. Барботажная технология порообразования в структуре керамических оболочек

Кроме отмеченных ранее (см. 1.5.2) преимуществ, барботажное перемешивание технологических растворов сопровождается насыщением последних газом, обусловливаемым растворимостью газов в растворах и образованием мелкодисперсных пузырьков, которые перемещаются потоками жидкости в перемешиваемом объеме, что предотвращает их всплывание. Отмеченные явления оказывают непосредственное влияние на формирование пористого строения структуры оболочковых форм и управление им.



а) *б)*

Рис. 1.32. Структуры изломов оболочковых форм, изготовленных на основе традиционной (*а*) и аэрированной (*б*) в течение 30 минут водных суспензий при первоначальной условной вязкости раствора 35 с

При изготовлении форм по традиционной технологии наблюдаются четко выраженные слои (рис. 1.32, *а*) как результат послойного нанесения огнеупорного покрытия, а в формах, полученных из суспензии, обработанной сжатым воздухом, наблюдается монолитное строение с безориентированно расположенными порами (рис. 1.32, *б*).

1.13.3. Промышленное опробование пористых оболочковых форм

Разработанные технологии образования пористости в структуре оболочковых форм были опробованы в промышленных условиях.

Барботажное приготовление этилсиликатных суспензий осуществляли в гидролизере механического типа модели 661, на дне

емкости которого был размещен коллектор, представляющий скрученный спиралью резиновый шланг с отверстиями (наколами).

Нанесение огнеупорных покрытий на блоки моделей осуществляли на цепном конвейере и вручную. В зависимости от требований, предъявляемых к качеству поверхности отливок, для формирования облицовочного (первого) слоя оболочковой формы применяли как традиционные, так и аэрированные суспензии.

Сравнительный анализ качества огнеупорных слоев после обсыпки последних кварцевым песком показал, что покрытия из аэрированной суспензии имеют большую открытую пористость в виде мелких, но глубоких пор, являющихся следствием выхода замешанного при барботировании газа.

Формирование огнеупорных слоев из порообразующих материалов проводили окунанием предварительно смоченного суспензией блока моделей непосредственно в порообразующий материал. В данном случае использовали: вспученный перлит марки 75 и пенополистирол без рассева на фракции. Порообразующие материалы использовали для образования: вспученный перлит — второго и последующих слоев; пенополистирол — внутренних слоев оболочковых форм. Формируемые слои при этом имеют вид, представленный на рис. 1.33.

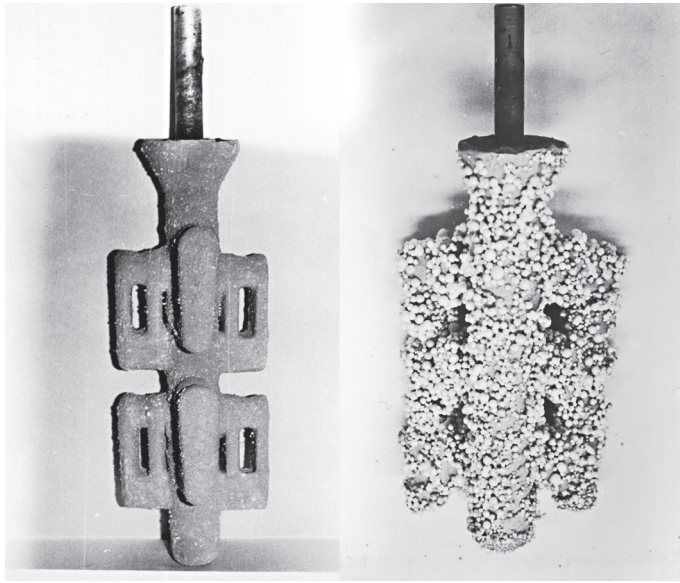
Использование аэрированной обмазки (особенно после барботажной обработки готовых суспензий) и вспученного перлита предотвращает растрескивание огнеупорных покрытий в процессе высыхания. Данное явление особенно заметно при формировании облицовочного огнеупорного слоя из аэрированной этилсиликатной суспензии.

Прямой противоположностью являются покрытия с пенополистиролом. Для них характерно наличие множества мелких трещин, которые «залечиваются» при нанесении последующих слоев.

Готовые пористые формы проходили все стадии технологической обработки, предусмотренные для литья по выплавляемым моделям.

Удаление блоков моделей из пористых оболочковых форм проводили по производственным технологиям. Теплоносителем служил расплав модельной массы, нагретый до температуры 160… 180 °С.

Оболочковые формы, изготовленные по барботажным технологиям, как и традиционные, выдерживали в выплавляющей



а) *б)*

Рис. 1.33. Внешний вид слоя оболочки, обсыпанной:
а — вспученным перлитом; *б* — пенополистиролом

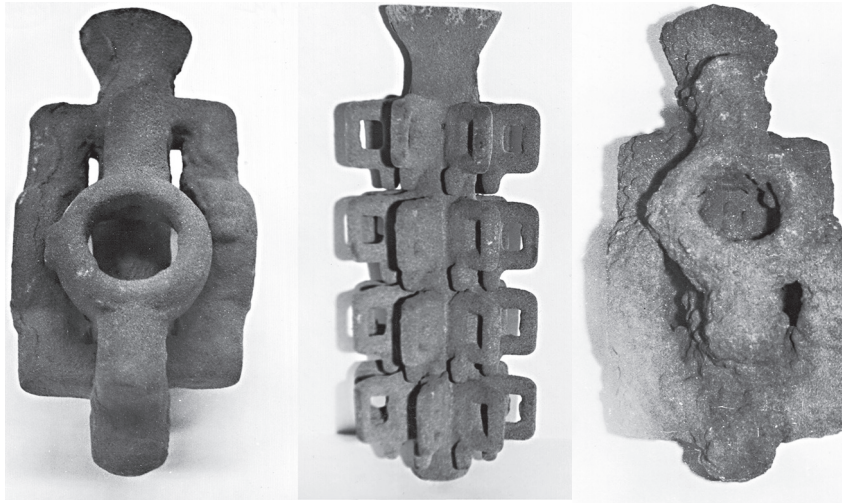
среде в течение 18…20 мин. Каких-либо отклонений при этом, связанных с прохождением процесса удаления модельных блоков, обнаружено не было.

В результате визуального контроля была выявлена большая стойкость к растрескиванию при удалении блоков моделей оболочковых форм, изготовленных из аэрированных суспензий.

При использовании для формообразования порообразующих материалов в процессе выплавления моделей растрескивание блок-форм отсутствует.

На рис. 1.34 представлены оболочковые формы, полученные при использовании порообразующих материалов, и, для сравнения, форма, изготовленная по традиционной технологии. Оболочки, формируемые из аэрированных суспензий, не имеют внешних отличий от традиционных блок-форм.

Прокаливание экспериментальных оболочковых форм проводили по двум технологическим вариантам: в опорном наполнителе и без него.



а) *б)* *в)*

Рис. 1.34. Внешний вид оболочковой формы, полученной:
а — по традиционной технологии; *б* — обсыпкой промежуточного слоя вспученным перлитом; *в* — обсыпка промежуточного слоя пенополистиролом

Опробование показало, что пористые оболочковые формы, изготовленные из аэрированных суспензий, прокаливаемые в опорном наполнителе, меньше растрескиваются, чем традиционные. В данном случае снижается растрескивание облицовочной поверхности форм, что предотвращает образование гребешков и заусенцев на отливках и, как следствие, приводит к снижению трудозатрат на зачистку последних. Этот недостаток отсутствует при прокаливании в опорном наполнителе оболочек с пористостью, образованной вспученным перлитом и пенополистиролом.

Кроме того, пористые оболочки, изготовленные с использованием вспученного перлита и пенополистирола, не растрескиваются при загрузке в нагретую до 950 °С печь и дальнейшей выгрузке из печи в атмосферу участка. Последнее позволило не только предотвратить потери оболочковых форм, но и сократить длительность операции прокаливания.

Заливка оболочковых форм металлом — наиболее важный технологический цикл получения литых изделий и заготовок.

Заливку пористых оболочковых форм в промышленных условиях проводили также по двум технологическим вариантам. При

этом формы заливали расплавом среднеуглеродистой конструкционной стали марки 35ХГСЛ, перегретой до температуры 1580 °С.

После прокаливания в опорном наполнителе пористые оболочковые формы, как и традиционные, выдерживали на воздухе в течение 3…5 мин и заливали металлом. По истечении 20…30 мин выдержки на заливочном плацу залитые блок-формы вытряхивали из опок и перевозили на участок отделения керамики. Очистку блоков отливок проводили на пневматическом станке УО-100.

Наибольший интерес для использования в производственных условиях представляет технология получения отливок заливкой пористых оболочковых форм без опорного наполнителя. Этот интерес обусловлен доступностью и низкой стоимостью огнеупорных материалов, используемых в данном случае, в то время как существующие технологии получения отливок заливкой форм без опорного наполнителя требуют наличия дефицитных и дорогих огнеупорных материалов, таких, как плавленый кварц, электрокорунд белый, циркон и т.д. Кроме того, оболочковые формы, изготовленные из имеющихся материалов по традиционной технологии, заливку без опорного наполнителя не выдерживают и разрушаются при попадании первой порции расплавленного металла.

Оболочковые формы, изготовленные из аэрированных суспензий, прокаливаемые и заливаемые без опорного наполнителя, так же, как и в предыдущем случае, заливку расплавленным металлом не выдерживают. Однако данные оболочки не разрушаются при попадании первой порции металла, а заливаются до определенного уровня и разрушаются с выходом металла из формы. В данном случае пористые оболочковые формы выдерживают резкое высокотемпературное воздействие (термоудар) и разрушаются под действием гидростатического давления расплавленного металла.

Цель была достигнута при заливке в оболочковые формы без опорного наполнителя с 30…40%-ной пористостью с использованием вспученного перлита и пенополистирола для изготовления промежуточных огнеупорных слоев. Технологически обоснованным является применение вспученного перлита. Оболочки, полученные с его использованием, обеспечивают низкий (до 3%) коэффициент потерь при заливке без опорного наполнителя (рис. 1.35 и 1.36).

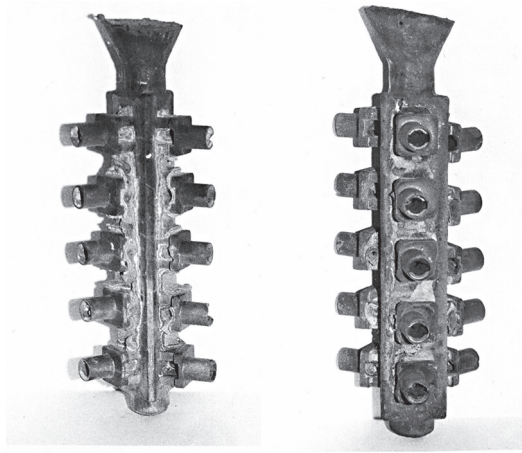
Рис. 1.35. Внешний вид блока отливок массой до 1 кг, залитого без опорного наполнителя в охлажденную форму

Рис. 1.36. Внешний вид блока отливок массой 1,5 кг, залитого без опорного наполнителя в горячую форму

Полученные в экспериментальных и традиционных оболочках блоки отливок подвергали операции очистки от керамики на пневматических станках. При этом в сравнении с отливками, полученными по традиционной технологии, экспериментальные очищаются значительно лучше (рис. 1.37). Критерием оценки в данном случае являлась масса остатков керамики на блоке отливок после операции очистки. Длительность операции очистки составляла 10 с.

При технологии получения отливок в пористых оболочковых формах, заливаемых металлом без опорного наполнителя, изготовление пористых оболочек осуществлялось из дешевых доступных материалов, ранее не применяемых для изготовления оболочек, заливаемых без опорного наполнителя. Номенклатура отливок по массе, получаемых без опорного наполнителя, составляет от 0,015 до 1,5 кг (рис. 1.38).

Преднамеренное создание достаточно частых трещин в виде пор замедляет растрескивание формы на стадиях ее изготовления



а) *б)*

Рис. 1.37. Внешний вид блока отливок после очистки на вибростенде (τ = 10 с)**, полученных по традиционной технологии** (*а*) **и в пористой оболочковой форме** (*б*) **без опорного наполнителя**

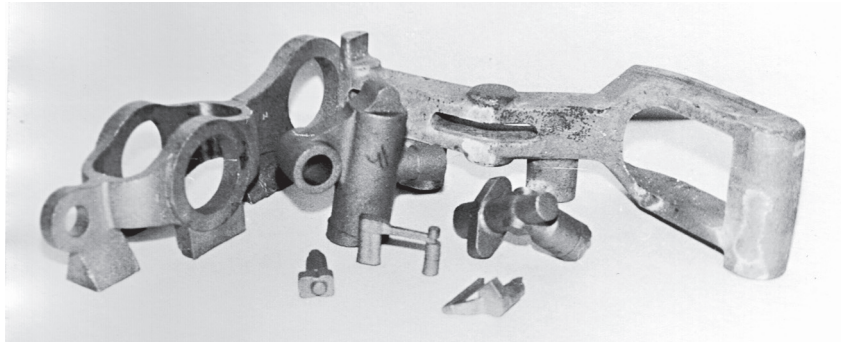


Рис. 1.38. Типовые отливки, полученные в пористых оболочковых формах без опорного наполнителя

и технологической обработки. Обусловливается это следующими факторами.

Зародившаяся и развивающаяся трещина останавливается при слиянии с порой. Для дальнейшего продвижения этой трещины необходим дополнительный энергетический всплеск. Важным условием для остановки прогрессирующей трещины является размер поры, который должен превышать радиус скругления острия

(кончика) трещины. Снижения скорости распространения трещин можно достичь относительно близким расположением пор. Расстояние между порами в данном случае не должно превышать размера поры.

Кроме того, данный технологический прием позволяет осуществлять направленное распространение трещин посредством создания цепочки пор.

Пористость оказывает влияние на газопроницаемость и теплопроводность форм. При этом с увеличением пористости увеличивается газопроницаемость и уменьшается теплопроводность.

Совокупность всех перечисленных факторов снижает склонность оболочковых форм к растрескиванию при теплосменах.

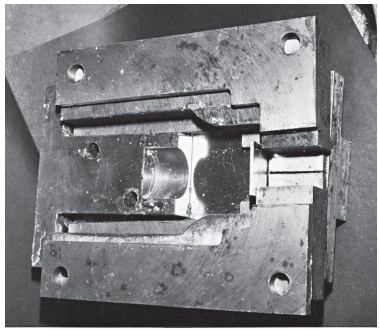
1.13.4. Получение отливок по пористым комбинированным выплавляемым моделям

Анализ технологического процесса показывает, что доминирующее влияние на процесс образования брака оказывает технология изготовления и хранения моделей, их использование, а также удаление моделей из оболочковых форм.

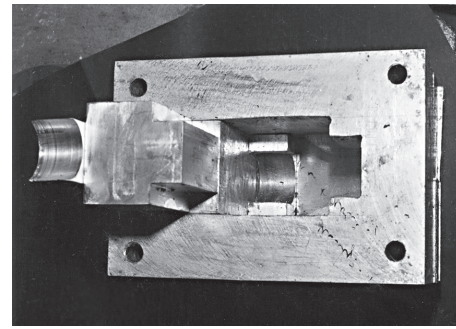
В процессе формирования и заливки расплавом в оболочке возникают напряжения, являющиеся следствием расширения или усадки моделей, усадки огнеупорных слоев в процессе сушки оболочки, при удалении модели и прокаливании оболочек, а также в процессе заливки формы расплавом. Оболочка должна обладать достаточной прочностью и жесткостью, чтобы противостоять давлению модели при ее расширении в процессе выплавления; давлению опорного наполнителя при прокаливании вследствие его термического расширения; динамическому воздействию и гидростатическому напору расплава во время заливки и затвердевания отливки.

Пористые комбинированные удаляемые модели (ПКУМ) получают прессованием смеси порошков воскообразных и водорастворимых компонентов.

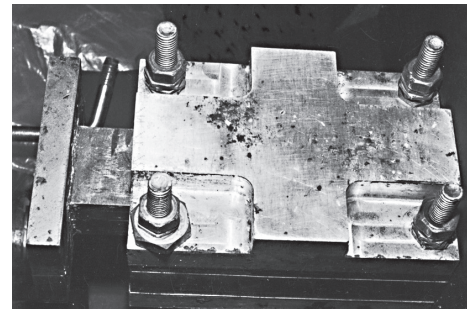
Сущность процесса прессования заключается в деформации некоторого объема сыпучего порошкового материала обжатием, при котором происходит уменьшение первоначального объема и формирование модели (прессовки) заданных форм, размеров и



а)



б)



в)

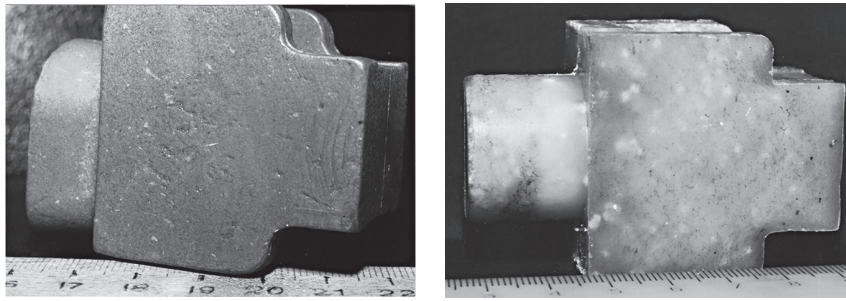
Рис. 1.39. Пресс-форма для получения ПКУМ прессованием порошкообразных модельных составов:
а — для вертикального прессования ПМС; *б* — для горизонтального прессования ПМС; *в* — пресс-форма в сборе

свойств. Объем порошкового материала при прессовании изменяется в результате смещения отдельных частиц, заполняющих пустоты между ними, и деформации частиц.

На рис. 1.39 показан внешний вид пресс-формы для получения ПКУМ холодным прессованием порошковых модельных составов (ПМС).

Определение параметров размерно-геометрической точности имеет важное значение в практической реализации разработанного метода получения ПКУМ. При исследовании размерно-геометрических параметров ПКУМ на первом этапе определяли наличие усадочных дефектов, упругого последействия материала (после завершения процесса прессования и снятия деформационной нагрузки), измеряли отклонения размеров ПКУМ (толщины через определенный шаг по длине модели) от размеров внутренней поверхности формообразующей полости пресс-формы.

Для оценки размерно-геометрической точности ПКУМ и срав-



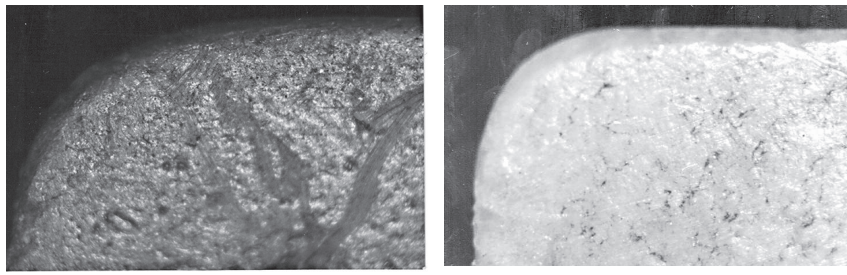
а) *б)*

Рис. 1.40. Общий вид традиционной ВМ (*а*) и ПКУМ с 30%-ным содержанием нитрата аммония (*б*)

нения свойств последних с параметрами выплавляемых моделей (ВМ), полученных традиционным способом (заливкой жидкого модельного состава в полость пресс-формы), запрессовкой ПМС в пресс-форму, были получены ПКУМ с 30%-ным содержанием водорастворимых компонентов различного состава.

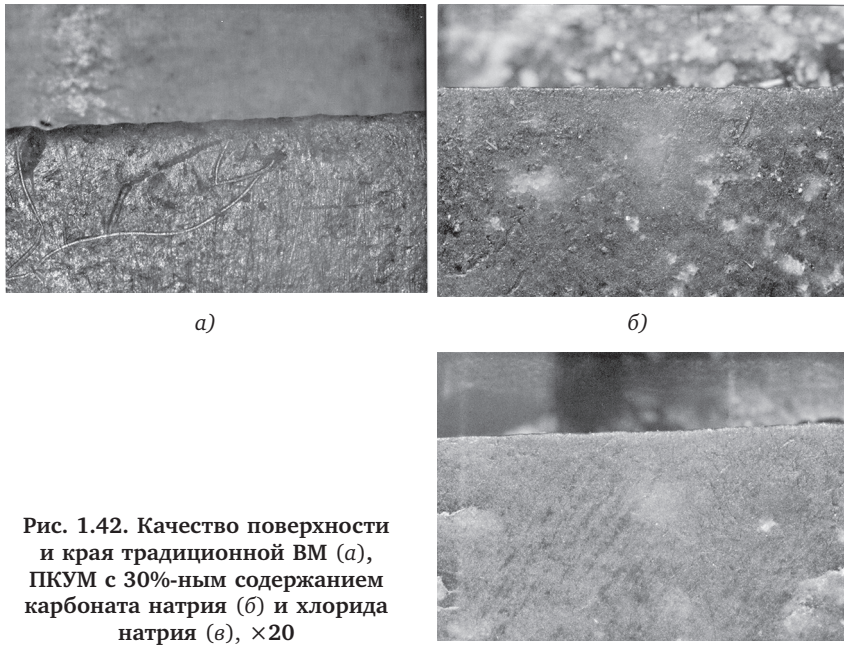
На рис. 1.40 представлен общий вид традиционных ВМ и ПКУМ с различным содержанием водорастворимых компонентов. На рис. 1.41 представлены внешний вид и сравнительные размеры радиусов скруглений взаимно-перпендикулярных поверхностей моделей, полученных традиционным способом (рис. 1.41, *а*) и прессованием ПМС с 30%-ным содержанием карбоната натрия (рис. 1.41, *б*).

Визуальным осмотром установлено, что ПКУМ, полученные запрессовкой ПМС, отличаются от ВМ отсутствием внешних



а) *б)*

Рис. 1.41. Внешний вид и сравнительные размеры традиционной модели (*а*) и ПКУМ с 30%-ным содержанием нитрата аммония (*б*), ×15



а) *б)* *в)*

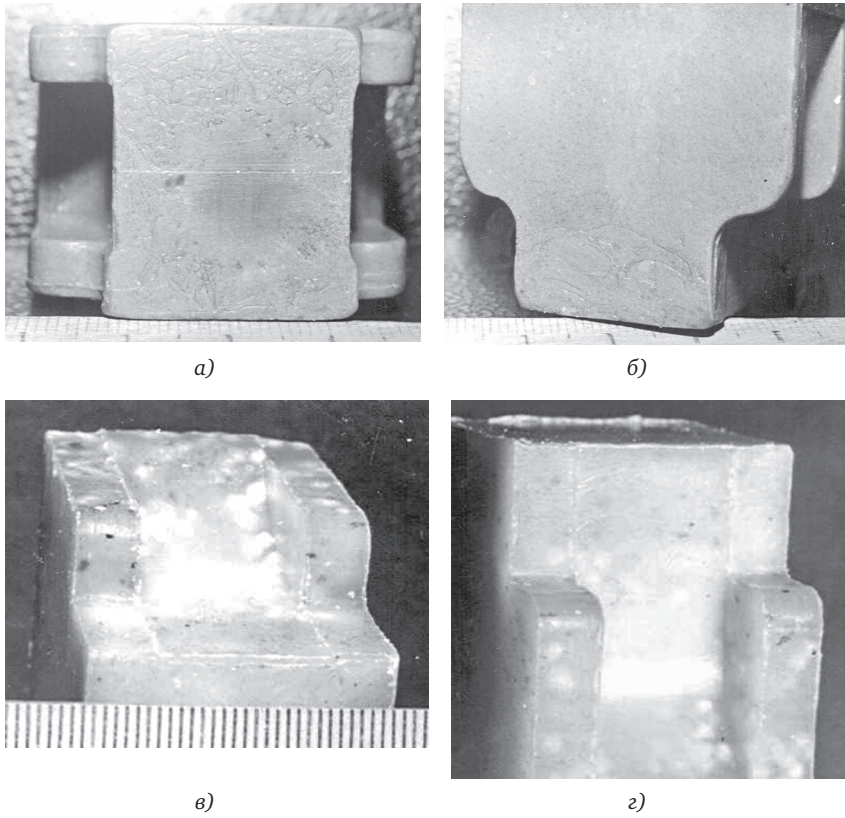
Рис. 1.42. Качество поверхности и края традиционной ВМ (*а*), ПКУМ с 30%-ным содержанием карбоната натрия (*б*) и хлорида натрия (*в*), ×20

усадочных дефектов, меньшими радиусами скруглений, повышенной точностью внешних углов, образованных взаимно-перпендикулярными поверхностями модели.

В участке, выделенном на рис. 1.41, *а*, радиус скругления составляет 1,5 мм, а в аналогичном участке ПКУМ (рис. 1.41, *б*) радиус скругления составляет 0,8 мм.

На рис. 1.42 изображены поверхности традиционной ВМ и ПКУМ с различными водорастворимыми компонентами. На поверхностях ПКУМ отсутствует поверхностная складчатость, характерная для традиционных ВМ.

На рис. 1.43 представлены участки ПКУМ и традиционных ВМ, из которого видно, что качество поверхности и параметры шероховатости последних являются неудовлетворительными или требуют исправления, а ПКУМ, полученные разработанным методом, не имеют вышеперечисленных недостатков.



а) *б)*

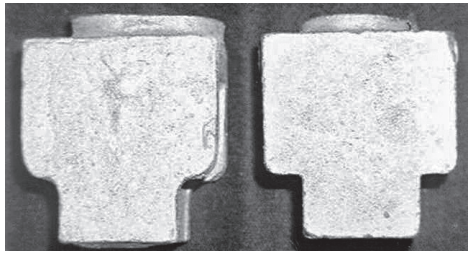
в) *г)*

Рис. 1.43. Качество поверхности характерных участков традиционной ВМ (*а*, *б*) **и ПКУМ с 30%-ным содержанием нитрата аммония** (*в*, *г*)

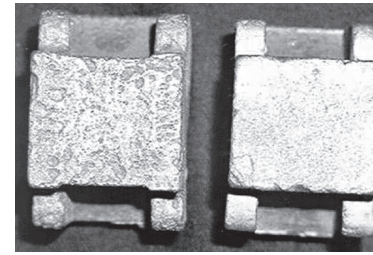
Сборка ПКУМ на стояках, нанесение слоев огнеупорной керамической оболочки на стояки с моделями, их сушка, удаление компонентов модельной массы, прокалка оболочек и заливка стали следующим этапом производственных испытаний.

Сборку ПКУМ на стояки осуществляли припаиванием. Изготовление огнеупорной оболочки — послойным нанесением суспензии на основе ЭТС-40 и песка Люберецкого месторождения.

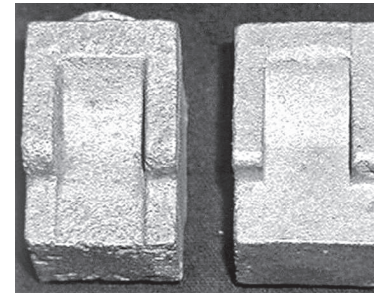
После сушки форм, формовки в опорный наполнитель и прокалки при 900 °С формы подавали под заливку. Заливку сплава 35ХГСЛ с температурой 1540 °С проводили непосредственно после прокалки оболочковых форм. После освобождения от литни-



а)



б)



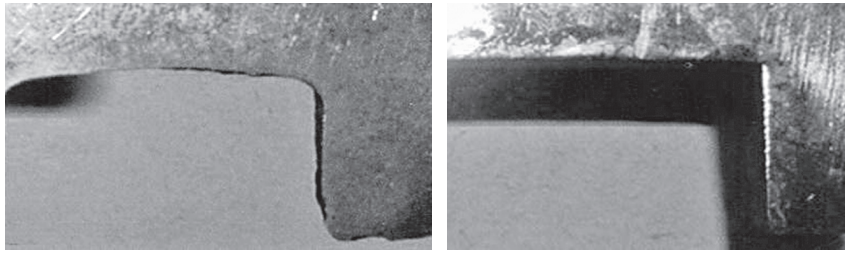
в)

Рис. 1.44. Качество поверхности отливок, полученных по традиционным ВМ (слева) и по ПКУМ с 30%-ным содержанием хлорида натрия (справа):
а — фронтальный вид; *б* — вид снизу; *в* — вид сбоку

ковой системы отливки подвергали неразрушающему контролю.

На рис. 1.44 представлен сравнительный анализ качества поверхностей различных участков отливок, полученных по ПКУМ с 30%-ным содержанием хлорида натрия и традиционным ВМ. При визуальном осмотре поверхностей отливок выявлено, что отливки, полученные по ПКУМ, в сравнении с традиционными отливками имеют меньшую шероховатость поверхности, не имеют видимых усадочных дефектов и подустостей в массивных частях, характеризуются меньшими радиусами скруглений внешних и внутренних углов взаимно-перпендикулярных поверхностей отливок.

На рис. 1.45 представлено сравнение геометрических параметров участков отливок, полученных по традиционной (рис. 1.45, *а*) и экспериментальной (рис. 1.45, *б*) моделям. Видно, что отливка, полученная по экспериментальной ПКУМ, обладает лучшими в сравнении с традиционной отливкой геометрическими параметрами и большей точностью внутренних углов взаимно-перпендикулярных поверхностей.



а) *б)*

Рис. 1.45. Сравнение геометрических параметров отливки:
а — полученной по выплавляемой модели; *б* — полученной по ПКУМ с 30%-ным содержанием хлорида натрия, ×5,5

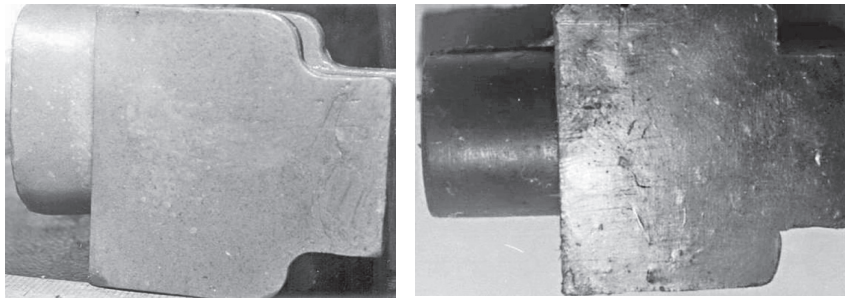
ПКУМ, полученные запрессовкой ПМС, отличаются от ВМ отсутствием внешних усадочных дефектов, меньшими радиусами скруглений внешних и внутренних углов, образованных взаимно-перпендикулярными поверхностями модели. Радиус скругления взаимно-перпендикулярных поверхностей ПКУМ 0,8 мм, что на 0,6 мм меньше, чем у традиционных ВМ. Размерно-геометрическая точность ПКУМ с 30%-ным содержанием водорастворимых компонентов соответствует 6…7-му квалитету, что выше, чем у традиционных ВМ, точность которых соответствовала 9…10-му квалитету.

1.13.5. Применение термитных моделей

Одним из направлений повышения эффективности литейного производства и конкурентоспособности получаемых отливок является улучшение их качества при снижении себестоимости.

Перспективным направлением снижения себестоимости литья является использование технологий, основанных на применении термитных смесей. Основой термитных смесей служат стружка (порошок) алюминия и порошок окалины. Продуктами их взаимодействия являются термитный металл, восстановленный из окалины, и шлак (90% Al_2O_3). Для получения расплава определенного химического состава в термитную смесь вводят стальную и чугунную стружку, а также ферросплавы.

Получение прессованных моделей из термитных композиций предоставляет возможность применения метода литья по выплав-



а) *б)*

Рис. 1.46. Общий вид традиционной ВМ (*а*) **и термитной модели** (*б*) **с составом, необходимым для получения отливки из Ст45Л**

ляемым моделям в совокупности с термитами для получения качественных стальных отливок.

Данный технологический процесс осуществляли изготовлением ЛПС из прессованных элементов, к которой приклеиваются модели, полученные из термитной композиции с введением ПС 50/50 в качестве связки. Далее следуют изготовление оболочковой формы, прокалка, воспламенение термитной ЛПС и формирование отливки.

На рис. 1.46 представлен общий вид традиционных ВМ и термитных моделей с составом, необходимым для получения сплава сталь 45Л, где в качестве пластификатора применяли модельный состав ПС 50/50.

Визуальным осмотром установлено, что термитные модели, полученные запрессовкой исходных термитных компонентов, отличаются от ВМ отсутствием внешних усадочных дефектов, меньшими радиусами скруглений, удовлетворительной точностью внешних углов, образованных взаимно-перпендикулярными поверхностями модели, большей размерно-геометрической точностью.

Для опробования технологии была выбрана модель отливки «Корпус». Технологическая последовательность следующая:

• изготовление термитных моделей с разным исполнением элемента крепления к ЛПС;

• изготовление цилиндрических элементов ЛПС из термитного состава, необходимого для получения сплава сталь 45Л (рис. 1.47, *а*);

а)

б)

Рис. 1.47. Элементы литниково-питающей системы:
а — цилиндрический элемент из термитного состава; *б* — литниково-питающая система в сборе

- сборка элементов ЛПС (рис. 1.47, *б*);
- приклеивание термитных моделей к ЛПС;
- изготовление оболочки посредством нанесения огнеупорной суспензии, состоящей из пылевидного графита со связующим на пульвербакелитовой основе, и обсыпки графитом фракции 0,160…0,315 (рис. 1.48);
- сушка, формовка в опорный наполнитель и прокалка формы при температуре 1000 °С;
- воспламенение термитного материала и получение расплава стали;
- охлаждение отливки, обрубка литников.

Таким образом, использованием разработанной технологии, по сравнению с традиционным методом получения отливок по выплавляемым моделям, устраняются самые энергозатратные и продолжительные по времени операции: удаление моделей из

оболочек, подготовка шихты, плавка металла и заливка форм. В экспериментальной технологии данные операции объединены прокаливанием оболочковых форм. В результате этой операции происходит выгорание связующего ПС 50/50, активизируется экзотермическая реакция в термитных моделях, вследствие чего образуется жидкий металл необходимого химического состава, заполнение оболочки металлом и формирование отливки.

Рис. 1.48. Внешний вид модельного блока с нанесенной оболочкой

Отливка, полученная по экспериментальной технологии, имеет достаточно высокое качество поверхности и точно повторяемые контуры формы. Наблюдается эффективное разделение металла и шлака. Отливка получается без шлаковых включений, газовых раковин и пористости.

Отливки, полученные по экспериментальным термитным моделям, соответствуют 11-му квалитету точности (ГОСТ 25347—82), что соответствует точности традиционных отливок.

Использование разработанной технологии получения отливок по термитным моделям в производстве позволяет значительно улучшить его технико-экономические и экологические показатели.

Контрольные вопросы

1. Каковы главные особенности литья по выплавляемым моделям?
2. Каковы основные технологические операции при получении отливок литьем по выплавляемым моделям?
3. Из каких материалов изготавливают модели?
4. Как классифицируются модельные материалы?

5. Как классифицируются пресс-формы и каковы требования к ним?

6. Назовите способы изготовления моделей, их преимущества и недостатки.

7. Назовите огнеупорные формовочные материалы для изготовления оболочек.

8. Для чего служит опорный наполнитель и каковы разновидности его форм?

9. Какие существуют способы проведения гидролиза этилсиликата и в чем их особенность?

10. Перечислите основные связующие материалы и добавки, используемые для приготовления суспензии.

11. Каковы главные этапы в технологии приготовления суспензий?

12. Как происходят сушка и прокаливание оболочковых форм и каково их назначение?

13. Перечислите способы удаления моделей.

14. Каковы особенности заливки, выбивки и очистки отливок?

15. Назовите основные дефекты отливок, получаемых в оболочковых формах, и меры борьбы с ними?

16. Назовите типы литниково-питающих систем и их особенности.

17. Назовите преимущества и недостатки способа литья по выплавляемым моделям и область применения.

18. Каковы основные направления автоматизации и механизации технологического процесса и повышения качества отливок?

19. Перечислите способы образования и особенности оболочек.

20. Перечислите материалы, используемые для образования пористой структуры оболочковой формы.

21. Как влияет пористость на структуру и качество оболочек?

22. Перечислите способы получения пористых комбинированных выплавляемых моделей, их преимущества перед традиционными моделями.

23. В чем сущность технологии получения отливок с использованием термитных моделей?

Список литературы

1. **Гаранин В.Ф., Иванов В.Н., Казенов С.А. и др.** Литье по выплавляемым моделям / под ред. В.А. Озерова. — М.: Машиностроение, 1972. 448 с.

2. **Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. и др.** Технология литейного производства: специальные виды литья / под ред. Ю.А. Степанова. — М.: Машиностроение, 1983. 287 с.

3. **Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А.** Технология литейного производства: Специальные виды литья / под ред. В.А. Рыбкина. — М.: Академия, 2005. 352 с.

4. **Озеров В.А., Гаранин В.Ф.** Литье повышенной точности по разовым моделям. — М.: Высшая школа, 1988. 87 с.

5. **Чернышов Е.А., Уваров Б.И.** Совершенствование технологии приготовления этилсиликатного связующего и суспензии // Литейное производство. 1985. №4. С. 19, 20.

6. **Литье** по выплавляемым моделям (Инженерная монография) /под ред. Я.И. Шкленика и В.А. Озерова. — М.: Машиностроение, 1971. 436 с.

7. **Евстигнеев А.И., Тимофеев Г.И., Чернышов Е.А., Сапченко И.Г.** Совершенствование технологических процессов формообразования керамических форм. — Хабаровск, 1989. 48 с.

8. **Совершенствование** технологических процессов в специальных видах литья / А.И. Евстигнеев, В.В. Петров, Е.А. Чернышов и др. — Владивосток: Дальнаука, 2002. 224 с.

9. **Сапченко И.Г.** Структура и свойства пористых оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям. — Владивосток: Дальнаука, 2003. — 162 с.

10. **Сапченко И.Г., Жилин С.Г., Евстигнеев А.И.** Исследование процесса удаления пористых моделей из оболочковых форм // Литейное производство. 2002. №4. С. 21, 22.

11. **Сапченко И.Г., Жилин С.Г., Комаров О.Н.** Использование термитных материалов в технологиях получения стальных отливок. — Владивосток: Дальнаука, 2003. 160 с.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Литье в оболочковые формы, полученные методом электрофореза

2.1. Сущность технологического процесса

Технологический процесс получения отливок по ВМ достаточно сложный и многоступенчатый. Одним из возможных путей упрощения процесса формообразования и снижения себестоимости литья является внедрение технологии производства огнеупорных оболочек на основе применения электрокинетических явлений, в частности электрофореза.

Особенность данного способа изготовления оболочек заключается в том, что керамическая оболочка формируется за счет движения частиц огнеупорного наполнителя, находящегося в суспензии, к выплавляемой модели под действием статического электрического поля. Схема реализации процесса осаждения огнеупорных частиц из электрофоретической суспензии на поверхности модели и формирования оболочковой формы методом электрофореза представлена на рис. 2.1.

Металлический бак *1*, называемый электролизером, заполняют форетической суспензией *2*, состоящей из дисперсной фазы, дисперсионной среды и электролитов, обусловливающих не только образование на поверхности твердых частиц зарядов, но и препятствующих седиментации дисперсной фазы. На поверхность выплавляемого блока моделей *3* предварительно наносят токопроводящий слой *4*, а затем под действием внешнего напряжения заряженные частицы дисперсной фазы образуют на модели плотный осадок *5*. При достижении осадка огнеупорных частиц на модели необходимой толщины электрический ток отключают, а выплавляемую модель с осадком на ее поверхности извлекают из суспензии и подвергают сушке.

Длительность процесса формообразования с момента поступления модельных блоков на участок нанесения оболочки до отправки на сушку составляет менее 3…4 мин. Оболочки на блоках сушат в обычном конвейерном сушиле. Остальные операции осуществляют в соответствии с технологией изготовления многослойных этилсиликатных оболочек, подробно рассмотренных в гл. 1.

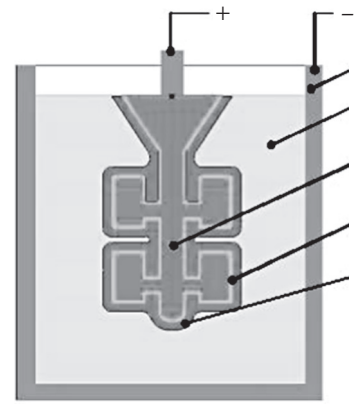


Рис. 2.1. Схема электрофоретического формообразования

При электрофоретическом формообразовании могут применяться различные модельные композиции: выплавляемые, растворяемые, выжигаемые (см. гл. 1). Для повышения седиментационной устойчивости в состав электрофоретической суспензии вводят специальные добавки. Обязательным условием электрофоретического формообразования является наличие на поверхности модели электропроводного слоя, наносимого, как правило, окунанием.

Электрофоретическое формообразование — легко управляемый процесс. Механические и гидравлические свойства оболочек регулируются в широких пределах. Прочность форм, определяемая природой и концентрацией связующего в токопроводном покрытии, режимами сушки и прокаливания оболочек, изменяется от 5…6 до 10…12 МПа при испытаниях на изгиб.

2.2. Основные положения теории электрофореза

Электрофорез — перемещение коллоидных и дисперсных частиц в суспензии под действием электрического тока. Направление перемещения частиц суспензии под действием электрического тока обусловливается зарядом на поверхности частицы.

В коллоидных и дисперсных системах на границе раздела фаз происходят пространственное разделение зарядов и образование своеобразного микроконденсатора — двойного электрического слоя.

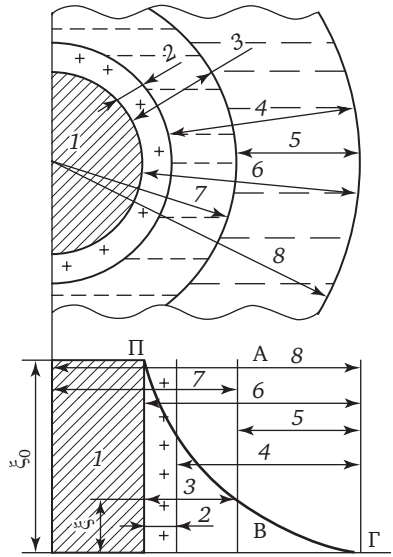


Рис. 2.2. Схематическое изображение мицеллы:
1 — твердое ядро; *2* — слой потенциалопределяющих ионов; *3* — адсорбционный слой; *4* — противоионный слой; *5* — диффузный слой; *6* — двойной электрический слой; *7* — частица; *8* — мицелла; АВ — граница разрыва мицеллы в электрическом поле; ξ_0 — полный скачок потенциала; ξ — электрокинетический потенциал

Двойной электрический слой на поверхности минеральных частиц образуется при наличии в суспензии потенциалообразующих электролитов. Адсорбируясь на поверхностях частиц дисперсной фазы, ионы потенциалообразующих электролитов вместе с противоионами образуют двойной электрический слой, состоящий из внутренней оболочки ионов одного какого-либо знака в виде монослоя (слой потенциалопределяющих ионов) и внешней в виде диффузно распределенных противоионов (противоионный слой). Совместно с ядром двойной электрический слой составляет *мицеллу* (рис. 2.2).

При наложении внешнего электрического поля мицелла как бы «разрывается» вследствие того, что часть слабоудерживаемых ионов противоионного слоя передвигается к соответствующему электроду.

Интенсивность электрофореза оценивается уравнением Гельмгольца—Смолуховского, характеризующим скорость осаждения твердой фазы на электродах:

$$\upsilon = \frac{\varepsilon \xi E}{4\pi\eta},$$

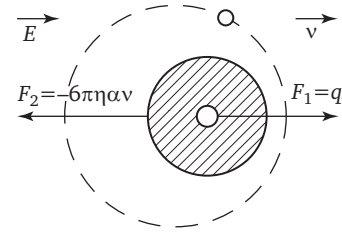


Рис. 2.3. Схематическое изображение сил, действующих на частицу при электрофорезе:
v — скорость движения частицы; $\vec{E}$ — напряженность приложенного электрического поля; F_1 — сила электростатического взаимодействия; F_2 — сила вязкостного трения

где v — скорость осаждения, см/с; ξ — электрокинетический потенциал, мВ; E — градиент внешнего напряжения, В/см; ε — диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды; η – вязкость дисперсионной среды, пуаз.

Согласно диффузионно-электрической теории электрофореза, после включения статического электрического поля частицы приобретают постоянную скорость движения. На рис. 2.3 схематически представлены силы, определяющие скорость движения частицы v под влиянием приложенного поля с напряженностью $\vec{E}$. Сила $F_1 = qE$ имеет чисто электростатическую природу и обусловлена действием поля на электрический заряд частицы q. Сила

$$F_2 = -6\pi\eta a v,$$

выражаемая законом Стокса, обусловлена вязким сопротивлением жидкости движению частицы, где a — радиус частицы, мкм.

2.3. Составы и технология приготовления электрофоретических суспензий

Качество получаемых методом электрофореза оболочек во многом зависит от свойств электрофоретической суспензии, которые предопределяют ее состав. Обобщенная структура электрофоретических суспензий представлена на рис. 2.4.

Дисперсный материал в суспензии — это основной материал, частицы которого в процессе электрофореза группируются и уплотняются на поверхности модели или стержневого ящика, формируя тем самым оболочку.

В качестве дисперсного материала электрофоретических суспензий используют кварц, корунд, шамот и другие огнеупорные материалы. Очень важно, в целях получения оболочек с высокой

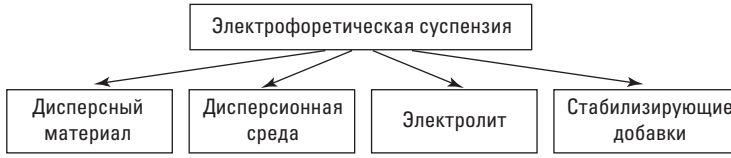


Рис. 2.4. Структура электрофоретических суспензий

плотностью, использовать разнофракционную смесь дисперсных частиц. В практике получения любых керамических изделий зерновой состав исходных материалов представлен не менее чем двумя фракциями (крупной и мелкой). Это связано с тем, что зерна одной фракции не дают плотной упаковки, и, как следствие, происходит появление трещин в наиболее напряженных местах оболочки, вызванное повышенными объемными изменениями в процессе сушки и обжига.

Оптимальная структура оболочки, получаемой методом электрофореза, это когда зерна крупной фракции образуют «скелет» оболочки, а пустоты между ними заполняются мелкой фракцией. В случае превышения количества мелкой фракции над оптимальным значением «скелет» крупной фракции раздвигается и соответственно прочностные свойства оболочки снижаются. А если ее количество меньше оптимального, то пустоты скелета остаются незаполненными, что также приводит к снижению прочности. Лишь строго определенное количественное соотношение двух фракций зернового наполнителя дает наибольший эффект уплотнения, приводящий к минимальным объемным изменениям при последующих технологических операциях. Оптимальное соотношение фракций огнеупорного наполнителя соответствует относительному объему пустот, образуемых более крупной фракцией. При достаточном разрыве в размерах зерна соотношение должно быть примерно 70:30 (70% крупной фракции и 30% мелкой фракции). Соотношение размеров зерен при этом должно быть не менее чем 1:10.

На рис. 2.5 представлена микроструктура однослойной оболочки, полученной методом электрофореза из суспензии с указанным соотношением крупнозернистого и мелкозернистого песка. Видно, что крупнозернистый песок плотно упакован, а поровое пространство между крупными зернами плотно заполнено мелкозернистым песком.

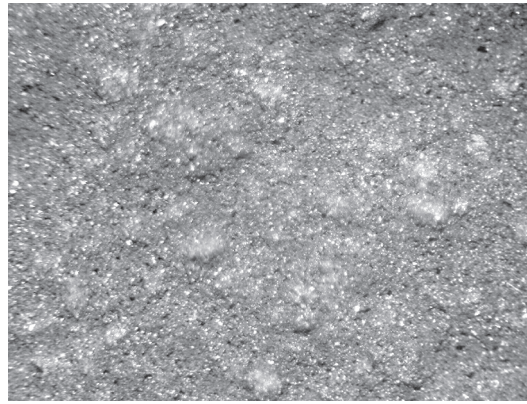


Рис. 2.5. Макроструктура оболочковой формы, полученной методом электрофореза, ×14

Дисперсионной средой в суспензиях чаще всего выступает обычная вода, однако возможно использование в качестве дисперсионной среды некоторых органических растворителей.

Вода в электрофоретических суспензиях содержится в количестве 13…20%.

Электролит — вводится в суспензию для образования на поверхности частиц дисперсной фазы суспензии потенциалообразующего заряда. В этом качестве чаще всего используют гексаметафосфат натрия $(NaPO_3)_6$, тринатрийпирофосфат натрия $Na_3HP_2O_7$, триполифосфат натрия $Na_5P_3O_{10}$ и натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы NaКМЦ.

Выбор природы потенциалообразующего электролита для использования в электрофоретической суспензии во многом зависит от природы используемого осаждаемого материала. При производстве кремнеземистых оболочек в качестве потенциалообразующего электролита дисперсной фазы чаще всего используют соли цепных фосфатов. Это обусловлено тем, что у кремнезема и фосфатов имеет место аналогия структурных элементов, способствующая хорошей адсорбируемости анионов фосфатных соединений на поверхности частиц кремнезема. При производстве корундовых оболочек методом электрофореза использование натриевых солей цепных фосфатов невозможно главным образом из-за повышенной склонности их к обменным реакциям при наличии

в суспензии катионов кальция и магния. Промышленный корунд всегда содержит определенное количество соединений щелочноземельных элементов. В этом случае в качестве потенциалообразующего электролита чаще всего используют NaКМЦ, которая в суспензии выполняет роль не только электролита, но и выступает в качестве стабилизатора корундовой суспензии.

Количество вводимого потенциалообразующего вещества зависит от природы дисперсной фазы в суспензии, к примеру:

• в суспензию с содержанием кварцевой дисперсной фазы вводится 0,06…0,14% 10%-ного водного раствора триполифосфата натрия;

• в суспензию с содержанием корундовой дисперсной фазы вводится 0,2…0,35% NaКМЦ.

Стабилизаторы — вещества, способствующие седиментационной устойчивости суспензии. В качестве стабилизаторов используют огнеупорные глины а также различные водорастворимые полимеры (поливиниловый спирт, метилцеллюлозу и др.).

Стабилизаторы также вводятся в суспензию в небольших количествах, так как с увеличением количества стабилизаторов вязкость дисперсионной среды повышается. С одной стороны, это приводит к увеличению седиментационной устойчивости суспензии, с другой — с увеличением вязкости дисперсионной среды замедляется скорость осаждения огнеупорных частиц. Это подтверждается и выражением, характеризующим скорость движения частицы при электрофорезе, приведенным выше.

Оптимальное содержание стабилизаторов также зависит от природы дисперсной фазы, используемой в суспензии, и природы самого стабилизатора. К примеру:

• в суспензии при использовании кварцевой дисперсной фазы оптимальное содержание стабилизатора — поливинилового спирта или метилцеллюлозы должно составлять 25…30% 0,01…0,09%-ного водного раствора;

• в суспензию при использовании корундовой дисперсной фазы лучше вводить комбинированный стабилизатор, состоящий из 0,2…0,35% NaКМЦ (являющийся к тому же и потенциалообразующим) и 1…2% огнеупорной глины.

Технологический процесс приготовления форетической суспензии достаточно простой. В миксер заливают необходимое количе-

ство воды, далее вводят расчетное количество потенциалообразующего электролита и стабилизатора. Перемешивают введенные компоненты и при включенной мешалке вводят необходимое количество дисперсного материала, после чего полученную суспензию интенсивно перемешивают в течение 20…30 мин. Достаточно длительное время перемешивания необходимо для полного протекания реакций взаимодействия компонентов суспензии. По окончании перемешивания суспензию выстаивают несколько минут в целях удаления пузырьков воздуха из суспензии.

Готовая суспензия контролируется по следующим параметрам:

- pH 7,8…8,2;
- вязкость суспензии $12…17 \cdot 10^{-4}$ м^2/с по ВЗ-4.

2.4. Токопроводящие покрытия

Электрофоретический процесс осаждения дисперсной фазы на моделях, изготовленных из диэлектрических материалов, возможен при условии, что на их поверхности будет предварительно создан токопроводящий слой. Для этой цели приготавливается суспензия, дисперсионной средой которой является сильный электролит оптимальной концентрации, а в качестве наполнителя используются те же дисперсные материалы, что и в электрофоретической суспензии. Чаще всего сильным электролитом и соответственно дисперсионной средой выступает какое-либо связующее, способное не только проводить электрический ток с минимальным сопротивлением, но и в дальнейшем в процессе сушки упрочнить оболочковую форму, полученную электрофорезом, к примеру, дисперсионной средой может выступать кальцийалюмохромфосфатное связующее в смеси с соляной кислотой.

Токопроводящие суспензии приготавливаются в отдельной емкости, и порядок их приготовления остается примерно таким же, как при приготовлении электрофоретической суспензии.

Для равномерного покрытия модели токопроводящим слоем, суспензия должна иметь вязкость $8…10 \cdot 10^{-4}$ м^2/с по ВЗ-10.

После нанесения приготовленной суспензии на модельный блок на его поверхности образуется капиллярно-пористая обо-

лочка, характеризующаяся наличием пор различных размеров. Роль каркаса полученной структуры выполняет дисперсный наполнитель суспензии, обычно являющийся диэлектриком. Электролит, содержащийся в порах каркаса оболочки, обеспечивает необходимую поверхностную проводимость модельных блоков. Под действием приложенной разности потенциалов в полученном таким образом электроде возникает направленное движение ионов электролита по скелету пористой среды, подобно тому, как в проводниках 1-го рода возникает направленное движение электронов между узлами кристаллических решеток.

2.5. Изготовление оболочковых форм методом электрофореза

Основным узлом установок для изготовления электрофоретических оболочек является электролизер, одна из схем которого приведена на рис. 2.6. На раме *1* установлен электролизер *4* с механизмом перемешивания *2*, водоохлаждаемым кожухом *3*. Для закрепления блоков моделей и их вращения служат зажимное устройство *5*, каретка *6* и механизм вращения *7*. Блоки перемещаются с помощью винта каретки *8*, направляющих *9* и механизма подъема каретки *11*. Перемешивается суспензия в ванне электролизера крыльчаткой *10*.

Для подачи электрического тока на электролизер и модель используется электрический блок питания (рис. 2.7), позволяющий преобразовывать сетевой переменный ток в постоянный и регулировать подаваемое на модель напряжение.

При внедрении технологии получения оболочковых форм методом электрофореза на Харьковском тракторном заводе резко увеличилась производительность участка точного литья, а также значительно снизился процент брака. Длительность процесса формообразования с момента поступления модельных блоков на участок нанесения оболочки до отправки на сушку составляет менее 3…4 мин. Оболочки на блоках сушат в обычном конвейерном сушиле. Остальные операции осуществляют в соответствии с технологией изготовления многослойных оболочек при литье по выплавляемым моделям.

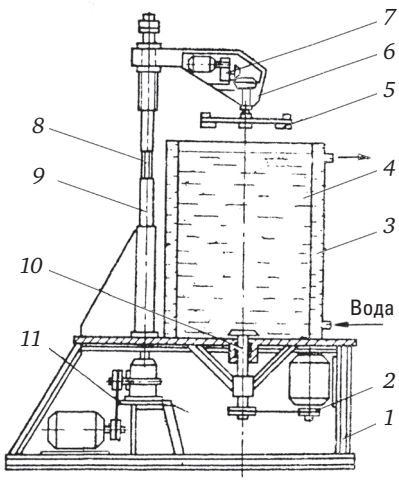


Рис. 2.6. Электролизер для изготовления оболочковых форм методом электрофореза:
1 — рама; *2* — механизм перемешивания; *3* — водоохлаждаемый кожух; *4* — электролизер с форетической суспензией; *5* — зажимное устройство; *6* — каретка; *7* — механизм вращения; *8* — винт каретки; *9* — направляющие перемещения; *10* — крыльчатка; *11* — механизм подъема каретки

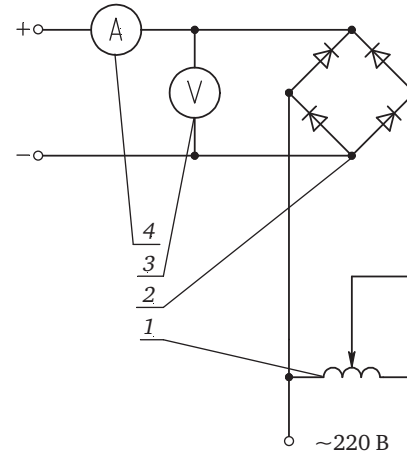


Рис. 2.7. Электрический блок питания:
1 — автотрансформатор; *2* — диодный мост; *3* — вольтметр; *4* — амперметр

На Тираспольском заводе «Литмаш» была внедрена автоматическая линия по выпуску оболочковых форм методом электрофореза (рис. 2.8).

В состав линии входят установки для приготовления токопроводящей *11* и электрофоретической *12* суспензий, ванна *1* нанесения токопроводящего покрытия, ванны *4* и *8* осаждения оболочковой формы методом электрофореза, пескосыпы *2* с «кипящим» слоем, пульт управления *5*, подвесной конвейер *6*, выпрямитель *7*, токоподвод *3*, камерное сушило *9* и электрошкаф *10*. Этот комплекс позволяет осуществить электрофорез при непрерывном перемещении моделей.

На рис. 2.9 показан блок моделей с нанесенным токопроводящим слоем *1* и с осажденным методом электрофореза огнеупорным осадком *2* — керамический блок.

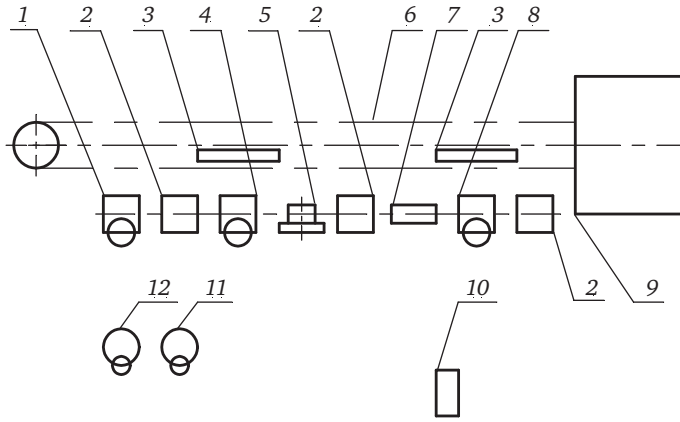


Рис. 2.8. Автоматизированная линия, используемая на Тираспольском заводе «Литмаш»:

1 — ванна для нанесения токопроводящего покрытия; *2* — пескосыпы; *3* — токоподвод; *4*, *8* — ванны для нанесения форетического слоя; *5* — пульт управления; *6* — подвесной конвейер; *7* — выпрямитель; *9* — камерное сушило; *10* — электрошкаф; *11* — установка для приготовления токопроводящей суспензии; *12* — установка для приготовления форетической суспензии

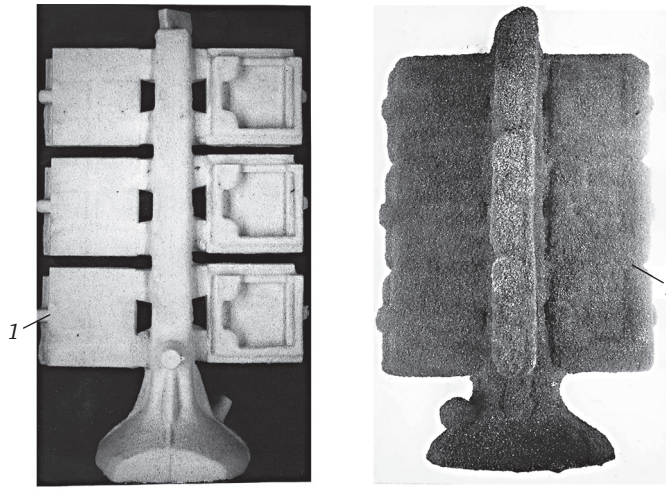


Рис. 2.9. Блок моделей:

1 — с нанесенным токопроводящим покрытием; *2* — с нанесенным слоем огнеупорного осадка методом электрофореза

Одна из главных проблем технологии получения оболочковых форм методом электрофореза — это получение оболочек одинаковой заданной толщины с одинаковыми заданными свойствами. Дело в том, что при получении каждой последующей оболочки свойства суспензии изменяются, соответственно для каждой последующей оболочки требуется несколько большее время для достижения заданной толщины.

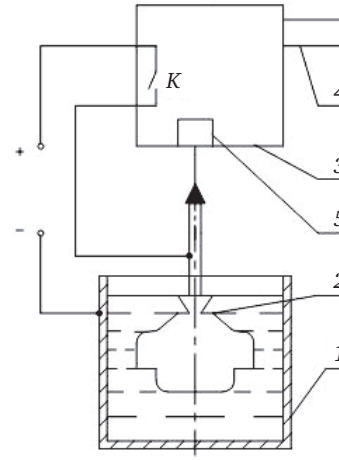


Рис. 2.10. Устройство для взвешивания модели и оболочки в процессе ее осаждения:

1 — электролизер с суспензией; *2* — выплавляемая модель; *3* — устройство контроля массы модели с оболочкой; *4* — подвеска; *5* — узел управления ключом; *К* — ключ

На рис. 2.10 представлена конструкция устройства для получения оболочковых форм методом электрофореза, позволяющая достаточно точно контролировать массу осаждаемого на модель осадка, а следовательно, и его толщину. Устройство работает следующим образом: в электролизер *1* заливают форетическую суспензию. Далее модель *2* подвешивают к устройству контроля массы *3*, закрепленному на подвижной подвеске *4*. Посредством привода подвижная подвеска опускает устройство контроля массы с закрепленной на нем моделью до положения, пока модель полностью не погрузится в суспензию. После чего срабатывает ключ *К* и замыкает электрическую цепь, подключая тем самым положительный потенциал на модель. С замыканием ключа электрической цепи устройство контроля массы начинает фиксировать изменение массы модели, возникающее за счет осаждения на ней осадка. По достижении заданного значения массы ключ отключает подачу на модель положительного потенциала и включает механизм подъема подвижной подвески.

2.6. Сушка оболочковых форм

Получаемые на модельных блоках форетические осадки — это типичные связочно-дисперсные, капиллярно-пористые, относительно однородные по размеру зерен наполнителя и их распределению системы. Структурно-механические характеристики осадков (оболочек) во многом зависят от режима сушки, обусловливающего скорость удаления жидкой фазы и распределение полей влагосодержания и температуры по толщине. Неравномерность распределения влаги и температуры приводит к напряженному состоянию, вызывающему появление локальных трещин, а затем к полному разрушению оболочек.

Особенность форетических осадков — наличие в их составе компонентов, по-разному влияющих на скорость сушки. Катионы щелочных металлов, содержащиеся в жидкостекольной пленке, замедляют процесс влагоудаления, хотя их роль как депрессоров испарения воды по мере протекания гидролиза кремнезема и образования мета- и ортосиликатов натрия постепенно уменьшается. К депрессорам относятся и поверхностно-активные вещества, вводимые в состав токопроводящих покрытий в целях улучшения смачиваемости моделей.

Для форетических осадков характерны общие закономерности процесса сушки материалов, в частности, наличие двух периодов — с постоянной и убывающей скоростью сушки при углублении зоны испарения влаги.

Температурные режимы для сушки форетических оболочек необходимо выбирать с учетом физических свойств материалов, применяющихся для изготовления выплавляемых моделей. Эти режимы не должны превышать температуру размягчения модельных составов (часто не больше 40 °С).

В отличие от традиционной технологии литья по выплавляемым моделям, когда формообразование осуществляется последовательным наращиванием четырех — шести слоев с толщиной каждого около 1 мм, при электрофорезе образуется оболочка в 5…6 мм. При сушке по общепринятой технологии в такой оболочке возникают достаточно большие концентрационные напряжения, вызывающие трещины и разрушение форм. Кроме того, многие эффективные способы ускорения сушки, разработанные

в последнее время, оказываются полностью непригодными для оболочек, получаемых электрофоретическим способом.

Особенности изготовления форм обусловлены тем, что форетические оболочки подвергаются тепловому воздействию вместе с выплавляемой моделью, что исключает возможность применения интенсифицированных процессов влагоудаления при температуре более 100 °С. В то же время режимы конвективной сушки, характерные для технологических процессов керамической промышленности, нельзя использовать для форетических осадков из-за недопустимо низкой в литейном производстве скорости сушки. Согласно современным представлениям, весь процесс протекает при наличии разности давлений паров воды над поверхностью изделия и в окружающей среде и наличии разности температур, обеспечивающей подвод тепла, необходимого для изменения агрегатного состояния воды. Процесс сушки принято делить на два периода. В первом температура вещества растет до определенного уровня, чаще до температуры мокрого термометра, т.е. меньшей, чем температура окружающей среды. Она остается неизменной до тех пор, пока испарение влаги происходит с поверхности тела. Установлено, что начальная скорость сушки керамических материалов определяется скоростью испарения воды со свободной поверхности и не является функцией влажного тела. В этот период безопасна и целесообразна любая интенсификация подвода тепла. Позже, когда снижается влагосодержание и водяная пленка с поверхности изделия исчезает, частицы вступают в контакт друг с другом, скорость сушки уменьшается. С данного момента до конца процесса длится период падающей или убывающей скорости сушки и повышения температуры тела. Средняя интегральная влажность материала, когда на поверхности тела достигается гигроскопическая влажность и начинается период падающей скорости сушки, называется критической влажностью.

Скорость сушки снижается, так как ухудшается поступление влаги к поверхности изделия. При этом из-за уменьшения расхода тепла на испарение температура материала непрерывно возрастает, температурный перепад между сушильным агентом и материалом уменьшается. Заканчивается этот период при достижении поверхностью материала равновесной влажности, когда скорость

сушки становится нулевой и удаление влаги из материала прекращается.

Скорость сушки капиллярно-пористых тел зависит от форм связи влаги с материалом (химическая, физико-химическая и физико-механическая). Удаляется физико-химическая и физико-механическая вода. Неравномерность распределения влаги по толщине изделия вызывает неравномерную усадку различных слоев. В результате так называемой «недопущенной» усадки создается объемно-напряженное состояние, приводящее к деформациям и образованию трещин.

Прочность, размер и в целом качество изделия зависят от пластических деформаций материала, имеющих место в начальной стадии процесса сушки, т.е. в первые моменты усадки материала. На этом основании для повышения качества керамических материалов рекомендуется возможно меньшая скорость сушки при удалении 4…6% воды. Сушка керамических изделий ведется конвективным способом, при котором влага испаряется за счет тепла, поступающего от сушильного агента (воздух, дымовые газы и др.). Устранение недостатков конвективной сушки достигается применением пародепрессионного метода, основанного на образовании пленки из ПАВ. Последняя регулирует скорость удаления влаги с поверхности, поэтому температура сушильного агента может быть более высокой. При радиационной сушке используется тепло, излучаемое нагретыми поверхностями. Большие тепловые потоки, возникающие в процессе радиационной сушки, приводят к образованию больших температурных градиентов. В результате появляются напряжения, особенно в телах произвольной конфигурации, к которым относятся и отливки. Не приемлемы для форетических оболочек на модельных блоках, представляющих вместе с металлическим стояком систему с разной диэлектрической проницаемостью, высокочастотная сушка и способ контактной электросушки, основанный на использовании джоулева тепла.

Таким образом, самым рациональным является конвективный способ, режим которого определен температурой сушильного агента (воздух), его влажностью и скоростью движения. Основное требование, предъявляемое к процессу сушки электрофоретических осадков, — получение оболочек высокой прочности. Процесс сушки должен протекать таким образом, чтобы содер-

жащиеся в осадке катионы щелочных металлов максимально диффундировали к внешней нерабочей поверхности. Наилучшие свойства оболочки обеспечивает режим сушки, при котором синтезирующие прочность осадка вещества оказываются в центральной и периферийной областях последнего. Этому способствует не только концентрационная диффузия, но и увеличение потока жидкости при одновременном уменьшении потока пара. Для создания условий, благоприятствующих переносу жидкости внутри осадка, необходимо увеличить коэффициент диффузии влаги и уменьшить интенсивность сушки. Если считать, что температура поверхности осадка в первом периоде сушки близка к температуре мокрого термометра, то при увеличении влажности сушильного агента (воздух) повышаются температура материала и коэффициент диффузии влаги. В свою очередь, увеличение влажности воздуха приводит к уменьшению интенсивности сушки, так как последняя пропорциональна разности температур теплоносителя и поверхности материала. Другой путь ускорения внутреннего потока жидкости состоит в уменьшении температурного градиента внутри материала, ибо градиент температуры и градиент влагосодержания при сушке нагретым воздухом направлены в противоположные стороны.

2.7. Основные технологические параметры, преимущества и недостатки

Результаты промышленных испытаний технологии изготовления оболочковых форм методом электрофореза позволяют рекомендовать следующие технологические режимы и последовательность операций.

Для проведения электрофореза и приготовления электрофоретической суспензии сначала смешивают жидкие компоненты суспензии в заданных пропорциях (например, вода, водный раствор электролита и поливинилового спирта). Затем вводят порциями огнеупорный наполнитель до вязкости суспензии $19…22 \cdot 10^{-4}$ м^2/с по ВЗ-4 и полученную смесь перемешивают 30…40 мин.

Перед электрофоретическим формированием основного слоя на модельный блок наносят облицовочное покрытие (маршалит

и жидкое стекло), которое сразу покрывают электропроводящим составом, содержащим жидкое стекло, графит и активированный уголь. Облицовочный слой сушат ($\tau_{сушки}$ = 90 мин, t = 40 °С).

После этого проводят операцию электрофоретического осаждения оболочки при напряжении 70 В, время нанесения осадка 2 мин, при этом формируется покрытие толщиной 5…6 мм.

Высушенные оболочковые формы пропитывают в растворе жидкого стекла плотностью 1340 кг/м^3 в течение 2 ч.

Отверждение пропитанных оболочек осуществляют продувкой CO_2, после чего модели удаляют в расплаве модельной массы при температуре 120…130 °С.

Заключительная операция — прокаливание оболочек при температуре 900 °С, продолжительность прокаливания 3 ч.

Технологические режимы, указанные выше, приведены по результатам промышленного апробирования разработанной технологии, они могут несколько различаться в зависимости от конкретных условий производства.

Максимальные значения прочности на изгиб электрофоретических оболочек составили $\sigma_р$ = 5,89 МПа после выплавления модели и $\sigma_р$ = 8,0 МПа после прокаливания оболочки.

Полный цикл изготовления оболочковой формы, полученной методом электрофореза (без учета изготовления модельных блоков), до ее заливки жидким металлом составил 11…12 ч, при изготовлении этилсиликатных оболочек на это требуется не менее 15…16 ч.

Методом электрофореза возможно также получать разъемные оболочки по постоянным металлическим моделям. В этом случае отпадает необходимость в использовании токопроводящего покрытия, но в связи с тем, что в процессе электрофореза металлические модели подвергаются интенсивной поверхностной эрозии, металлические модели следует покрывать защитным покрытием. В то же время защитные покрытия должны проводить ток и обеспечивать легкий съем оболочки с модели. Чаще всего в качестве защитного покрытия для металлических моделей используют смесь машинного масла с графитом.

В случае использования металлических моделей для получения разъемных оболочек технологический процесс состоит из следующих этапов:

• нанесение на модель защитного покрытия;

• помещение модели в электролизер, заполненный форетической суспензией;

• подключение электрического тока и осаждение на модели слоя огнеупорного осадка требуемой толщины;

• отключение электрического тока и извлечение модели с осадком из электролизера;

• сушка полученного осадка путем обдува теплым воздухом или путем подогрева металлической модели;

• съем высушенного осадка с модели и, при необходимости, дополнительная пропитка полученной оболочки связующим составом с последующей сушкой;

• сборка разъемных оболочек в единую форму.

Преимуществами электрофоретического формообразования являются:

• простота получения огнеупорного покрытия, позволяющая достаточно легко автоматизировать процесс образования осадка и осуществления контроля его свойств;

• возможность получения оболочковой формы или стержня в течение относительно короткого промежутка времени;

• значительная экономия используемых огнеупорных материалов;

• недефицитность используемых материалов;

• практически полное отсутствие усадки полученных электрофорезом оболочек в процессе сушки, что исключает брак форм по причине трещинообразования в процессе сушки, а также увеличивает точность форм и стержней.

Наряду с преимуществами метод получения оболочковых форм имеет и ряд недостатков:

• нестабильность свойств суспензии;

• необходимость использования токопроводящих составов в случае, если модель диэлектрическая.

Электрофоретические оболочки можно изготавливать из различных материалов, служащих зерновой основой суспензии. Применение в качестве дисперсной фазы тех или иных материалов, как правило, обусловливает состав потенциалообразующих электролитов и связующих веществ. Изменение природы зерновой составляющей сопряжено с соответствующей корректировкой, а

иногда и с использованием новых материалов, обеспечивающих образование на поверхности минеральных частиц заряда, упрочнение оболочек, повышение седиментационной устойчивости суспензии.

Электрофоретический процесс формообразования весьма чувствителен к отдельным, иногда даже незначительным, отклонениям в дозировке компонентов, особенно потенциалопределяющих электролитов. Однако применение материалов, отвечающих требованиям стандартов и технических условий, соблюдение технологической дисциплины на всех этапах формообразования обеспечивают стабильность процесса и получение качественных отливок.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено перемещение дисперсных частиц в суспензии при электрофорезе?
2. Какова роль двойного электрического слоя на дисперсных частицах при получении оболочковых форм методом электрофореза?
3. Назовите основные особенности технологического процесса получения оболочковых форм методом электрофореза.
4. Из каких основных компонентов состоит электрофоретическая суспензия и какова роль каждого компонента?
5. Из каких основных компонентов состоит токопроводящая суспензия и каково ее назначение в целом?
6. Каковы преимущества оболочковых форм, полученных методом электрофореза, перед оболочковыми формами, полученными традиционным послойным нанесением?
7. Какова последовательность технологических операций получения оболочковых форм методом электрофореза?
8. Назовите основные узлы электролизера, предназначенного для получения оболочковых форм.
9. Назовите основные компоненты технологической линии получения оболочковых форм методом электрофореза.

Список литературы

1. **Рыжков И.В.** Электрофорез в литейном производстве: Изготовление оболочковых форм по выплавляемым моделям. — Харьков: Вища шк., 1979. 160 с.

2. **Патент** РФ 2289491 B 22 C 9/04. Устройство для изготовления керамических форм / В.И. Якимов, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, А.В. Свиридов и др. 2006. Бюл. № 35. 4 с.

3. **Лыков А.В.** Теория сушки. — М.: Энергия, 1968. 472 с.

4. **Чижский А.Ф.** Сушка керамических материалов и изделий. — М.: Стройиздат, 1971. 177 с.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Литье по газифицируемым моделям

Метод литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) является одним из перспективных и наиболее экономичным благодаря сравнительно низким затратам при высоких показателях качества отливок и гибкости производства. Главная особенность этого технологического процесса — применение неизвлекаемой перед заливкой металла модели, которая остается в форме и газифицируется под действием тепловой энергии заливаемого металла. ЛГМ позволяет получать отливки из цветных и черных сплавов массой от 10 г до нескольких тонн с шероховатостью поверхности 12,5…25 мкм, размерной и массовой точностью до 7-го класса (ГОСТ 26645—85). Технология ЛГМ обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами литья. К их числу относятся:

- повышение точности отливок и снижение объема механической обработки отливки на 20…40%;
- повышение коэффициента использования металла до 0,85…0,95;
- уменьшение капитальных затрат на оборудование, модельные и формовочные материалы;
- исключение из производственного процесса стержневого и смесеприготовительного оборудования;
- сокращение числа технологических операций и трудоемкости финишной обработки отливок;
- использование недорогой и сравнительно простой оснастки;
- снижение потребления электроэнергии в 2…3 раза;
- сокращение и оптимальное использование производственных площадей.

При всех своих преимуществах ЛГМ имеет и ряд недостатков,

связанных с использованием полимерных модельных материалов. К числу недостатков этого процесса литья можно отнести:

• наличие специфических дефектов отливок, образующихся из-за неполного разложения материала модели (коксогазовые раковины, плены пироуглерода, поверхностные газовые дефекты);

• токсичность выделяющихся при изготовлении и разложении модели продуктов, ухудшающих санитарно-гигиенические условия труда.

3.1. Модельные материалы

Для изготовления газифицируемых моделей в нашей стране и за рубежом используют пенополистирол, полиметилметакрилат и сополимеры.

К известным маркам исходного полистирола для изготовления моделей относятся:

• полистирол ПСВ-Л1 по ОСТ 301-05-202—92Е от производителя ОАО «Пластик» (Россия);

• полистирол ПСВ-ГМ409, ПСВ-ГМ406, ПСВ-ГМ404 по ТУ 1416-211-00203521—93 от производителя ТОО «SAT Operating Aktau» (Казахстан);

• полистирол EPS (Expandable Polystyrene) различных торговых марок от производителей Loyal Group (Тайвань), Nova Chemicals Corporation (Канада), Nova Innovene (Швейцария), BASF (Германия), Dow Chemical (США), Suzhou Hualunchemical Co., Ltd (Китай), Shantou Longhu Hualin Plastics Chem Co. Ltd (Китай), JSP Corporation (Япония) и др.

Основные свойства этих материалов приведены в табл. 3.1.

К известным экструзионным маркам исходного гранулированного полиметилметакрилата (ПММА) для изготовления моделей относятся:

• ДАКРИЛ-72 по ТУ 2216-021-55856863—2002 от производителя ОАО «Дзержинское оргстекло» (Россия);

• ДАКРИЛ-82 по ТУ 2216-006-55856863—2002 от производителя ОАО «Дзержинское оргстекло» (Россия);

• ДАКРИЛ КАУ-1Э по ТУ 2216-013-55856863—2002 от производителя ОАО «Дзержинское оргстекло» (Россия);

3.1. Свойства полистирола

Показатель	Норма для марок		
	ПСВ-Л1	ПСВ-ГМ	EPS
Диаметр гранул основной фракции, мм	0,8…1,6	0,63…0,8	0,8…1,6
Массовая доля основной фракции, %	70	91	70
Массовая доля порообразователя в течение гарантийного срока, %	5,5…6,6	5,2	6,0
Массовая доля остаточного мономера, %	0,3	0,2	0,3
Относительная вязкость в 1%-ном растворе бензола	1,8	1,8	1,8
Насыпная масса пенополистирола, кг/м^3	30	30	30
Разрушающее напряжение при статическом изгибе, МПа	0,2	0,18	0,2

• ACRYPET V001 от производителя Diapolyacrylate Co., Ltd (Mitsubishi Rayon Group) (Япония);

• Altuglas от производителя Altuglas International (Arkema) (Франция).

К известным маркам исходного сополимера для изготовления моделей относятся:

• сополимер литейный CLEARPOR марок CL 500A, CL 600A от производителя JSP Corporation (Япония);

• сополимер Cast Pro™ от производителя Castchem LTD, Mrs. Ling Hung (Китай);

• сополимер марки HMC-30 от производителя Foseco (Италия).

3.2. Способы подготовки модельных материалов

Предварительная обработка гранул полистирола для вспенивания является важной составной частью технологического процесса изготовления моделей и включает в себя следующие операции: рассев исходного полистирола по фракциям, предварительное вспенивание гранул, сушка и активизация вспененных гранул.

Гранулометрический состав исходного полистирола определяется в зависимости от толщины стенки модели, так как вспенен-

ные гранулы должны не только заполнить полость пресс-формы, но и обеспечить необходимую объемную массу и качество ее поверхности. В табл. 3.2 представлены рекомендации по выбору размера исходных гранул полистирола в зависимости от толщины стенки модели.

3.2. Рекомендуемый размер исходных гранул

Толщина стенки модели, мм	Размер гранул, мм	Объемная масса модели, кг/м^3
Более 14	1,2…1,8	13…30
10…14	1,1…1,3	15…40
8…10	0,7…0,9	17…40
6…8	0,3…0,7	17…40
4…6	0,2…0,5	22…44

Вспенивание гранул полистирола можно проводить различными способами: в горячей воде, паровой ванне, потоке пара и потоке горячего воздуха.

Вспенивание в горячей воде осуществляют при температуре 95…100 °С. Гранулы полистирола засыпают тонким слоем в короб, который закрывается крышкой. Днище короба и крышка выполнены из капроновой ткани или медной сетки. Короб с гранулами погружают в кипящую воду на такую глубину, чтобы верх короба был перекрыт кипящей водой. После выдержки в воде в течение заданного времени короб извлекают и помещают в сушило, температура в котором 25…30 °С. Сушку можно проводить и на противнях при комнатной температуре. Съем вспененного полистирола с одного метра поверхности водяной ванны составляет 0,5…1 кг/ч.

Вспенивание паром гранул полистирола проводят при температуре 95…105 °С тремя способами: статическим, кинетическим и динамическим. При *статическом способе* исходные гранулы равномерным слоем засыпают в короб с днищем из капроновой или медной сетки, который устанавливается в бак выше уровня кипящей воды и накрывается крышкой. Короб выдерживают в паровой ванне заданное время. Вспенивание гранул в паровой ванне требует большего времени, чем в кипящей воде, но за счет значительного сокращения времени сушки общий цикл обработки

полистирола значительно сокращается. Статическое вспенивание паром гранул полистирола проводят в автоклаве. В этом случае короб с гранулами помещают в автоклав и подают пар при температуре 100…120 °С. После заданного времени выдержки короб извлекают. Вспенивание гранул полистирола в автоклаве позволяет получить вспененные гранулы с низкой влажностью и значительно сократить время сушки.

Вспенивание гранул *кинетическим способом* проводится в лопастных и шнековых мешалках, в камеру которых подают гранулы полистирола и насыщенный пар под давлением 50…180 кПа. На вспенивание 1 кг гранул полистирола необходимо обеспечить расход не менее 0,3…0,5 кг пара. По мере вспенивания гранулы перемещаются лопастями мешалки или шнеком к разгрузочному окну. Объемная масса пенополистирола регулируется или положением разгрузочного окна или скоростью перемещения гранул в процессе вспенивания. Установки, работающие по такому принципу, имеют высокую производительность и применяются в цехах средней и большой мощности.

При *динамическом способе* вспенивания гранул полистирола насыщенный пар подается через неподвижный объем гранул при атмосферном давлении. При таком процессе поверхность гранул освобождается от конденсата, который затрудняет теплообмен между паром и гранулами, кроме того, отсутствие избыточного давления в камере способствует свободному расширению гранул, что позволяет получать модели с минимальной объемной массой.

Предварительное вспенивание гранул полистирола можно проводить в потоке горячего воздуха при температуре 100…110 °С, однако продолжительность цикла вспенивания при таком процессе увеличивается по сравнению с другими способами.

При предварительном вспенивании полистирола происходит уменьшение его объемной массы за счет роста объема гранул. В исходном состоянии гранулы полистирола представляют собой трехфазную систему, состоящую из полистирола (твердая фаза), изопентана и воздуха (парогазовая фаза), паров изопентана и воздуха (парогазовая фаза). В процессе предварительного вспенивания происходит нагрев гранул полистирола. Изопентан испаряется при температуре 28…30 °С и создает внутри гранулы во всем ее объеме значительное давление. При 80 °С гранулы поли-

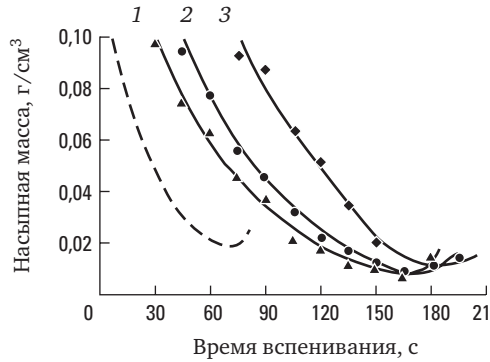


Рис. 3.1. Зависимость объемной массы гранул полистирола от времени при динамическом способе вспенивания паром при температурах:
1 — 135 °С; *2* — 120 °С; *3* — 105 °С; пунктиром показана зависимость при статическом вспенивании в паровой ванне

стирола размягчаются, переходят в высокоэластическое состояние и под действием паров изопентана увеличиваются в объеме (вспениваются). Снижение объемной массы полистирола зависит как от времени предварительного вспенивания, так и от температуры теплоносителя. С увеличением температуры во вспенивающей камере скорость уменьшения объемной массы полистирола возрастает. Увеличение времени предварительного вспенивания полистирола приводит к уменьшению его объемной массы до некоторого минимального значения, которое зависит от исходной фракции полистирола. На рис. 3.1 представлены кривые, описывающие зависимость изменения объемной массы гранул полистирола от продолжительности динамического вспенивания при различных температурах теплоносителя. Указанные зависимости используют для определения технологических режимов предварительного вспенивания полистирола.

3.3. Способы изготовления пенополистироловых моделей в пресс-формах

Пенополистироловые модели при массовом и крупносерийном производствах отливок изготавливают в пресс-формах. Изготовление моделей из гранул вспенивающегося полистирола по техно-

логии двухстадийного вспенивания предусматривает вторичную тепловую обработку гранул в замкнутом объеме пресс-формы. Технологический процесс изготовления моделей состоит из следующих операций: подготовка гранул пенополистирола, подготовка пресс-формы, заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола, тепловая обработка пресс-формы, охлаждение пресс-формы, извлечение модели из пресс-формы, сушка модели, выдержка модели после сушки и контроль качества модели. Для устранения слипаемости гранул в процессе вспенивания их обрабатывают 0,02…0,2%-ным водным раствором поверхностно-активного вещества (стеарат кальция или цинка). После вспенивания и сушки гранулы пенополистирола обрабатывают антистатиком для снижения статического заряда электричества и улучшения заполняемости пресс-форм.

Для уменьшения адгезии пенополистирола к стенкам пресс-формы их периодически смазывают разделительным составом. В качестве таких составов используют водную эмульсию мыла и талька в соотношении по 25 г талька и мыла на 1 л воды, а также кремнийорганическую жидкость. Пресс-формы заполняют гранулами пенополистирола методом эжектирования с помощью специального устройства или ручным пистолетом-эжектором. Для удаления воздуха из пресс-формы в ее стенках устанавливают венты или делают отверстия диаметром 0,5…1 мм. Обычно давление воздуха, подаваемого к эжектору, составляет 0,3…0,5 МПа.

Активность гранул или их способность к максимальному расширению при повторном нагреве в пресс-форме можно определить по формуле

$$A = 1 - \gamma_{min}/\gamma,$$

где γ_{min} — минимальная объемная плотность вспененного полистирола, кг/м^3; γ — расчетная объемная плотность модели, кг/м^3.

Различают следующие основные способы изготовления моделей: ванный, автоклавный, внешний тепловой удар и внутренний тепловой удар.

При *ванном способе* пресс-форма, заполненная гранулами пенополистирола, погружается в водяную ванну при температуре 98…100 °С и выдерживается в ней определенное время, в течение которого происходит спекание модели.

Время выдержки пресс-формы в кипящей воде при ванном способе изготовления моделей определяют по формуле:

$$\tau = 10\delta^2/a,$$

где δ — половина приведенной толщины стенки модели, мм; a — коэффициент температуропроводности материала пресс-формы, $м^2/ч$.

Существенным недостатком ванного способа изготовления моделей является их высокая влажность после извлечения из пресс-формы (до 20%). Поэтому модели, получаемые данным способом, должны проходить длительную сушку.

При *автоклавном способе* изготовления модели пресс-форма, заполненная гранулами пенополистирола, помещается в автоклав, в который подается насыщенный пар при температуре 110…120 °С и давлении 0,13…0,14 МПа. Пресс-форма выдерживается в автоклаве необходимое время для спекания модели, после чего пар стравливается из автоклава и пресс-форма извлекается. Затем пресс-форму охлаждают в воде при температуре 15…20 °С и модель извлекают. В автоклаве процесс теплообмена осуществляется как за счет проникновения насыщенного пара внутрь пресс-формы через венты, установленные в ее стенках, так и за счет теплопроводности через стенки пресс-формы. Для качественного спекания модели необходимо, чтобы площадь отверстий вент составляла не менее 2% от рабочей площади поверхности пресс-формы. Продолжительность цикла изготовления модели в автоклаве определяют экспериментально для каждой партии полистирола в зависимости от толщины стенки модели, конструкции пресс-формы, температуры и давления пара. На рис. 3.2 представлена зависимость продолжительности спекания моделей от давления пара и толщины стенок модели в автоклаве при расходе

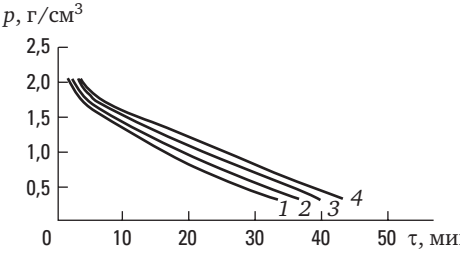


Рис. 3.2. Оптимальные режимы изготовления моделей автоклавным способом из ПСВ-Л фракции 1...1,6 мм в зависимости от толщины стенки:
1 — 10 мм; *2* — 20 мм; *3* — 40 мм; *4* — 80 мм

пара менее 0,2 кг/мин. При толщине стенок модели менее 10 мм пресс-форма может не иметь вент.

Время цикла изготовления модели автоклавным способом $\tau_ц$, мин, определяют суммарным временем подготовительных и рабочих операций:

$$\tau_ц = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7,$$

где $\tau_{1—7}$ — соответственно время сборки пресс-формы, заполнения пресс-формы гранулами, загрузки пресс-формы в автоклав, спекания модели в автоклаве, извлечения пресс-формы из автоклава, охлаждения пресс-формы, разборки пресс-формы и извлечения модели.

Наиболее продолжительными операциями изготовления моделей автоклавным способом являются операции спекания модели и охлаждения пресс-формы. Если время спекания модели в автоклаве определяют экспериментально, то время охлаждения пресс-формы, мин, можно определить по формуле

$$\tau = 0,2\sqrt[3]{\delta^2},$$

где δ — приведенная толщина стенки модели, мм.

Автоклавный способ позволяет получать модели с толщиной стенок до 40 мм и более при объемной массе 18…25 кг/м^3.

Способ внутреннего теплового удара заключается в подаче насыщенного пара под давлением 0,2…0,25 МПа через инжектор во внутреннюю полость пресс-формы, предварительно заполненную гранулами пенополистирола. Формирование модели происходит в результате фильтрации перегретого пара через поры между гранулами в пресс-форме. Расширение гранул происходит наиболее интенсивно в районе инжектора и постепенно затухает у стенок пресс-формы, в результате образующийся конденсат оттесняется вспененными гранулами к периферии и удаляется через отверстия (венты) в стенках пресс-формы. Важной операцией технологического процесса изготовления моделей тепловым ударом является охлаждение пресс-формы по окончании изготовления модели. Преждевременное извлечение модели из пресс-формы может привести к ее разрушению. Время охлаждения, ч, пресс-формы в воде при температуре 15…20 °С можно определить по формуле

$$\tau = 0{,}16\,\delta^2/a_м,$$

где δ — приведенная толщина стенки модели, мм; $a_м$ — температуропроводность пенополистирола, $м^2/ч$.

Инжектор выполняют в виде трубки диаметром 10…20 мм, в стенках которой имеются отверстия диаметром 1…2 мм, суммарная площадь этих отверстий равна площади поперечного сечения инжектора. В стенках пресс-формы устанавливают венты или сверлят отверстия диаметром 0,5…1,5 мм с шагом 20…25 мм. Суммарная площадь сечений входных отверстий должна соответствовать площади выходных отверстий. Расположение отверстий в стенках пресс-формы должно обеспечить равномерное распределение пара по всему объему пресс-формы. Зона действия пара от инжектора описывается радиусом около 100 мм. Процесс изготовления моделей внутренним тепловым ударом скоротечен, он просто механизируется и автоматизируется, поэтому его успешно можно применять как при мелкосерийном, так и при серийном производстве для получения моделей с толщиной стенок более 40 мм.

При *внешнем тепловом ударе* пресс-форма устанавливается в камеру, куда подается насыщенный пар со скоростью не менее 1 кг/мин под давлением 0,2…0,35 МПа с температурой 110…120 °С. Пар поступает через венты в пресс-форму, которую предварительно заполняют гранулами вспененного полистирола. Существует несколько вариантов применения данного способа для изготовления моделей, один из которых представлен на рис. 3.3.

Перед заполнением пресс-формы гранулами пенополистирола ее предварительно прогревают паром до 100 °С (рис. 3.3, *а*). После прогрева пресс-форму выдерживают для удаления конденсата. Затем пресс-форма смыкается, и происходит ее заполнение гранулами через эжекторные устройства, количество которых зависит от размеров модели. Потом поочередно в основные полости камер пресс-формы подают пар под давлением 0,1 МПа (рис. 3.3, *б*) в течение 10 с, в результате чего происходит предварительное спекание модели. Затем пар подают в обе камеры пресс-формы, наступает автоклавный режим ее работы, который продолжается не более 10 с при давлении пара 0,35 МПа, и происходит окончательное спекание модели (рис. 3.3, *в*). В этот период стенки пресс-

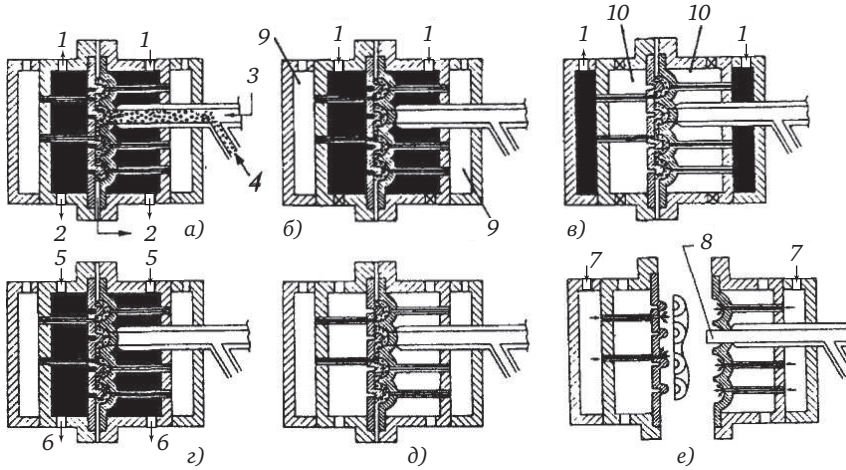


Рис. 3.3. Последовательность технологических операций при изготовлении моделей внешним тепловым ударом:
а — подогрев пресс-формы; *б* — предварительное спекание модели; *в* — окончательное спекание модели; *г* — охлаждение пресс-формы; *д* — продувка воздухом; *е* — раскрытие пресс-формы; *1* — отверстие для подачи пара; *2* — отверстие для выхода отработанного пара; *3* — эжекторное устройство; *4* — патрубок для подачи гранул; *5* — отверстие для подачи воды; *6* — отверстие для выхода воды; *7* — отверстие для подачи воздуха; *8* — толкатель; *9* — дополнительная камера; *10* — основная камера

формы прогреваются до 110…120 °С. После автоклавного цикла и сброса давления стенки пресс-формы интенсивно охлаждают водовоздушной смесью до температуры 40…50 °С (рис. 3.2, *г*). Затем пресс-форма продувается воздухом для удаления воды (рис. 3.3, *д*), она раскрывается (рис. 3.3, *е*), и модель под действием давления воздуха извлекают из пресс-формы. Время цикла изготовления модели на специализированном оборудовании не превышает 90…120 с.

3.4. Конструкции пресс-форм для изготовления моделей

Для изготовления пресс-форм применяют различные конструкционные материалы, которые должны иметь хорошую теплопроводность, высокую коррозионную стойкость в атмосфере пара

и в воде, достаточную механическую прочность, минимальную адгезию к пенополистиролу и хорошо обрабатываться режущим инструментом.

При изготовлении моделей методом высокочастотного нагрева применяют пресс-формы из материалов-диэлектриков с низким значением тангенса угла диэлектрических потерь (пластики на основе полипропилена, стеклопластики на основе эпоксидных или полиэфирных смол).

При изготовлении моделей ванным способом, тепловым ударом и в автоклаве пресс-формы изготавливают из алюминиевых сплавов марок АМг5, АМг2, АМг6, Д16 и др. Крепежную часть пресс-форм и запирающие устройства выполняют из коррозионно-стойкой стали марки 30Х12Н9Т, соединительные втулки изготавливают из бронзы или из коррозионно-стойкой стали, венты — из алюминиевых сплавов, идентичных сплавам основных частей пресс-формы. Элементы модельной оснастки, выполняющие углубления, отверстия и другие поднутрения, должны, по возможности, выполняться полыми с толщиной стенок на 30…50% меньше, чем толщина наружных стенок пресс-формы. Для простых по конфигурации моделей толщина стенок основных частей пресс-формы зависит от толщины стенок модели:

толщина стенки модели, мм	до 6	6…20	20…40
толщина стенки пресс-формы, мм	5…6	6…8	8…12

Уклоны в пресс-форме при высоте модели до 20 мм не выполняются, при большей высоте стенок их делают в пределах 0,5°. Венты устанавливают в стенках пресс-формы с прорезями шириной 0,1…0,3 мм, направление которых должно совпадать с направлением извлечения модели из пресс-формы. При установке вент шаг между ними равен удвоенному диаметру венты. Вместо вент можно использовать перфорацию стенок пресс-формы отверстиями диаметром 0,5…1 мм с шагом 10…15 мм по всей рабочей поверхности пресс-формы. Общая площадь отверстий в вентах должна быть не менее 2% от рабочей площади поверхности пресс-формы. Диаметр эжекторного отверстия в пресс-форме зависит от размера вспененных гранул — от 6 до 12 мм, но не больше толщины стенки модели. Сверху эжекторного отверстия делается внутренняя фаска глубиной 5 мм под углом 45° для обеспечения

плотного прилегания головки эжекторного устройства. Диаметры сборочных штырей, втулок, крепежа, стопорного устройства эжекторного отверстия должны быть нормализованы. Для определения конструкции крепежных элементов модельной оснастки используют РТМ 10-60 «Пресс-формы для литья по выплавляемым моделям» или МН 4300-82 — МН 4342-82. Шероховатость рабочей поверхности пресс-формы должна быть в пределах 9…11-го классов по ГОСТ 2789—73. Размерная точность рабочей полости пресс-формы — не ниже 4…5-го классов по ГОСТ 26645—85. Рабочие размеры полости пресс-формы назначают с учетом усадки металла отливки и материала модели. Усадку модели следует учитывать при изготовлении отливок повышенной точности. Усадка отливок из серого чугуна зависит от материала литейной формы и для формы из уплотненного сухого кварцевого песка составляет 1…1,2%, из металлической дроби — 1,25…1,4%. Для отливок из углеродистой стали при литье в формы из сухого песка линейная усадка металла 2…2,3%.

Стенки пресс-формы необходимо проверять на прочность. Конструкция пресс-формы должна быть жесткой, так как при задуве гранул в пресс-форму давление достигает 0,3…0,4 МПа. Кроме того, при спекании модели стенки пресс-формы испытывают давление со стороны пенополистирола.

Давление в пресс-форме p (кгс/см^2) определяют по формуле:

$$p = p_а + p_в + p_д E - 1{,}03,$$

где $p_а$ — давление насыщенного пара при конечной температуре формирования модели (изменяется для температур 100…130 °С от 0,103 до 0,275 МПа); $p_в$ — давление воздуха при конечной температуре спекания модели (изменяется для температур 100…130 °С от 0,128 до 0,139 МПа); V — объем газов в модели, равный процентному содержанию пустот в ней (зависит от плотности модели); $p_д$ — давление оставшегося в гранулах порообразователя (0,0069 до 0,0376 МПа); E — поправочный коэффициент, зависящий от объемной плотности модели (для модели плотностью 16 кг/м^3 E = 1,01, плотностью 32 кг/м^3 E = 1,03).

Пресс-формы для внешнего теплового удара применяют для машинного изготовления моделей, поэтому в отличие от других типов пресс-форм они имеют закрытую камеру коробчатой фор-

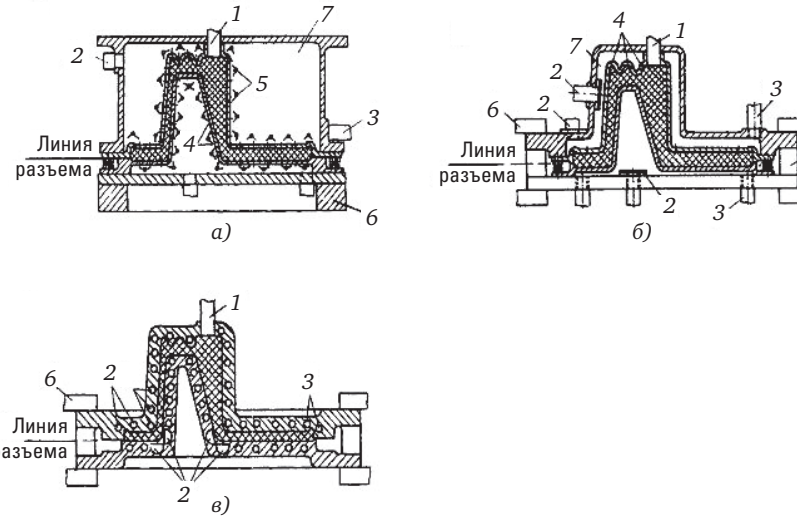


Рис. 3.4. **Разновидности конструкций пресс-форм для машинного изготовления моделей внешним тепловым ударом:**
а — коробчатая; *б* — контурная; *в* — с трубчатыми каналами в стенках: *1* — загрузка гранул; *2* — отверстие для ввода пара, воды и воздуха; *3* — отверстие для вывода отработанного пара, воды и воздуха; *4* — венты; 5 — водяные форсунки; *6* — плита машины; *7* — камера

мы, к которой герметично присоединяется модельная плита. В камеру по заданному режиму подают последовательно пар, воду и воздух.

По своей конструкции паровая камера бывает коробчатой (рис. 3.4, *а*) и контурной формы (рис. 3.4, *б*). Более сложная конструкция пресс-формы с трубчатыми каналами в ее стенках, по которым подается пар в полость пресс-формы при изготовлении модели, представлена на рис. 3.4, *в*.

При машинном изготовлении моделей паровая камера является принадлежностью машины, а модельная плита является съемной и крепится к камере болтовым соединением. На модельной плите располагаются одна или несколько вставок, формирующих модель или ее отдельные части. Модельную плиту делают из коррозионно-стойкой стали с гнездами под модельные вставки, которые изготавливают из термостойкой пластмассы с гальваническим покрытием медью или никелем или из алюминиевых сплавов. Важным элементом пресс-формы является перфорация

модельной вставки, которая должна обеспечить направленный поток воздуха при заполнении полости пресс-формы гранулами и нормальную подачу пара при изготовлении модели.

При использовании вакуума для улучшения процесса заполнения полости пресс-формы гранулами и обработки их паром модельные плиты смыкаются плотно, герметизируя полость пресс-формы. При отсутствии вакуума для улучшения заполнения полости гранулами между плитами при их запирании сохраняется небольшой зазор (0,25 мм), который после заполнения полости гранулами ликвидируется за счет плотного смыкания модельных плит. Конструктивные элементы модельных вставок выполняют в соответствии с требованиями, которые предъявляются к модельной оснастке для автоклавного способа.

Влияние конструкции пресс-форм на параметры формирования моделей представлено в табл. 3.3.

3.3. Параметры формирования отливки в зависимости от конструкции пресс-форм

Характеристика	Значение характеристик для камер		
	Ящичного типа	Контурного типа	В виде трубчатых каналов
Продолжительность вспенивания, с	150	90	42
Расход пара, %	100	50	27
Расход воды, л	45	10	3

3.5. Способы сборки моделей в модельные блоки

В единичном и мелкосерийном производствах отливок модели изготавливают из пенополистироловых плит и блоков (пенопласта ПСБ-Л) механической обработкой на деревообрабатывающих станках или на специальных установках с помощью нагретой нихромовой проволоки. При использовании механической обработки заготовки для изготовления модели вырезают из пенополистироловой плиты на станках ленточными пилами с шириной полотна 12…35 мм и с профилем зубьев в виде прямоугольника с углом заострения 60…65° или дисковыми пилами, имеющими

зубья в виде равнобедренного или равностороннего треугольника с углом заострения 50…60°. Развал зубьев на сторону составляет 0,1…0,15 мм. Рекомендуемые режимы резания плит представлены в табл. 3.4.

3.4. Режимы резания заготовок из плит пенополистирола

Станок	Скорость резания, м/с	Подача, м/мин
Ленточнопильный	20…30	1,0…1,5
Круглопильный	30…80	3,0…4,0

На фрезерных станках заготовки из пенополистирола обрабатывают фрезами с углом заострения кромки зуба 25…30° или абразивными кругами.

Для обработки тел вращения из пенополистирола применяют токарные станки. Для черновой обработки можно применять обычные токарные резцы по дереву, а для чистовой — деревянные резцы, обклеенные наждачной шкуркой на тканевой основе с зернистостью 40…80 ед., при следующих режимах резания: скорость 15…30 м/с, подача 1 м/мин, глубина резания до 2 мм.

Пенополистирол хорошо обрабатывается на специальных установках, на которых в качестве режущего инструмента применяется нагретая до 450…500 °С проволока из нихрома диаметром 0,5…0,8 мм. По проволоке пропускают ток силой 3…5 А, значение которого регулируют с помощью трансформатора. Напряжение тока составляет 12…14 В. Скорость подачи пенополистирола должна находиться в пределах 4…6 см/с.

Для получения газифицируемых моделей используют пенопласт с кажущейся плотностью 10…25 кг/м^3.

Для сборки моделей из отдельных элементов используют два способа: склеивание или сварку.

Наиболее распространенный способ сборки моделей состоит из соединения ее частей с помощью клея, который не должен растворять пенополистирол, должен обеспечить прочное соединение, сравнительно быстро затвердевать и не оставлять коксового остатка после термодеструкции пенополистирола.

Клеи для пенополистироловых моделей применяют двух видов: жидкие при нормальной температуре и твердые, которые

предварительно расплавляются при температурах 110…140 °С и быстро затвердевают при охлаждении. Термоплавкие клеи — это твердые термопластики, расплавляемые при применении и твердеющие при охлаждении. Изготавливаемые на основе полимеров, они содержат крепители, модификаторы и стабилизаторы. В качестве полимерной основы обычно применяют полипропилен, полиэтилен, синтетический каучук и этиленвинилацетат. Крепителями являются низкомолекулярные смолы, добавляемые для улучшения адгезионных свойств клея. В качестве модификаторов используют воск и масла, которые регулируют вязкость и теплостойкость клея. Неорганические наполнители в этих клеях не используют. Для сохранения свойств клея применяют стабилизаторы и антиоксиданты. В качестве твердого расплавляемого клея можно рекомендовать клей марки ГИПК 25-28.

Жидкие быстросохнущие клеи применяют чаще всего при ручной сборке моделей, расплавленные клеи — при машинной, а также при ручной для соединения частей модели с небольшой плоскостью разъема.

Для ручной сборки моделей рекомендуется применять клеи, растворителем в которых является бензин или спирт, например БФ-2, ВИАМ-3, № 61. Технология соединения частей моделей с помощью клея включает в себя следующие операции: подготовку поверхностей соединяемых частей моделей; нанесение тонкого слоя клея на подготовленные поверхности; выдержку на воздухе смазанной поверхности для удаления растворителя; соединение частей модели при незначительном их сжатии. Следует учитывать при работе с клеем влажность и температуру воздуха в помещении, которые должны соответствовать нормальным условиям.

При машинной сборке модели устанавливают в кондуктор, затем на соединительную поверхность, валиком или копиром наносят расплавленный клей, и половинки моделей быстро соединяются при некотором внешнем давлении. После кратковременной выдержки готовую модель извлекают из кондуктора.

Все более широкое применение находит технология сборки моделей с помощью сварки, при которой используется способность самого полистирола в расплавленном состоянии обладать хоро-

шей клеящей способностью и образовывать прочное соединение. Существуют два способа соединения моделей из пенополистирола с помощью сварки: контактный и бесконтактный нагрев соединяемых поверхностей.

При контактной сварке места соединения двух частей модели оплавляют разогретой проволокой или ножом и соединяют при небольшом давлении. После выдержки в течение 1…2 с соединение приобретает прочность, сравнимую с прочностью самой модели. Такой способ сварки применяют при соединении поверхностей небольшой протяженности, например, при соединении модели с литниковой системой.

При бесконтактной сварке соединяемые части модели укладывают в верхний и нижний кондукторы, между которыми вводится медный контур, воспроизводящий форму соединяемых поверхностей модели и разогретый до температуры 300…350 °С. После оплавления стыка моделей контур быстро удаляется из разъема, и модели соединяются между собой под небольшим давлением. Модель выдерживают в течение 1…3 с, затем извлекают из кондуктора.

При соединении частей моделей по замкнутому контуру применяют сборку без клея, основанную на использовании упругих свойств пенополистирола. При этом способе размеры сопрягаемых частей модели назначают с небольшим допуском для получения соединения с натягом. Достаточная прочность соединения частей модели достигается при допуске 1,5…1 мм на размер 100 мм соединительного элемента, при этом соединяемые поверхности выполняют с уклоном 1…1,5°.

3.6. Противопригарные краски и покрытия, способы их нанесения на модель и модельные блоки

Противопригарное покрытие должно повышать жесткость модели, увеличивать ее прочность, уменьшать возможность деформации стенок модели и элементов литниковой системы при формовке. Газопроницаемость покрытия должна устанавливаться на основании равновесия скорости образования парогазовой фазы при термодеструкции модели и скорости ее удаления из зоны взаимодействия модели с металлом.

Для мелкого стального и чугунного литья хорошо зарекомендовали себя быстросохнущие покрытия на основе раствора поливинилбутираля в спирте (табл. 3.5).

Составы быстросохнущих противопригарных покрытий на основе смолы М101 приведены в табл. 3.6.

3.5. Состав быстросохнущих красок на основе поливинилбутираля, % масс.

Огнеупорный наполнитель				Поливинилбутираль	Гидролизный спирт	Плотность краски, г/см^3	Вид литья
Циркон	Черный графит	Кристаллический графит	Маршалит				
—	35	10	—	2,5	52,5	1,1…1,25	Чугун
60	—	—	—	2,5	37,5	1,7…1,85	Сталь
—	—	—	50	2,5	47,5	1,25…1,4	Сталь

3.6. Состав и свойства быстросохнущих покрытий на основе смолы М101

Состав краски	Массовая доля, %	Плотность, г/см^3	Вязкость по ВЗ-4, 10^{-4} м^2/с	Время сушки, ч	Металл отливок
Цирконовый концентрат	67	1,6…1,65	98	15…20	Сталь
Смола М101	2,0				
Клей 45-08	10				
Бензин «калоша»	21				
Графит кристаллический	10	1,1…1,2	58	20	Чугун
Графит аморфный	33				
Смола М101	5				
Клей 45-08	10				
Бензин «калоша»	42				
Тальк	46	1,1…1,14	56	20…25	Цветное литье
Смола М101	6				
Клей 45-08	5				
Бензин «калоша»	43				

Для чугунных отливок (а.с. №346012) предлагается покрытие с высокой газопроницаемостью, когезионной и адгезионной прочностью на основе органических термостойких смол следующего состава, % масс.:

фенолформальдегидная смола . . . . . 9...10
борная кислота . . . . . 0,06...0,08
поливинилбутираль . . . . . 2...3
вспученный фильтровальный перлит . . . . . 7...9
этиловый спирт гидролизный . . . . . остальное

Для стальных отливок вместо вспученного перлита применяют термообработанный маршалит.

Повышенной газопроницаемостью и прочностью обладают водные противопригарные покрытия, состав которых приведен в табл. 3.7.

В качестве огнеупорного наполнителя для стальных отливок используют: маршалит, дистен-силлиманит, цирконовый концентрат; для чугунных отливок — дистен-силлиманит, графит (скрытокристаллический 80% и кристаллический 20%), перлит вспученный; для цветного литья — перлит вспученный, тальк, графит кристаллический. Газопроницаемость покрытия увеличивается с увеличением зернистости огнеупорного наполнителя в краске.

3.7. Состав водных противопригарных покрытий

Компонент	Объемная доля, %	
	Для нанесения кистью	Для пульверизатора
Водный раствор натрийкарбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) массовой концентрации 30...35 г/см^3	38	55
Смола СФЖ-309	8	12
Спирт гидролизный	4	6
Огнеупорный наполнитель	50	25

Для неответственных мелких отливок можно применять водные покрытия на основе паст ГП-1, ГП-2 для чугунных отливок; ТП-1, ТП-2 — для отливок из цветных сплавов.

Выбор способа нанесения покрытия определяется конструктивными параметрами модели, ее габаритами, жесткостью, прочностью и серийностью производства. Мелкие модели, собранные в блоки, и отдельные модели, обладающие достаточной жесткостью, красят окунанием. Модель необходимо погружать в краску медленно, строго вертикально, с опорой на всю верхнюю плоскость или применять специальные приспособления-кондукторы.

Метод полива применяют для моделей или модельных блоков, имеющих недостаточную жесткость и прочность, при серийном производстве. Крупные модели красят из пульверизатора или кистью вручную.

Сушка противопригарного покрытия является заключительной операцией перед формовкой модели или модельного блока. Применяют три способа сушки противопригарного покрытия: естественную, принудительную тепловую и комбинированную. При естественной сушке модель после покраски помещают под вытяжной зонт, где и выдерживают до удаления растворителя. Процесс сушки ускоряется, если создается воздушный поток теплого сухого воздуха. Естественную сушку применяют главным образом при нанесении на модель быстросохнущих покрытий на спиртовом или бензиновом растворителе. Время сушки зависит от плотности краски, толщины ее слоя и составляет для одноразового покрытия 2…2,5 ч. Необходимо также учитывать, что на продолжительность процесса сушки существенное влияние оказывают влажность и температура воздуха в помещении.

Тепловую сушку применяют для водных покрытий. Она проводится в тупиковых или проходных сушилах в потоке горячего воздуха при температуре 55…60 °С. Время сушки составляет 1…10 ч и зависит от толщины слоя покрытия и его состава. Комбинированные способы сушки применяют в серийном производстве отливок в целях сокращения времени удаления влаги при применении водных противопригарных покрытий. При данном способе окрашенная модель первоначально подвергается сушке в воздушном потоке при температуре 50…60 °С в течение 30…90 мин, при этом удаляется 60…80% влаги. На втором этапе модель помещают в микроволновую печь на 6…15 мин для удаления оставшейся воды.

3.7. Способы изготовления форм и применяемые формовочные материалы

Для формовки газифицируемых моделей в условиях единичного и мелкосерийного производств применяют практически все смеси, употребляемые в практике литейного производства, кроме

смесей на термореактивных связующих, для твердения которых требуется нагрев формы.

Общими требованиями к формовочным смесям для изготовления форм с газифицируемыми моделями наряду с общепринятыми являются высокая газопроницаемость (не менее 180…200 ед.), а также высокая пластичность. Наиболее предпочтительными являются жидкие самотвердеющие смеси (ЖСС), формовка в которые позволяет уменьшить деформацию модели на этой операции, избежать повреждения модели при уплотнении, а также увеличить газопроницаемость и прочность форм. Применение ЖСС позволяет также легко механизировать процесс формовки.

Хорошие результаты получены при формовке газифицируемых моделей в жидкостекольные и другие химически твердеющие смеси (ХТС), требующие уплотнения. Обычно при использовании таких смесей облицовочный слой формы наносят и подуплотняют вручную, а наполнительную смесь уплотняют пневматической трамбовкой. Для изготовления форм с газифицируемыми моделями нашли применение ХТС на фурановых смолах. Применение этих формовочных смесей позволяет получить отливки из чугуна с хорошей чистотой поверхности. Для изготовления крупных форм с газифицируемыми моделями успешно используют песчано-цементные смеси. При изготовлении отливок небольшой массы (до 20…30 кг) из алюминиевых сплавов в качестве формовочных смесей можно использовать сухой кварцевый песок без связующих.

В качестве формовочных смесей для магнитных форм находят применение сыпучие дисперсные магнитные материалы, в больших количествах выпускаемые для очистки отливок и для порошковой металлургии: дробь стальная колотая и литая (ДСК и ДСЛ) и чугунная (ДЧК и ДЧЛ). Наибольшее применение нашли стальная и чугунная дробь с размером частиц 0,5…0,8 мм (марок ДСК05, ДСК08, ДЧК05, ДЧК08). Все эти материалы магнитомягкие, поэтому при снятии магнитного поля их остаточная намагниченность практически становится равной нулю, а сыпучие свойства полностью восстанавливаются.

При многократном использовании одной и той же дроби в качестве формовочного материала ее структурно-механические, электромагнитные и теплофизические свойства незначительно

изменяются. Эти изменения происходят в результате появления в дроби продуктов разложения модели, керамических частиц, например, от краски модели, а также изменения химического состава дроби и т.д.

Техника изготовления форм с газифицируемыми моделями в словиях единичного и мелкосерийного производств весьма разнообразна. Наиболее часто применяют следующие приемы формовки:

- по «чистой» неразъемной модели без стержней;
- по «чистой» модели с применением стержней для отливок ответственного назначения с полостями, трудно заполняемыми формовочной смесью;
- по разъемной модели;
- по разъемной модели с применением шаблонов;
- по пенополистироловым моделям с применением фасонных деревянных или пенопластовых модельных плит;
- с применением отъемных частей из пенопластов в сочетании с деревянным остовом модели.

Формовку неразъемных газифицируемых моделей осуществляют в зависимости от конструкции отливки, ее габаритов и условий производства в опоках или в кессонах.

Важным условием получения качественной отливки является хорошая вентиляция формы, обеспечивающая свободный выход газа при термодеструкции модели в процессе заливки. Однако вентиляционная система формы должна не только обеспечивать свободный выход газообразных продуктов термодеструкции, но и фильтровать их от твердых продуктов термодеструкции (сажи), выделение которых при заливке формы металлом недопустимо, так как это приводит к значительному ухудшению экологической обстановки в цехе и за его пределами. Поэтому необходимы, несмотря на хорошую газопроницаемость облицовочной смеси, наколы диаметром 6…10 мм с шагом 50…100 мм, которые не должны доходить до модели на 30…50 мм. В наполнительном слое формы выполняют вентиляционные каналы диаметром 10…20 мм с шагом 100…80 мм, которые затем заполняют кварцевым песком. При получении крупных отливок следует располагать за облицовочным слоем специальные колодцы сечением 200×200 мм и более, которые заполняются гарью, керамзитом и сверху засы-

паются кварцевым песком. Выпоры и прибыли применяют только закрытыми. Полые выпоры перекрывают газопроницаемыми пробками из стержневой смеси.

Основными элементами формовки неразъемной модели в песчано-глинистую смесь являются: отъемная часть, грузы, модель прибыли, модель отливки.

Формовку по неразъемной модели с отъемной частью в песчано-глинистую смесь начинают с изготовления нижней части формы, одновременно устанавливают литниковую систему из керамических трубок, а также прокладывают вентиляционные каналы (из пенополистироловых элементов). Нижнюю полуформу можно формовать как на подмодельной плите, так и на формовочном плацу. Во втором случае в опоку первоначально засыпают наполнительную смесь, уплотняют пневматическими трамбовками, затем устанавливают элементы литниковой системы из керамических трубок, и после выполнения вентиляционных наколов в наполнительной смеси остальная часть нижней опоки заполняется облицовочной смесью, которую после уплотнения выравнивают линейкой заподлицо с опокой. Затем в форму устанавливают модель. Для предотвращения смещения модели при последующих операциях формовки на нее помещают грузы, которые укладывают на прокладки (чаще всего деревянные) во избежание повреждения модели. После этого модель обкладывают формовочной смесью, заполняют поднутрения и уплотняют смесь ручной трамбовкой. При использовании жидкостекольной смеси в уплотненной части формы делают наколы и проводят сушку углекислым газом. При формовке, по мере необходимости, устанавливают модели элементов литниковой системы, прибылей, снимают грузы и уплотняют смесь в остальной части опоки, в форме делают вентиляционные наколы, затем устанавливают литниковую чашу, скрепляют форму или укладывают на нее груз.

Технология формовки по газифицируемой неразъемной модели в трех опоках на Горьковсковском автозаводе заключается в следующем. На подмодельную плиту устанавливают опоку, газифицируемую модель, керамический стояк и отводы под выпора. Модель и отводы облицовывают вручную самотвердеющей смесью толщиной 40…70 мм. Одновременно присоединяют литниковую систему к модели, которую облицовывают самотвердеющей

смесью. Во избежание размыва смеси напротив стояка укладывают керамическую плитку. Оставшийся объем опоки заформовывается наполнительной песчано-глинистой смесью. На опоку устанавливают опоку с крестовинами, которая заформовывается смесью. Опоки совместно с подмодельной плитой поворачивают на 180°, устанавливают на плац, подмодельная плита снимается и устанавливается верхняя опока с крестовиной. Карманы и полости в верхней части модели заполняются самотвердеющей смесью, которая уплотняется ручными трамбовками. Затем устанавливают выпора, деревянную модель стояка, и опока заполняется наполнительной формовочной смесью, которая уплотняется над моделью ручными трамбовками. При готовности верхней полуформы в ней делают вентиляционные наколы и извлекают модель стояка, затем устанавливают литниковую чашу и заливают форму металлом.

При формовке по разъемной газифицируемой модели в двух опоках модель помещают на подмодель-плиту, на которую устанавливают нижнюю опоку. Затем в опоку порциями подается песчано-глинистая смесь, послойно уплотняемая ручными трамбовками, пятка которых облицована резиной. После изготовления нижней полуформы в ней делают наколы диаметром 6…8 мм с шагом 50…80 мм. Затем нижнюю полуформу с моделью снимают с подмодельной плиты, переворачивают на 180°, снова устанавливают на подмодельную плиту и на нее ставят верхнюю опоку и вторую часть модели, в данном случае прибыль, после чего проводится формовка верхней полуформы. Стояк литниковой системы выполняют из керамических трубок или по деревянной модели. По готовности в верхней прлуформе делают наколы диаметром 6…8 мм с шагом 40…50 мм, которые затем засыпают песком. Сверху устанавливают керамическую воронку или чашу из формовочной смеси. Форму пригружают грузом и заливают металлом. Как следует из технологии формовки, при наличии разъема модели форма практически не имеет разъема, а отливка получается без уклонов, стержней и заливов. При производстве отливок более 500 кг из железоуглеродистых сплавов при формовке применяют облицовочные смеси.

Формовку с фасонной модельной плитой применяют при изготовлении по газифицируемым моделям тонкостенных отливок

сложной конфигурации, так как формовка «чистой» модели может привести к ее деформации при уплотнении смеси, а расчленение ее на отдельные части в значительной мере затрудняет их сборку и может привести к браку по геометрии.

Для устранения перечисленных трудностей вместе с моделью изготовляют модельную плиту из пенополистирола или дерева, которая повторяет поверхность модели, обращенную к плите. Модельная плита в этом случае служит опорой для модели и не позволяет ей деформироваться в процессе формовки.

Технология формовки с фасонной модельной плитой состоит в следующем. Изготовление формы начинается с установки на модельную плиту модели и, если это необходимо, элементов, оформляющих литниковую систему. После заполнения опоки смесь уплотняют вибрацией. Кантовка нижней полуформы в этом случае проводится только после полного твердения в ней формовочной смеси. После кантовки модельную плиту извлекают из нижней полуформы, а на модель устанавливают отъемную часть, модели прибылей, элементы литниковой системы, и затем верхнюю опоку заполняют формовочной смесью, уплотняют и в ней накалывают вентиляционные каналы.

Особенностью изготовления форм, имеющих болваны, с применением газифицируемых моделей является необходимость усиленной вентиляции болванов, особенно тех, которые располагаются в нижней полуформе.

Перед установкой модели на плиту в модели накалывают газоотводящие вертикальные каналы. Такие же каналы накалывают в модели прибыли. В основании модели прибыли должно быть сделано углубление, которое соединяет вентиляционные каналы в модели с вентиляционными каналами в модели прибыли. При изготовлении болванов в формовочную смесь закладывают фитили из капронового шнура, минеральных волокон, например асбеста, которые выводят наружу. Смесь в болванах должна обладать повышенной газопроницаемостью, количество наколов в этом месте должно быть больше, чем в остальных частях формы.

Во время заливки такой формы газы, образующиеся в результате разложения газифицируемой модели, выходят из болванов в атмосферу несколькими путями: через вентиляционные каналы в болване, через формовочную смесь в болване, через вентиляци-

онные каналы в модели отливки и в модели прибыли и вентиляционные каналы в форме.

Формовку разъемной модели с применением протяжного шаблона применяют при необходимости, например, получить отливку по газифицируемым моделям коробчатой формы с верхней стенкой, имеющей цилиндрическую поверхность. Модель изготовляют разъемной, а часть модели, оформляющей цилиндрическую стенку, — отъемной. После изготовления постели на нее устанавливают нижнюю часть модели и заполняют формовочной смесью при одновременном уплотнении формы примерно до уровня отъемной части. Затем устанавливают на модель направляющие для шаблонов, укрепляют их и продолжают формовку, снимая излишек формовочной смеси с помощью шаблона, перемещаемого вдоль по направляющим. Получив таким образом требуемую поверхность, снимают направляющие и устанавливают отъемную часть, после чего завершают формовку.

Формовку комбинированной модели применяют при мелкосерийном производстве отливок, имеющих сложную конфигурацию, толстые стенки и большую массу. Применение комбинированных моделей позволяет уменьшить количество выделяющихся при заливке паров и газов, загрязняющих атмосферу и отрицательно влияющих на качество отливок. Технология формовки с применением комбинированной модели отливки, имеющей винтообразное ребро по наружной поверхности, начинается с размещения на модельной плите деревянного остова модели и отъемных частей, оформляющих винтообразное ребро. После уплотнения смеси полуформу вместе с модельной плитой кантуют, деревянный остов модели извлекают, а отъемная часть, выполняющая винтообразное ребро, остается в форме и при заливке газифицируется металлом.

Пенополистироловые модели элементов литниковых систем крепят к деревянной модели шпильками или фиксаторами. Фиксаторы не должны препятствовать извлечению модели. Для этого в случае этажного подвода металла нижние элементы, оформляющие литники, должны быть соединены вместе и расположены в общем пазу модели, идущем от предпоследнего элемента до верха модели.

С помощью пенополистироловых вставок рекомендуется вы-

полнять питатели и шлаковики. Стояк во избежание выброса металла из него в первый момент заливки под действием паров и газов разлагающегося пенополистирола необходимо выполнять по извлекаемым моделям.

Наиболее перспективным материалом для изготовления форм по газифицированным моделям, независимо от серийности производства, являются сухие пески без связующего. В качестве материала формы при этом способе можно применять не только сухой кварцевый песок, но и хромитовый и цирконовый пески.

Процесс формовки осуществляется следующим образом. На дно опоки-контейнера засыпают постель из сухого песка толщиной 100…150 мм, уплотняют его (обычно вибрацией) и затем в опоку устанавливают предварительно окрашенную противопригарной краской модель с литниковой системой. После этого опоку заполняют песком доверху при одновременной вибрации. Уплотненную таким образом форму накрывают перфорированным металлическим листом с отверстиями для выхода газов, устанавливают литниковую чашу и, если требуется, груз.

При формовке пенополистироловых моделей в сухой песок используют опоки с дном и стенками, имеющими отверстия, окнами, закрытыми мелкими сетками или вентами. Отверстия в стенках в опоках необходимы для отвода из формы выделяющихся при заливке газов.

Опоки (контейнеры) для формовки в сухой песок должны иметь жесткие стенки и дно. Это необходимо для предотвращения возможной деформации формы при заливке. После уплотнения песок, заключенный в объеме контейнера, способен выдерживать значительные нагрузки без заметной деформации. Однако при деформации контейнера или утечке песка нарушается равновесие песка и возможны деформации формы при заливке. Для предотвращения деформации верхнюю часть формы из сухого песка закрывают металлической крышкой с отверстиями для выхода газов. Если расстояние от верха модели до уровня засыпки песка в контейнере достаточно большое, проводят заливку без крышки. Конструкции опок-контейнеров состоят из: глухих стенок, стенок с отверстиями, стенки, постели из ЖСС, дна, модели литника, модели отливки, керамического стояка, чаши, крышки, асбестполотна.

При формовке в сухом кварцевом песке в условиях серийного и массового производств в опоке-контейнере размещают несколько моделей или несколько блоков моделей. Отсутствие разъема формы и извлечения модели позволяет максимально использовать объем опоки-контейнера для размещения моделей. Это повышает металлоемкость формы и снижает расход песка на 1 т годных отливок. При сборке моделей в блоки и формовке используют кондукторы, которые упрощают сборку блока, транспортирование моделей и предотвращают модели от деформации при засыпке песком.

3.8. Литниковые системы

Одним из основных правил заливки формы металлом при ЛГМ является условие создания плоского фронта взаимодействия металла с моделью, способствующего постепенному замещению ее расплавом. Это условие можно выполнить только при сифонном рассредоточенном подводе металла в полость формы. Его необходимо соблюдать при получении отливок в форме из сухого песка, а также при производстве среднего и крупного литья из железоуглеродистых и медных сплавов. При получении мелких и тонкостенных отливок из этих сплавов массой до 1 кг возможно применение любого способа подвода метала.

При изготовлении отливок в формах из сухого песка литниковая система должна обеспечить не только плавное и безударное движение металла, но определенную скорость его подъема в форме. Это достигается применением литниковых систем с незаполненным стояком и расчетным сечением отверстия в чаше. В этом случае стояк должен быть выполнен из керамических трубок. Литниковые ходы выполняют из пенополистирола. Такая литниковая система позволяет обеспечить практически постоянную скорость подъема металла в форме.

Трудность получения крупных (более 520 кг) отливок в формах из сухого песка без связующего заключается в том, что практически сложно спроектировать литниковую систему так, чтобы обеспечить сохранение постоянства зазора между металлом и моделью, т.е. сделать процесс разложения металлом модели при постоянном зазоре стабильным.

Увеличение толщины покрытия для предотвращения обвалов песка увеличивает трудоемкость, а главное, значительно снижает газопроницаемость покрытия.

При сборке литниковой системы и креплении к ней модели в условиях массового производства рационально применять бесклеевую сборку.

Литниковая система, выполненная из пенополистирола, в процессе изготовления формы (нанесение противопригарного покрытия, транспортирование комплектов моделей, установка и вибрация при формовке) испытывает механические нагрузки. Поэтому для элементов литниковой системы следует проводить проверочный расчет прочности. Для простых по конфигурации отливок расчет литниковой системы может быть проведен по средней скорости подъема металла в форме.

Для отливок сложной конфигурации и переменных сечений по высоте необходимо предварительно провести расчет скоростей и соответственно времени заполнения по участкам равного сечения, приняв для участка с наибольшим сечением минимально допустимую скорость подъема металла.

В тех случаях, когда необходима боковая прибыль, наиболее удобны подводяще-питающие системы с заливкой через прибыль. Конструкцию литниковой системы следует выбирать с учетом создания требуемого газового режима. В ряде случаев каналы литниковой системы удается использовать для вывода газов из полости формы.

Все эти разнообразные функции — заполнение формы, питание отливки, удаление газов из литейной полости — при соблюдении условия компактности конструкции наиболее эффективно выполняют подводяще-питающие системы со свободнопадающей струей, которая формируется диафрагмой, установленной в чаше. Скорость заливки регулируется размером отверстия в диафрагме.

При изготовлении отливок из алюминиевых сплавов возможно применение различных вариантов литниковой системы с подводом металла сифоном в разъем сверху или в два и более ярусов, так как при температуре заливки таких сплавов термодеструкция модели идет, в основном, с выделением жидкой фазы, и процесс вытеснения модели металлом проходит в режиме замещения. Из традиционных требований к проектированию литниковой системы необходимо выделить два, которые имеют важное значение при ЛГМ.

3.8. Допустимая скорость подъема металла в полости формы, мм/с

Толщина стенки отливки, мм	Оптимальная		Максимальная	
	Чугун	Сталь	Чугун	Сталь
До 10	40	60	50	75
11…20	25	50	40	70
21…40	20	40	30	55
41…60	15	30	25	50
Более 60	12	25	20	40

При конструировании литниковой системы необходимо обеспечить отсутствие разрежения в ее элементах при заливке формы металлом. Процесс горения полистирола в полости литейной формы нежелателен, так как при этом значительно увеличивается выделение газообразных продуктов и сажистого углерода. Это приводит к появлению газовых раковин в отливках, а при литье стали еще и к увеличению объемного науглероживания металла. При применении стояка из пенополистирола в формах из песка разрежение в стояке приводит к разрушению формы в зоне стояка и образованию песочных раковин в отливке или к полному обвалу формы в этой зоне и браку отливки.

Другим важным фактором является обеспечение оптимальной скорости заливки формы металлом, так как нарушение этого режима приводит к снижению качества отливки, особенно из черных сплавов.

При литье по газифицируемым моделям, кроме оптимальной, существуют максимально допустимые скорости заливки формы металлом, выше которых получение качественной отливки практически невозможно как из черных, так и из цветных сплавов (табл. 3.8).

Различные методики расчета элементов литниковой системы для различных сплавов основаны на создании оптимального режима заливки формы металлом с учетом коррекции его температуры.

Предлагается методика проектирования и расчета литниковой системы с учетом противодавления $p_ф$ в зазоре δ.

Исходя из оптимальной скорости заливки определяется время заливки формы металлом по формуле:

$$\tau_з = H/v_{оп}, \qquad (3.1)$$

где H — высота отливки по положению ее в форме при заливке; $v_{оп}$ — оптимальная скорость подъема металла в форме.

При получении плоских отливок типа плиты и их горизонтальном расположении в форме длина отливки или ширина принимается в зависимости от подвода металла.

В случае простой отливки расчетный напор металла $H_р$ определяют по формуле:

$$H_р = H - \frac{P^2}{2C}, \tag{3.2}$$

где H — высота стояка выше места подвода металла к отливке; C — высота отливки; P — высота отливки выше места подвода металла.

При сифонной заливке формы металлом $H_р$ определяется как

$$\sqrt{H_р} = \frac{\sqrt{H_{max}} + \sqrt{H_{min}}}{2}, \tag{3.3}$$

где H_{max} — максимальная высота гидростатического напора металла, равная высоте стояка и металла в чаше; H_{min} — минимальная высота гидростатического напора металла, которая определяется разностью между максимальным напором металла и высотой отливки.

При сложной конфигурации отливки расчетную высоту гидростатического напора металла следует определять по формуле

$$\sqrt{H_р} = \frac{Q_р}{\int\limits_{H_{min}}^{H_{max}} \frac{Sdh}{\sqrt{h}}}, \tag{3.4}$$

где $Q_р$ — объем отливки; S — поперечное сечение отливки при переменном напоре h; Sdh — элемент объема.

Суммарная площадь узкого сечения литниковой системы определяется по формуле Озана:

$$\sum F_n = \frac{G}{\mu\tau_з 0{,}31\sqrt{H_р - \frac{P_ф}{\gamma_м}}}, \tag{3.5}$$

где μ — коэффициент расхода литниковой системы (μ = 0,4… 0,35); G — масса отливки, кг; $\gamma_м$ — плотность заливаемого в форму металла.

При отсутствии необходимых данных для расчета давления $p_ф$ в зазоре δ расчет суммарной площади узкого сечения литниковой системы можно проводить по методике литья по извлекаемым моделям в песчано-глинистые формы, но с учетом потерь, связанных с термодеструкцией модели, т.е. по следующей методике.

Площадь узкого сечения литниковой системы определяется по формуле (3.5) с учетом коэффициента потерь расхода металла, обусловленных наличием газифицируемой модели в форме:

$$\sum F_n = \frac{G}{\mu\tau_з 0,31\mu_r\sqrt{H_р}}. \qquad (3.6)$$

Время заливки формы металлом определяется по формуле (3.1). Коэффициент потерь расхода μ_r зависит от температуры перегрева металла при его заливке в форму $\theta_з$ и газопроницаемости покрытия $K_п$.

Для железоуглеродистых сплавов коэффициент μ_r определяется по формулам:

при температуре перегрева металла $1,15 > \theta_З > 11,11$

$$\mu_r = 0,8 + 1,3\,\theta_з + (0,031\,\theta_З - 0,03)\,K_п; \qquad (3.7)$$

при температуре перегрева металла $\theta_з > 1,15$

$$\mu_r = 0,72 + 0,007\,K_п. \qquad (3.7а)$$

Для отливок из цветных металлов:

при температуре перегрева металла $1,15 > \theta_З > 11,01$

$$\mu_r = 0,1 + 0,008\,K_п + 1,4\,\theta_З; \qquad (3.8)$$

при температуре перегрева металла $\theta_З > 1,15$

$$\mu_r = 0,54 + 0,008\,K_п. \qquad (3.8а)$$

Температура перегрева $\theta_З$ определяется по формуле

$$\theta_з = \frac{T_з - T_ф}{T_л - T_ф}, \qquad (3.9)$$

где $T_з$, $T_ф$, $T_л$ — температуры заливки, формы и ликвидуса соответственно.

Температуру заливки металла при ЛГМ следует принимать с учетом потерь на термодеструкцию модели по формулам, предложенным О.И. Шинским:

для железоуглеродистых сплавов

$$T_з = T'_з + 10{,}1 \cdot 10^3 \frac{\rho_2}{c_1 \rho_1}; \qquad (3.10)$$

для цветных металлов и сплавов

$$T_з = T'_з + 9{,}2 \cdot 10^3 \frac{\rho_2}{c_1 \rho_1}, \qquad (3.10а)$$

где $T_з$ — рекомендуемая температура заливки в песчано-глинистые формы по извлекаемым моделям; c_1,ρ_1 — соответственно теплоемкость, Дж/(кг·с), и плотность сплава, кг/м^3; ρ_2 — объемная масса модели, кг/м^3.

Также температуру заливки металла можно принимать с учетом потерь на термодеструкцию модели по данным табл. 3.9…3.11.

3.9. Теплота термодеструкции модели из пенополистирола

Сплав	Температура заливки, °С	Разница температур $T_1 - T_2$, °С	Удельная теплота термодеструкции, кДж/кг
Бронза	1100	31	9200
Чугун	1300	35	10 118
Сталь	1550	55	11 131

Примечание. T_1 и T_2 — температуры жидкого металла в начале заливки в форму с извлекаемой моделью и с газифицируемой моделью.

3.10. Рекомендуемые температуры заливки форм при ЛГМ, °С

Толщина стенки, мм	Серый чугун	Среднеуглеродистая сталь
До 5	1400…1500	—
5…10	1375…1465	1595…1635
10…20	1355…1435	1595…1605
20…50	1335…1414	1595…1600
50…100	1265…1375	1575…1585
100...200	1235…1335	1565…1585
Более 200	1215…1315	1555…1585

3.11. Рекомендуемые температуры заливки форм при ЛГМ

Медный сплав	Температура заливки сплавов, °С, для средней толщины стенок отливки, мм		
	10	20	40
БрО3Ц7С5Н1	1120…1170	1100…1150	1100…1120
БрА9МцЛ2	1130…1180	1100…1150	1100…1130
ЛЦ16К4	980…1030	950…1000	950…980

Конструкция литниковой системы зависит от вида сплава, габаритов отливки, ее массы и способа формовки.

При единичном производстве крупных отливок из черных сплавов литниковая система состоит из стояка, литникового хода и питателя. Количество литниковых ходов и питателей зависит от габаритов отливки и ее массы. Как правило, все элементы литниковой системы выполняются из керамики (сифонного припаса), а литниковая чаща делается из формовочной (стержневой) смеси, или применяется керамическая воронка. Литниковая система выполняется только сифоном с подводом металла в самые нижние поверхности отливки.

При серийном производстве отливок литниковая система состоит из питателей, шлакоулавливателя, коллектора, стояка и чаши. В зависимости от массы отливки (отливок) и вида сплава литниковая система выполняется из пенополистирола, включая стояк и чашу, или из керамики и других огнеупорных материалов; или комбинированная, при которой питатели, шлаковик и коллектор выполняются из пенополистирола, а стояк и чаша из керамики или из стержневой смеси.

К конструкции литниковой системы при ЛГМ предъявляются определенные требования, которые обусловлены особенностями данной технологии.

Литниковая система из пенополистирола должна быть достаточно прочной и жесткой, обеспечивающей цельность модельного блока при его покраске, транспортировании, хранении и формовке.

Сборка элементов литниковой системы должна быть простой и надежной, желательно без применения сварки и клея. Предпочтительно секционное исполнение литниковой системы, где каждая секция состоит из коллектора и части стояка, что позволяет проводить быструю сборку модельного блока.

Питатели должны составлять с моделью единое целое и изготавливаться с моделью или ее частью в одной пресс-форме.

Элементы литниковой системы из пенополистирола должны изготавливаться в простой пресс-форме с одним разъемом.

3.9. Заливка форм

При заливке форм металлом при ЛГМ необходимо соблюдать следующие требования:

- температура металла назначается с учетом потерь теплоты на термодеструкцию модели, отклонение от заданной температуры допускается в пределах 10 °С;
- заливка металла должна проводиться с оптимальной скоростью подъема его в полости литейной формы;
- заливку формы металлом через чашу и стояк из пенополистирола следует сначала проводить слабой струей, а затем, по мере выхода газов, продолжать заливку при заполненных стояке и чаше;
- форму с керамическим стояком и чашей необходимо заливать быстро при заполненной металлом чаше;
- при заливке формы из сухого песка не допускаются прерывание струи и незаполненность литниковой чаши;
- заливку металлом следует проводить из чайниковых ковшей, а заливку стали — из стопорных ковшей для предотвращения попадания шлака в форму;
- на автоматических и поточных линиях рационально осуществлять заливку металла с помощью заливочных установок на базе индукционных тигельных и канальных печей, обеспечивающих постоянство температуры и массовый расход металла.

При ЛГМ ухудшается заполняемость формы при ее заливке металлом, что объясняется двумя факторами: частичным снятием теплоты перегрева расплава, которая расходуется на термодеструкцию модели, и противодавлением газообразных продуктов термодеструкции в зазоре δ гидростатическому напору металла. Заполняемость — это комплекс технологических факторов, характеризующих заполнение формы при ее заливке металлом, которую не следует отождествлять с жидкотекучестью.

Заполняемость литейной формы определяется уравнением

$$\frac{Л}{R^2} \le A\sqrt{t + B\frac{H_р}{R}}\sqrt{\frac{2gH_р}{1+\sum\xi_i}}, \qquad (3.11)$$

где Л — жидкотекучесть; R — гидравлический радиус; t — перегрев металла над точкой ликвидуса; A и B — постоянные для данного сплава; $H_р$ — расчетный гидростатический напор; $\sum\xi_i$ — сумма местных сопротивлений истечению металла.

Уравнение (3.11) указывает на связь между жидкотекучестью сплава и характерным размером отливки. Поэтому жидкотекучесть является составной частью технологического комплекса, определяющего заполняемость формы металлом. Термодеструкция пенополистирола в полости литейной формы происходит за счет поглощения тепловой энергии металла, которую можно определить по уравнению

$$T_1 = T_3\left(1 - \frac{1{,}13(1+K_1)b_ф}{c_1\rho_1 R_1}\sqrt{\tau}\right) \qquad (3.12)$$

при $\tau_1 \gg \tau > 0$ и $T_3 > T_1 \gg T_L$, $K_1 = \dfrac{q_5\rho_5 R_1}{1{,}13 b_ф T_3\sqrt{\tau}}$;

$$T_1 = T_L\left(1 - \frac{1{,}13(1+K_2)b_ф}{S_{эф}\rho_1 R_1}\sqrt{\tau}\right) \qquad (3.12а)$$

при $\tau_3 \ge \tau > \tau_1$ и $T_L > T_3$, $K_2 = \dfrac{q_5\rho_5 R_1}{1{,}13 b_ф T_з\sqrt{\tau-\tau_1}}$,

где T_1, $T_з$ и T_L — соответственно температура перегрева, заливки и ликвидуса расплава, K; K_1 и K_2 — коэффициенты эквивалентности, учитывающие потери тепла расплавом на термодеструкцию модели; c_1, ρ_1, $S_{эф}$ — соответственно удельная теплоемкость, плотность и эффективная теплота кристаллизации расплава, Дж/(кг·К), кг/м^3, Дж/кг; $b_ф$ — коэффициент теплоаккумуляции формы, Вт·с^{0,5}/(м^2·К); q_5 — удельная теплота деструкции модели, Дж/кг; ρ_5 — объемная масса модели, кг/м^3; R_1 — приведенная

толщина отливки, м; $\tau_з$, τ_1, τ — соответственно время заливки, время от начала заливки до снятия теплоты перегрева и текущее время заливки формы металлом.

Удельную теплоту термодеструкции модели можно определить, учитывая снижение теплоты перегрева металла, по уравнению

$$Q = V\rho_1 c_1 (T_п - T_к), \tag{3.13}$$

где V — объем отливки, м^3; ρ_1 — плотность металла, кг/м^3; c_1 — теплоемкость металла, Дж/(кг·К); $T_п$ и $T_к$ — температура перегрева и кристаллизации сплава, К.

Если $Q_1 = V\rho_1 c_1 (T_1 - T_к)$ — теплота перегрева металла к концу заливки в обычную форму по извлекаемым моделям, а $Q_2 = V\rho_1 c_1 (T_2 - T_к)$ — то же в форму с газифицируемой моделью при идентичных условиях заливки, то разность $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ будет характеризовать теплоту термодеструкции модели:

$$\Delta Q = V\rho_1 c_1 (T_1 - T_2), \text{ Дж/(кг·К)}. \tag{3.14}$$

В табл. 3.9 представлены изменения температуры металла при его одновременной заливке в форму, в которой находились две полости: одна из них с газифицируемой моделью, а другая полая (после извлечения модели), на основании которых по уравнению (3.14) получены значения тепловых потерь на термодеструкцию модели для различных сплавов.

Как следует из данных табл. 3.9, с повышением температуры заливаемого металла увеличиваются тепловые потери на термодеструкцию модели, что соответствует теории термической диссоциации полимерных материалов. С учетом снятия перегрева металла при ЛГМ в табл. 3.10 приведены рекомендации по температуре заливки форм с газифицируемой моделью чугуном и сталью при плотности пенополистирола 25 кг/м^3.

Скорость подъема металла $\upsilon_м$, м/с, в полости литейной формы определяется уравнением

$$\upsilon_м = \frac{F_п}{F_{от}} \mu \sqrt{2g\left(H_р - \frac{p_ф}{\gamma_м}\right)}, \tag{3.15}$$

где $F_п$, $F_{от}$ — соответственно площадь сечения питателя и отливки в направлении движения металла, м^2; μ — коэффициент расхода;

$H_р$ — расчетный гидростатический напор металла, м; $p_ф$ — газовое давление в зазоре между моделью и металлом, Па; $\gamma_м$ — плотность металла, кг/м^3.

Из (3.15) следует, что чем выше давление $p_ф$, тем ниже скорость подъема металла в полости формы и тем больше времени потребуется на ее заполнение. Увеличение времени заливки формы увеличивает тепловые потери металла на теплообмен с материалом формы и вторичную термодеструкцию продуктов пиролиза модели, что дополнительно влияет на заполняемость формы металлом. Совокупное действие вышеперечисленных факторов может привести к остановке потока металла и незаполняемости формы.

3.10. Газовый режим при заливке формы с газифицируемой моделью

В любой разовой литейной форме можно различить два периода газового режима.

Первый период газового режима литейной формы определяется продолжительностью заливки формы металлом. Газовая фаза в полости формы активно воздействует на зеркало жидкого металла. При этом в зависимости от состава газа могут происходить процессы окисления и восстановления на границе металл—газ, а также растворения и выделения различных газов. Тепловое расширение газов, находящихся в полости формы, и газификация составляющих формовочной смеси определяют газовое давление в полости, которое противодействует гидростатическому напору металла, увеличивая продолжительность заливки. В этот период начинаются и химические реакции на границе металл—форма. Первый период газового режима мало изучен даже при литье в обычные песчаные (полые) формы.

Кинетика газовыделения при деструкции модели. Пенополистирол интенсивно дестругирует в период заполнения формы. Но и после окончания процесса заливки происходит газовыделение и даже его рост. Дальнейший рост газовыделения указывает на то, что летучие продукты деструкции пенополистирола конденсируются на стенках формы и по мере прогрева формы разлагаются, увеличивая ее газотворность. Таким образом, во второй стадии

газового режима необходимо учитывать, кроме газотворности стержня (формы), дополнительную газотворность от разложения продуктов конденсации полистирола.

Эмпирическое уравнение газовыделения

$$Q = aF\tau_з^m, \tag{3.16}$$

где Q — объем выделившихся газов, см^3; a — относительный коэффициент газовыделения (определяет объем выделившихся газов с единицы поверхности модели в единицу времени в результате взаимодействия металла и модели полости формы), $a = 1$ см^3/(см$^2 \cdot$ с); F — площадь поверхности взаимодействия между металлом и моделью, см^2; $\tau_з$ — продолжительность заливки, с.

Между металлом и моделью образуется зазор, где формируется газовая фаза продуктов деструкции полистирола. Величина зазора зависит от температуры металла, объемной массы модели и ее теплофизических констант, гидравлических свойств формы скорости подъема металла в полости.

При взаимодействии модели из пенополистирола с расплавленным металлом она разлагается с образованием первичных фаз: газовой, жидкой и твердой. Жидкая фаза под действием высокой температуры дестругирует с постоянной скоростью, образуя вторичные газовую и твердую фазы. Вторичная газовая фаза состоит в основном из водорода, метана и летучих компонентов разложения пенополистирола в виде стирола и его производных с малой молекулярной массой. Вторичная твердая фаза, как и первичная, состоит из сажистого углерода и коксового остатка. Летучие продукты при температуре материала формы будут конденсироваться в ее порах, образуя вторичную жидкую фазу, которая отличается от первичной своей меньшей молекулярной массой.

Так как скорость разложения пенополистирола на летучие (вторичные и первичные) и твердую фазу вполне определенная, то она может быть больше, меньше или равна расчетной скорости подъема металла в полости формы.

При увеличении расчетной скорости подъема металла скорость разложения пенополистирола начинает отставать от скорости подъема металла, поэтому на зеркале металла скапливается жидкая фаза, но она по-прежнему будет успевать разлагаться в зазоре. В то же время наличие жидкой фазы на зеркале металла рас-

ширяет площадь взаимодействия между моделью и металлом, что увеличивает скорость и количество образования газообразных продуктов разложения.

В зоне контакта модели и металла в полости формы возникает газовое давление, от которого зависит фактическая скорость заливки формы. Эта скорость значительно отличается от скорости, определенной на основании расчета продолжительности заливки полой формы.

Второй период газового режима литейной формы начинает развиваться в первом периоде и особенно интенсивно после окончания заливки формы металлом, когда происходят кристаллизация отливки и ее охлаждение. В этот период развиваются процессы химического взаимодействия между газами и поверхностным слоем кристаллизующейся отливки, которые носят в основном диффузионный характер. Второй период достаточно хорошо изучен для литья в обычные разовые формы.

При ЛГМ второй период представляет опасность из-за образования газовых дефектов в отливках, особенно в толстостенных отливках, так как к концу заливки на границе металл—форма не успевает образоваться корочка металла. Опасность образования газовых дефектов усугубляется еще тем, что к общей газотворности смеси прибавляется газотворность сконденсированных в стенках формы продуктов разложения модели. Мощность газообразования в форме (стержне) пропорциональна прогреву формы (стержня), а так как распределение тепла описывается законом квадратного корня, то мощность газовыделения пропорциональна квадратному корню.

3.11. Выбивка, обрубка и очистка отливок

После затвердевания отливки проводят выбивку ее из формы. Продолжительность охлаждения отливки в форме зависит от химического состава, массы и толщины стенок отливки.

Выбивка отливок в серийном производстве значительно упрощена и сводится к извлечению их из формы во время освобождения опоки от песка. В единичном производстве крупных отливок процесс выбивки формы идентичен процессу при литье в песчано-

глинистые формы по извлекаемым моделям.

Очистку отливок в серийном производстве осуществляют по сокращенному циклу в дробеметных барабанах для удаления с поверхности отливок остатков противопригарного покрытия. Время обработки устанавливают в 2…2,5 раза меньше, чем рекомендуется в техническом паспорте дробеметного оборудования. Зачистке подвергают только остатки от литниковой системы после ее отделения от отливки. Для отделения литниковой системы и прибылей от отливки применяют такое же оборудование, как и при традиционных способах литья.

При производстве крупных разовых отливок возможны поверхностные дефекты, которые образуются в результате недоуплотнения облицовочной смеси вокруг модели, что может увеличить трудоемкость обрубки. Однако общая трудоемкость обрубки и очистки снижается, так как на отливке отсутствуют заливы, которые образуются при литье по извлекаемым моделям по разъему формы и по контуру стержневых знаков.

3.12. Основные виды брака в литье по газифицируемым моделям

Основным этапом формирования отливки при литье по пеномоделям, определяющим качество отливки, следует считать процесс заполнения формы расплавом.

Процесс заполнения необходимо осуществлять сообразно с особенностями механизма разложения модели в зависимости от температуры расплава. Например, при литье высокотемпературных расплавов (сталь, чугун) важно согласовывать процессы газообразования и отвода газов таким образом, чтобы давление газов в зоне газификации материала модели и на границе расплав — модель — форма не превысило гидростатического давления расплава.

Особенность процесса газообразования и газоотвода в этом случае состоит в том, что источник газообразования, расположенный на границе расплав — модель, непрерывно перемещается. Газ, выделившийся в зоне газообразования, под действием давления в этой зоне проникает в поры формы, так как модель практи-

чески негазопроницаема. При непрерывном движении расплава в процессе заполнения формы происходит отсечка газа, попавшего в форму, от зоны газообразования движущимся расплавом.

Поэтому газ, попавший в поры формы, после отсечки расплавом распространяется в них под действием перепада температур в сечениях формы, в соответствии с законами тепло- и массопереноса, начального импульса давления.

По этой причине скорость фильтрации газа весьма быстро падает. Сопоставляя скорость перемещения расплава в полости формы и скорость фильтрации газа в порах формы, можно анализировать условия образования газовых дефектов в отливках.

Если скорость движения расплава в форме меньше средней скорости фильтрации газов в порах формы, выделяющийся из зоны газообразования газ опережает продвижение зоны газообразования. Поэтому газ, выделившийся из зоны газообразования, попадает в поры формы, уже заполненные газом, находящимся под некоторым давлением. Вследствие этого давление газа в зоне газообразования и на границе расплав—модель—форма возрастает, что может привести при определенных соотношениях параметров процесса к образованию раковин в отливке.

Такой ход процесса в определенной мере способствует получению качественной поверхности отливок даже из стали в формах из сухого уплотненного песка — избыточное давление в порах формы препятствует проникновению в них расплава. Кроме того, газообразные продукты разложения модели, конденсируясь на холодных песчинках, могут выполнять роль связующего.

При равенстве скоростей движения расплава и фильтрации газов условия для создания такого противодавления остаются, но величина его, по-видимому, будет несколько меньше. Это должно уменьшить вероятность образования газовых дефектов в отливке.

В момент окончания заливки увеличение зоны газообразования и накопление некоторого количества жидкого полистирола могут привести к образованию засоров в отливке при формовке в сухом песке, а также к образованию газовых дефектов на поверхности и в теле отливки.

В процессе заливки формы происходит изменение зазора между моделью и расплавом из-за неравномерной плотности материала модели и неравномерного ее прогрева, неоднородной плотности

формовочного материала, неравномерной скорости движения расплава, неравномерного накопления жидких остатков модели между моделью и расплавом.

Последние обстоятельства существенно влияют на процесс прогрева и разложения модели, на величину зазора между моделью и расплавом. По мере накопления жидких остатков модели, которые собираются в капли на отдельных участках границы расплав — модель, плоский фронт этой границы искажается и постепенно приобретает форму вогнутого внутрь модели мениска. В дальнейшем усаживающиеся тонкие остатки модели вблизи стенок формы быстро деформируются, и между расплавом и моделью образуется полость значительно большая, чем следует из расчета прогрева модели. Если скорость движения расплава достаточно велика, жидкие остатки модели даже при значительных ее толщинах (до 100×100 мм) устремляются к стенкам формы, и граница расплав—модель остается практически плоской.

При применении в качестве материала формы сухого песка образование полости между моделью и расплавом может привести к появлению засоров в отливке, нарушению ее конфигурации.

Для устранения образования полости между расплавом и моделью необходимо поддерживать соответствующую скорость движения расплава в полости формы. Для этого можно применять этажную литниковую систему, что наиболее целесообразно для крупных отливок, но не исключено и для небольших. Применение такой литниковой системы позволяет заполнить тонкостенные (3…4 мм) фасонные отливки (длиной до 400 мм) из алюминиевых сплавов.

Обычно при литье высокотемпературных сплавов по газифицируемым моделям расплав подводят сифоном, что облегчает удаление газа из формы и способствует ее последовательному заполнению. В этом случае места подвода дополнительных питателей должны намечаться с учетом изменения скоростей движения расплава в полости формы по ее высоте.

Особенностью формирования отливки при литье по пеномоделям является также взаимодействие расплава с продуктами разложения модели в период заполнения формы. В процессе заливки формы при нагреве модели движущимся расплавом часть материала модели в зоне ее разложения и газификации находится в жид-

ком состоянии. Время полной газификации материала модели даже при высоких температурах довольно значительно и, как правило, превышает время заполнения формы расплавом. Поэтому по мере заполнения формы расплавом в зоне разложения модели происходит накопление жидких остатков разлагающегося полистирола, которые могут попадать на зеркало расплава, частично захватываться им или прижиматься к стенке формы и при определенных условиях образовывать дефекты в отливках.

При изготовлении отливок из алюминиевых сплавов и чугуна, имеющих небольшой толщины вертикально расположенные стенки (до 12…15 мм), характерно образование дефектов, по внешнему виду напоминающих неслитины на боковых поверхностях отливки. Если увеличить толщину стенок до 40…50 мм, то стенки отливки свободны от дефектов, но вся верхняя часть отливки имеет следы остатков жидкой части модели, не успевшей полностью газифицироваться.

Такая разница в расположении мест дефектов одного происхождения объясняется тем, что при заполнении тонкой стенки капли разлагающейся полистирольной массы имеют сравнительно неустойчивое положение на выпуклом мениске расплава. Поэтому капли стремятся занять положение устойчивого равновесия и расположиться у стенки формы, где прижимаются движущимся расплавом и продолжают газифицироваться. Однако вследствие небольшой толщины отливки затвердевание ее в месте контакта с прижатой модельной массой происходит быстрее, образуется твердая корочка с отпечатком следов неразложившейся модели.

При большой толщине тела отливки вероятность попадания капли модельной массы между стенкой формы и расплавом меньше, так как площадь плоского зеркала расплава больше. В этом случае капли жидких остатков модели располагаются на поверхности расплава, постепенно сгорая, и в основной массе своей скапливаются в верхней части отливки, образуя дефекты. При этом капли, прижатые к стенке, могут и не образовывать дефектов на боковой поверхности отливки, поскольку масса отливки достаточно велика.

По изложенным причинам не рекомендуется при литье по газифицируемым моделям располагать отливки развитыми поверхностями перпендикулярно направлению движения металла. В месте перехода вертикальной стенки в горизонтальную возможны за-

хват жидких остатков модели расплавом и образование внутренних дефектов — местного науглероживания отливки при литье, например, стали, или неметаллических включений и газовых раковин. Постепенное накопление углеродосодержащих продуктов в процессе заполнения формы приводит к изменению содержания углерода в отливке.

В определенной мере устранить образование указанных дефектов отливки при литье по пеномоделям можно, уменьшая объемную массу материала модели, используя для этого партии полистирола повышенной активности при вспенивании. Такой способ целесообразно применять для небольших моделей при изготовлении их по пеноформам. Для крупных моделей, особенно массивных деталей, когда модель изготовляется из блочного пенополистирола, целесообразно применять перфорацию блоков или изготовлять модели пустотелыми. Возможно также удалять модель из формы предварительным нагревом, растворением и т.д.

Необходимо отметить еще одну особенность формирования отливки при литье по пеномоделям.

Концентрация углерода в поверхностных слоях отливки из стали 40Л и 45Л может достигать 0,7…0,8%, глубина же науглероженного слоя зависит от толщины стенки отливки, и обычно, чем массивнее отливка, тем больше глубина науглероженного слоя: при толщине отливки до 100 мм глубина слоя может достигать 3,5…4 мм.

При разложении модели в процессе взаимодействия ее с жидким металлом при заливке формы продукты разложения (плавления, испарения, сгорания) устремляются в поры литейной формы, где могут претерпевать новые превращения: догорать, конденсироваться на еще холодных поверхностях песчинок и т.д. В результате этого после заливки формы металлом (в рассматриваемом случае сталью) в слоях ее, непосредственно прилегающих к отливке, содержится большое количество углерода в виде сажи, газов, содержащих углерод, недоокисленных, богатых углеродом продуктов сгорания модели.

Классификация дефектов, причины их образования и способы предупреждения при литье по газифицируемым пенополистироловым моделям представлены в табл. 3.12.

3.12. Классификация дефектов при ЛГМ

Дефект и его характеристика	Причина образования	Способ предупреждения
1. **Набор** — волнистая шероховатость на верхней и боковой поверхности чугунной отливки. Поверхность дефекта покрыта пленками блестящего углерода. Обнаруживается визуально. Исправляется зачисткой абразивом и шпатлевкой	Низкая газопроницаемость формы, высокая скорость заливки, большая объемная масса пенополистирола. Неправильный подвод металла и неравномерность подъема его по всему сечению модели	Увеличить газопроницаемость формы, залить со скоростью, оптимальной для данного метода литья. Применить для изготовления моделей пенополистирол с меньшей плотностью. Равномерно распределить подвод к модели. Изменить положение модели в форме, уменьшить величину напряженности газового режима (λ)
2. **Углеродистые раковины** — глубокие раковины и складки, локально расположенные на верхней, реже на боковой поверхности чугунных отливок; обычно эти раковины заполнены сажистым углеродом, под которым находится пленка блестящего углерода. Обнаруживаются визуально. Мелкие раковины заделывают эпоксидной замазкой, глубокие — заваривают	Высокая скорость заливки, большая плотность пенополистирола, низкая газопроницаемость формы, разрежение в элементах литниковой системы. Неправильное положение модели в форме. Недостаточная газопроницаемость противопригарного покрытия	Уменьшить скорость заливки и плотность пенополистирола. Увеличить газопроницаемость формы. Изменить конструкцию стояка и литниковой системы, равномерно подвести металл по всему сечению модели. Расположить модель так, чтобы коэффициент λ был минимальным. Поставить закрытые выпора и перелить металл, повысить газопроницаемость противопригарной краски
3. **Углеродистые плены**, поверхность покрыта пленками блестящего углерода, имеется шероховатость. Дефект характерен для чугунных отливок.Обнаруживается визуально. Исправления не требует	Низкая газопроницаемость формы	Увеличить газопроницаемость формы

Продолжение табл. 3.12

Дефект и его характеристика	Причина образования	Способ предупреждения
4. **Выпот** — наплавы металла на поверхности отливки в виде бугорков и капель как результат обратной ликвации в процессе кристаллизации. Поверхность дефекта покрыта пленками блестящего углерода, имеются скопления сажистого углерода. Дефект располагается на боковой поверхности массивных стенок (>20 мм) чугунных отливок. Обнаруживается визуально. Исправляется зачисткой абразивом	Низкая газопроницаемость формы, неправильный подвод металла по всему сечению модели. Неправильное положение модели в форме. Низкая газопроницаемость противопригарного покрытия. Большая плотность пенополистирола	Увеличить газопроницаемость формы. Заливку проводить с оптимальной скоростью подъема металла. Обеспечить равномерный подъем металла. Расположить модель так, чтобы коэффициент λ был минимальным. Повысить газопроницаемость противопригарной краски. Установить керамические или стеклянные трубки для лучшего удаления газа. Уменьшить плотность пенополистирола
5. **Газовые раковины**, глубокие закрытые или полузакрытые; расположены в верхней части отливки; поверхность раковины покрыта пленками блестящего углерода. Дефект характерен для чугунных и бронзовых отливок. Обнаруживается визуально или при механической обработке. Исправляется наваркой металла, или деталь бракуется	Излишне высокая скорость заливки	Снизить скорость заливки. Поставить выпор закрытого типа
6. **Металлические плены** — дефект на боковых поверхностях чугунных отливок в виде металлических настылей; является результатом выдавливания металла через микротрещины в затвердевающем слое на поверхности отливки. Исправляется зачисткой абразивом	Низкая газопроницаемость формы и противопригарного покрытия. Неравномерный подъем металла по сечению модели	Увеличить газопроницаемость формы и противопригарного слоя. Изменить подвод металла

Продолжение табл. 3.12

Дефект и его характеристика	Причина образования	Способ предупреждения
7. **Расслоение** — крупные плоские пустоты в верхней части алюминиевых отливок. Обнаруживается визуально или при механической обработке. Отливка бракуется	Высокая скорость заливки	Снизить скорость заливки. Установить выпор в верхней части отливки
8. **Спаи и неслитины** — вид дефекта отливок из алюминиевых сплавов, образующегося в результате захвата металлом жидкой фазы дестругирующего модельного материала. Обнаруживается визуально	Низкая скорость заливки и неравномерный подъем металла по сечению модели. Холодный металл	Увеличить скорость и температуру заливки
9. **Газовая пористость** — мелкие раковины, поражающие верх, иногда боковые части отливок, преимущественно стальных	Низкая газопроницаемость формы и противопригарного покрытия. Высокая скорость заливки	Уменьшить скорость заливки. Увеличить газопроницаемость формы и противопригарного покрытия
10. **Обезуглероженный слой** — поверхностное обезуглероживание стальных массивных отливок	Отсутствие карбюризатора в формовочной смеси	Выбить отливку при высоких температурах (~ 700 °С). Ввести карбюризатор в формовочную смесь
11. **Цементация** — науглероживание поверхностного слоя стальной отливки. Устраняется отжигом	Низкая газопроницаемость формы и противопригарного покрытия. Большая плотность модели. Очень медленная или очень быстрая заливка	Увеличить газопроницаемость формы и противопригарного покрытия. Уменьшить плотность полистирола. Залить с оптимальной скоростью
12. **Графитизация** — насыщение углеродом поверхностного слоя стальной отливки, обнаруживается при просмотре шлифа под микроскопом. В центре ферритных зерен имеются скопления графита	Низкая газопроницаемость формы и противопригарного покрытия	Увеличить газопроницаемость формы и противопригарного покрытия

Продолжение табл. 3.12

Дефект и его характеристика	Причина образования	Способ предупреждения
13. **Грубая форма** графита в чугунных отливках. Просматривается на шлифе под микроскопом	Низкая газопроницаемость формы и противопригарного покрытия	Увеличить газопроницаемость формы и противопригарного покрытия
14. **Наросты** — металлические гребешки, отдельные выступы неправильной формы. Обнаруживаются визуально. Исправляются зачисткой абразивом	Слабое уплотнение формы. Тонкий слой противопригарного покрытия	Равномерно уплотнить форму, увеличить толщину противопригарного покрытия
15. **Сетка** — отпечатки на поверхности отливки углублений в месте спая модели из пенополистирола. Обнаруживается визуально	Гранулы плохо сварились между собой при изготовлении модели	Повысить качество поверхности модели. Заделать несварившиеся места воском или другими материалами
16. **Обвал** — неправильной формы полости в теле отливки, заполненные песком, образуются в результате местного разрушения формы. Мелкие дефекты могут быть устранены зачисткой или механической обработкой. Отливка, имеющая глубокие песчаные раковины, бракуется	Очень медленная заливка формы, в результате чего давление недостаточно. Ударное действие струи металла на стенку формы. Слабое уплотнение песчаной формы. Разрежение в питателе. Неправильная вентиляция формы. Недостаточная прочность противопригарного покрытия. Модель разрушается неравномерно в результате действия газов. Газы направлены по границе модель — форма, в результате происходят крупные обвалы стенок формы	Увеличить скорость заливки. Изменить конструкцию литниковой системы. Уплотнить форму. Устранить разрежение в питателе. Улучшить вентиляцию стенок и частей формы, выполняющих внутренние части отливки. Увеличить толщину противопригарного покрытия. Установить местные газоотводные каналы в виде керамических и стеклянных трубок

Окончание табл. 3.12

Дефект и его характеристика	Причина образования	Способ предупреждения
17. **Песчаные раковины** образуются в результате намыва металлом песка со стенок формы, разрежения формы в стояке и других частях литниковой системы. Обнаруживаются визуально (выходящие поверхности) при рентгеновском и ультразвуковом контроле или при механической обработке (скрытые внутри)	Разрежение в элементах литниковой системы. Нарушение целостности слоя противопригарного покрытия. Недостаточная газопроницаемость формы. Слабое уплотнение формы. Неправильная конструкция литниковой системы. Высокая скорость заливки, турбулентность потока металла. Недостаточная толщина огнеупорного покрытия	Изменить конструкцию литниковой системы и устранить разрежение в литниковой системе. Изменить направление движения потока металла. Увеличить толщину противопригарного покрытия и газопроницаемость формы и стенок опоки. Мелкие дефекты могут быть исправлены зачисткой, заваркой, декоративной заделкой с помощью пластмасс, специальных шпаклевок и т.д. Увеличить плотность формы
18. **Искажение формы отливки** — нарушение ее геометрии, обнаруживаемое визуально при разметке с помощью измерительных инструментов и шаблонов	Слабое уплотнение формы. Деформация модели при засыпке и уплотнении песка. Недостаточная загрузка формы	Уплотнить форму. Устранить деформацию модели, например, установкой ребер жесткости. Увеличить массу груза
19. **Подутие** — местные увеличения размеров отливки в результате деформации формы. Обнаруживается визуально либо при контроле измерительным инструментом	Слабое уплотнение формы. Недостаточная загрузка формы	Уплотнить форму и увеличить массу груза
20. **Кип** — локальные рыхлоты на верхней части алюминиевых отливок. Обнаруживается визуально. Исправляется вырубкой и заделкой эпоксидной смолой	Быстрая заливка формы металлом. Повышенная плотность пенополистирола. Низкая газопроницаемость формы. Холодный металл	Снизить скорость заливки. Уменьшить плотность полистирола. Увеличить газопроницаемость формы и повысить температуру металла

3.13. Оборудование для литья по газифицируемым моделям

3.13.1. Оборудование для подготовки пенополистирола и изготовления моделей

Предварительное вспенивание полистирола. В условиях мелкосерийного производства предварительное вспенивание пенополистирола проводится нагревом гранул в кипящей воде, перегретым паром в автоклаве или специальных установках — предвспенивателях (предэкспандерах).

Простейшая установка для подвспенивания полистирола в паре состоит из бака со встроенными ТЭНами, стенки которого защищены теплоизоляционным материалом, и крышки с рамкой, которая имеет возможность перемещения над баком. Рамка посредством рычажного механизма может опускаться в бак до определенного регулируемого упора. На рамку устанавливают сетчатый поддон для полистирола. Подвспениватель работает следующим образом. В бак до определенного уровня заливается вода и доводится до кипения при открытой крышке. Затем рамка с сеткой, на которой равномерным тонким слоем насыпан полистирол, опускается в бак до упора, и крышка закрывается. После определенного времени выдержки над водяной ванной крышка бака открывается, рамка с сеткой рычажным механизмом извлекается из бака и сетка со вспененным полистиролом снимается с рамки. Затем цикл подвспенивания новой порции полистирола повторяется.

Параметры ванны для подвспенивания полистирола:

размер сита в плане, мм ..... 500×600
температура воды в ванне, °С 100
температура пара на уровне 50 мм от воды, °С ..... 97...98
время вспенивания, мин ..... 3...5
производительность, кг/ч, не менее 3
емкость бака, $м^3$ 0,08

В условиях серийного и массового производств применяют подвспениватели периодического и непрерывного действия (предэкспандеры).

Общая характеристика подвспенивателей разных типов представлена в табл. 3.13.

3.13. Параметры подвспенивателей

Фирма и тип подвспенивателя	Производительность, кг/ч	Минимальная насыпная масса, г/л	Объем камеры вспенивания, л	Расход электроэнергии, кВт·ч	Рекомендуемая область применения
Jsocolor COVD/A (ФРГ)	150…200	15	1,2	2,2	Для газифицируемых моделей и прибылей
Erlenbach Hafheim (ФРГ)	60…70	20	0,7	—	При массовом производстве моделей
Ereich Lende (ФРГ)	80	30	0,5	1,0	Для выжигаемых и выплавляемых моделей
«Тойо Кикай Киндзоку» (Япония)	30	25	0,045	1,0	—

Производственная компания Aguarella производит установки предварительного вспенивания гранул полистирола непрерывного действия, оснащенные системой двойного вспенивания гранул (предвспениватели).

В предвспенивателях осуществляется паровой нагрев (вспенивание) гранул пенополистирола до необходимой плотности от 10 до 50 кг/м^3. Процесс вспенивания гранул бывает одностадийный и двустадийный. Основные различия установок предварительного вспенивания:

- наличие/отсутствие встроенного парогенератора;
- исполнение из коррозионно-стойкой или углеродистой стали;
- наличие/отсутствие автоматизации, а также ее степень.

Для обеспечения бесперебойной подачи сырья (гранул пенополистирола ПСВ) в установку предварительного вспенивания разработана система подачи гранул полистирола в предвспениватель.

Состоит система из следующих структурных единиц.

1. Дозатор ПС-01. Устройство плавной подачи сырья в рабочую камеру предвспенивателя. Дискретность регулировки 100 г/мин.

2. Питатель подачи гранул ПС-02. Позволяет подавать гранулы ПСВ в приемный бункер дозатора ПС-01 без привлечения оператора. Дополнительно оснащается датчиками нижнего и верхнего уровней.

Технические характеристики подвспенивателя П-01

Общий объем рабочей камеры, л. 700
Общий объем приемного бункера для входящего сырья, л . . . 60
Установленная мощность, кВт. 2
Производительность, кг/ч . . . . . До 600
Габариты (Д×Ш×В), мм. . . . . 1380×900×2200
Масса, кг, не более 350

Для небольшого объема производства вспененных гранул с точной насыпной массой применяют малогабаритный, мобильный предвспениватель.

Технические характеристики ПСВ — ВПМ-03

Потребляемая мощность, кВт 0,9
Расход пара, кг/м^3 . . . . . 5…6
Количество вспениваний . . . . . .Многократное
Производительность при первичном вспенивании, м^3/ч . . . . 1,5…2
Производительность при вторичном вспенивании, м^3/ч . . . . 2,5…3
Фракция применяемого исходного сырья, мм . . . . . 2…5
Габариты, Д×В×Ш, мм . . . . . 450×450×600
Масса, кг. 40

Установка предварительного вспенивания гранул пенополистирола УПС 500 предназначена для производства полистирола вспененного гранулированного (ПВГ) путем тепловой обработки водяным паром.

Технические характеристики предвспенивателя УПС 500

Производительность, м^3/ч, при плотности ПВГ 22 кг/м^3. . . . .1,8…5,4
Установленная мощность, кВт. 8,75
Масса, кг. 70

Автоматический подвспениватель пенополистирола типа ПВ-2 предназначен для автоматизированного подвспенивания (вспенивания) пенополистирола суспензионного вспенивающегося с дальнейшим использованием в процессе получения пенополистироловых моделей различной номенклатуры и конфигурации, в том числе для технологии литья по газифицируемым моделям.

Технические характеристики подвспенивателя ПВ-2

Габариты, мм ..... 1950×820×1800
Масса, кг ..... .530
Плотность перерабатываемого исходного пенополистирола, кг/м^3 ..... .50...400
Объем загрузки исходного перерабатываемого пенополистирола, м^3/кг 0,9/100
Производительность по подвспененному пенополистиролу, кг/ч 60
Плотность подвспененного пенополистирола, кг/м^3 ..... 10...25
Установленная мощность, кВт. 5
Расход пара на технологические потребности, кг/ч 15
Расход сжатого воздуха на технологические потребности, м^3/мин 1,5
Расход воды на технологические потребности, м^3/ч. 3

Подвспениватели пенополистирола типа РПП-1 предназначены для предварительного суспензионного вспенивания пенополистирола в целях достижения необходимой технологической плотности при использовании в технологии изготовления пенополистироловых моделей автоклавным методом и способом теплового удара, в том числе для технологии литья по газифицируемым моделям.

Технические характеристики подвспенивателя типа РПП-1

Расход воды, м^3/ч ..... 0,1...0,15
Установленная мощность, кВт. ..... 12...23
Объем рабочей камеры, л ..... 100...500
Производительность по подвспененному пенополистиролу, кг/ч ..... .1...30
Расход пара на технологические нужды, кг/ч. ..... 10...30
Габариты, мм:
длина. ..... 1000...1200
ширина ..... 700...1000
высота ..... 800...1 700
Масса, кг ..... 250...500

ООО «Компания Легион» (Украина) выпускает подвспениватель номинальной производительностью 250 кг/ч при разной плотности гранул, оснащенный операционным силосом, датчи-

ками, автоматикой со следующими *техническими характеристиками*:

Номинальная производительность за один цикл, $м^3$ 1
Производительность, кг/ч (плотность гранул 25…35 кг/$м^3$) 200
Производительность, кг/ч (плотность гранул 50 кг/$м^3$) 250
Полезный объем (вместимость) емкости, $м^3$ 1,2
Материал днища и шнека . . . . . Коррозионно-стойкая сталь
Марка получаемого пенопласта по плотности М15, М25, М35, М50
Объемная масса получаемой вспененной крошки, кг/$м^3$ . . . . . 8...40
Рабочее (избыточное) давление пара, МПа, не более . . . . . 0,01...0,03
Частота вращения вала в основании предвспенивателя, $мин^{-1}$ 110
Рабочая температура пара, °С . . . . . 90...105
Габариты, мм . . . . . 3300×1100×1500
Масса, кг 530
Норма обслуживания, чел. 1
Загрузочный шнек:
  длина, мм 500
  диаметр, мм 150
Частота вращения, $мин^{-1}$ 300
Характеристика электрооборудования:
  род тока питающей сети . . . . . Переменный трехфазный
  номинальная частота тока, Гц 50
  номинальное напряжение силовой цепи, В 380
Количество электродвигателей на установке, шт. 1
Номинальная мощность привода, кВт 4

ЗАО «ВМУ-2» производит несколько моделей предвспенивателей, которые различаются производительностью, наличием/отсутствием встроенного парогенератора, материалом, из которого изготовлен предвспениватель, и некоторыми дополнительными опциями. Все предвспениватели непрерывного действия предназначены для однократного или многократного вспенивания ПСВ-с.

Технические характеристики подвспенивателя непрерывного действия ЗАО «ВМУ-2» (Воронеж)

Объем камеры, л 700
Объем бункера для гранул, л 60
Потребляемая мощность, кВт 2
Производительность (при первичном вспенивании), кг/ч . . . . До 200
Габариты, мм . . . . . 1380×900×2200
Масса, кг 340

Рабочая камера предвспенивателя сырья ПСВ — ВПМ-07 (предвспениватель) выполнена из коррозионно-стойкой стали, вследствие чего установка имеет большой ресурс, проработанность конструкции позволяет получать высокое качество производимых гранул.

Оснащение: частотно-регулируемый привод подающего шнека, система отвода конденсата, люк аварийной выгрузки сырья, собственный пульт управления, универсальный подающий шнек, дополнительно оснащается автономным парогенератором.

Технические характеристики предвспенивателя ПСВ—ВПН-0,7

Потребляемая мощность, кВт	1,8
Расход пара, кг/м^3	15...30
Количество вспениваний	Многократное
Производительность при первичном вспенивании, м^3/ч	6...7
Производительность при вторичном вспенивании, м^3/ч	10...12
Фракция применяемого исходного сырья, мм	2...5
Габариты (Д×В×Ш), мм:	960×1700×1000
Масса, кг	110

Технические характеристики предвспенивателя П-04

Потребляемая мощность, кВт	18
Производительность, кг/ч	До 150
Габариты, мм	1200×700×1900
Масса, кг	120

В подвспенивателе периодического действия мод. PED-200 фирмы BERNDORF (Италия) переработка пенополистирола осуществляется путем периодической загрузки, вспенивания и выгрузки дозы полистирола. В состав подвспенивателя входят:

- система загрузки полистирола;
- система подготовки пара;
- камера вспенивания с мешалкой и механизмом выгрузки;
- ванна для сушки гранул вспененного полистирола в кипящем слое;
- механизм измельчения комьев;
- вибросито;
- релейная система управления.

Технические характеристики подвспенивателя периодического действия мод. PED-200

Диаметр камеры вспенивания, мм 650
Высота камеры вспенивания, мм 1500
Объем камеры вспенивания, $м^3$ 0,5
Максимальное рабочее давление, МПа 0,07
Производительность при плотности пенополистирола 20 г/л, кг/ч. . . . 176

Многие фирмы применяют подвспениватели непрерывного действия серии PE фирмы BERNDORF (Италия). Это полностью автоматизированные установки. В них полистирол вспенивается до требуемой плотности, величина которой задается оператором на пульте управления. Получаемая плотность зависит от типа сырья и ее минимальная величина может быть 14 г/л. В результате второй фазы вспенивания плотность может снизиться до 9 г/л. Основные особенности подвспенивателей серии PE можно свести к следующим:

- корпус камеры всасывания из коррозионно-стойкой стали с теплоизоляцией из стекловолокна;
- большой люк для чистки камеры вспенивания;
- возможность быстрой замены лопастей мешалки;
- закрытая камера вспенивания с клапаном для автоматического сброса пара;
- шнек для подачи полистирола в подвспениватель с регулируемой скоростью;
- пневмотранспортер в кипящем слое, снабженный вентилятором и секторным разгрузчиком пенополистирола.

Подвспениватель серии PE снабжен цифровым терморегулятором для контроля плотности пенополистирола. Регулирование температуры на подвспенивателях серии PE 600 и PE 800 — ручное, на мод. PE 1250 — автоматическое. Кроме того, во избежание ошибки оператор при пуске и остановке осуществляет автоматический контроль подачи воздуха, пара и материала. Рабочий цикл прерывается автоматически в случае отсутствия воздуха или перегрузки. В случае аварии или перегрузки подается звуковой сигнал.

Пневмотранспортер снабжен вентилятором с регулируемой подачей воздуха, что позволяет избежать образования заторов

материала на входе пневмотранспортера. Нижняя часть его представляет собой камеру с переменным сечением и регулируемым распределением воздуха, которая снабжена алюминиевым листом с отверстиями, являющимися днищем пневмотранспортера. Секторный разгрузчик и вентилятор обеспечивают правильное опорожнение пневмотранспортера и подачу материала в бункеры хранения пенополистирола.

Технические характеристики подвспенивателей серии PE

	PE 600	PE 800	PE 1250
Диаметр камеры вспенивания, мм	635	800	1250
Высота камеры вспенивания, мм	1900	2400	3600
Объем камеры вспенивания, $м^3$	0,6	1,2	4,4
Производительность первого вспенивания, кг/ч, в зависимости от плотности пенополистирола, г/л:			
20	400	850	2500
25	700	1400	3000
Производительность второго вспенивания при плотности пенополистирола 9 г/л, $м^3$/ч	25	60	150

Широкое распространение получили также подвспениватели периодического и непрерывного действия серии VSD и V фирмы KURTZ (Германия).

Отличительными особенностями подвспенивателей этой фирмы являются:

- возможность переработки материалов с низким содержанием пентана и сополимеров;
- равномерное распределение плотности по всему объему;
- быстрая переналадка на другие плотности, от 8 до 100 г/л, благодаря равномерному подмешиванию воздуха;
- полная очистка резервуара от остатков материала;
- простота обслуживания.

Система управления в зависимости от требований может поставляться в различных исполнениях — от задания параметров вручную до полного автоматического контроля за плотностью материала.

В табл. 3.14 и 3.15 приведена производительность подвспенивателей периодического и непрерывного действия серий VSD и V соответственно в зависимости от требуемой плотности материала.

3.14. Производительность подвспенивателей серии VSD

Плотность, г/л	Производительность, кг/ч					
	VSD700	VSD1000	VSD1400	VSD3000	VSD4600	VSD6300
13	210	300	420	900	1600	2600
15	300	450	680	1400	2100	3400
20	420	580	770	1650	2600	3800
25	550	800	1100	2000	3000	4200

Отличительными признаками подвспенивателей серии VSD являются:

- быстрая переналадка подвспенивателя на другой вид сырья и другую плотность пенополистирола;
- получение низкой плотности за один рабочий цикл подвспенивания полистирола;
- точное соблюдение заданных параметров;
- возможность переработки специального полистирола.

3.15. Производительность подвспенивателей серии V

Плотность, г/л	Производительность, кг/ч			
	V600	V800	V1000	V1300
15	180	400	1000	2000
20	350	650	1400	2300
25	600	900	1850	2600

Отличительными признаками подвспенивателей серии V являются:

- высокая производительность;
- система автоматического контроля за плотностью пенополистирола с начала и до конца рабочего цикла;
- устройство по вторичному вспениванию пенополистирола.

ОАО «НИИТавтопром» выпускает подвспениватель периодического действия мод. 4221. Подвспениватель имеет раму, на которой установлены:автоклав, дозатор и расходный бункер для пенополистирола. Под автоклавом расположена камера сушки, жестко соединенная с измельчителем комьев гранул пенополистирола. К опорнам стойкам рамы крепится воздушно-отопительный агрегат, подающий подогретый воздух в камеру сушки, а также аппа-

раты и турборазвертка систем подачи воздуха, пара, вакуумирования, пневмооборудования и электрооборудования.

Технические характеристики подвспенивателя мод. 4221

Диаметр камеры всасывания, мм	400
Высота камеры, мм	1000
Объем камеры, $м^3$	0,28
Производительность, кг/ч	40
Температура пара, °С	115
Установленная мощность, кВт	8,6
Габариты (Д×В×Ш), мм	4100×1850×3450

Подвспениватель серии PRO-HD фирмы STIROLOGIC (Германия) получил широкое распространение у производителей моделей из пенополистирола, чему способствовали следующие его преимущества:

- подвспениватель разработан специально для литейного производства;
- камера вспенивания изготовлена из прозрачного термостойкого материала;
- автоматический контроль плотности пенополистирола;
- полная автоматизация процесса;
- минимальная плотность пенополистирола (19…21 г/л) при мелких гранулах.

Технические характеристики подвспенивателей периодического действия фирмы STIROLOGIC

	PRO-HD 500	PRO2-HD 1000
Диаметр камеры вспенивания, мм	400	400
Высота камеры вспенивания, мм	500	100
Максимальное рабочее давление, МПа	0,06	0,06
Производительность при плотности пенополистирола 18…24 г/л, кг/ч	39…63	66…83

Хранение пенополистирола после предварительного вспенивания. В бункере предварительного вылеживания гранул свежевспененные гранулы полистирола выдерживают для стабилизации внутреннего давления и удаления избыточной влаги.

Бункер хранения для пенополистирола мод. 4222 конструкции ОАО «НИИТавтопром» представляет собой минимальный модуль, состоящий из двух емкостей. В зависимости от программы заказывается необходимое количество модулей. Бункер состоит из двух сшитых из прочной воздухопроницаемой ткани и изолированных друг от друга мешков, закрытых тканевыми крышками и подвешенных на петлях внутри сварно-сборочного каркаса. Мешки заужены в нижней части и снабжены шиберными устройствами. В крышках предусмотрены окна, через которые осуществляется загрузка мешков. Загрузка пенополистирола и выгрузка его из мешков после выдержки в течение определенного технологического времени осуществляется попеременно. Загрузка пенополистирола проводится воздушным потоком от вентилятора. Этим же потоком осуществляется и сушка пенополистирола в мешках. Для транспортирования полистирола от подвспенивателя до бункера и выдачи его из бункера ОАО «НИИТавтопром» разработана система пневмотранспорта мод. 4224, а для транспортирования пенополистирола от бункера до установки для извлечения моделей — тележка-бункер мод. 4223 с полезным объемом 0,4 м^3. Загрузка и выгрузка пенополистирола из тележки-бункера проводится автоматически при ее подключении к бункеру с пенополистиролом или к установке изготовления моделей.

Технические характеристики бункера мод. 4222

Полезный объем одной емкости, м^3 8,5
Общий объем, м^3 17
Масса пенополистирола в бункере при плотности 20...100 г/л, кг ...340...1700
Габариты (Д×В×Ш), мм ..... 4000×2200×4000

Технические характеристики бункера производства ЗАО «ВМУ-2» для предварительного вылеживания гранул

Общий объем, м^3 20
Рабочий объем, м^3 18
Масса, кг, не более 250

Для каждой марки полистирола, как и для материалов с разной объемной плотностью, должны использоваться разные бункеры. Количество бункеров определяется требуемым объемом производства. Бункеры хранения вспененных гранул полистирола

должны вмещать от 2 до 2,5 объема дневной продукции. Несколько небольших бункеров предпочтительней, чем один большой. Бункеры, установленные на одной производственной площади, объединяются системой пневматической транспортировки гранул. Стандартные размеры бункера: основание 2,5×2,5×3 м, общая высота 4 м.

Приемный бункер установки предварительного вспенивания гранул ПСВ комплектуется трубой Вентури и системой сушки. Принцип действия трубы Вентури — это подача вспененных гранул в бункер предварительного вылеживания с промежуточной сушкой. Промежуточная сушка необходима для уменьшения времени нахождения вспененных гранул в бункере.

Изготовление моделей. В условиях мелкосерийного производства модели изготавливают автоклавным способом. При этом ручная пресс-форма заполняется гранулами пенополистирола с помощью специального задувного устройства и затем помещается в автоклав. После тепловой обработки пресс-форма извлекается из автоклава, охлаждается в водяной ванне, разбирается и модель извлекается. Далее цикл повторяется. Для изготовления моделей могут использоваться медицинские автоклавы мод. ГПД-400, ГПД-600 и другие.

В условиях серийного и массового производств модели изготавливаются на полуавтоматических и автоматических установках.

ОАО «НИИТавтопром» разработал автоматическую установку мод. 4220 для изготовления пенополистироловых моделей с вертикальной плоскостью разъема оснастки. Установка включает в себя сварную раму с решетчатыми панелями и дверцами, подвижную и неподвижную подмодельные рамки, которые после крепления к ним половинок пресс-форм образуют соответственно подвижную и неподвижную паровые камеры со встроенными трубопроводами для подачи пара, воздуха, вакуума для охлаждения пресс-формы и сбора конденсата.

Технические характеристики установки мод. 4220

Размер базовой плиты, мм	1145×725
Размер паровой камеры в свету, мм	1105×625
Глубина неподвижной паровой камеры, мм	260...410

Производительность, съем/ч 30
Усилие запирания, кН 180
Давление рабочей жидкости в гидросистеме, МПа . . . . . .4...15
Количество инжекторов, максимальное. 24
Установленная мощность, кВт 16
Система управления . . . . . .Программируемый командоконтроллер
Габариты (Д×В×Ш), мм . . . . . .4200×2250×3100

Основные особенности установки мод. 4220:

• простота конструкции;

• жесткость конструкции с четырьмя направляющими, обеспечивающая стабильность и высокую точность изготовления моделей;

• компактное расположение аппаратуры для подачи пара, сжатого воздуха и воды, обеспечивающее легкий доступ для осмотра и обслуживания;

• наличие манипулятора с вакуумными присосками для съема моделей, приспособленного для работы с различными пресс-формами.

Первый отечественный автомат для изготовления моделей из пенополистирола мод. ПМ-3М конструкции Специального проектно-конструкторского и технологического бюро Института проблем литья АН УССР (сейчас Физико-технический институт металлов и сплавов НАН Украины) кроме главного вертикального разъема снабжен четырьмя пневматическими цилиндрами, что дает возможность иметь дополнительно два разъема в горизонтальной плоскости и два — в вертикальной плоскости. Такая конструкция автомата позволяет изготавливать сложные модели за один цикл и избежать последующей сборки модели с помощью клея. На данный момент это единственный модельный автомат с дополнительными плоскостями разъема.

Технические характеристики модельного автомата мод. ПМ-3М

Производительность, съем/ч . . . . . 30...40
Количество плоскостей разъема пресс-формы 5
Количество пневматических цилиндров 5
Максимальные габариты пресс-формы, мм . . . . . .600×600×500
Давление пара, МПа . . . . . 0,18...0,5

Рабочее давление воздуха, МПа ..... 0,4...0,5
Расход пара, кг/ч ..... 20...30
Расход воздуха, $м^3$/ч 3
Расход воды, $м^3$/ч 3
Установленная мощность, кВт 1
Габариты, мм ..... 1710×2100×1600
Масса, кг 1160
Режим работы ..... Наладочный, автоматический

Фирма STIROLOGIC разработала автоматическую установку для изготовления пенополистироловых моделей с вертикальной плоскостью разъема оснастки серии MPH, установку с горизонтальной плоскостью разъема пресс-формы серии MPV-F, и специальную установку для изготовления пенополистироловых моделей в условиях мелкосерийного производства с горизонтальной плоскостью разъема пресс-формы модели FORAM. Установки этих серий имеют следующие основные особенности:

• высокопроизводительная вакуумная система, обеспечивающая сухую поверхность моделей, остаточную влажность в пределах 4…6%, ускоренную стабилизацую моделей, и исполняющая повторную сушку моделей;
• электронная система управления GE-FANUC;
• возможность замены пресс-формы за 15…20 мин;
• компактный энергетический блок;
• система заполнения пресс-формы под давлением, обеспечивающая получение тонкостенных моделей (3 мм);
• точная регулировка предварительного зазора по разъему пресс-формы для эвакуации воздуха при ее заполнении полистиролом;
• встроенный манипулятор для безопасности извлечения моделей.

К дополнительным устройствам относятся:

• специальный инжектор для подачи пенополистирола в пресс-форму;
• полуавтоматическое устройство для замены пресс-формы за 5…7 мин.

Фирма STIROLOGIC разработала также специальные установки для изготовления пенополистироловых моделей в условиях мел-

3.16. **Технические характеристики установок серии MPH, MPV-F и FORAM**

Параметр	MPH 80/50	MPH 100/80	MPH 160/100	MPV 60/40-F	MPV 80/60-F	FORAM
Размер паровой камеры в свету, мм	800× 500	1000× 800	1600× 1000	600× 400	800× 600	—
Глубина подвижной и неподвижной паровых камер, мм	180	190	200	180	180	—
Расстояние между подвижной и неподвижной паровыми камерами, мм	650	800	800	650	650	—
Максимальный размер модели, мм	—	—	—	—	—	750× 450×200
Максимальное расстояние между подвижной и неподвижной камерами, мм	—	—	—	—	—	400
Минимальное расстояние между подвижной и неподвижной камерами, мм	—	—	—	—	—	150
Установленная мощность, кВт	8,0	8,0	14,5	8,0	10,0	3,0

косерийного производства с горизонтальной плоскостью разъема пресс-формы модели FORAM.

Основные особенности этой установки сводятся к следующим:

- возможность изготовления высокоточных моделей и их частей сложной конфигурации;
- отсутствие потерь времени при замене пресс-формы;
- возможность изготовления одновременно нескольких моделей;
- механизированное раскрытие пресс-формы.

Технические характеристики установок для изготовления моделей из пенополистирола приведены в табл. 3.16.

Фирмой BERNDORF (Италия) разработан ряд установок для изготовления моделей с вертикальной линией разъема пресс-формы с использованием модульного принципа.

Базовая установка укомплектована:

• загрузчиком пенополистирола для быстрого заполнения пресс-формы под давлением сжатого воздуха;

• автоматической системой подачи материала из бункера;

• вакуумным насосом;

• гидравлической системой закрытия и открытия пресс-формы;

• электронным щитом управления с программируемым командоконтроллером и запоминанием восьми различных режимов обработки пенополистирола паром.

Кроме того, установки для изготовления моделей могут быть оснащены компьютером.

Технические характеристики автоматических установок для изготовления моделей из пенополистирола серии АССА 0-90 и АССА 150 приведены в табл. 3.17.

Фирмой KURTZ были разработаны автоматические установки серии «К» для изготовления пенополистироловых моделей с вертикальной линией разъема пресс-формы (табл. 3.18).

Автоматическая установка для изготовления моделей из пенополистирола с вертикальной плоскостью разъема разработана фирмой SAPLEST (Франция), а в табл. 3.19 приведена техническая характеристика установок серии «М» этой фирмы.

Мелитопольпродмаш совместно с Физико-технологическим институтом металлов и сплавов Национальной академии наук Украины разработал и внедрил в производство модельный полуавтомат ПМ-5М1 для получения изделий из пенополистирола, в том числе литейных моделей различной конфигурации методом «теплового удара» (рис. 3.5).

Технические характеристики полуавтомата ПМ-5М1

Размеры поверхностей плит для крепления пресс-форм (Д×Ш), мм	600×400
Наименьшее расстояние между основными плитами, мм	120
Ход основной подвижной плиты, мм	480
Ход боковых плит, мм	500
Продолжительность цикла, с	15
Количество разъемов	3
Средняя потребляемая мощность, кВт	4
Расход сжатого воздуха, $м^3/ч$	3

3.17. Технические характеристики автоматических установок для изготовления моделей из пенополистирола серии АССА 0-90 и АССА 150

Параметр	АССА-90/0	АССА-90/2	АССА-90/5	АССА 150-0	АССА 150-2	АССА 150-5
Размер базовой плиты, мм	925×725	1145×725	1360×725	1450×925	1450×1145	1450×1360
Размер паровой камеры в свету, мм	885×685	1105×685	1320×685	1410×885	1410×1105	1105×1320
Глубина базовой камеры, мм	210…450	210…450	210…450	165…550		
Усилие запирания пресс-формы, кН	180			300		
Давление рабочей жидкости, МПа	15					
Максимальное количество инжекторов	12		24			
Установленная мощность, кВт	10			15		
Габариты (Д×В×Ш), мм	4300×2100×3000		4300×2300×3000	—		

3.18. Технические характеристики установок моделей серии «К»

Параметр	К68	К710LF	К813	К1014	К1214
Размер паровой камеры в свету, мм	800×600	1000×700	1300×800	1400×1000	1400×1200
Максимальное расстояние между подвижной и неподвижной камерами, мм	1270	1270	1320	1520	1520
Усилие запирания, кН	95	150	240	240	490
Установленная мощность, кВт	7	8,5	10	14	16
Габариты (Д×В×Ш), мм	3470×2180×3485	4366×2835×2765	3655×3300×4275	4310×3685×4360	4470×3685×4560
Давление рабочей жидкости в гидросистеме, МПа	Низкое — 4,5; высокое — 25				
Количество инжекторов	6…30				

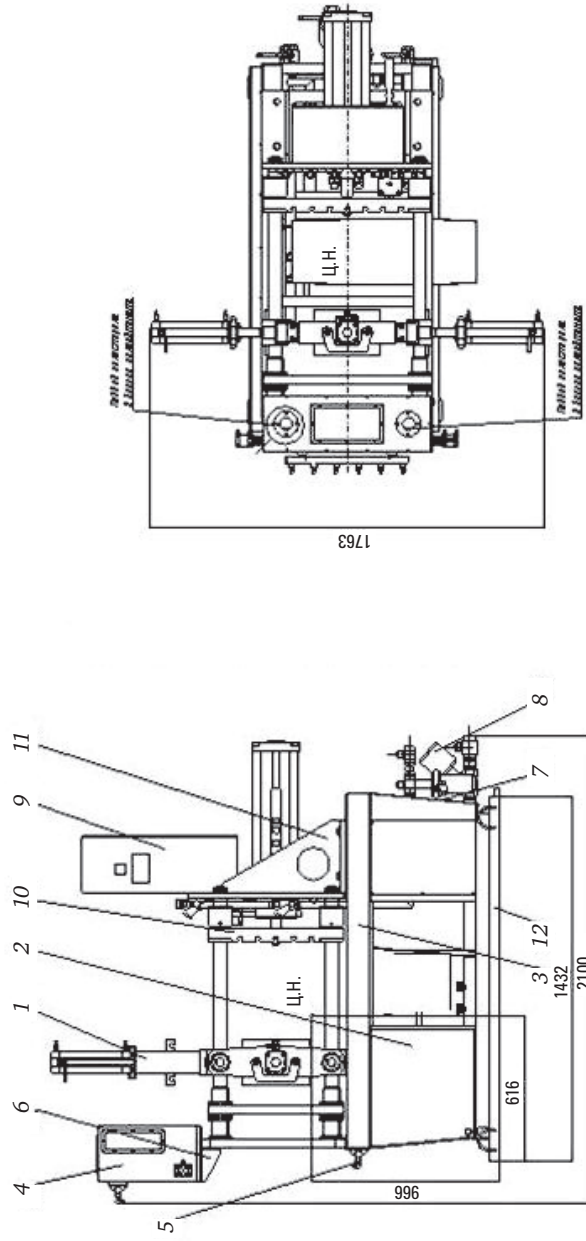


Рис. 3.5. Схема модельного полуавтомата ПМ-5М1:
1, 2 — пневмопривод; *3* — рама; *4* — бункер; *5* — коллектор; *6* — кронштейн; *7* — пневмотоннель; *8* — блок гидроаппаратуры; *9* — шкаф управления; *10* — плита подвижная; *11* — кронштейн; *12* — поддон

Расход пара, кг/ч 20
Расход воды, $м^3$/ч 3
Габариты (Д×В×Ш), мм . . . . . 3000×2500×225
Масса, кг 1500

3.19. Технические характеристики установок серии «М»

Параметр	М-33	М-86	М-108
Размер паровой камеры в свету, мм	300×300	800×600	1080×800
Минимальный ход подвижной паровой камеры, мм	150	180	180
Максимальный ход паровой камеры, мм	650	900	900
Ход паровой камеры, транспортирующей модель на позицию съема, мм	700	1150	1400
Установленная мощность, кВт	6	8,5	8,5
Габариты (Д×В×Ш), мм	3400×2300××2500	4300×3250××3400	4300×3800××3600

Полуавтомат обеспечивает выполнение технологических операций в следующем цикловом полуавтоматическом режиме:

- сборка пресс-формы;
- нагрев пресс-формы;
- задув подвспененных гранул полистирола в пресс-форму;
- вакуумирование пресс-формы;
- спекание изделия;
- охлаждение пресс-формы;
- разборка пресс-формы;
- выталкивание изделия из пресс-формы на транспортное устройство полуавтомата;
- продувка пресс-формы воздухом.

Сборка моделей и модельных блоков. В условиях мелкосерийного производства сборку пенополистироловых моделей из отдельных частей и моделей в блоки проводят вручную с применением кондуктора и клея. В условиях серийного и массового производств применяют полуавтоматические установки для склейки и сварки моделей из отдельных частей и моделей в блоки. ОАО «НИИТавтопром» разработало полуавтоматическую установку мод. 4191 для склеивания пенополистироловых моделей из двух

или более частей с горизонтальной плоскостью разъема кондукторов конструкции.

Технические характеристики полуавтоматической установки мод. 4191

Размеры верхнего и нижнего кондукторов, максимальные, мм	950×500×180
Производительность, съем/ч	100
Привод	Пневматический
Нагрев ванны с клеем	Электрический
Система управления	Программируемый командоконтроллер
Установленная мощность, кВт	40
Габариты, мм	4500×100×2600

Особенностями полуавтоматической установки для склеивания пенополистироловых моделей с горизонтальной плоскостью разъема оснастки серии IFT фирмы FATA FLUMINIUM являются:

• перемещение подвижных частей на шариковых направляющих;

• разогрев клея и поддержание соответствующей температуры с помощью нагретой жидкости, циркулирующей между двойными стенками ванны для клея;

• универсальная система для установки и крепления кондукторов;

• быстрая замена кондукторов сверху с применением ручных захватов.

Установки серии IFT поставляются с пневматическим (модель P) или с гидравлическим (модель I) приводами. Установка модели P имеет производительность 57 съемов/ч при мощности 16 кВт, а установки модели I имеют производительность 72 съем/ч при мощности 30 кВт (максимальное давление рабочей жидкости — 3,5 МПа). В табл. 3.20 представлены некоторые параметры всех установок серии IFT.

В табл. 3.21 представлены технические характеристики полуавтоматической установки мод. 4193 для сварки двух половинок пустотелого пенополистиролового стояка конструкции ОАО «НИИТавтопром» и полуавтоматической установки мод. 4192 конструкции ОАО «НИИТавтопром» для сборки моделей в блоки путем приваривания к стояку из пенополистирола по двум взаимно

3.20. Размеры установок для сборки моделей из отдельных частей серии IFT

Параметр	2L/P	2L/I	2LS/P	2LS/I	3L/P	3L/1	3LS/P	3LS/I
Габариты, мм:								
длина	2550				2800			
ширина	2185				2635			
высота	3535				3985			
Расстояние между плоскостями кондуктора, мм	550		750		550		750	

перпендикулярным осям четырех моделей в ярусе. Число ярусов зависит от размера модели.

3.21. Технические характеристики установок мод. 4192 и 4193

Параметр	Мод. 4192	Мод. 4193
Максимальная высота стояка, мм	950	950
Максимальная высота модели, мм	800	—
Производительность, съем/ч	60	100
Привод	Пневматический	
Нагрев термопластичный	Электрический	
Система управления	Программируемый командоконтроллер	
Установленная мощность, кВт	9	11
Габариты (Д×Ш×В), мм	3650×3700×3450	4150×1600×2100

Окраска моделей и модельных блоков. Для серийного и массового производства ОАО «НИИТавтопром» разработана полуавтоматическая установка для окраски модельных блоков мод. 4205.

Технические характеристики установки мод. 4205

Максимальные размеры модельного блока:
диаметр описанной окружности×высота, мм . . . . . 700×950
Производительность, блок/ч 60
Привод . . . . . Пневматический
Система управления . . . . . Релейная
Установленная мощность, кВт 10
Габариты (Д×Ш×В), мм . . . . . 290×3300×3200

3.13.2. Оборудование для формовки, заливки, охлаждения и выбивки отливок

Для изготовления литейных форм из сухого кварцевого песка применяют вибрационные столы различной конструкции.

Принцип работы вибростолов основан на вибрационном методе уплотнения, они могут работать как в автоматическом, так и пооперационном режиме.

Вибростол состоит из основания, рабочей поверхности, амортизаторов и вибраторов. При встраивании вибростола в линии он оснащается роликами и подвижной (поднятие/опускание) рабочей поверхностью.

Ролики предназначены для передачи опоки (оснастки) с позиции уплотнения на следующую операцию изготовления стержней (форм) на автоматической линии.

Особенностями опытно-промышленного варианта вибростола фирмы FM INDUSTRIE (Франция), включающего в себя также опоку-контейнер квадратного сечения жесткой конструкции, являются: верхнее расположение (относительно опоки) двух высокочастотных вибраторов; наличие камеры для вакуумирования опоки, расположенной в нижней ее части; применение пневмопружины с регулируемой жесткостью и подвижного дна на опоке для ее освобождения от песка после заливки формы металлом и охлаждения отливки.

Один из вариантов компоновки формовочно-заливочного модуля конструкции ОАО «НИИТавтопром» для мелкосерийного производства отливок из черных и цветных металлов включает в себя вибростол, бункер для песка, опрокидыватель, неприводные ролики и две опоки. Для отделения отливки от песка предусмотрены вибросито, емкость для отливок и песка. При изготовлении отливок из черных сплавов в состав модуля входит также система вакуумирования опок, включающая в себя вакуумный насос, ресивер-пылеуловитель и трубопровод с устройством для быстрого соединения системы вакуумирования с опоками на позиции заливки. Внутри опоки, в этом случае, размещается коллектор, соединяющий опоку с системой вакуумирования.

Автоматическая линия мод. 7171 конструкции ОАО «НИИТавтопром» для изготовления отливок из алюминиевых сплавов в

серийном и массовом производствах включает в себя два непрерывных роликовых конвейера, из которых один предназначен для формовки и заливки, а другой — для охлаждения отливок в форме и выбивки опок. Перемещение опок по конвейерам осуществляется посредством гидравлических толкателей, а с конвейера на конвейер — тележками с электроприводом в автоматическом режиме. В состав линии входят: комплект опок, система автоматической смазки, пневмо-, гидро- и электрооборудование.

К особенностям данной линии можно отнести следующие:

• отсутствие нагрузок на фундамент от сил, действующих в горизонтальной плоскости, из-за жесткого соединения роликовых конвейеров и рельсовых путей электротележек в единую конструкцию;

• надежная и точная фиксаця опок на позициях формовки, заливки и выбивки благодаря наличию специальных доводочных устройств;

• компьютерное управление, позволяющее выполнять все операции по заданной программе;

• возможность установки индивидуального шаблона или другого распределительного устройства при засыпке опоки песком при переходе от одного модельного блока к другому, отличному по своей конфигурации и сложности;

• высокий уровень унификации узлов и агрегатов;

• простота обслуживания и ремонта.

Автоматическая линия мод. 7197 конструкции ОАО «НИИТавтопром» для изготовления отливок из черных сплавов в серийном и массовом производствах разработана на базе линии мод. 7171 и отличается от нее большей протяженностью участка охлаждения отливок и наличием системы вакуумирования форм, разработанной совместно с ЦНИИ материалов (г. Санкт-Петербург).

Технические характеристики установок представлены в табл. 3.22.

Несомненный интерес представляет автоматическая линия для формовки, заливки и выбивки опок типа POLYTEC фирмы FM INDUSTRIE для изготовления отливок из алюминиевых сплавов (рис. 3.6).

В табл. 3.23 приведены технические характеристики различных модификаций линий этой фирмы.

3.22. Технические характеристики установок мод. 7171 и мод. 7197

Параметр	Формовочно-заливочный модуль	Мод. 7171	Мод. 7197
Внутренний диаметр опоки, мм	700	1000	800
Высота опоки, мм	800		1000
Количество опок	2 и более	19	23
Максимальная металлоемкость формы, кг	Черные сплавы — 100 Алюминиевые сплавы — 44	100	200
Производительность, форма/ч	2…10	60	35
Привод	Пневмо-, гидро-, электрический		
Режим работы	Наладочный		Наладочный, автоматический
Система управления	Релейная		Программируемый командоконтроллер
Установленная мощность, кВт	30	85	194
Количество операторов, чел.	1		2
Габариты (Д×Ш×В), мм	8150×4950×4400	20150×15550×8150	27200×16200×8150
Масса, кг	12000	77000	96000

3.23. Технические характеристики автоматических линий типа POLYTEC

Параметр	Модификация линии и значение параметров			
	AL 66	AL 88	AL 110	AL 120
Размер опоки в свету, мм	600×600	800×800	1000×1000	1200×1200
Высота опоки, мм	850	900	1100	1200
Масса опоки с песком, кг	460	860	1650	2600
Количество опок, шт.	10	14	16	20
Производительность, форма/ч	10	20	30	50

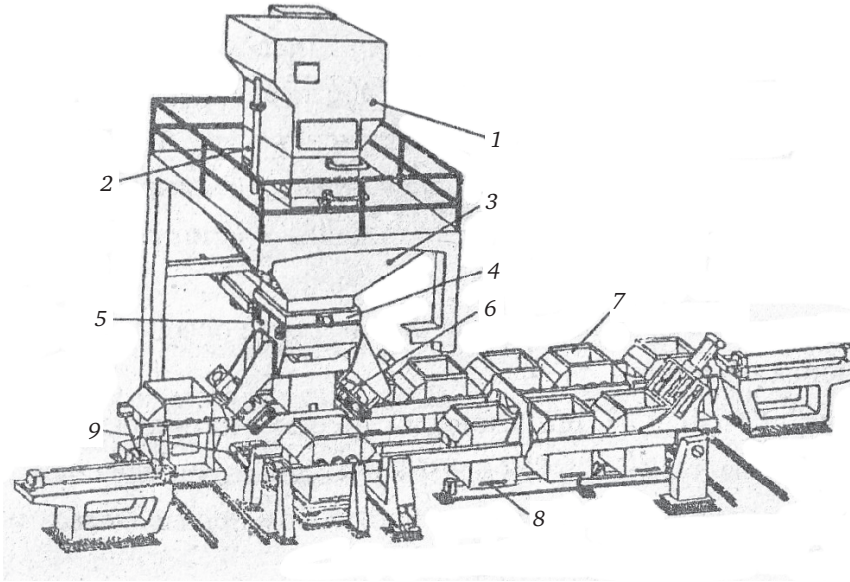


Рис. 3.6. Автоматическая линия POLYTEC фирмы FM INDUSTRIE:
1 — сепаратор; *2* — охладитель песка; *3* — бункер для песка; *4* — шибер; *5* — подвижный дозатор песка; *6* — вибраторы; *7* — опока; *8* — задвижка; *9* — виброрешетка

3.13.3. Оборудование для регенерации песка и утилизации продуктов термической деструкции модели

В процессе циклического применения кварцевого песка в качестве материала формы при производстве отливок по газифицируемым моделям он изменяет свои технологические и физико-механические свойства. Под действием высокой температуры заливаемого металла в форму песок растрескивается, измельчается, он засоряется мелкодисперсными продуктами противопригарных покрытий. Кроме того, в нем накапливаются продукты термической деструкции пенополистирола в виде сажистого углерода и конденсата углеводородов, включая стирол, толуол и бензол. Все это приводит к снижению газопроницаемости формы из песка, ухудшению его текучести, уплотняемости и увеличению газотворности. Поэтому песок перед повторным применением должен проходить магнитную сепарацию, обеспыливание и термическую регенерацию. Для обезвреживания газообразных про-

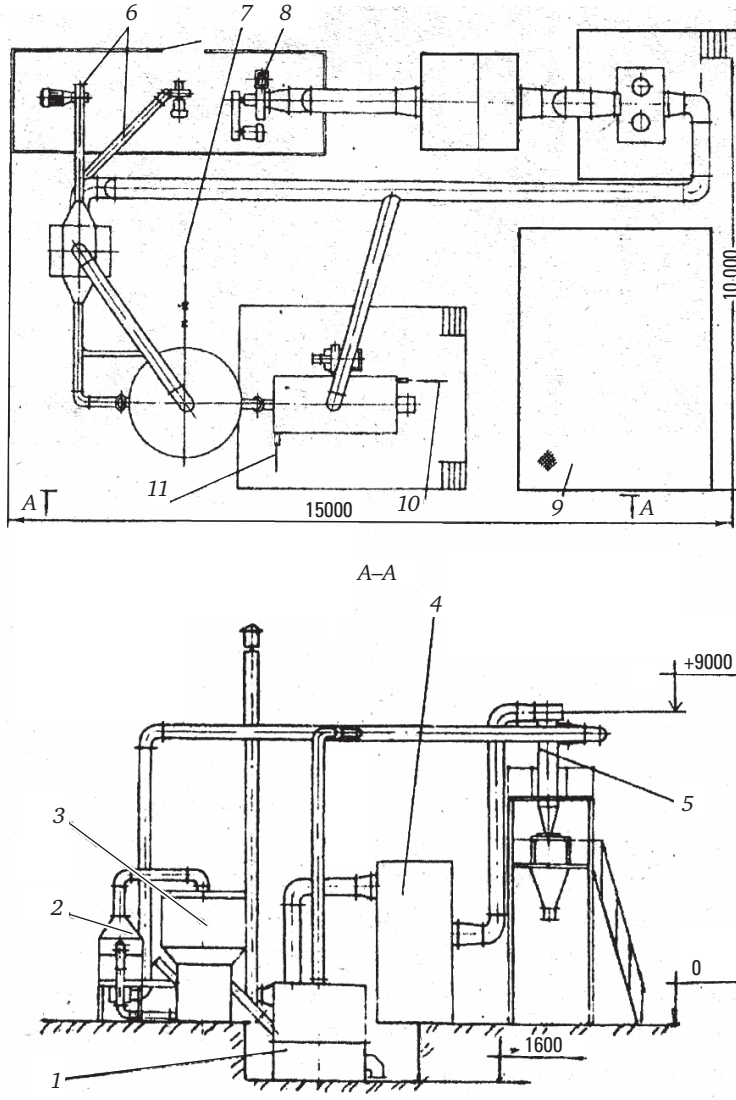


Рис. 3.7. Линия термической регенерации мод. РТ-1,0:
1 — аппарат охлаждения регенерата; *2* — осадительная камера; *3* — аппарат термической регенерации; *4* — пылеуловитель; *5* — циклон; *6* — система подвода воздуха к аппарату термической регенерации; *7* — патрубок; *8* — горелка; *9* — электрооборудование с системой КИП и автоматики; *10* — система подачи воды к теплообменнику аппарата охлаждения; *11* — решетка

дуктов термодеструкции пенополистирола, которые выделяются при заливке формы металлом и в процессе охлаждения отливки в форме, применяют установки каталитического дожигания газов совместно с системой вакуумирования форм.

Челябинским конструкторско-технологическим институтом автоматизации и механизации в автомобилестроении (КТиАМ) разработан ряд линий термической регенерации отработанных песчано-глинистых и холоднотвердеющих смесей производительностью 0,4; 1,0; 2,5 и 10 т/ч, которые могут быть использованы для регенерации кварцевого песка в процессе его применения в качестве материала литейной формы при ЛГМ. Линия термической регенерации мод. РТ-1,0 представлена на рис. 3.7.

Техническая характеристика линии термической регенерации отработанного песка типа серии РТ представлена в табл. 3.24.

3.24. Технические характеристики линий термической регенерации серии РТ

Параметр	Модель линии термической регенерации				
	РТ-04	РТ-1,0	РТ-2,5	РТ-5,0	РТ-10
Оптимальная производительность, т/ч	0,4	1,0	2,5	5,0	10
Расход природного газа, $м^3$/ч	12	24	60	120	215
Давление природного газа, МПа	0,2				
Температура воды, °С, на входе/на выходе	20/50				
Количество дымовых газов после очистки, $м^3$/ч	3400	5700	15000	20000	35000
Установленная мощность, кВт	40	40	73	120	175
Температура газа в камере аппарата регенерации, °С	800	650…750			

Контрольные вопросы

1. Назовите область применения литья по газифицируемым моделям.

2. Какие модельные материалы используют в литье по газифицируемым моделям?

3. Назовите способы подготовки модельных материалов.

4. Перечислите способы изготовления пенополистироловых моделей.

5. Какие вы знаете конструкции пресс-форм для изготовления моделей?

6. Какие существуют способы сборки моделей в модельные блоки?

7. Назовите типы противопригарных красок и покрытий и способы их нанесения на модель и модельные блоки.

8. Назовите способы изготовления форм и применяемые формовочные материалы.

9. Какие основные типы литниковых систем вы знаете?

10. Какими способами осуществляется заливка форм?

11. Назовите основные виды брака в литье по газифицируемым моделям.

12. Перечислите основные виды технологического оборудования, применяемого в литье по газифицируемым моделям.

Список литературы

1. **Шуляк В.С., Рыбаков С.А., Григорян К.Н.** Производство отливок по газифицируемым моделям: Инженерные монографии для литейного производства. — М.: МГИУ, 2001. 330 с.

2. **Литье** по газифицируемым моделям: Инженерные монографии по литейному производству / под ред. Ю.А. Степанова. — М.: Машиностроение, 1976. 224 с.

3. **Конашко Е.М., Носова Е.М., Юхимец А.А.** Освоение производства литья по газифицируемым моделям. Производство литья по пенополистироловым моделям. — М.: НИИМАШ, 1968. С. 26—34.

4. **Озеров В.А., Шуляк В.С., Плотников Г.П.** Литье по моделям из пенополистирола. — М.: Машиностроение, 1970. 183 с.

5. **Гуляев Б.Б.** Теория литейных процессов. — М.: Машиностроение, 1976. 216 с.

6. **Григорьев В.М.** Литье по выжигаемым моделям: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В.М. Григорьев. — Хабаровск: издательство ХГТУ, 2002. 156 с.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Литье в углеродные формы

В современном машиностроении агрегаты с высокой температурой работы сегодня не редкость (авиаракетостроение и др.), поэтому изготовление деталей различных узлов и механизмов из тугоплавких металлов играет важную роль в развитии техники.

Различают несколько способов изготовления изделий из металлов с высокой температурой плавления. Во-первых, изготовление слитков переплавкой и обработкой давлением при высоких температурах, во-вторых, получение тонкого порошка чистых металлов и далее путем спекания его в определенных условиях изготовление деталей. И, наконец, получение отливок литьем.

Некоторые технологические операции по обработке тугоплавких металлов неприемлемы из-за высокой их хрупкости и повышенной склонности к взаимодействию с атмосферой при высоких температурах (обработка давлением). Изготовление деталей сложной формы иногда может приводить к потерям дорогостоящих материалов при их обработке, обработка их резанием часто просто неприменима. Изготовление металлокерамических изделий также связано со многими трудностями, например с получением компактных изделий, для чего необходимо сложное оборудование. В свою очередь, литые изделия, как правило, обладают более высокими физико-механическими характеристиками и точностью геометрических размеров. Изготовление отливок позволяет более эффективно осуществлять защиту металла, чем обработка их давлением. Часто именно литье позволяет получать качественные изделия без высоких затрат.

При разработке литейной технологии в данном случае возникают трудности, главные из которых связаны с высокой температурой плавления металлов (табл. 4.1), а химическая активность металлов при высоких температурах обусловливает использование

устойчивых формовочных материалов и огнеупоров, например углерода.

4.1. Некоторые свойства тугоплавких металлов

Свойство	Ti	V	Cr	Zr	Nb	Mo	Ta	W
Атомный номер	22	23	24	40	41	42	73	74
Температура плавления, °С	1668	1900	1900	1845	2470	2620	2996	3410
Температура кипения, °С	3400	3350	2473	3577	3300	4800	5300	5900
Плотность при 20 °С, кг/м^3	4500	6100	7200	6500	8570	10200	16600	19200
$\sigma_в$ после отжига, МПа	300	450	600	250	500	900	600	1100
δ после отжига, %	40	35	0	35	35	25	35	1…4

4.1. Углеродные формовочные материалы, их виды и свойства

Среди углеродных материалов, используемых для изготовления литейных форм, можно выделить следующие. Искусственные графиты изготавливают в виде блоков и обрабатывают механическими способами. Они пригодны для изготовления кокилей и кристаллизаторов. К зернистым и волокнистым углеродным материалам можно отнести порошки кокса и графита, синтетические волокна и ткани. Из них литейные формы обычно изготавливают уплотнением и также используют в виде суспензий.

Для изготовления *искусственного графита* используют природный графит, нефтяной, пековый и каменноугольный коксы, а также антрацит и сажу. Каменноугольные смола и пек в данном случае являются связующим. Сначала сухую часть графита измельчают и просеивают. В таком виде ее порциями вводят в жидкую составляющую и смешивают в обогреваемых смесителях до получения однородной пастообразной массы. Далее пасту штампуют в глухих матрицах и заготовки обжигают в течение нескольких суток при 1200 °С под слоем углеродистой засыпки, а затем графитизируют нагревом при 2300…2700 °С несколько суток.

Для получения рекристаллизованного графита искусственный графит подвергают термомеханической обработке при давлении 100 МПа и температуре 2600 °С, при этом плотность графита повышается до 2200 кг/м^3.

Пиролитический углерод имеет слоистое строение и поэтому для него характерна высокая анизотропность свойств. Коэффициент температурного расширения перпендикулярно к слою в десятки раз больше, чем параллельно слою. Этот материал изготавливают термическим разложением метана, бензола и других углеводородов на нагретых до 1000…1900 °С поверхностях (подложках). Пиролитический углерод можно использовать в виде теплоизолирующего покрытия прессованного графита.

Графитированные волокна и ткани получают карбонизацией с последующей графитизацией при 2700 °С тканей на основе волокон из искусственных полимеров. Они имеют довольно высокую прочность, низкий коэффициент теплового расширения и хорошую теплопроводность вдоль волокна, что обеспечивает их высокую термостойкость.

Среди всего разнообразия углеродных материалов можно выделить *углеродистое стекло*, которое с обычным стеклом имеет некоторые общие качества (скрытокристаллическая структура и полная газонепроницаемость). Также оно непроницаемо для расплавленных металлов и устойчиво при температурах горения обычного углерода. Изделия из этого стекла прессуют из особо приготавливаемых смесей с последующей их карбонизацией (обжигом) в вакууме со скоростью нагрева 3…5 °С/ч при температурах до 3000 °С.

Наиболее огнеупорные оксиды циркония и магния почти в 100 раз уступают по огнеупорности углеродистому стеклу.

Современные материалы из графита обладают исключительно широким диапазоном механических, теплофизических и химических свойств (табл. 4.2).

Углеродные материалы склонны аномально зависеть от температуры. В частности, если при температуре 1500…1700 °С для большинства известных огнеупоров кратковременная прочность при растяжении падает до нуля, то прочность графитов возрастает и при 2400…2600 °С более чем в 2 раза превышает прочность этого материала при 20 °С (рис. 4.1).

Также из-за высокого временного сопротивления, теплопроводности, низкого модуля упругости и малого значения температурного коэффициента линейного расширения термостойкость графитов, определяемая по формуле $T = \sigma_в \lambda/(\alpha E)$, на два-четыре

4.2. Углеродные (графитовые) материалы и их свойства

Углеродный материал	ρ^{*1}, кг/м^3	σ, МПа	λ^{*2}, Вт/(м·°С)	$\alpha^{*2}\cdot10^6$, 1/°С
Графит: технический (электродный) ЭГ-0, МГ	1500…1600	$\sigma_в$=3…6; $\sigma_{сж}$=20…40	30…40 при 400…1000 °С	2…3
плотный и высокоплотный МГ-1, МГП-3, МГП-6, МГП-8, КПУ-1	1700…1830 (2240)	$\sigma_в$=20…40 $\sigma_{сж}$=70…120	50…80 при 600…800 °С	3…6
рекристаллизованный (суперграфит) РГ-Б, РГ-ЦК-1	1950…2180	$\sigma_в$=30…40 $\sigma_{сж}\leq$ 100	100…400 (*a*) 50…100 (*c*)	0,5…2,5 (*a*) 7…9 (*c*)
Пирографит УПВ-1, УПВ-1Т	1900…220	$\sigma_в$=70…100 вдоль слоя при 1000 °С	300…1200 (*a*) 3…6 (*c*)	1…2 (*a*) 20 (*c*)
Стеклоуглерод СУ-2000, СУ-2500	1430…1500 (1540)	$\sigma_в$=50…70 $\sigma_{из}$=100…140 $\sigma_{сж}\leq$400	4…8	2…5
Графитированные волокна (ткани, войлок)	1350…1450 (нити) 0,1 (войлок)	$\sigma_в\leq$700 (нити)	До 40 (нить) 0,4 (войлок)	0,3…2
Графитовые кристаллы (усы)	(2260)	$\sigma_в\leq$20000	—	—
Каменноугольный кокс	1200 (1900)	—	3…5 (уплотненный)	—
Кокс фурановой смолы	870 (1800)	—	2…3 (в блоке)	—
Графитовая прессованная форма (обожженная при 1100 °С)	1560 (2000)	$\sigma_в$=1…2 $\sigma_{сж}\leq$10	До 25 (не стабильно)	1…4
Графитовая форма оболочковая (обожженная при 1100 °С)	1100 (1900)	$\sigma_{сж}$=1…2	До 10	—
Коксовая форма оболочковая	850 (1850)	$\sigma_{сж}$=1…2	2…5	—

*1 В скобках дана пикнометрическая плотность.
*2 (*a*), (*c*) — значения параметра вдоль кристаллографических осей соответственно *a* и *c*.

порядка выше, чем термостойкость карбидов TiC и ZrC и наиболее огнеупорных оксидов ZrO_2, MgO и BeO.

Обычно испарение графита в вакууме не превышает миллионных долей грамма с квадратного сантиметра за 1 мин при температуре до 2000 °С и практически не зависит от контакта с металлами. В свою очередь огнеупорные оксиды (кремний, алюминий и цирконий) в аналогичных условиях диссоциируют с образованием летучих оксидов низшей валентности — SiO, $A1_2O$ и ZrO. При этом выделяющийся кислород образует с тугоплавкими металлами отливок легкоплавкие оксиды с температурой плавления ниже, чем температура плавления оксидообразующего металла.

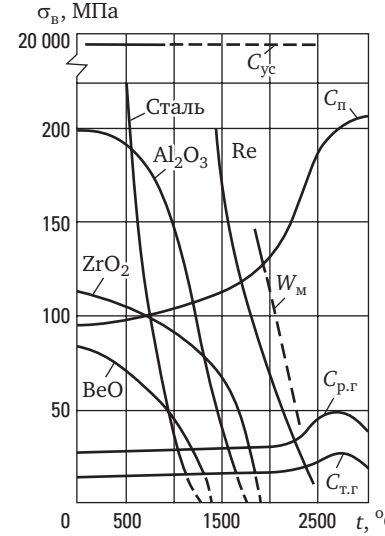


Рис. 4.1. Изменение при нагреве временного сопротивления графитов, оксидов и металлов:

$C_{ус}$, $C_п$, $C_{р.г}$, $C_{т.г}$ — графиты соответственно в виде усов, пирографит, рекристаллизованный, технический; $W_м$ — монокристалл вольфрама

Современные исследования говорят о том, что скорость растворения графита в расплавленном титане на один-два порядка ниже, чем скорость растворения карбидов (TiC, ZrC), тугоплавких металлов (Mo, W) и огнеупорных оксидов ($A1_2O_3$, ZrO_2). Мольный объем образующихся на поверхности отливок карбидов при контактном взаимодействии графита с *d*-металлами IV…VI групп несколько превышает (в 1,1…1,3 раза) объем прореагировавших металлов, тогда как объем оксидов этих металлов больше в 2…3,5 раза, что может вызывать напряжения в контактной зоне огнеупорного оксида и металла и приводить к дефектам отливок.

Истинная плотность графитов с различной структурой межатомных связей изменяется от 1400 до 2200 кг/м^3, а удельные объемы этих графитов различаются в 2…3 раза. Поэтому теплоаккумуляционная способность различных графитов, оцениваемая по формуле $b_ф = \sqrt{\lambda c \rho}$, изменяется в более широком диапазоне

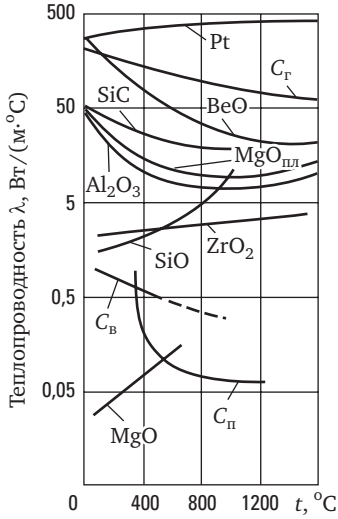


Рис. 4.2. Теплопроводность графитов и оксидов:
$C_г$, $C_в$, $C_п$ — графит и графитовая ткань, пирографит; $MgO_{пл}$, $ZrO_{2пл}$ и SiO_2 — плотные оксиды; MgO взят в виде порошка; теплопроводность платины приведена для сравнения

в области высоких температур, чем теплоаккумуляционная способность всей группы огнеупорных оксидов.

При температуре выше 1000 °С теплопроводность плотных графитов одного порядка с теплопроводностью металлов, а пирографита и графитовых тканей ниже, чем оксидных огнеупоров (рис. 4.2).

4.2. Литье в графитовый кокиль отливок из цветных и черных сплавов

Способ литья в графитовые формы следует рассматривать как новый и требующий дополнительных исследований. В данном случае нужно на научной основе наладить производство углеродных материалов для литейных форм с требуемыми физико-механическими свойствами, а также разработать оптимальные технологии изготовления и эксплуатации графитовых кокилей.

Для изготовления качественных кокилей графит должен быть низкопористым (объемная доля пор до 17%), высокоплотным ($\rho >> 1700$ кг/м^3) и прочным ($\sigma_{сж}$ не менее 50 МПа). По этим параметрам подходят графиты МПГ-6, КПУ-1 и в меньшей степени МГ-1. Их теплопроводность находится в пределах 80…100 Вт/(м·°С).

Использование электродных графитов с низкой плотностью ($\rho = 1500$ кг/м^3) невыгодно вследствие их быстрого износа.

Согласно литературным данным можно дать следующие технологические рекомендации по изготовлению отливок в графитовый кокиль.

Конструкция графитового кокиля в виде двух полуформ, которые крепят в специальных станках для заливки и раскрытия форм, более предпочтительна. При более сложной конструкции

полуформу оснащают толкателями, которые располагают по ее периферии.

Литниковую систему выполняют так, чтобы ее конфигурация, размеры и расположение в полуформах обеспечивали требуемые гидродинамические и теплофизические условия заливки и способствовали легкому извлечению отливки и рациональной эксплуатации форм. Расстояние между краем формообразующей полости и литником находится в пределах 75…100 мм, а литниковая чаша и стояк должны обеспечивать гидростатический напор при заливке, равный $^1/_4$ высоты отливки.

При фасонном литье легкоплавких сплавов литниковую систему проектируют так, чтобы обеспечить подачу металла снизу, по разъему формы, а питатели изготавливают широкими и короткими. Форма снабжается вентами, а литейные уклоны, формирующие наружную поверхность отливки, составляют 0,5…1° и 1,5…2°, для внутренних поверхностей. Радиусы сопряжения для внешних углов отливки часто принимают равными 0,2…0,4 мм, для внутренних углов 0,4…0,8 мм.

При литье сплавов на основе цинка и алюминия применяют графитовые кокили с размером полуформ по разъему до 300×400 мм и глубине формообразующей полости до 100 мм. При литье стальных колес железнодорожного транспорта, фланцев, крышек и других заготовок используют формы большего размера, простые цилиндрические или прямоугольные. Часто используют графитовые вставки или разовые песчаные стержни для формирования полостей.

Графитовые кокили бывают неразъемные, для простых отливок прямоугольной или цилиндрической формы; с горизонтальной плоскостью разъема для отливок большой массы и с достаточно сложной конфигурацией; с комбинированной плоскостью разъема, вставками и стержнями для фасонных отливок и универсальные со сменными графитовыми вставками.

Особенность использования этих кокилей также состоит в том, что после некоторого износа формообразующую полость кокиля можно многократно обновлять посредством переточки. В частности, для отливок типа дисковых железнодорожных колес перетачивание полуформ осуществляют вглубь по всей формообразующей поверхности и разъему, что не изменяет их геометрии.

При использовании графитовых вставок или покрытий с разной теплоаккумуляционной способностью можно создавать условия для направленной кристаллизации.

Иногда при литье стальных колес железнодорожного транспорта процесс заливки в графитовый кокиль осуществляют под избыточным (до 0,2 МПа) давлением сухого воздуха или азота.

Основные преимущества графитовых кокилей: сравнительно легкая обрабатываемость, что позволяет сократить их стоимость и время изготовления более чем в 2 раза; довольно высокая теплопроводность и малый температурный коэффициент линейного расширения, что обусловливает высокие стойкость и точность форм при многократной заливке; несмачиваемость графита расплавами, что позволяет их использовать без противопригарных покрытий; в 3…4 раза меньшая масса, что упрощает эксплуатацию таких кокилей.

Графитовыми кокилями и формами пользуются многие предприятия как отечественных, так и зарубежных производителей.

Если сравнивать данное литье с литьем под давлением, то графитовые кокили выгодно использовать для отливок небольших и средних (до 10…15 тыс. отливок) партий, а наиболее эффективное применение кокили из графита находят при отработке конструкции металлических пресс-форм и технологий литья под давлением.

Однако при литье медных сплавов, чугуна и стали стойкость графитовых кокилей ниже, чем при литье цинково-алюминиевых сплавов, и составляет десятки или сотни заливок, а с учетом многократного перетачивания — несколько тысяч. В то же время использование графитовых кокилей часто является менее дорогим и технически более совершенным, чем литье под давлением и в металлический кокиль.

4.3. Литье в углеродные формы тугоплавких сплавов

Возможности современных литейных технологий тугоплавких сплавов весьма ограничены, одними из главных проблем в данном случае являются технологические проблемы литейной формы.

4.3.1. Технология изготовления углеродных форм

При серийном производстве небольших точных титановых отливок применяют главным образом литье в углеродные формы по выплавляемым моделям. Тогда как крупные отливки получают в формах, изготовленных набивкой и прессованием.

Изготовление форм по выплавляемым моделям в данном случае практически аналогично традиционному способу с применением оксидов.

Главные отличия состоят в том, что в качестве наполнителя применяют сухие коллоидно-графитовые смеси или пылевидные фракции искусственного графита (менее 0063), а в качестве связующего материала 40…50%-ный раствор высокококсующихся фенолоформальдегидных или фурановых смол в этиловом или изопропиловом спирте, ацетоне, этилальдегидной фракции и в других растворителях. При этом рекомендуемые массовые соотношения графитового наполнителя и смолы (на сухой остаток) в суспензии обычно близки к соотношению 1:1. Вязкость суспензии доводят до необходимых ее технологических свойств.

Формирование оболочковой формы по выплавляемым моделям также состоит в последовательном нанесении слоев суспензии и обсыпке крупнозернистым порошком графита в псевдоожиженном слое и подсушке блока. Суспензия содержит различные катализаторы отверждения смолы (керосиновый контакт Петрова, бензолсульфокислоту, паратолуолсульфокислоту, соляную кислоту, малеиновый ангидрид и др.).

Далее модели удаляют традиционными способами, а термообработку ведут в безокислительной среде при 1000…1200 °С или в вакуумной печи при температуре 1700…1800 °С в зависимости от назначения форм.

После обжига прочность форм равняется 1,2…1,8 МПа, а линейная усадка 3…4,5%. Повышения прочности в данном случае можно добиться введением карбидообразующих порошков (например, титана) или пропиткой оболочек водно-ацетоновой эмульсией коллоидно-графитового препарата.

При изготовлении набивных и прессованных форм применяют смеси, содержащие графитовые или коксовые наполнители фракций 0,25…1,25 с коксующимися смолами (иногда с добавкой

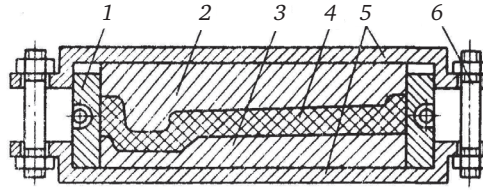


Рис. 4.3. Пресс-оснастка для изготовления форм ИКД-методом:
1 — опока; *2* и *3* — формообразующие пуансоны; *4* — углеродная форма (стержень); *5* — прижимные фиксирующие плиты; *6* — фиксирующий болт

крахмалистых веществ). По окончании набивки и прессования плотность форм достигает 1250 кг/м^3. Обжиг таких форм ведут в инертной атмосфере в контейнерах с графитовой засыпкой.

Способ изохорной карбонизации под давлением (ИКД-метод) основан на термокаталитическом отверждении на модели и низкотемпературной карбонизации при температуре 200…400 °С углеродных формовочных композиций (УФК) с термореактивными высокококсующимися связующими под давлением, в заданном объеме формообразующей оснастки (рис. 4.3). Метод обеспечивает получение высокоточных форм без усадки формообразующей модели, что не может быть достигнуто обычным уплотнением или прессованием в нагретой оснастке. Для реализации метода соотношение наполнителя и связующего материала должно соответствовать модели «жесткого каркаса».

Основные этапы технологических процессов изготовления углеродных форм в условиях изохорной карбонизации ИКД-методом приведены на рис. 4.4.

Разным степеням прочности и уплотнения соответствует оптимальное соотношение связующего и наполнителя (рис. 4.5).

Изготовленные ИКД-методом формы могут быть применены как кокили для литья магниевых, алюминиевых и медных сплавов. Также этим методом изготовляют кокили для отливки художественных изделий из цветных сплавов, используя модели из металла, пластмассы, фарфора или других материалов. При этом температура термообработки форм в оснастке может быть понижена до 120…160 °С.

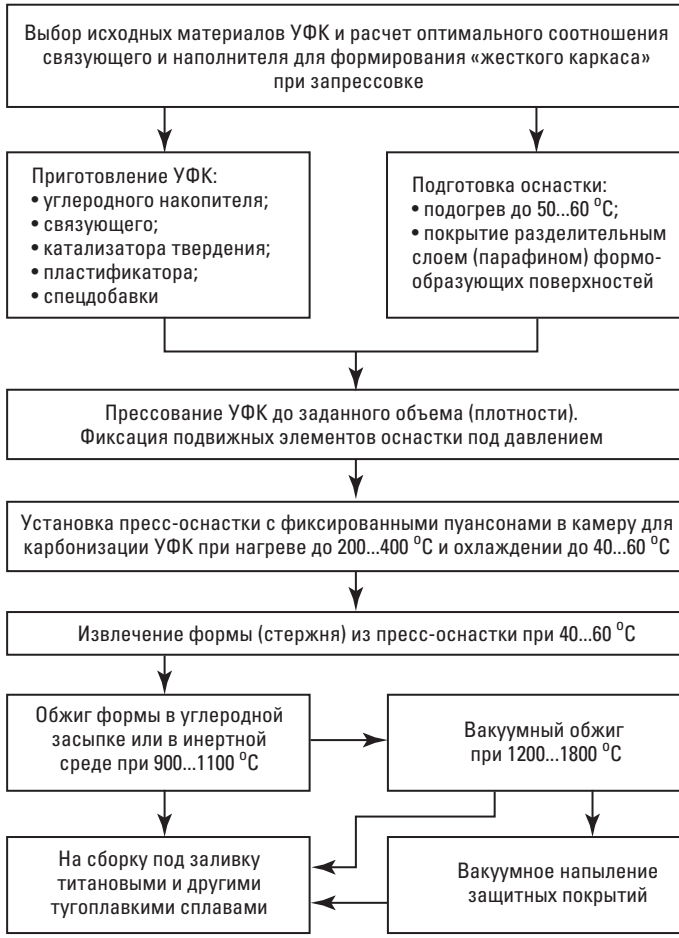


Рис. 4.4. Технологическая схема изготовления безусадочных углеродных форм в условиях изохорной карбонизации под давлением (ИКД-метод)

4.3.2. Процессы, происходящие при формообразовании

Свойства углеродных форм, такие, как точность, прочность, плотность и термохимическая инертность, в основном определяются химическим составом (УФК) и соотношением в ней наполнителя и связующего. В качестве основного наполнителя используют классифицированную крошку электродного графита и

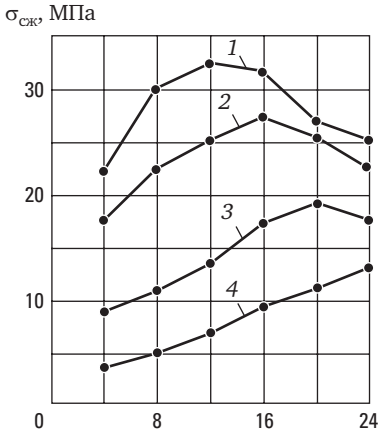


Рис. 4.5. Зависимость предела прочности при сжатии углеродных образцов, изготовленных ИКД-методом, от массовой доли в них фуранового связующего и их плотности: *1* — ρ = 1250 кг/м^3; *2* — ρ = 1500 кг/м^3; *3* — ρ = 1650 кг/м^3; *4* — ρ = 1850 кг/м^3

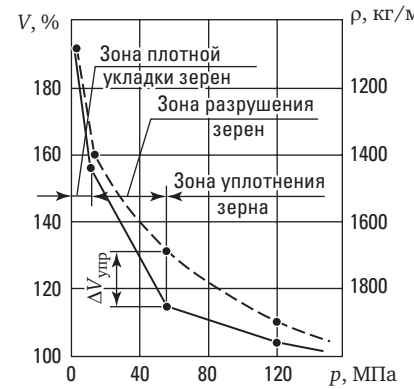


Рис. 4.6. Изменение объема, насыпной плотности ρ и распрессовки $\Delta V_{упр}$ графитовой крошки: объем графита, уплотненного до 2000 кг/м^3, принят за 100%; – – – — изменение объема после снятия давления

термостабилизированный кокс, а в качестве связующих материалов — высокококсующиеся термореактивные синтетические смолы фурановой и ароматической структуры (табл. 4.3).

Основное влияние на объемные изменения форм при уплотнении и термостабилизации оказывает соотношение связующего материала и наполнителя. Можно представить модель формовочной композиции двумя состояниями: I — композиция «плавающего» наполнителя и II — композиция «жесткого каркаса» с контактом зерен наполнителя. Очевидно, что приближение к состоянию «жесткого каркаса» достижимо только при значительных усилиях уплотнения, и при этом зерна графита упруго сжимаются (до 25% объема), что предполагает дальнейшее упругое расширение (распрессовку) композиций $\Delta V_{упр}$ (рис. 4.6). Все это приводит к модели I «плавающего» наполнителя, так как связующий материал концентрируется между зернами наполнителя.

При карбонизации связующего материала формы появляется усадка, и конечный объем формы $V_ф$ равен алгебраической сумме

4.3. Характеристики типовых связующих материалов для УФК

Связующий материал	Химическая структура материала	Элементный состав связующих материалов,% масс.	Температура интенсивного разложения и усадки, °С	Выход углеродистого образования, % масс.
Фенольные смолы (продукты конденсации фенола, формальдегида и фенолоспиртов)	Трехмерная с ароматическими циклами, связанными ($–CH_2–$) группами	С = 80…85; Н = 5…6; О = 14…16	320…480	До 60
Фурановые смолы (продукты конденсации фурфурола, фурилового спирта с фенолом, формальдегидом, ацетоном)	Трехмерная преимущественно с (–С–С–) и (–С=С–) связями	С = 70…75; Н = 5…6; О = 21…24	380…440	До 55

Примечания: 1. Характерный тип химической структуры и элементный состав приведены для заполимеризованного связующего материала при температуре 130…180 °С.

2. Выход углеродистого образования определен методом гравитационного анализа в аргоне со скоростью нагрева 10 °С/мин при температуре до 600 °С.

составляющих объемного изменения на различных стадиях формообразования:

$$V_{ф} = V_{м} + \Delta V_{упр} + \Delta V_{t1} - \Delta V_{t2} - \Delta V_{t3},$$

где $V_{м}$ — объем формы на формообразующей модели; $\Delta V_{упр}$ — упругое изменение объема после отделения формы от модели; ΔV_{t1} — изменения объема вследствие теплового расширения и газовыделений связующего на стадии предкарбонизации; ΔV_{t2} и ΔV_{t3} — уменьшение объема соответственно при карбонизации и охлаждении формы.

При разных методах формовки неизбежны знакопеременные объемные изменения, что приводит к деформации и нарушению целостности форм (рис. 4.7).

Характер изменений эксплуатационных и технологических свойств, а также характеристик форм в зависимости от состава исходной УФК и ее плотности показан на рис. 4.8 и 4.9.

В композиции, соответствующей модели «плавающего» напол-

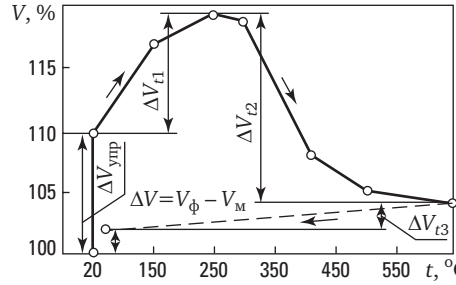


Рис. 4.7. Стадийное изменение объема формы из УФК:
объем формы на модели принят за 100%; – – – — изменение объема после снятия давления

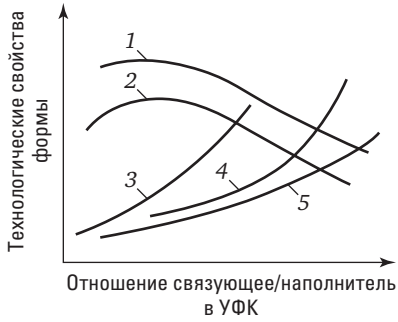


Рис. 4.8. Характер изменения свойств форм в зависимости от содержания связующего материала в УФК:
1 — теплоаккумуляционная способность и термохимическая инертность; *2* — прочность и средняя плотность; *3* — усадка и деформация при обжиге; *4* — плотность; *5* — газотворная способность при заливке

Рис. 4.9. Характер изменения свойств форм в зависимости от степени уплотнения УФК:
1 — точность формы; *2* — газотворная способность при заливке и газопроницаемость; *3* — прочность, термоаккумуляционная способность, термохимическая инертность к отливке, средняя плотность; *4* — усадка при обжиге; *5* — растрескивание, увеличение объема при обжиге; I — зона свободного формообразования (по выплавляемым моделям); II — зона уплотнения набивкой; III — зона уплотнения прессованием

нителя, главное влияние на изменение объема оказывают ΔV_{t1} и особенно ΔV_{t2} (усадка), а для модели «жесткого каркаса» определяющим для объемных изменений является упругое расширение

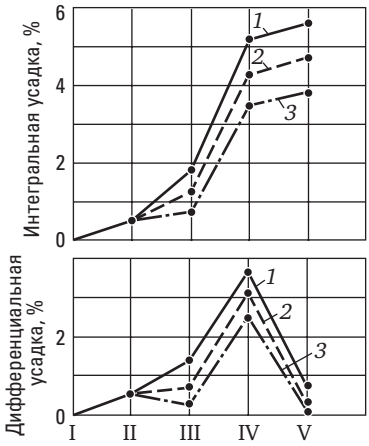


Рис. 4.10. Усадка углеродных форм, изготовленных методом выплавляемых моделей, в зависимости от отношения количества связующего (сухого остатка) к наполнителю в суспензии:
1 — 0,75; *2* — 0,5; *3* — 0,25; I — пресс-форма; II — модель; III — форма после вытопки модели; IV, V — форма после обжига соответственно до 850 и до 1900 °С

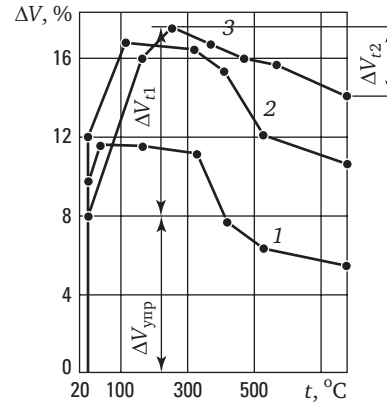


Рис. 4.11. Зависимость изменения объема ΔV прессовок УФК от температуры нагрева и вида связующего:
1 — фурановая смола; *2* — фенолоформальдегидная; *3* — каменноугольный пек

$\Delta V_{упр}$. Максимальное содержание q, %, связующего для модели «жесткого каркаса» наполнителя можно оценить по формуле

$$q = \frac{\gamma_с}{d_н}(d_з - kd_н),$$

где $\gamma_с$ — плотность связующего материала; $d_з$ и $d_н$ — средние плотности соответственно углеродного зерна и совокупности зерен в «жестком каркасе»; k — коэффициент, учитывающий открытую пористость графита (0,1…0,3). Для форм, изготовляемых прессованием под давлением 2…5 МПа, q составляет 12…16%.

При изготовлении форм набивкой и по выплавляемым моделям концентрация связующего в 2…5 раз больше, что определяет большую усадку при карбонизации (рис. 4.10).

На рис. 4.11 представлены данные упругого последействия и усадки форм, изготовленных прессованием (5 МПа), в зависимо-

сти от температуры термообработки и вида связующего материала. Повышение давления приводит к снижению усадки, но к увеличению упругого последействия.

4.3.3. Особенности плавки и взаимодействия углеродных форм с отливкой

Плавку и заливку тугоплавких металлов осуществляют в вакууме или атмосфере инертных газов. Самое широкое промышленное использование получил электродуговой гарнисажный метод плавки с расходуемым (расплавляемым) электродом. В данном случае электрод изготавливают из металла, предназначенного для отливки, а расплавленный металл электрода накапливается в графитовом тигле, после чего сливается в литейные формы или приемную чашу при центробежной заливке форм.

Использование вакуума при плавке позволяет очистить металл от легколетучих примесей. Для предотвращения потерь компонентов с высокой упругостью пара плавку проводят в атмосфере инертного газа.

В данном случае к основным недостаткам электродугового способа плавки можно отнести невозможность обеспечения высокого перегрева металла перед заливкой и его полной дегазации, так как при этом способе плавки температура металла в момент расплавления электрода незначительно превышает температуру его плавления, что препятствует достаточно полному протеканию реакций рафинирования.

Также все большее применение получает электронно-лучевой метод, основанный на использовании тепловой энергии торможения электронов при бомбардировке в вакууме расплавляемого металла. Этот метод позволяет длительно выдерживать и дегазировать ванну жидкого металла в высоком вакууме при заданном перегреве, переплавлять скрап и проводить дошихтовку непосредственно при плавке, предоставляя возможность выплавки прецизионных тугоплавких сплавов. Схема плавильно-заливочной установки приведена на рис. 4.12.

Графитовый кокиль практически инертен к цветным легкоплавким металлам и медным сплавам в условиях заливки, но при литье тугоплавких металлов и их сплавов интенсивность взаи-

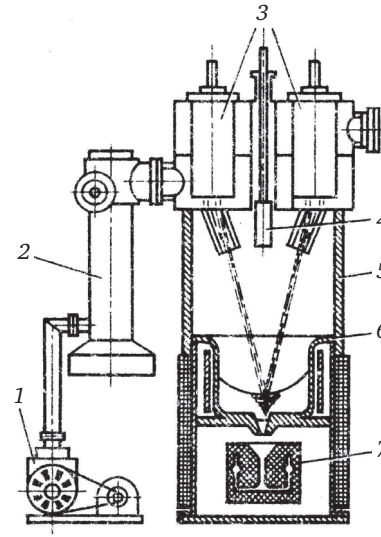


Рис. 4.12. Электронно-дуговая гарнисажная плавильно-заливочная установка:
1 — форвакуумный насос; *2* — вакуумный диффузионный насос; *3* — электронные пушки; *4* — державка электрода; *5* — вакуумная камера; *6* — плавильный гарнисажный тигель; *7* — литейная форма

модействия отливки с формой является одним из определяющих факторов, затрудняющих производство качественного литья.

Результаты прогнозирования интенсивности и характера взаимодействия отливок из различных *d*-металлов с углеродной формой методом оценки свободной энергии образования карбидов, теплового и объемного эффектов образования карбида, электроотрицательности и температуры плавления металла не только не однозначны, но и зачастую прямо противоположны результатам эксперимента и производственной практики. В частности, титан и цирконий интенсивно пропитывают (металлизируют) пористые графитовые формы, но при контакте с высокоплотными графитами ($\rho > 1750$ кг/м^3) или беспористой поверхностью форм из коллоидного графита пропитка почти не наблюдается, и поверхность таких форм сохраняет свой первоначальный микрорельеф. В тех же условиях контакта вольфрам и молибден не пропитывают пористые формы, но поверхность как пористых, так и плотных графитов подвергается довольно сильной и неравномерной эрозии на значительную глубину по причине растворения углерода в металле.

Выявленный двойственный характер взаимодействия тугоплавких *d*-металлов с графитом обусловлен, прежде всего, структурно-энергетическими параметрами электронного строения

атомов металла. Тенденция изменения характера взаимодействия (эрозии и пропитки) расплавов *d*-металлов IV–VI групп, 4–8 периодов от их положения в Периодической системе элементов приведена в табл. 4.4.

4.4. Тенденция повышения активности пропитки $A_{пр}$ и эрозии $A_{эр}$ углеродных форм тугоплавкими *d*-металлами в зависимости от их положения в Периодической системе элементов*

Период	Группа *d*-металлов		
	IV	V	VI
4	$Ti\,d^2s^2$ $A_{пр}3^+$; $A_{эр}0^+$	$V\,d^2s^2$ $A_{пр}2$; $A_{эр}2^+$	$Cr\,d^5s^1$ $A_{пр}1^-$; $A_{эр}3^+$
5	$Zr\,d^2s^2$ $A_{пр}3^+$; $A_{эр}0$	$Nb\,d^4s^1$ $A_{пр}1^+$; $A_{эр}1^+$	$Mo\,d^5s^1$ $A_{пр}1$; $A_{эр}3$
6	$Hf\,d^2s^2$ $A_{пр}3^+$; $A_{эр}0$	$Ta\,d^3s^1$ $A_{пр}1^+$; $A_{эр}1^+$	$Wd\,d^4s^1$ $A_{пр}1^+$; $A_{эр}3$

Эрозия

Эрозия

Пропитка

* $A_{пр}$ и $A_{эр}$ оценены экспериментально в баллах (0, 1, 2 и 3); знак «+» означает больше, знак «–» — меньше.

С повышением числа *d*-электронов в рядах металлов Ti–Cr, Zr–Mo, Hf–W эрозия графита увеличивается, тогда как с повышением главного квантового числа — понижается, а на взаимодействие *d*-металлов с графитами оказывает влияние структура графитов. Относительную термохимическую активность $A_ф$ различных углеродных материалов к расплавам *d*-металлов можно прогнозировать, исходя из следующей зависимости:

$$A_ф = \frac{L_a \gamma}{d b_ф},$$

где L_a — размер кристаллита графита по оси a; γ и d — соответственно истинная и средняя плотности формы; $b_ф$ — теплоаккумуляционная способность формы.

Приведенная зависимость говорит о том, что при литье сплавов на основе металлов IV группы (Ti, Zr, Hf) нужно обеспечить низкую пористость контактного слоя поверхности формы, т.е. показатель γ/d этого слоя должен быть минимальным, приближаясь к единице. Тогда как для литья *d*-металлов V и главное VI групп нужны формы из мелкокристаллических графитов с высокой теплоаккумуляционной способностью, т. е. с минимальным значением отношения $L_a/b_ф$ для всего объема формы.

Таким образом, формы, изготовленные по выплавляемым моделям с плотным контактным слоем из коллоидного графита и с пористой теплоизоляционной оболочкой, и поэтому с низкой теплоаккумуляционной способностью, обеспечивают качественную поверхность у титановых и циркониевых отливок, но в свою очередь не пригодны для литья сплавов молибдена, вольфрама, ванадия и хрома. И наоборот, формы (стержни) из блочного графита даже с низкой плотностью (пористые), например, из электродного графита, но с высокой теплоаккумуляционной способностью могут оказаться более пригодными для литья ниобия или молибдена, чем для литья титана и циркония.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные тугоплавкие металлы.
2. Назовите основные материалы для изготовления литейных форм.
3. Назовите основные свойства углеродных формовочных материалов.
4. Назовите особенности литья в графитовый кокиль черных и цветных сплавов.
5. Назовите особенности заливки в углеродные формы тугоплавких металлов.
6. Назовите основные этапы и способы изготовления углеродных форм.
7. Назовите особенности взаимодействия углеродных форм с отливкой.

Список литературы

1. **Иванов В.Н.** Специальные виды литья: учеб. пособие / под ред. В.С. Шуляка. — М.: МГИУ, 2007. 316 с.

2. **Специальные** способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. / под ред. В.А. Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. 436 с.

3. **Колотило Д.М., Челядинов Л.М.** Углеродные литейные формы. — Киев: Наукова думка, 1971. — 158 с.

4. **Производство** фасонных отливок из титановых сплавов / Е.Л. Бибиков, С.Г. Глазунов, А.А. Неустроев и др., под общ. ред. Г.С. Глазунова, А.А. Неустроева. — М.: Металлургиздат, 1983. 260 с.

5. **Забаронок Г.Ф., Зеленцов Г.К.** Электронная плавка металлов. — М.: Металлургия, 1972. 350 с.

6. **Колотило Д.М., Носалевич М.И.** Фурановые связующие формовочных композиций. — Киев: Наукова думка, 1978. 126 с.

7. **Воздвиженский В.М., Добродеев В.В., Графенкова Л.В.** Влияние режимов отверждения связующего на физико-механические свойства графитовых форм / Современные формы и сплавы для специальных методов литья. — Пермь: ППИ, 1984. С. 120—131.

8. **Колотило Д.М, Карнажицкий В.Н., Козлов А.Т.** Оптимизация химических и теплофизических процессов взаимодействия тугоплавких металлов IV—VI групп с углеродной формой. — Киев: ИПЛ АН УССР, 1982. 59 с.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Литье в гипсовые формы

Гипсовые формы применяются давно. Сначала их использовали в основном для изготовления художественных изделий, в России — для отливки оловянных и свинцовых скульптур. Позднее гипсовый материал стали широко использовать в зубопротезной и ювелирной промышленности. Благодаря разработке новых огнеупорных материалов (шамот, динас, кристобалит) область использования гипсовых форм расширилась, их стали применять для изготовления изделий из сплавов на основе Sn, Zn, A1, Cu и драгоценных металлов.

В настоящее время из алюминиевых сплавов получают отливки массой от 0,05 до 100 кг, с толщиной стенки 1…2 мм и габаритами до 700 мм, из магниевых сплавов — тонкостенные (толщина стенки 1…2,5 мм) и протяженные (400…500 мм) отливки. Отливки из медных сплавов получают в гипсовых формах, когда их невозможно изготовить в керамических формах из-за прогиба форм при получении крупногабаритных отливок (до 500 мм, массой 10…20 кг и более).

Гипсовые формы подразделяют на три группы:

К *1-й группе* относят формы из чистого гипса или же с небольшими примесями пылевидных материалов. Они обрабатываются при невысоких температурах (до 200 °С) и предназначены для отливки изделий из легкоплавких сплавов (на основе Pb, Sn, Zn).

Ко *2-й группе* относят формы, прокаливаемые при 800 °С. Они, как правило, предназначены для заливки сплавов на основе алюминия, меди и благородных металлов. Эту группу представляют формы с асбестовым или с асбесто-кремнеземистыми наполнителями.

К *3-й группе* относят пеногипсовые формы, процесс изготовления которых обеспечивает высокую геометрическую точность

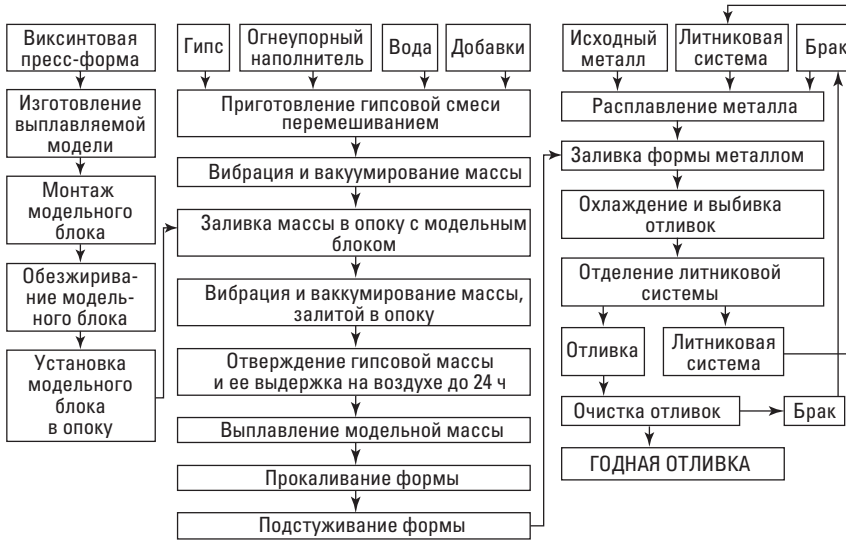


Рис. 5.1. Схема технологического процесса изготовления отливок в гипсовых формах

алюминиевых отливок (например, турбинных колес со сложными криволинейными лопатками).

Часто гипсовая форма имеет несколько поверхностей разъема и бывает цельной. В первом случае применяют в качестве эталона постоянную модель из пластилина, резины и других материалов, так как модель в данном случае заливают жидкой гипсовой суспензией без какого-либо ее уплотнения. В остальных случаях применяют выплавляемую модель (рис. 5.1).

При перемешивании суспензии, состоящей из таких компонентов, как вода, гипс и мелкодисперсные огнеупорные наполнители, в нее замешивается много воздуха, что приводит к образованию на поверхности отливок дефектов. Поэтому суспензию перед использованием обязательно вакуумируют и подвергают вибрации.

Далее приготовленную гипсовую смесь заливают в оснастку спокойной струей без захвата воздуха. Также рекомендуется перед заливкой смеси в опоку покрыть модель тонким слоем той же суспензии и продолжить вибрацию при заливке. Поверхности разъема гипсовых форм смазывают машинным маслом.

Форму сушат в нормальных условиях при извлеченной постоянной модели, а выплавляемую модель удаляют при температуре на 10…15 °С выше температуры плавления модельного состава.

По мере надобности форму прокаливают, причем температура прокаливания должна быть на 50…100 °С выше температуры плавления заливаемого металла, но не выше 800 °С. При необходимости после прокаливания форму охлаждают и металл заливают в подстуженную форму. В раскаленные же формы заливают металл при изготовлении отливок со сложной поверхностью.

Главные особенности процесса заключаются в следующем:

- гипс используется как связующее и как наполнитель;
- жидкоподвижная самотвердеющая суспензия является материалом литейной формы;
- модели могут быть из разнообразных материалов, так как гипсовую форму изготавливают без какого-либо уплотнения.

К *преимуществам* можно отнести:

- возможность получения отливок из цветных и благородных сплавов с чистой поверхностью и высокой точностью геометрических размеров;
- относительную простоту технологического процесса изготовления отливки по шаблону;
- низкую теплопроводность форм и их высокую прочность в холодном и горячем (до 800 °С) состояниях, что способствует спокойному заполнению металлом сложных и тонкостенных отливок;
- быстрое изготовление опытных отливок.

Среди *недостатков* процесса можно отметить следующие:

- ограничение изготовления отливок лишь цветными сплавами с температурой плавления до 1300 °С;
- преобладание ручных операций;
- ограниченное использование отработанных смесей и их компонентов.

5.1. Материалы для изготовления формы

Гипс. При обработке в автоклавах гипсового камня насыщенным водяным паром образуется α-полугидрат (формовочный гипс), а с использованием более чистого сырья можно получить высоко-

прочный гипс. В том случае, если обработка ведется в открытых сосудах, сообщающихся с атмосферой, то образуется β-полугидрат (строительный гипс). При нагреве до 170…200 °С происходит обезвоживание гипса и образуется растворимый ангидрид ($CaSO_4$). Далее, при 200…400 °С полностью удаляется вода с образованием смеси нерастворимого и растворимого ангидрида, а при 400…450 °С гипс переходит в модификацию гипса — ангидрид ($CaSO_4$), который практически не реагирует с водой. Дальнейший рост температуры приводит к увеличению в гипсе извести.

По сроку схватывания гипс подразделяют на быстро-, нормально- и малотвердеющий (табл. 5.1).

5.1. Сроки схватывания гипса

Связующее	Индекс	Сроки схватывания, мин	
		Начало, не ранее	Конец, не позднее
Быстротвердеющий гипс	А	2	15
Нормально твердеющий гипс	Б	6	30
Малотвердеющий гипс	В	20	Не нормируется

В зависимости от степени помола различают виды связующих, приведенных в табл. 5.2.

5.2. Степень помола гипсовых связующих

Связующее	Индекс	Максимальный остаток на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Для изготовления литейных форм рекомендуется применять высокопрочные сорта гипса с нормальным сроком твердения.

Огнеупорные наполнители. Из разных огнеупорных материалов: кремнеземистых, алюмосиликатных, глиноземистых, асбеста, цирконовых и др. наилучшие результаты показали аморфный и кристаллический кварц, кристобалит, динас и асбест. За рубежом часто применяют кристобалит, а в отечественной практике его заменяют динас, асбест и кварц.

Известно, что асбест и асбест-хризотил состоят в основном из смеси волокон различной длины и агрегатов гидросиликатов магния ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$). Асбест обладает способностью расщепляться на тонкие эластичные волокна, что приводит к армированию гипсовой формы и увеличению ее прочности в процессе изготовления, сушки и заливки металлом.

По химико-минералогическому составу кремнеземистые огнеупоры подразделяют на пять марок: кварцевое стекло (99; 0,5), кварцитовый (97; 1,6), кварцитовый (95; 3), динасовый (92; 2), динасовый (87). Цифры указывают на содержание в огнеупорах SiO_2 и $A1_2O_3$. Данные огнеупоры обычно получают размолом в шаровых мельницах, причем шары изготовлены из материала, не содержащего железа. Также используют пылевидные возгоны, образующиеся при шамотном производстве, содержащие 36…60% $A1_2O_3$.

Широкое использование кристобалита в качестве наполнителя гипсовых суспензий объясняется его специфической дилатометрической характеристикой. В данном случае термическое расширение кристобалита в интервале 230…260 °С составляет около 1,6%, а до 800 °С — около 1,8%, и это позволяет компенсировать усадку гипсовых форм при их прокаливании перед заливкой металлом. Кристобалит получают из кварцевого песка при нагреве его до 1600…1650 °С в течение 1,5…2 ч.

Оборотная смесь — этот материал, состоящий из размолотых отработанных формовочных смесей, часто применяют не в чистом виде, а в смеси с кварцем, динасом, шамотом и др., причем его содержание может достигать 50% от сухих материалов формы. Свойства оборотной смеси в значительной степени зависят от состава смеси, температурных воздействий при прокаливании и заливке металла, из-за этого рекомендуется в каждом конкретном производстве опытным путем подбирать состав смеси. Применение такой смеси диктуется, в основном, экономическими соображениями.

5.2. Технологические особенности изготовления гипсовых форм

Составы смесей. Составы используемых гипсовых смесей самые разнообразные и зависят от конкретной изготавливаемой отливки и требований, предъявляемых к ней. Для получения ху-

5.3. Составы формовочных смесей на основе гипса

Номер смеси	Компонент	Массовая доля, %
1	Гипс Асбест	80 20
2	Гипс Песок Асбест	40 50 10
3	Гипс Песок Асбест	30 67 3
4	Гипс Песок	30 70
5	Гипс Кристобалит	30 70

Примечание. Смеси 1…3 применяют для алюминиевых и магниевых сплавов; 4 и 5 — для медных сплавов.

дожественных изделий небольших размеров из драгоценных сплавов используют одни лишь тонкодисперсные материалы. В случае изготовления отливок повышенной массы и габаритов в состав гипсовой суспензии вводят наполнитель в виде огнеупорных песков с размерами зерен до 0,316 мм. В свою очередь для получения ответственных и дорогостоящих отливок, главным образом в ювелирной и зубопротезной промышленности, часто применяют готовые гипсовые смеси с кристобалитом. Типовые составы формовочных смесей приведены в табл. 5.3.

Прочность гипсового формовочного материала зависит от количества воды, добавляемой для образования жидкой массы, специальных добавок, гранулометрического состава компонентов.

В высокопрочный гипс добавляют 35…45% масс. воды для придания ему необходимой литейной консистенции; в строительный гипс — 60…70% масс.

Сроки схватывания вяжущих компонентов: для высокопрочного гипса после добавления воды — через 3…4 мин начало схватывания, окончание через 8…9 мин; для строительного гипса — начало схватывания через 6…10 мин, окончание через 10…25 мин.

При отливке деталей по постоянной модели рекомендуется применять смесь № 2, а по восковой — смесь № 3.

Для регулирования технологических свойств смесей в них вво-

дят различные добавки. Например, в гипсовой массе «К-90» (Италия) замедлителями являются смесь борной кислоты и буры, в массах «Суперкаст» и «Сатинкаст» (США) — смесь буры и силикатов калия, натрия и магния. Химический состав гипсовых смесей приведен в табл. 5.4.

5.4. Состав гипсовых смесей, % масс.

Марка	B_2O_3	CaO	SiO_2	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3
Суперкаст	0,58	11,71	66,18	1,67	0,15	0,24	0,71	—	0,25	16,7
К-90	0,83	9,5	74,31	—	0,03	0,01	—	—	—	13,5
Сатинкаст	0,35	10,83	70,25	0,75	0,12	0,4	0,25	0,44	0,15	15,3

Основные преимущества приведенных в табл. 5.4 составов заключаются в их высокой технологичности и стабильности свойств на всех операциях изготовления форм, а недостаток состоит в ограничении использования при температурах свыше 650 °С.

Отечественные составы гипсовых смесей разрабатывал отдел металлургии ВНИИювелирпрома. Например, гипсовая смесь «Ювелирная» имеет следующий состав: 80…88% динаса и 12% гипса, а загустителем является вода, подкисленная 0,5% ортофосфорной кислоты.

Чем больше воды в гипсовой смеси, тем ниже ее прочность, а различные сорта гипса имеют максимальный и минимальный пределы содержания воды. Причем при превышении максимального уровня воды повышается текучесть гипсовой массы, увеличивается время схватывания, уменьшается расширение массы. Органические же присадки (лингосульфонаты, синтетические смолы) заметно повышают прочность гипсовой формы при ее сушке до 200 °С, а минеральные (борная кислота, цемент, кремнекислый натрий и др.) увеличивают прочность форм после их прокаливания.

В табл. 5.5 приведены данные о влиянии различных добавок на скорость затвердевания гипсовых смесей и на период их живучести, которые были получены при разработке формовочной смеси «Ювелирная», а табл. 5.6 содержит сравнительные данные разработанной смеси с зарубежной смесью «Инвестрайт».

Последовательность достижения требуемой живучести гипсовой смеси при проведении экспериментов состояла в том, что затворяли подготовленную смесь водой с замедлителем (ортофос-

5.5. Скорость затвердевания гипсовой массы

Добавка	Количество на 1 л воды, мл	Затвердевание, мин		
		Начало	Конец	Период
Без добавок	—	15	20	5
HNO_3	15	6	8	2
H_3BO_3	10	21	26	5
H_3BO_3	60	5	8	3
Лимонная кислота	5	3 ч	—	—
$Na_2B_4O_7$	30	6 ч	—	—
NH_4OH	20	5	7	2
H_3PO_4	5	14	20	6

форная кислота) и проверяли ее текучесть и время затвердевания. При этом диаметр «лепешки» по Суттарду в данном случае должен быть не менее 120 мм, а время затвердевания — не более 30 мин. Если при достаточной текучести затвердевание продолжается более 30 мин, то следует уменьшить содержание ортофосфорной кислоты в воде, а если после уменьшения содержания кислоты время затвердевания остается длительным, т.е. превышает 30 мин, то в формовочной смеси следует увеличить содержание гипса, соответственно уменьшить содержание огнеупорных наполнителей. И, наконец, если состав затвердевает менее чем за 8 мин, то следует снизить содержание гипса, увеличив содержание кремнеземистых наполнителей, а при низкой текучести смеси необходимо увеличить содержание ортофосфорной кислоты.

Технология смешивания гипсовой массы влияет на количество и размеры воздушных раковин, образующихся при перемешивании сухой смеси с водой. При ручном смешивании трудно предотвратить замешивание воздуха в смесь. Смешивание следует проводить механической мешалкой. После 1…2 мин перемешивания жидкую гипсовую массу необходимо отвакуумировать 2…3 мин при остаточном давлении 2…5 кПа, а затем заливать в оснастку, не допуская замешивания воздуха. Вакуумирование гипсовой массы — радикальное средство для удаления воздушных пузырей и предохранения поверхности отливок от наростов и наплывов.

Анализируя практику приготовления и использования гипсовых смесей, можно сделать следующие выводы. С увеличением

5.6. Технологические свойства смесей «Ювелирная» и «Инвестрайт»

Свойства формовочной смеси	Содержание гипса в твердой фазе смеси, %					
	«Ювелирная»					«Инвестрайт»
Количество затворителя на 1 кг твердой фазы с H_3PO_4, мл	350	370	380	400	460	380
Текучесть по Суттарду, мм	180					
Затвердевание, мин:						
начало	24	19	14	10	9	14
конец	43	29	24	17	14	23
период	19	10	8	7	5	9
Прочность на сжатие, МПа:						
при 20 °С	0,1	0,19	0,25	0,4	0,55	0,3
при 600 °С	0,3	0,45	0,9	0,8	0,6	1,2
Осыпаемость, %	0,56	0,32	0,27	0,25	0,24	0,2

в составе содержания гипса прочность формы увеличивается, а при увеличении воды — уменьшается. Наибольшую прочность обеспечивает комплексный наполнитель, содержащий крупную и мелкую фракции, и влияние соотношения наполнителя тем больше, чем выше содержание в смеси гипса. Наилучшие технологические показатели состава с кристобалитовым наполнителем объясняются его дилатометрическими особенностями, которые обеспечивают стабильность геометрических размеров форм, их целостность (отсутствие коробления и трещин).

Модельно-опочная оснастка. При изготовлении гипсовых форм и стержней используют следующую оснастку: модели (восковые или постоянные), модельные плиты, стержневые ящики, опоки, холодильники и специальные приспособления для удаления моделей из форм.

Восковые модели изготовляют из состава ПС 50-50. Более тугоплавкие составы применять не рекомендуется. Восковые модели получают в гипсовых, стальных, алюминиевых, а также изготовленных из легкоплавких сплавов пресс-формах.

Постоянные модели и стержневые ящики изготовляют из латуни, стали, алюминиевых сплавов и дерева.

Деревянные модели применяют в том случае, когда к шероховатости поверхности и точности размеров отливок не предъявляют жестких требований. Изготовляют их из твердых пород дерева (ольхи, клена, и др.), покрывают лаком АК-20, сушат и полируют.

Для компенсации усадки металла и формовочного материала все размеры металлических моделей, а также шаблонов, по которым получают гипсовую оснастку, увеличивают на 1…1,5%. При отливке деталей по восковым моделям для компенсации усадки металла, формовочного материала и воска все размеры оснастки увеличивают на 1,5…2%. Наружные поверхности моделей выполняют без конусности, или ее принимают равной 0,5…1°.

Опоки применяют литые алюминиевые или деревянные. Стенки литых опок должны быть наклонены под углом 75…80°. При отливке деталей центробежным способом используют круглые опоки: разъемные — при литье в гипсовые формы по постоянной модели и неразъемные — при литье по восковой модели.

Изготовление форм по постоянным моделям. Гипсовые формы по постоянным моделям изготавливают безопочной формовкой. Гипсовую форму, как правило, изготовляют из двух половин, используя безопочную формовку. Саму формовку проводят в такой последовательности: на модельную плиту устанавливают опоку, обтянутую резиной. Модель и опоку (внутри) смазывают разделительной смазкой с массовой долей, %: стеарина 30 и керосина 70. Приготовленную гипсовую смесь, когда она начинает загустевать, заливают в нижнюю половину опоки с находящимися в ней моделями. После затвердевания смеси полученную половину формы зачищают, опоку переворачивают, устанавливают модели литников, питателей и стояка, накрывают нижнюю опоку верхней и наносят разделительную смесь.

После заливки гипсовой массы в опоку и ее затвердевания полученную вторую часть формы тоже зачищают, половины опоки разъединяют, извлекают модели и удаляют половины формы из опок.

Формы и стержни для отливки ответственных деталей обрабатывают паром при давлении 0,12…0,13 МПа в течение 6…8 ч, выдерживают 14 ч на воздухе, а затем отправляют на сушку или подкалку.

Изготовление форм по восковым моделям. Недостатком этого способа изготовления форм является приставание воздушных пузырей к модели в тех местах, в которых затруднен их выход из формовочной массы. В результате формы имеют раковины, а в отливках образуются шарообразные наплывы металла.

Удаление воздуха, как правило, осуществляют с помощью вибрации гипсовой массы сначала в сосуде, где ее приготовили, а затем из массы, залитой в опоку, под вакуумом на вибростоле. Остаточное давление вакуумирования 6,6 кПа, продолжительность вакуумирования и вибрации 10…12 мин.

Значительное количество пузырьков воздуха, приставших к восковой модели, удаляют окунанием модели несколько раз в загустевающую гипсовую смесь в опоке (модель предварительно обезжиривают спиртом). Затем модель погружают в опоку с гипсовой смесью и удерживают ее там до затвердевания массы (5…10 мин).

Последовательность операций при формовке: устанавливают опоку с поддоном и моделью на вибростол, включают вибростол и заливают в опоку гипсовую массу ковшом по стенкам опоки, не задевая модель. После заливки опоки выключают вибростол, выдерживают опоку до затвердевания гипсовой массы, снимают опоку и выдерживают на воздухе несколько часов или сутки, а затем выплавляют модель.

Выплавку моделей проводят с применением электрошкафов (температура 90…100 °С) или во влажной паровой камере (давление 0,12…0,13 МПа). При выплавке модели во влажной паровой камере воск вытапливают почти полностью (90…97% масс.), а в электрошкафах около 40…50% масс. воска впитывается в гипсовую форму. После этого формы отправляют на прокалку.

При сборке форм и подготовке их к заливке выполняют следующие операции:

- зачистку рабочей полости формы или стержня;
- обдувку сжатым воздухом;
- контроль зазоров между стержнями и формой калибрами;
- закрепление стержней в форме (шпильки, гвозди или жидкое стекло);
- установку верхней половины на нижнюю;
- нанесение обмазки между половинками формы (асбест с жидким стеклом плотностью 1300…1400 кг/м^3), скрепление струбцинами;
- нагрев собранных прокаленных холодных форм для отливки тонкостенных деталей и для высушивания обмазки;

• укрепление литниковой надставки обмазкой к верхней половине формы;

• установка грузов.

5.3. Оборудование, применяемое при изготовлении гипсовых форм

Оборудованием для изготовления гипсовых форм являются различные вибросита, автоклавы для кристаллизации отливок под давлением, автоклавы для обработки гипсовых форм паром, смесители для приготовления сухой и жидкой формовочной массы, приспособления для вакуумного всасывания металла из тигля, центробежные машины с вертикальной осью вращения и др.

На вибросите, приведенном на рис. 5.2, можно просеивать как материалы тонкого помола: маршалит, гипс, так и грубого: песок, асбест, шамот. Установка имеет небольшие габариты (980×650 мм), а производительность составляет около 60…70 кг/ч, что вполне может обеспечивать формовочной массой небольшой цех. Конструкция позволяет быстро менять сита

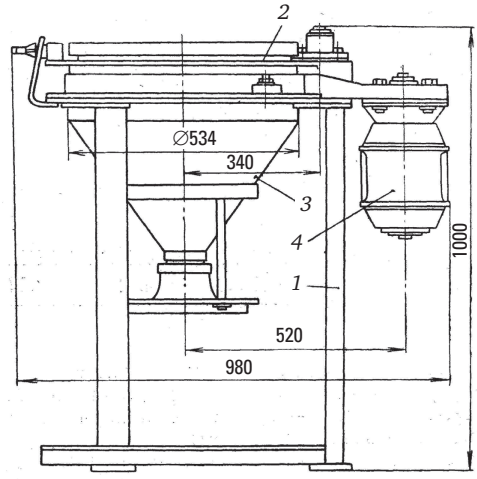


Рис. 5.2. Вибросито:

1 — сварная станина; *2* — рамка с натянутой на нее металлической сеткой; *3* — железный сварной колпак, в котором скапливается просеянный формовочный материал; *4* — электродвигатель

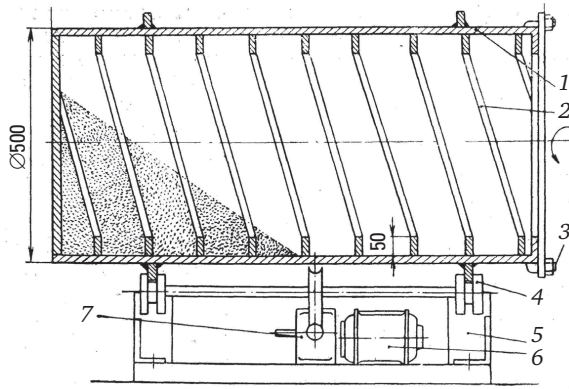


Рис. 5.3. Смеситель для приготовления сухой гипсовой смеси:
1 — цилиндр; *2* — винтовые ребра; *3* — откидные болты; *4* — ведущие ролики; *5* — рама; *6* — электродвигатель; *7* — редуктор

в зависимости от требований производства. Частота вибраций устройства составляет 3000 мин$^{-1}$. Для того чтобы тонкая гипсовая или маршалитная пыль не попадала в помещение, вибросито снабжено брезентовым чехлом, который надевается на сосуд, где скапливается просеянный материал.

Гипсовые смеси предварительно смешивают в сухом виде для лучшего обволакивания частиц асбеста и песка гипсом. Одна из конструкций смесителя для смешивания сухой массы представлена на рис. 5.3. Смеситель состоит из сварного барабана, изготовленного из листовой стали толщиной 8…10 мм, а внутри него по спирали приварены уголки. Снаружи, с двух сторон по кругу, барабана приварены две стальные полосы, по которым передвигаются ведущие ролики, вращающиеся от двигателя (через редуктор). Смеситель вращается со скоростью 25…30 мин$^{-1}$. При вращении барабана по часовой стрелке происходит промешивание смеси, а при его вращении в обратном направлении — выгрузка формовочного материала из смесителя. При вращении барабана из-за конструкций лопаток может происходить его заклинивание, поэтому движение вала обеспечивают реверсивным (как по часовой, так и против часовой стрелки) с равными промежутками (через 1…1,5 мин) с помощью специального переключателя. Загрузка и выгрузка формовочного материала в барабан осуществляются через загрузочное окно в боковой стенке смесителя.

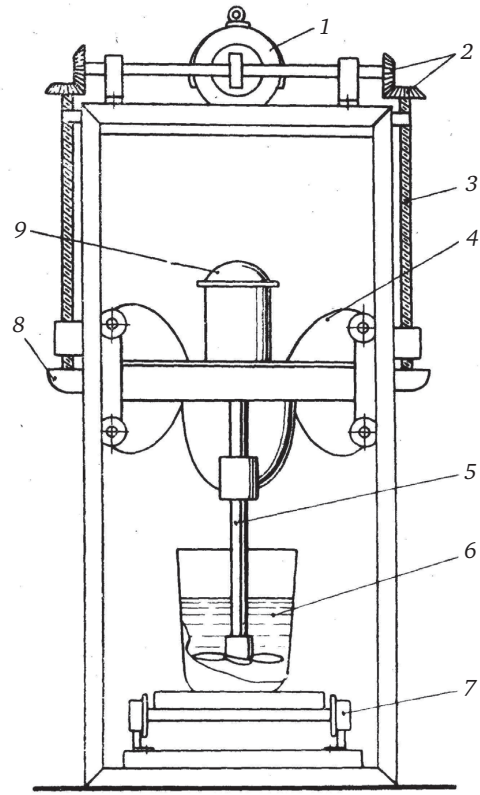


Рис. 5.4. Смеситель для приготовления жидкой гипсовой массы:
1 — электродвигатель; *2* — конические шестерни; *3* — винт; *4* — каретка; *5* — вал; *6* — жидкая масса; *7* — тележка; *8* — опорный подшипник; *9* — электродвигатель

Для получения жидкой гипсовой однородной массы применяют смеситель пропеллерного типа, одна из возможных конструкций которого приведена на рис. 5.4. В установку входит перемещающаяся каретка, которая дает возможность автоматически передвигать вал смесителя вверх и вниз. Для изменения частоты вращения мешалки применяют сменные конические шестерни, передающие движение от двигателя мешалке. Емкость с жидкой гипсовой массой откатывают на тележке, после того как вал смесителя поднят.

Сосуд для смешивания суспензии должен быть таким, чтобы высота была больше его диаметра, а изготовлять его следует из

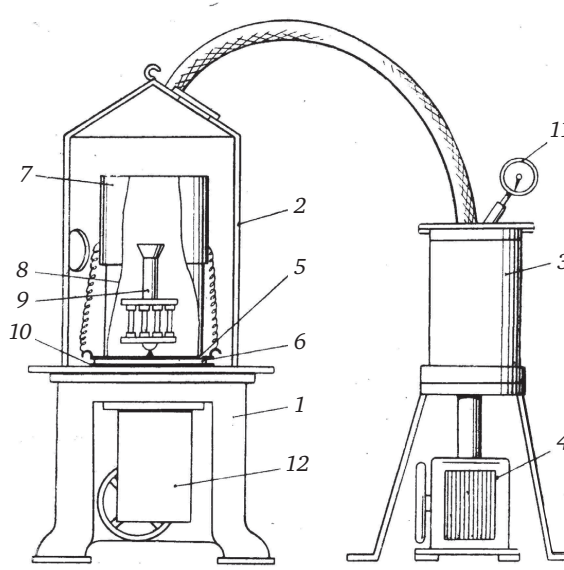


Рис. 5.5. Установка для удаления воздуха из жидкой гипсовой массы: *1* — вибратор; *2* — колокол; *3* — воздухоочиститель; *4* — вакуумный насос; *5* — губчатая резина; *6* — фанера; *7* — резиновая надставка; *8* — опока; *9* — восковой блок; *10* — свинцовая пластина; *11* — вакуумметр; *12* — разбалансированный мотор

резины толщиной 6…7 мм, поскольку гипс легко отстает от нее (после затвердевания). Резиновый сосуд устанавливают в металлическом сварном каркасе. Дно сосуда необходимо закруглить для предупреждения образования «мертвых» зон, т.е. таких, где гипсовая масса может остаться непромешанной. Для более эффективного промешивания гипсовой массы рекомендуется применять мешалку пропеллерного типа, лопатки которой укреплены на валу в один или два ряда.

При заливке в опоки гипсовой массы к восковым моделям может приставать значительное количество пузырей воздуха, в результате чего на отливках образуются дефекты. Для предотвращения этого восковой блок заливают гипсовой массой на вибростоле, а опоку с гипсовой массой помещают под колокол, из которого насосом удаляют воздух.

На рис. 5.5 приведена конструкция установки для удаления воздуха.

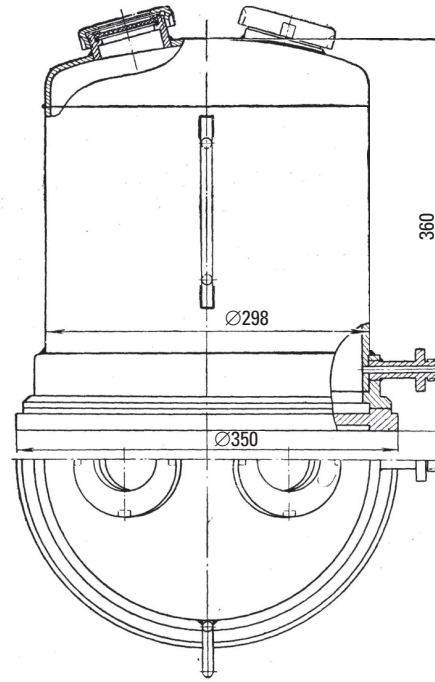


Рис. 5.6. Колокол для удаления воздуха из гипсовой массы

Установка состоит из вибратора с разбалансированным мотором, колокола, воздухоочистителя и вакуум-насоса. Вакуум-колокол (рис. 5.6) сваривают из листовой стали толщиной 5…6 мм и приваривают к массивному фланцу, выточенному из стальной заготовки. Вакуум-колокол ставят на стальную притертую плиту, на которую предварительно помещают опоку с залитой в ней жидкой гипсовой смесью. В верхней части вакуум-колокола обычно находятся два смотровых окна: одно из них предназначается для наблюдения за удалением воздуха из жидкой гипсовой массы, а другое для освещения внутренней части колокола.

Гипсовые формы часто обрабатывают паром в автоклавах (рис. 5.7) для уменьшения усадки и для получения стабильности размеров форм, иногда совмещая с вытопкой моделей. При этом сначала подают в автоклав пар низкого давления, а затем обрабатывают гипсовые формы паром при давлении 1,2; 1,3 атм ($1{,}2 \cdot 10^5$, $1{,}3 \cdot 10^5$ Па).

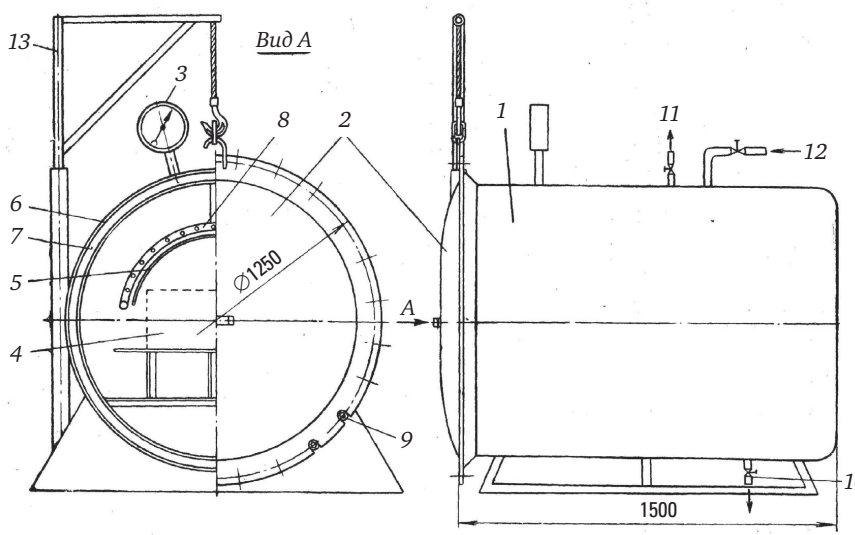


Рис. 5.7. Автоклав для обработки гипсовых форм паром:
1 — корпус автоклава; *2* — крышка автоклава; *3* — манометр; *4* — гипсовая форма; *5* — рассекатель; *6* — кожух; *7* — футеровка; *8* — перфорированная трубка; *9* — накидные болты; *10* — вентиль для сброса конденсата; *11* — вентиль для сброса давления; *12* — трубопровод для подачи пара; *13* — подъемник

Пар подают через перфорированную трубку, которая крепится к верхней части автоклава. Крышка автоклава подвешивается на специальном кронштейне для облегчения его передвижения при открывании и закрывании. При закрывании автоклава крышка прижимается болтами к резиновой прокладке, впрессованной в специальном углублении корпуса. Также используют автоклавы с нагревателями, в том случае если подача в цех пара затруднена.

Сброс конденсата происходит с помощью специального вентиля. Попадание конденсированной воды на гипсовые формы, обработанные паром, во избежание их размокания недопустимо.

Тонкостенные детали лучше всего отливать с использованием центробежной машины, особенно когда металл поступает в холодные или слегка нагретые формы, для получения высоких механических свойств отливок. На рис. 5.8 приведена конфигурация центробежной машины для отливки фасонных деталей. Машина позволяет крепить разные по высоте формы, обычно от 100 до 500 мм, и массой до 50…60 кг. Форму устанавливают на

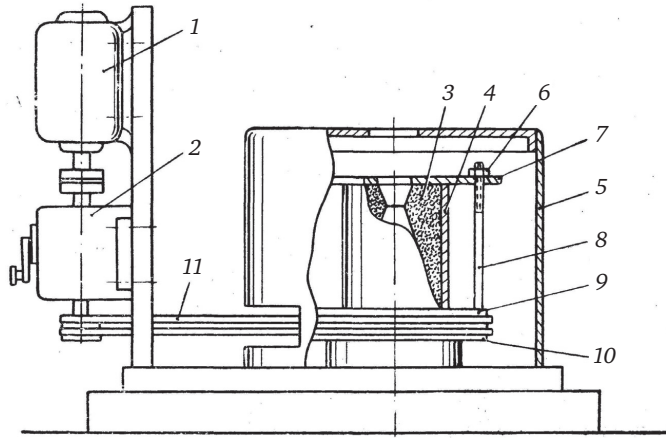


Рис. 5.8. Центробежная машина с вертикальной осью вращения:
1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — форма; *4* — опока; *5* — кожух; *6* — гайка; *7* — планка; *8* — болт; *9* — вращающийся стол; *10* — шкив; *11* — текстропный ремень

вращающийся стол центробежной машины и прижимают к нему специальной планкой, через которую пропущены два болта с навинчивающимися на них гайками. Болты ввинчивают также и во вращающийся стол центробежной машины. Планка толщиной около 30 мм в средней части содержит отверстие диаметром 100 мм, через которое металл поступает в форму. Двигатель с редуктором установлен на вертикальной стойке сварной станины центробежной машины. Редуктор позволяет регулировать скорость вращения формы в пределах 100…1000 мин$^{-1}$.

Способ вакуумного всасывания металла в форму довольно широко применяется при литье в гипсовые формы.

На рис. 5.9 приведена установка для вакуумного всасывания металла из тигля. Вакуум-колокол *1* крепят на стальной плите *2*, установленной на сварном (из уголков) столе *3*, в которой в местах соприкосновения с ней колокола, в специальном пазу, расположена резиновая прокладка *7*. На стальной плите прикреплены 8…10 прижимных пластин *8* с гайками, с помощью которых вакуум-колокол прижимают к стальной плите *2*. В плиту ввинчен стальной патрубок *13*, футерованный гипсовой массой, который также служит для засасывания металла из тигля. Перед заливкой

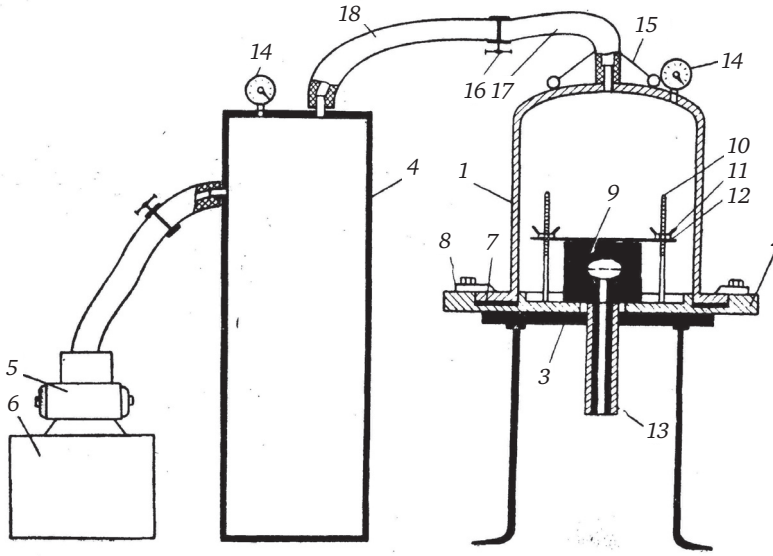


Рис. 5.9. Установка для заливки металла способом вакуумного всасывания: *1* — вакуумный колокол; *2* — металлическая плита; *3* — сварной стол; *4* — ресивер; *5* — вакуумный насос с электродвигателем; *6* — кирпичная подставка для вакуумного насоса; *7* — кольцевое углубление для установки резиновой прокладки; *8* — прижим; *9* — гипсовая форма; *10* — болт; *11* — гайка; *12* — прижимная планка; *13* — всасывающий патрубок, футерованный гипсовой массой; *14* — вакуумметр; *15* — тросы подъемного механизма; 16 — струбцина; *17*, *18* — вакуумные шланги

металла в форму на всасывающую трубу обычно надевают тонкую резину, чтобы создать в вакуум-колоколе необходимое разрежение. Затем эта резина сгорает при опускании всасывающей трубы в расплавленный металл.

Ресивер *4* и вакуум-насос *5* необходимы для того, чтобы в вакуум-колоколе быстро создавать и поддерживать определенное остаточное давление около 500 мм рт. ст. (0,66 МПа).

5.4. Особенности литья в гипсовые формы

При литье в гипсовые формы алюминиевых сплавов отливки массой 50…100 г получают при горизонтальной заливке. Тонкостенные отливки (1,5…2 мм) массой 50…200 г отливают в гипсо-

вые формы, нагретые до температуры 300…500 °С, температура заливки сплавов АЛ2, АЛ9, АЛ4 составляет 630…640 °С. Те же отливки с толщиной стенки 3 мм отливают в формы, нагретые до 40…50 °С, температура заливки составляет 610…620 °С.

Мелкие отливки отливают в автоклавах. При этом формы нагревают до 150…200 °С, температура заливки сплавов составляет 750 °С.

Отливки из алюминиевых сплавов с толщиной стенок 6…10 мм и массой 20…25 кг отливают в формы, нагретые до 80…100 °С; отливки с толщиной стенок (6…12)…(20…50) мм размерами 500×500 и более и массой 25…30 кг отливают в холодные гипсовые формы при температуре сплава 610…620 °С.

Крупные тонкостенные отливки длиной 3 м из алюминиевых сплавов с развитой поверхностью заливают в гипсовые формы, нагретые до 200…250 °С, одновременно из 4…5 ковшей, температура заливки 720…750 °С.

Мелкие отливки из магниевых сплавов массой 50…60 г заливают в гипсовые формы, нагретые до 300…400 °С (температура заливки 720 °С); более массивные отливки — в гипсовые формы, нагретые до 80…100 °С (температура заливки 720 °С); тонкостенные отливки из магниевых сплавов массой 0,5…1 кг и длиной до 0,5 м — в гипсовые формы, нагретые до 450… 500 °С. Массивные отливки из магниевых сплавов получают литьем в холодные гипсовые формы (температура заливки 710…720 °С).

Отливки из медных сплавов массой 20…25 кг, длиной до 500 мм (фланцы, рабочие колеса) заливают в холодные или подогретые до 80…100 °С гипсовые формы. Температуру заливки подбирают опытным путем в зависимости от марки сплавов.

Температура заливки медных сплавов не превышает 1200 °С. Бронзы с массовой долей свинца более 5% заливают при более низких температурах, так как гипс взаимодействует со свинцом, в результате чего на поверхности отливок образуется тонкий налет оксида.

В качестве смесей используют широко распространенные, дешевые материалы — гипс, песок, отходы асбеста и др.

Важное свойство гипсового формовочного материала — малая теплопроводность. Это позволяет создавать условия для направленного затвердевания отливок, имеющих толщину стенок менее 1 мм.

Хорошая текучесть смесей на основе гипса, гладкая после затвердевания поверхность и точность воспроизведения отпечатка дают возможность получать из этих смесей формы по любым сложным моделям. Изготовляют гипсовые формы по выплавляемым (восковым) и постоянным моделям.

Гипсоасбестовые смеси с массовой долей асбеста до 30% не рекомендуется применять для литья крупных отливок из алюминиевых сплавов, подвергаемых термообработке, так как в этом случае получают отливку с грубой структурой.

При литье медных и магниевых сплавов гипсовый формовочный материал не должен содержать влаги; при литье алюминиевых сплавов допускается массовая доля кристаллизационной влаги до 6%.

Заполняемость гипсовых форм цветными сплавами значительно выше, чем песчаных. Это позволяет заливать формы при невысоких температурах нагрева (250…400 °С) и получать тонкостенные отливки.

Заливка жидким металлом, близким к затвердеванию, является одной из особенностей литья в гипсовые формы, позволяющая предупредить образование рыхлости, уменьшить расход металла на литники, устранить пористость в отливках и др.

Применение принудительных методов заливки гипсовых форм жидким металлом (центробежное литье, вакуумное и под низким давлением) дает дополнительную возможность до некоторой степени понижать температуру металла и формы при литье тонкостенных деталей и улучшать их качество.

5.5. Пеногипсовые формы

Использование пеногипсовых форм обусловлено, прежде всего, их хорошей газопроницаемостью, что позволяет получать отливки с повышенной геометрической точностью, качественной поверхностью. Их применяют для изготовления сложных изделий, например крыльчатки со сложным профилем лопаток.

На рис. 5.10 представлена схема, отображающая основные этапы технологического процесса изготовления пеногипсовых форм.

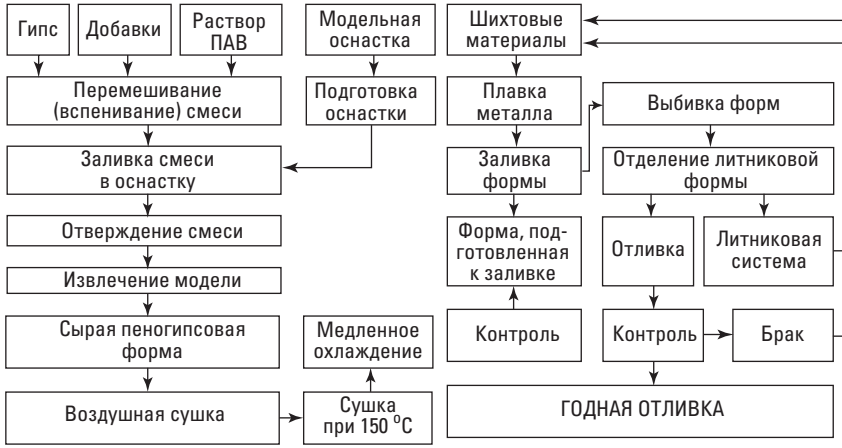


Рис. 5.10. Схема технологического процесса изготовления отливок в пеногипсовых формах

Кратко технология изготовления форм состоит в следующем. Хорошо просеянные и высушенные компоненты смеси: высокопрочный гипс, волластонит — 4,7% и портландцемент белый марки 500 — 1,1% загружают в смеситель и тщательно перемешивают. В качестве жидкой фазы применяют дистиллированную воду, в которой растворено пенообразующее поверхностно-активное вещество (ПАВ) в количестве 1,5 г на 1 л воды.

Смесь на основе гипса готовят так, чтобы выполнялось соотношение: сухая смесь — жидкость 1:1 (по массе). Сухую смесь порциями вводят в жидкость, а не наоборот. Далее состав перемешивают быстроходной мешалкой со скоростью вращения 1300…1800 мин$^{-1}$ в течение 30…40 с. При вспенивании происходит увеличение объема, что нужно контролировать. По окончании введения сухих компонентов состав сразу заливают в опоку. Считается, что 6…8 мин живучести смеси до начала ее схватывания является оптимальным с точки зрения ее физико-механических свойств.

Регулируют сроки схватывания смеси введением серно-кислого калия (ускоритель) и 10%-ного водного раствора лимонно-кислого натрия (замедлитель). В частности, 0,5 г серно-кислого калия на 1,1 л гипсовой смеси уменьшает время отверждения на 5 мин, а 1 мл 10%-ного водного раствора лимонно-кислого натрия увеличивает отверждение на 10 мин.

Смесь отверждается в течение как минимум 30…45 мин, после чего готовая форма извлекается из оснастки. Далее форму сушат при нормальных условиях в течение 24 ч и досушивают, сначала осуществляя медленный нагрев до 150 °С в течение 45 мин, затем выдерживая при 150 °С 9 ч и охлаждая вместе с сушильным шкафом до 65 °С без воздухообмена. Далее проводят окончательное охлаждение на воздухе. Форму заливают металлом без ее прокаливания.

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности гипсовых форм.
2. Перечислите основные технологические операции изготовления гипсовых форм.
3. Назовите материалы, используемые для изготовления форм.
4. Какие факторы влияют на прочность и скорость отверждения жидкой гипсовой суспензии?
5. Назовите способы удаления воздушных пузырьков из гипсовой массы.
6. Какова технология изготовления форм по постоянным и выплавляемым моделям? Зачем выплавляемые модели перед заливкой гипсовой суспензии обрабатывают ПАВ?
7. Назовите особенности заливки гипсовых форм.
8. Назовите преимущества и недостатки гипсовых форм.
9. Перечислите основные преимущества пеногипсовой литейной формы.

Список литературы

1. **Иванов В.Н.** Специальные виды литья: учеб. пособие / под ред. В.С. Шуляка. — М.: МГИУ, 2007. 316 с.

2. **Кестнер О.Е., Бураданьянц В.К.** Точное литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы. — М.: Машиностроение, 1973. 287 с.

3. **Цветное** литье: Справочник / под общ. ред. Н.М. Голдина. — М.: Машиностроение, 1989. 528 с.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Литье в оболочковые разъемные формы

6.1. Общие сведения

Литье в оболочковые формы, или «кронинг-процесс», несмотря на все более широкое использование холоднотвердеющих смесей, находит применение для получения разнообразных отливок из различных сплавов: из чугунов, углеродистых и легированных сталей, из легких и тяжелых цветных сплавов. Масса отливок достигает 200 кг, а максимальные размеры — 1500 мм. Наиболее эффективно изготовление этим способом отливок массой 5…15 кг в условиях крупносерийного и массового производств.

Минимально возможная толщина стенки отливки для литья в оболочковые формы приведена в табл. 6.1.

6.1. Минимально допустимые толщины стенок отливок

Габариты отливок, мм	Толщина стенок отливок из различных сплавов, мм						
	Чугуна	Стали	Оловянных бронз	Медных	Алюминиевых	Магниевых	Цинковых
50…100	2,5…4,0	2,5…4,0	1,5…2,0	2,5…4,0	2,5…4,0	2,5…4,0	2,0…4,0
100…200	2,5…4,0	4,0…4,5	2,0…3,0	3,0…4,0	3,5…5,0	3,0…4,0	2,5…3,5
200…350	3,0…4,5	4,5…6,0	2,5…3,5	3,5…5,0	4,0…6,0	3,5…5,0	3,0…4,0
350…500	4,0…5,0	5,0…7,0	3,0…4,0	4,0…6,0	4,0…7,0	4,0…6,0	3,5…5,0
500…1500	8,0…10,0	8,0…12,0	5,0…6,0	5,0…7,0	7,0…10,0	—	—
Св. 1500	12,0…15,0	18,0…20,0	—	—	—	—	—

Оболочковые формы изготавливают из песчано-смоляных смесей на основе кварцевых или цирконовых песков и искусственных термоактивных смол с добавлением увлажнителей, растворителей и катализаторов, твердеющих в оснастке.

Применение термореактивных смол в качестве связующих

обеспечивает быстрое отверждение форм (30…90 с) и их высокую прочность (до 5000 кПа) при растяжении.

Из-за повышенной прочности формы изготавливают тонкостенными (5…12 мм), что снижает расход смесей. Отливки имеют на 40…50 % меньшие припуски на обработку резанием, чем отливки, полученные в песчано-глинистой форме, сокращаются затраты на обрубные и очистные операции.

Оболочковые формы заливают металлом как в горизонтальном, так и вертикальном положении. При этом нередко применяют различные способы и устройства для их упрочнения (засыпку неметаллическим или металлическим материалом, установку в опорных плитах, штырях и т.п.).

Все оболочковые формы в зависимости от физико-химической природы применяемых связующих материалов подразделяют на две группы: твердеющие при воздействии физического фактора (например, нагрева) и твердеющие при воздействии химического фактора (например, продувки газом).

В соответствии с ГОСТ 18169—86, литье в оболочковую форму — это литье металла, осуществляемое путем свободной заливки оболочковой формы.

Оболочковая форма (ГОСТ 17819—84) представляет собой тонкостенную сборную форму, изготовленную по нагреваемой модельной оснастке машинной формовкой из термореактивных песчаных смесей.

Технологический процесс литья в оболочковые формы от подготовки материалов до получения отливок приведен на рис. 6.1.

Основными операциями процесса изготовления оболочек из песчано-смоляной термоактивной смеси являются:

- нагрев модельной оснастки;
- нанесение на поверхность оснастки разделительного покрытия;
- нанесение на модельную оснастку песчано-смоляной смеси;
- формирование и затвердевание оболочки;
- съем готовой полуформы с модельной оснастки.

Наиболее распространен способ свободной засыпки модельной оснастки смесью с помощью поворотного бункера (рис. 6.2).

При изготовлении верхней оболочковой полуформы металлическую модельную плиту *1* (рис. 6.2, *а*) с моделью отливки *2*

Рис. 6.1. Схема технологического процесса литья в оболочковые формы

и литниковой системой *3* нагревают до 200…300 °С электронагревателями или газовыми горелками и наносят на нее тонкий слой разделительного покрытия. В качестве покрытия используют раствор синтетического термостойкого каучука в бензинерастворителе. Этот состав обладает наиболее высокой стойкостью (до 50 съемов), реже применяют мазут.

Нагретую модельную плиту устанавливают на открытый конец поворотного бункера *5* с песчано-смоляной смесью *6* и укрепляют. Затем бункер поворачивают на 180°, песчано-смоляная смесь падает на модельную плиту (рис. 6.2, *б*) и выдерживается в таком положении. Время выдержки обусловливает толщину прогретого слоя смеси до температуры плавления и частичной полимеризации (последний процесс развивается в более горячих зонах, расположенных непосредственно у плиты) и соответственно толщину формирующейся оболочки. За 30 с толщина оболочки *7* достигает 20 мм (обычно используют оболочки толщиной 6…20 мм).

Плиту вместе с бункером переворачивают на 180° в исходное состояние для удаления лишней непрогретой части смеси. После

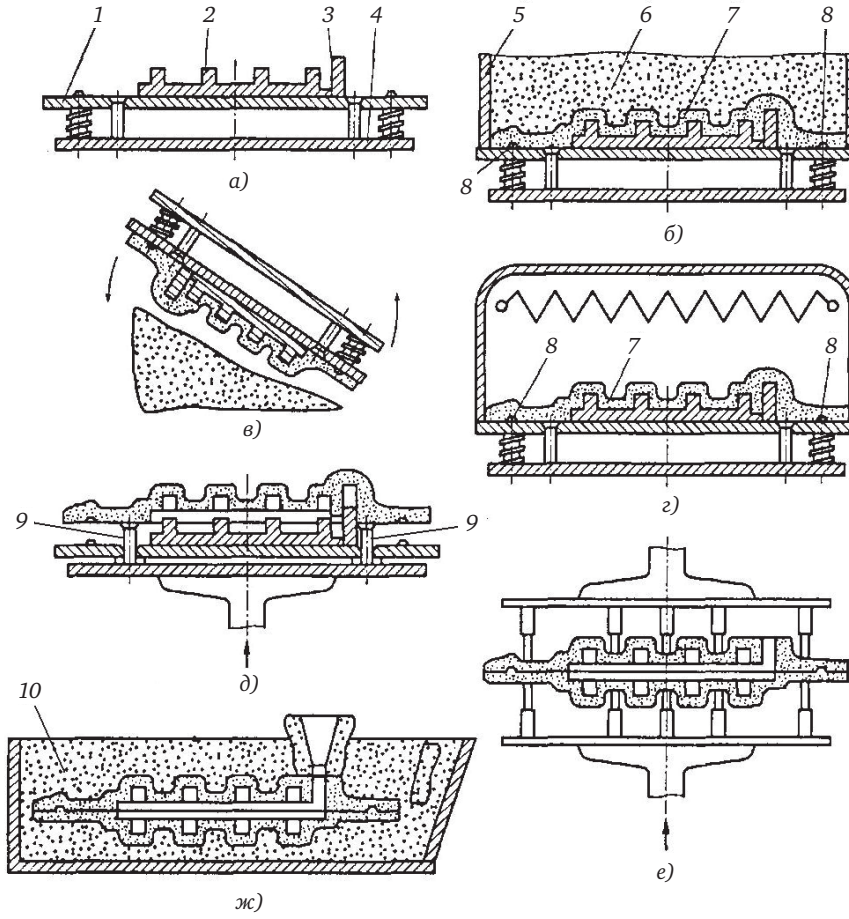


Рис. 6.2. Схема технологического процесса изготовления оболочковой формы:

а — подготовка модельной оснастки; *б* — засыпка модельной плиты смесью; *в* — удаление излишков смеси; *г* — окончательное затвердевание оболочки в печи; *д* — съем оболочковой полуформы с модельной плиты; *е* — склеивание оболочковых полуформ; *ж* — подготовка формы к заливке; *1* — модельная плита; *2* — модель отливки; *3* — литниковая система; *4* — плита толкателей; *5* — бункер; *6* — смесь; *7* — формирующая оболочка; *8* — элементы центрирования оболочковой полуформы; *9* — толкатели; *10* — засыпка

того как смесь ссыпалась в бункер (рис. 6.2, *в*), плиту с полутвердой оболочкой снимают с бункера и помещают в печь (рис. 6.2, *г*), где при 300…400 °С ее выдерживают 1…4 мин для окончательного затвердевания оболочки. При этом смола полимеризуется и переходит в необратимое твердое состояние.

После извлечения оснастки из печи твердую прочную оболочковую полуформу снимают с модельной плиты толкателями *9*, приводимыми в движение через плиту толкателей *4* механизмом съема (рис. 6.2, *д*). Таким образом изготовляют нижнюю полуформу.

Перед сборкой обеих полуформ с верха стояка срезают закрывающую его часть оболочки, в нижнюю полуформу устанавливают, если необходимо, стержни и оболочки склеивают по разъему на специальных многоштыревых прессах (рис. 6.2, *е*). Для склеивания оболочковых полуформ используют жидкие или порошкообразные клеи на основе термореактивных смол. Центрируются полуформы за счет выступов и впадин на разъеме *8*, оформленных при изготовлении оболочек соответствующими элементами модельной оснастки.

К форме с горизонтальной плоскостью разъема приклеивают оболочку с полостью литниковой чаши. При вертикальной плоскости разъема формы в этом нет необходимости, так как все элементы литниковой системы располагаются в плоскости разъема основных оболочек.

Заливают оболочковые формы в контейнерах с засыпкой чугунной дробью *10* (рис. 6.2, *ж*). Засыпка увеличивает прочность формы, препятствуя ее деформации и распариванию при заливке. Кроме того, чугунная дробь быстрее отводит теплоту от формы, предотвращая тем самым ее быстрый перегрев до температур деструкции (разложения) связующего, сопровождающийся потерей прочности оболочки. Последнее наиболее важно при производстве массивных отливок.

Формы для мелких отливок (менее 8 кг) заливают в ряде случаев без засыпки их дробью (рис. 6.2, *е*). Оболочковые формы с горизонтальным разъемом без опорного слоя устанавливают на поддон с песчаной постелью толщиной 100…200 мм.

6.2. Материалы и оснастка для изготовления оболочковых форм

В состав песчано-смоляных смесей для изготовления оболочковых форм входят пески (наполнитель), смолы (связующее), катализаторы, различные добавки.

Пески. В качестве основы песчано-смоляных смесей чаще всего применяют обогащенные кварцевые формовочные пески. За рубежом для этой цели используют и цирконовый песок, который обеспечивает повышение качества стальных отливок вследствие стабильности при высоких температурах и более благоприятных, чем у кварца, теплофизических свойств. Находят также применение хромитовый и оливиновый пески, а также порошкообразный графит.

Зерновой состав песков должен быть сосредоточен на минимальном количестве сит: на сито 005 и тазик должно приходиться 0,3…0,5%. Песок должен содержать не менее 98% SiO_2 и не более 0,5% глины. Желательно применять пески округлой формы с чистой поверхностью зерен.

Размер, форма, состояние поверхности зерен песка, химический состав, содержание глины и других примесей влияют на качество песчано-смоляных смесей и отливок. Мелкозернистые пески обеспечивают получение отливок с небольшой шероховатостью, однако требуют большего расхода связующего и обладают пониженной огнеупорностью. Пески с округлой формой зерна обеспечивают высокую текучесть и газопроницаемость, повышают сопротивление отвержденной оболочки термоудару. Наличие глины и других примесей на поверхности зерен снижает огнеупорность песка и обусловливает необходимость повышенного расхода связующего. Во время предварительного прокаливания песка при 800 °С пленка примесей на поверхности зерен растрескивается и разрушается.

Смолы. В качестве связующего в песчано-смоляных смесях используют фенолоформальдегидные смолы, получаемые в результате поликонденсации фенола C_6H_5OH и формальдегида CH_2O. Характер и свойства образующегося продукта определяются строением фенола, соотношением реагентов и pH среды. В присутствии кислых катализаторов, при молярном соотношении

фенол : формальдегид меньше единицы, образуются новолачные или термопластичные смолы. В присутствии щелочных катализаторов и соотношении фенол : формальдегид, равном единице, образуются резольные и термореактивные смолы. Благодаря указанному соотношению компонентов резольные смолы содержат в своей структуре метилольные группы, обеспечивающие им возможность необратимо отверждаться в результате образования трехмерных, неплавких и нерастворимых соединений. Отверждение резольных смол происходит наиболее интенсивно при нагреве; однако эта реакция идет самопроизвольно, хоть и более медленно, при 20 °С. Вследствие неконтролируемого отверждения резольные смолы можно использовать только в качестве добавок к основному связующему, которым являются новолачные смолы.

Новолачные смолы не содержат метилольных групп: их место в структуре свободно, что обеспечивает возможность обратимого изменения агрегатного состояния при нагреве и охлаждении. Необратимое отверждение новолачных смол происходит только при введении недостающего количества формальдегида, что позволяет контролировать этот процесс. В качестве отвердителя применяется уротропин, который при нагреве до 117 °С распадается с выделением формальдегида и аммиака.

При нагреве смола плавится и переходит в жидкое состояние, одновременно происходит распад уротропина; при взаимодействии с формальдегидом смола переходит в неплавкое и трудно-растворимое состояние; в результате последующего нагрева смола становится полностью неплавкой и нерастворимой. Дальнейший нагрев или выдержка при температуре отверждения вызывает термодеструкцию смолы.

Специально для оболочкового литья выпускается связующее ПК-104 (смесь тонкоизмельченной смолы марки 104 с 7…8% уротропина). Такое связующее применяют для неплакированных и плакированных песчано-смоляных смесей, приготовленных холодным способом.

Для изготовления оболочковых форм выпускаются новолачные смолы СФ-011, СФ-012, СФ-015 и СФ-015М по ГОСТ 18694—80 в виде чешуек толщиной до 1 мм размером 5…10 мм, а также связующее СФП-011Л по ОСТ 6-05-441—78, представляющее собой

смесь тонкоизмельченной новолачной смолы с 6…10% уротропина. Характеристики этих материалов приведены в табл. 6.2.

6.2. Термопластичные смолы и связующие на их основе

Марка смолы или связующего	Динамическая вязкость 50%-ного раствора в ацетоне, МПа·с	Массовая доля свободного фенола, %	Температура каплепадения, °С	Применение
СФ-011	35…95	5,0	116…125	Горячее плакирование
СФ-012	40…130	4,5	126…135	
СФ-015, СФ-015М	30…70	4,0	105…115	
СФП-011Л*	–	–	–	Холодное плакирование и механическое смешивание

* Прочность образцов, изготовленных из смеси кварцевого песка и 5% связующего, должна быть не менее $48 \cdot 10^5$ Па; подвижность расплава 40…90 мм; массовая доля уротропина 6…10%.

6.3. Термореактивные смолы

Марка смолы	Плотность, г/см^3	Водородный показатель (pH)	Динамическая вязкость, МПа·с	Массовая доля свободного фенола, %	Время желатинизации, с	Массовая доля нелетучего остатка, %	Примечание
СФЖ-3032	1,2…1,25	7,8…8,2	250…1200	Не более 10	95…130	—	Добавляют к новолачной смоле при горячем плакировании
СФЖ-3042	—	—	—	Не более 17	—	Не менее 65	

Технологические свойства термопластичных смол могут быть улучшены с помощью термореактивных смол (табл. 6.3). Так, добавка жидкой резольной смолы СФЖ-3032 к твердой новолачной смоле позволяет отверждать ее минимальным количеством уротропина, что резко снижает опасность появления в стальных отливках ситовидной пористости. Добавка к новолачной смоле 0,2…0,3% жидкой резольной смолы СФЖ-3042 приводит к ускорению отверждения и повышению термостойкости песчано-смоляной смеси.

Увлажнители. Из-за разной плотности песка и пульвербакелита для исключения разделения основных компонентов смеси при ее приготовлении в смеситель добавляют увлажнитель, который растворяет смолу и способствует прилипанию ее к нему, равномерному покрытию зерен песка связующим уменьшает пылеобразование.

По своему действию увлажнители подразделяют на две группы. Увлажнители-смачиватели — керосин, машинное масло, парафин, стеарин, жидкий бакелит, их добавляют в количестве 0,2…0,4 %.

Увлажнители-растворители — фурфурол, спирт-ректификат, ацетон и др. В этом случае они растворяют смолу, которая равномерно покрывает отдельные зерна песка при перемешивании, образуя плакированную смесь. Количество вводимых добавок составляет 0,7…2%.

Технологические добавки. К ним относятся отвердители, смазки и специальные добавки. Необратимое отверждение новолачной смолы обеспечивается вводом уротропина (растворимого в воде белого порошка).

Другой добавкой, ускоряющей процесс отверждения смолы, является борная кислота, которая вводится в водный раствор уротропина и вместе с ним подается в смесь.

Самой распространенной технологической добавкой является стеарат кальция (ТУ 6-14-722—76), повышающий текучесть смеси и облегчающий отделение оболочковых форм от модели. Повышая текучесть смеси, эта добавка увеличивает плотность и прочность готовых форм. Аналогичное действие оказывает добавка водно-восковой дисперсии, обладающей не только разделительными свойствами, но и позволяющей пластифицировать отверждение смеси, повышая сопротивление термоудару и трещиноустойчивость оболочек.

К числу специальных добавок относятся оксиды железа — магнетит (Fe_3O_4) и гематит (Fe_2O_3), а также диоксид марганца (MnO_2), применяемые, главным образом, в производстве стальных отливок. Эти добавки предупреждают науглероживание и ускоряют затвердевание поверхности отливок, предотвращая уход металла из формы при трещинах и предупреждая образование поверхностных дефектов, обусловленных газовыделением при термодеструкции смолы.

Оксид железа добавляют в смесь также для нейтрализации оксида азота, выделяющегося из связующего при заливке, а также для увеличения теплопроводности смеси.

В качестве добавок используют бентонит, пропитанный силикатом натрия, это делается для устранения растрескивания форм и улучшения качества поверхности отливок, количество добавляемого пропитанного бентонита составляет около 4%.

Для ускорения отверждения форм в смесь можно вводить серебристый графит.

При производстве отливок из магниевых сплавов литьем в оболочковые формы в смесь вводят защитную добавку фтористоборного натрия.

Основное назначение добавок — уменьшение прилипаемости смеси к горячей оснастке, устранение растрескивания форм, облегчение выбиваемости, увеличение живучести смеси и др.

Для исключения прилипания песчано-смоляных смесей нагретую до 300 °С оснастку 2…3 раза покрывают разделительным составом, который наносят пульверизатором или распылителем (табл. 6.4). Разделительный состав обеспечивает образование термостойкой пленки.

Перед нанесением разделительного состава модельную оснастку протирают, затем промывают в органических растворителях (бензине, керосине, скипидаре, трихлорэтилене, дихлорэтилене и др.) или в обезжиривающих химических составах.

Лучшим растворителем жиров является трихлорэтилен, представляющий собой летучую жидкость со сладковатым запахом. Трихлорэтилен не воспламеняется и не взрывается. Обезжиривание в трихлорэтилене можно проводить по одному из способов: обработкой в парах над кипящим трихлорэтиленом; окунанием в раствор с последующей сушкой; окунанием в горячий раствор с последующей обработкой в парах трихлорэтилена с сушкой; душевой промывкой с последующей обработкой в парах трихлорэтилена и сушкой.

Выбор способа обработки зависит от размеров и конфигурации деталей модельной оснастки.

Химическое обезжиривание деталей модельной оснастки из стали и чугуна, а также из цветных сплавов осуществляют в горячих химических составах после предварительного обезжири-

6.4. Разделительные составы

Состав	Температура нанесения состава на модель, °С, не более	Число съемов после одноразового покрытия	Расход (кг) состава на 1 т отливок
Водно-мыльная эмульсия на жидкости №5 (массовая доля) полиэтиленсилоксана 5…7%	240	1	0,8
Кремнийорганическая жидкость (полиэтиленсилоксан):			
№2	250	6…13	0,35
№3	300	6…13	0,35
№5	220	3…4	0,5
Жидкость:			
СКТ-4	300	20…50	0,35
СКТ-3	300	15…20	0,35
СКТ-2	250	20…40	0,35
СКТ-Р (раствор 35 г СКТ в 1 л уайт-спирита)	300	20…50	0,5…0,8
Озокерит М-60	300	1-3	5

Условные обозначения: СКТ: С — синтетический, К — каучук, Т — термостойкий.

6.5. Обезжиривающие химические составы

Материал модельной оснастки	Химический состав	Концентрация раствора*	Температура раствора, °С
Сталь, чугун	Каустическая сода NaOH Фосфорно-кислый натрий Na_3PO_4 Жидкое стекло	20…30 30…50 3…5	70…90
	Каустическая сода NaOH Кальцинированная сода Na_2CO_3 Жидкое стекло	40…50 90…100 5…15	80…90
Медные сплавы	Фосфорно-кислый натрий Na_3PO_4 Вода	80…100 3 л	70…90
Алюминиевые сплавы	Фосфорно-кислый натрий Na_3PO_4 Каустическая сода NaOH Жидкое стекло	30…50 10…15 20…30	70…90

* В граммах на 1 л воды.

вания. По обезжиривающей способности наилучшими являются растворы каустической соды, фосфорно-кислого натрия, кальцинированной соды в воде.

При химическом обезжиривании рекомендуется применять эмульгаторы. В качестве эмульгаторов используют жидкое стекло или контакт Петрова. Составы растворов для химического обезжиривания приведены в табл. 6.5.

6.3. Модельная и стержневая оснастка

Основное требование к оснастке для изготовления оболочковых форм — обеспечить по всей площади контакта со смесью передачу теплоты, сохранять заданный температурный режим от одного цикла формообразования к другому, противостоять значительным термическим напряжениям и сохранять заданную размерную прочность.

При конструировании нагреваемых моделей необходимо поддерживать минимальное отношение массы к поверхности. Для обеспечения равенства толщин стенок оболочки, формируемой на пологих поверхностях и по углам модели, а также на вертикальных и горизонтальных стенках моделей, последние выполняют полыми с локальным изменением толщин стенок: внутренние углы и горизонтальные стенки утолщают, а наружные углы и вертикальные стенки делают тоньше.

Минимальные толщины нагреваемых модельных плит зависят от их габаритов:

Габариты, мм	300×400	400×600	600×800	800×1600
Толщина, мм	20	25	30	40

Материалы для изготовления моделей, стержневых ящиков и модельных плит указаны в табл. 6.6. Алюминиевые модели и ящики наиболее просты в изготовлении вследствие легкой механической обработки. Однако такие модели имеют низкую теплоаккумулирующую способность, высокий коэффициент термического расширения. Кроме того, алюминиевая оснастка имеет повышенную склонность к образованию на рабочей поверхности стенки оксидов, затрудняющих съем форм и стержней.

6.6. Материалы для изготовления нагреваемой оснастки

Материал	Область применения
Модели и стержневые ящики	
СЧ15, СЧ18, СЧ20 (ГОСТ 1412—85); специальный чугун: 3,2…3,4% C, 2,2…2,6% Si, 0,77…0,88% Mn, 0,40…0,47% P, 0,01…0,02% S, 2,5…3,5% Ni, 0,5…0,6% Cr	Крупносерийное и массовое производства
Ст3 (ГОСТ 380—88) Сталь 15Л-25Л (ГОСТ 977—88	Небольшие модели, отдельные вставки в модели
Сталь 5ХНМ (ГОСТ 5950—73) Сталь 40Х (ГОСТ 4543—71)	Крупносерийное и массовое производства отливок особо сложной конфигурации
АЛ24, АЛ27, АЛ28 (ГОСТ 1583—93); специальный алюминиевый сплав: 1) 3,5…4,5% Cu, 0,7% Si, 1,2…1,8% Mg, 1,7…2,3% Ni, 1% Fe, остальное Al; 2) 0,5…1,5% Cu, 11,0…13,0% Si, 0,7…1,3% Mg, 2…3% Ni, 1,3% Fe, 0,05% Mn, 0,1% Zn, остальное Al	Мелкосерийное и опытное производства отливок, к которым не предъявляются повышенные требования по точности размеров
Бронза (ГОСТ 613—79); бериллиевая медь: 2,0…2,5% Be, 0,25…0,5% Ni, 0,1% Fe, остальное Cu	Крупносерийное и массовое производства отливок особо сложной конфигурации
Модельные плиты	
СЧ15, СЧ18, СЧ20 (ГОСТ 1412—85); специальный чугун (см. выше)	Модельные плиты небольших размеров
Ст3 (ГОСТ 380—88)	Модельные плиты всех размеров

Чугунные литые заготовки моделей и стержневых ящиков перед механической обработкой подвергают искусственному старению: нагреву в течение 4 ч при 600…625 °С с последующим охлаждением с печью.

Расстояния между основными элементами оснастки, расположенными на модельной плите, указаны в табл. 6.7.

Модели на модельной плите крепятся с помощью болтов или винтов. Под головки болтов с обратной стороны модельной плиты необходимо подкладывать пружинные шайбы. В случае крепления модели винтами с лицевой стороны головки винтов должны быть запаяны. Тонкие части моделей допускается закреплять винтами с потайными головками. Фиксируют положение моделей на модельной плите штифтами.

Толкатели для съема оболочки с модельной плиты располагают обычно с шагом 50…120 мм. У вертикальных стенок и в глубоких карманах эти расстояния уменьшают. Наиболее распространены толкатели диаметром 15 мм. Применение толкателей диаметром менее 10 мм нецелесообразно. Толкатели располагают вблизи высоких частей модели с малыми уклонами. Не рекомендуется устанавливать толкатели в базовых поверхностях моделей. Ход толкателей должен быть не менее 20…25 мин. Наиболее распространены толкатели, смонтированные на специальной плите. Последняя располагается под модельной плитой.

Клеевые замки следует устраивать по всему периметру оболочки, а также между рабочими полостями формы.

6.7. Расстояние, мм, между элементами модельной оснастки для изготовления оболочек из термореактивных формовочных смесей

Масса отливки, кг	Между моделями		Между моделью и стояком		Между моделью и толкателем		Между моделью и окантовочной рамкой	
	При горизонтальной заливке	При вертикальной заливке	При горизонтальной заливке	При вертикальной заливке	При горизонтальной заливке	При вертикальной заливке	При горизонтальной заливке	При вертикальной заливке
До 0,5	10…15	15…25	20…30	25…35	Не менее 5		20…30	25…30
0,5…1,5	15…35	25…40						
1,5…5,0	35…40	40…50						
Свыше 5,0	50	50						

Канавка клеевого замка делается шириной примерно 15 мм и глубиной 6 мм. Между выступом и впадиной клеевого замка выполняют зазор 1…1,5 мм.

Фиксирующие конические выступы на одной оболочке делают высотой 15…20 мм, а сопряженные впадины на другой углубляют на 2…3 мм.

Модельные плиты, модели и стержневые ящики в процессе работы необходимо систематически очищать от пригоревшей сме-

си и нагара смоляного связующего средствами, исключающими повреждение поверхности (волосяными щетками, деревянными скребками, чистой ветошью, сжатым воздухом и т.п.), и покрывать разделительным составом. Особенно тщательно очищают оснастку по окончании рабочей смены.

Для предупреждения брака отливок модельную оснастку периодически подвергают профилактическому осмотру (состояние поверхностей, надежность моделей, элементов литниковой системы, фиксаторов и толкателей). Забоины или раковины, обнаруженные на моделях, плитах или стержневых ящиках, заделывают металлическими вставками или запаивают тугоплавкими припоями с температурой плавления свыше 500 °С.

Плиты и ящики рекомендуют хранить на специальных стеллажах, в ячейках. В каждой ячейке допускается располагать только одну плиту или один стержневой ящик. Установка плит одна на другую не допускается. В случае длительного хранения модельную оснастку смазывают техническим вазелином. Перед началом работы модельные плиты и стержневые ящики обтирают сухой мягкой ветошью и обезжиривают.

6.4. Технология изготовления оболочковых форм и стержней

6.4.1. Приготовление смесей

Технология приготовления песчано-смоляных смесей включает в себя подготовку песков и смешивание отдельных составляющих.

При приготовлении песчано-смоляных смесей рекомендуется соблюдать определенный порядок введения исходных материалов в смеситель: сначала песок с увлажнителем, затем порошкообразная смола.

После тщательного перемешивания песка с увлажнителем в течение 5…7 мин открывают смеситель и засыпают порошкообразную смолу и борную кислоту, если последняя вводится для увеличения прочности песчано-смоляной смеси. По окончании перемешивания песчано-смоляную смесь помещают в специальную тару. Перед изготовлением оболочек смесь рекомендуется

просеивать для отделения комков, образовавшихся в процессе перемешивания.

Песчано-смоляные смеси для изготовления оболочковых форм приготавливают путем *механического смешивания* отдельных компонентов и с использованием плакированного песка.

Сухой или смоченный керосином песок перемешивают с фенолоформальдегидным связующим. Смесь может быть приготовлена в обычных бегунах, лопастных и шнековых смесителях. Недостатки получаемых смесей — расслаивание компонентов, обусловленное большой разницей их плотностей, значительное пылевыделение и потери связующего, непригодность для надува и настрела. Применение механических смесей незначительно.

Порядок приготовления неплакированной песчано-смоляной смеси следующий. На дно бегунов засыпают сухой просеянный песок и добавляют 0,4% увлажнителя (керосин или масло). После перемешивания в течение 2...3 мин вводят 5% связующего ПК-104 и продолжают перемешивать еще 5 мин.

В *плакированных песках* смоляная пленка покрывает зерна основы и связана с ними адгезионным сцеплением. Перевод смеси в жидкое состояние, необходимое для покрытия зерен песка, осуществляют путем растворения или расплавления.

Холодное и теплое плакирование — это процесс с использованием твердых новолачных смол и растворителей или жидких эмульсионных смол, в состав которых входит уротропин. В процессе холодного плакирования песок при 20 °С смешивают со связующим и растворителем, затем растворитель удаляют с помощью продувки воздухом. При теплом плакировании используют предварительный нагрев песка до 80…90 °С или продувку смеси нагретым до той же температуры воздухом, что сокращает продолжительность цикла. Для осуществления холодного плакирования нужны мощные скоростные бегуны, снабженные системой для продувки смеси. Холодное плакирование применяют редко из-за необходимости расхода растворителя, повышенной взрыво- и пожароопасности.

При горячем плакировании сухой песок предварительно нагревают до 127…147 °С, а затем смешивают с новолачной смолой, которая при этом нагревается, плавится и обволакивает зерна

песка. Далее в смесь вводят уротропин в виде 30…35%-ного раствора, борную кислоту и стеарат кальция. Возможность разложения уротропина при нагреве во время плакирования предупреждается охлаждением смеси водой, в которой растворен уротропин. После завершения перемешивания смесь охлаждают и просеивают. Процесс горячего плакирования требует тщательного контроля температурных режимов — начальной температуры песка при вводе в смеситель и температуры смеси в момент ввода уротропина. Начальная температура песка должна быть на 25…30 °С выше температуры каплепадения, используемой для плакирования смолы, а температура смеси в момент ввода раствора уротропина не должна превышать 105…110 °С. Нарушение этих режимов приводит к получению некачественных смесей.

Состав смеси выбирают в зависимости от способа изготовления оболочек (бункерный, пескодувный), вида сплава и других факторов. При использовании связующего ПК-104 примерные составы смеси приведены в табл. 6.8.

В табл. 6.9 приведены составы и свойства плакированных смесей, применяемых для производства чугунных и стальных отливок на ряде отечественных заводов с использованием смолы СФ-15.

Для горячего плакирования песка необходимо сложное оборудование, в состав которого входят дозирующие устройства для исходных материалов, печь для нагрева песка, устройства для сушки, охлаждения и просеивания смеси. Технические характеристики некоторых видов отечественного оборудования для горячего плакирования песка даны в табл. 6.10.

6.8. Составы смесей

Сплав	Массовая доля компонентов, %				
	Кварцевый песок, средний размер зерна		Связующее ПК-104	Стеарат кальция	Пропитанная древесная мука
	02	01	Сверх 100%		
Серый чугун	70	30	4,5…5,0	0,05	—
Углеродистая сталь	100	—	4,0	0,05	—
Специальные сплавы	70	30	5,5…6,0	0,05	—
Цветные сплавы	70	30	4,0…5,0	0,05	0,5…2,0

6.9. Составы плакированных смесей, применяемых для чугунных и стальных отливок

Технология приготовления и оборудование	Массовая доля, %						Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа		Область применения смеси
	Песок кварцевый 1К016 или 1К01	Смола СФ-015	Уротропин*	Борная кислота	Стеарат кальция*	Водно-восковая дисперсия	В горячем состоянии	В холодном состоянии	
Непрерывный процесс горячего плакирования	100	5,0	10,0; 33%-ный водный раствор	0,06	–	0,1	1,0…1,4	3,5…4,0	Производство отливок для тракторов из углеродистой стали
	100	5,0	8,5; 33%-ный водный раствор	0,06	–	0,1	0,8…1,0	3,0…4,0	Производство чугунных отливок
Периодический процесс горячего плакирования. Установка «Fordath-2000» (Великобритания)	100	3,5	12,0; 21%-ный водный раствор	–	3,2	–	–	4,5…5,0**	Производство отливок из высоколегированной стали
Периодический процесс горячего плакирования. Установка «Maxei-250» (Франция)	100	4,0	15,0; 33%-ный водный раствор	–	4,0	–	до 3,5	до 6,0**	Производство чугунных цилиндров

* % от смолы; ** предел прочности при изгибе.

6.10. Технические характеристики оборудования для горячего плакирования песка

Параметр	Марка установки		
	15711	«Maxei-250» (Франция)	«Fordath-2000» (Великобритания)
Производительность, кг/ч	3000	3000	2000
Масса замеса, кг	250	250	80
Продолжительность цикла, мин	—	5	3
Мощность, кВт	—	96	25
Габариты, м	7,3×6,3×7,7	7×6,2×7,7	—
Масса, кг	18900	19000	—

Примечание. Топливо для нагрева песка — природный газ.

6.4.2. Изготовление оболочковых форм

Изготовление оболочковых песчано-смоляных форм и стержней основано на свойстве термоактивных смол при нагреве до определенной температуры размягчаться, становиться вязкими, а затем с повышением температуры необратимо затвердевать.

Важными технологическими факторами, от которых зависит качество оболочки, являются температуры модели и плиты, обеспечивающие необходимую толщину полутвердой оболочки, и давление, которое испытывает слой, прилегающий к модели.

Методы изготовления оболочек (полуформ) по способу засыпки песчано-смоляной смеси на модельную оснастку подразделяют на следующие:

- свободной засыпкой;
- свободной засыпкой с вибрацией;
- прессованием и прессованием с диафрагменной подпрессовкой;
- надувом.

Свободная засыпка. Наиболее распространенный способ изготовления оболочки заключается в свободной засыпке песчано-смоляной смеси на модельную оснастку с помощью поворотного бункера (рис. 6.3). При этом бункер наполняют предварительно приготовленной смесью и на его приемную рамку устанавливают нагретую модельную плиту с нанесением на нее разделитель-

ного состава (рис. 6.3, *а*). После этого бункер переворачивают в вертикальной плоскости на 180°, формовочная смесь падает на модельную плиту (рис. 6.3, *б*). Под воздействием теплоты смола в слое, прилегающем к модельной плите, размягчается и склеивает песчинки, образуя полутвердую оболочку. Такое положение выдерживается 20…60 с для формирования оболочки необходимой толщины, после чего бункер возвращают в исходное состояние (рис. 6.3, *в*), излишки смеси ссыпаются на дно бункера. Модельную плиту с оболочкой снимают с бункера, переворачивают моделью вверх и направляют в печь для доотверждения оболочки в течение 1…4 мин при температуре 300…400 °С. Полностью отвержденную оболочку снимают с модельной плиты с помощью толкателей (рис. 6.3, *г*).

При бункерном способе формообразования существует предел толщины формируемой оболочки. Для смесей с фенолоформальдегидным связующим этот предел равен 9…12 мм. В случае необходимости получения более толстых оболочек (18…20 мм) осуществляют двойное бункерование.

Свободная засыпка с вибрацией. Для увеличения скорости формирования и повышения качества оболочки смесь в период формообразования подвергают уплотняющему воздействию с помощью устанавливаемых на бункере вибраторов (с частотой колебаний 2,5…3 кГц) и прессующих элементов. В качестве прессующих элементов используют подвижные днища с приводом от пневмоцилиндра (рис. 6.3, *д* и *е*) или эластичные диафрагмы, растягиваемые сжатым воздухом (рис. 6.3, *ж* и *з*). Давление прессования 0,4…0,7 МПа.

Для сокращения расхода дорогих формовочных материалов изготовляют двухслойные оболочковые формы, у которых контактирующий с металлом рабочий слой выполняют из облицовочного состава I (рис. 6.3, *и*—*м*) на основе оливинита или циркона толщиной 1…2 мм, а остальную (опорную) часть оболочки — из крупнозернистого кварцевого песка II. Облицовочную смесь наносят в течение 2…3 с, а опорную — в течение 20…40 с.

Для борьбы с «теневым эффектом» используют пневмоуправляемые резиновые клапаны, обеспечивающие строго вертикальную засыпку модельной плиты смесью (рис. 6.3, *н*—*р*). Вместо клапанов применяют также жалюзи и шиберные затворы. Для

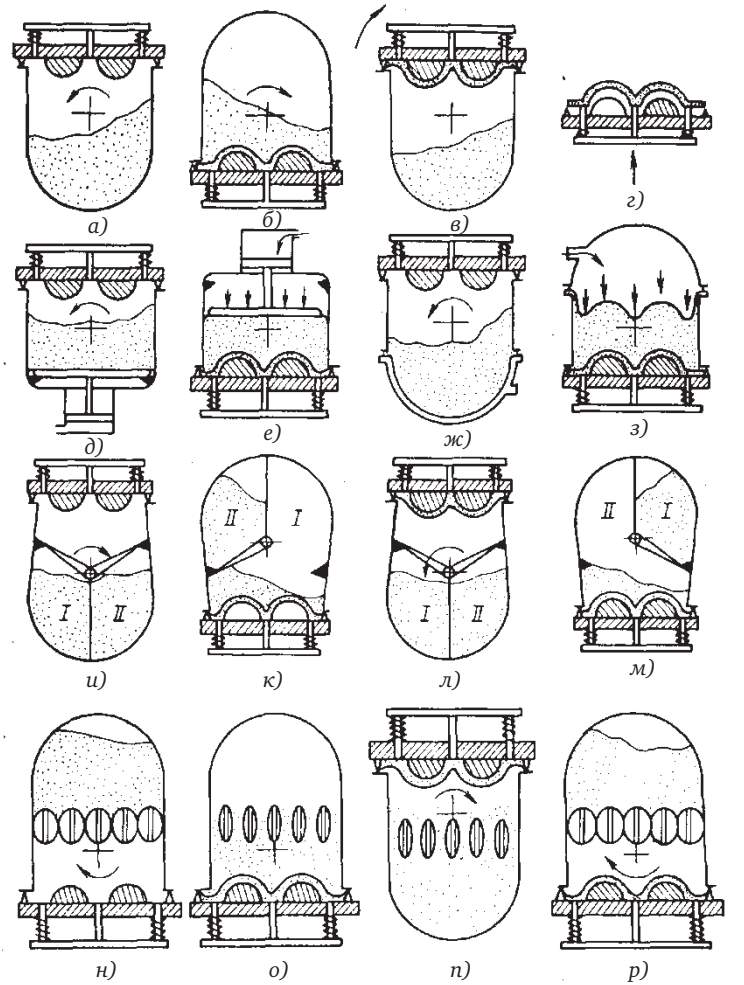


Рис. 6.3. Схемы изготовления оболочковых форм с помощью поворотных бункеров

исключения «теневого эффекта» применяют способ изготовления оболочковых форм с помощью наполнительной рамки (рис. 6.4), в которую смесь засыпают из стационарного бункера. Высота рамки на 150…200 мм должна превышать самую высокую точку модели. Недостатками рамочного способа являются сложность оборудования для его реализации, а также значительное пыле-

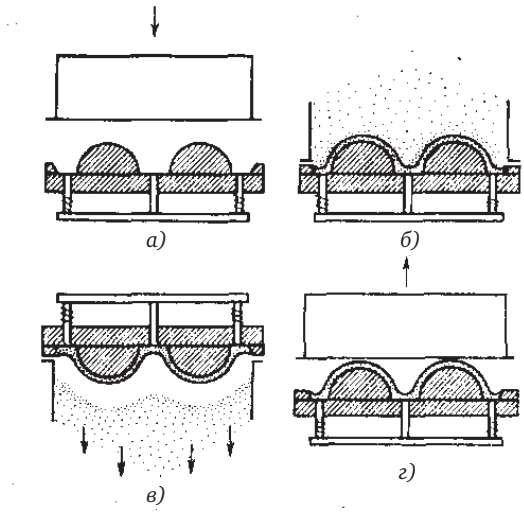


Рис. 6.4. Схемы изготовления оболочковой формы с помощью наполнительной рамки:
а — г — последовательность выполнения операций

образование при сбросе излишков смеси с модельной плиты. Ввиду этого для рамочного способа используют преимущественно плакированные песчано-смоляные смеси.

Прессование. Технологический процесс изготовления оболочковых форм осуществляется при тех же температурных параметрах, что и свободная засыпка, но для повышения скорости формирования и качества оболочки применяют прессовые машины и установки. Удельное давление прессования 196…294 кПа.

Прессование с диафрагменной подпрессовкой. Технологический процесс осуществляется с использованием машин с прессующей головкой диафрагменного типа (рис. 6.5). Стойкость диафрагм 10 000…60 000 оболочковых полуформ, избыточное давление воздуха 0,2…0,7 кПа. Метод применяется для изготовления двухслойных оболочковых полуформ.

Пресс-форму нагревают до 170…190 °С, с избытком засыпают облицовочной песчано-смоляной смесью, выдерживают 2…3 с и сбрасывают избыток смеси, на поверхности модели остается тонкий облицовочный слой полутвердой смеси. Затем пресс-форму заполняют наполнительной крупнозернистой песчано-смоляной

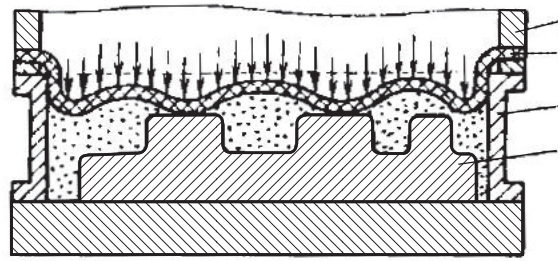


Рис. 6.5. Схема прессования диафрагменной головкой:
1 — головка; *2* — рамка; *3* — эластичная диафрагма; *4* — модель

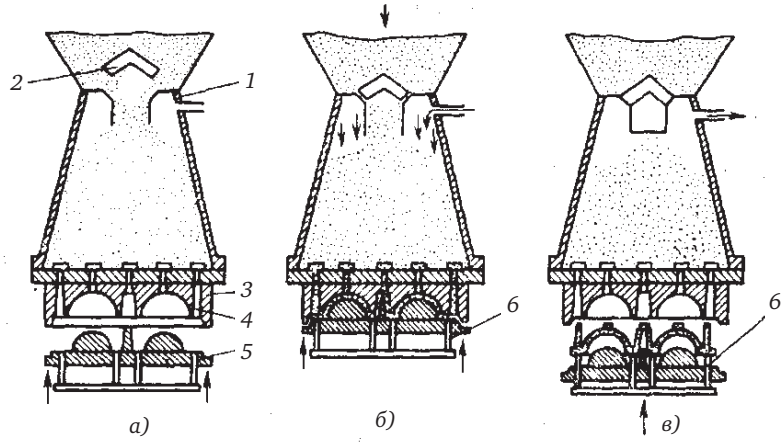


Рис. 6.6. Схемы изготовления оболочковой формы пескодувным методом:
а — сборка модельного комплекта; *б* — вдув смеси; *в* — разъем модельного комплекта и съем готовой формы; *1* — резервуар; *2* — шибер; *3* — формообразующий насос; *4* — вдувное сопло; *5* — модельная плита; *6* — толкатели; *7* — оболочка

смесью и проводят прессование под давлением 0,2…0,3 МПа. После чего пресс-форму передают в печь, где выдерживают при температуре 350…400 °С в течение 3…4 мин и где происходит окончательное твердение полуформы.

Максимальную скорость формообразования, наиболее высокое качество и калиброванную толщину оболочек получают при нанесении сыпучей термореактивной смеси на модельную оснастку *пескодувным способом* (рис. 6.6). При этом смесь под давлением до 0,7 МПа в течение 3…5 с вдувают в зазор между контрплитой и моделью. Контрплита может быть как холодной, так и обогревае-

мой. В первом случае модельную плиту после надува помещают в печь для доотверждения оболочки. Во втором случае оболочка полностью отверждается за счет теплоты контрплиты и модели.

Пескодувный способ изготовления оболочковых форм требует обязательного применения плакированных смесей. Усложнение формообразующей оснастки из-за наличия контрплит делает этот способ рентабельным только в условиях массового производства оболочковых форм.

Эффективным мероприятием, улучшающим условия труда и сокращающим цикл формообразования во всех описанных способах изготовления оболочковых форм, является вакуумирование модельной оснастки в процессе отверждения оболочки.

В отдельных случаях изготовленную оболочковую полуформу упрочняют нанесением на ее тыльную поверхность термостойкого покрытия, а также пропиткой стенки полуформы упрочняющими составами.

Для изготовления оболочковых форм в серийном и массовом производствах используют полуавтоматические и автоматические машины с размерами оболочек: СКФ-2М — 300×400 мм; СКФ-3М — 500×500 мм; УОФ-1 — 500×700 мм; УКФ-2 — 400×600 мм; СКБ-3 — 450×900 мм и др.

6.4.3. Изготовление оболочковых стержней

Оболочковые стержни находят широкое применение не только при литье в оболочковые формы, но и в объемные песчаные и металлические формы.

В настоящее время на практике применяют различные методы изготовления стержней из песчано-смоляных смесей. В зависимости от сложности конфигурации стержней их изготавливают методами свободной засыпки, уплотнения, пескодувным и центробежным.

Метод свободной засыпки применяют для изготовления стержней простой конфигурации, без выступающих частей и карманов. Простые стержни получают в многостержневом ящике с помощью опрокидывающегося бункера.

Недостатком этого метода является невозможность получения однородной плотности стенок стержня сложной конфигурации.

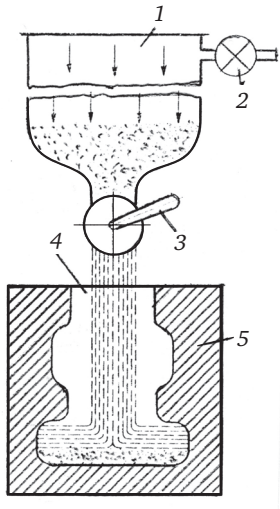


Рис. 6.7. Открытая система надува стержней:
1 — рабочий резервуар; *2* — перепускной воздушный клапан; *3* — регулирующий отверстие клапан; *4* — вдувное отверстие; *5* — стержневой ящик

Применение опрокидывающегося бункера и давления воздуха на песчано-смоляную смесь устраняет этот недостаток.

Пескодувный метод является наиболее распространенным методом изготовления оболочковых стержней. Смесь подается в стержневой ящик с помощью открытой и закрытой систем надува.

Открытая система надува смеси приведена на рис. 6.7. При открытии клапана *2* поток сжатого воздуха поступает в рабочий резервуар *1*, где захватывает песчано-смоляную смесь и через резиновый шланг и вдувное сопло *4* направляет ее в стержневой ящик *5*. При этом сжатый воздух свободно выходит в атмосферу. Для изменения сечения струи подаваемой смеси в машине имеется регулирующий клапан *3* со сменными вдувными соплами; клапан может присоединяться непосредственно к дну рабочего резервуара.

Недостатком системы с открытым надувом является разброс смеси в горизонтальном направлении при заполнении стержневого ящика, поэтому приходится устанавливать специальные защитные кожухи, что усложняет конструкцию машин.

Закрытая система надува основана на способности струи песчано-смоляной смеси изменять направление при столкновении со стенками ящика или с материалом, уже находящимся в стержневом ящике, и обеспечивать требуемое уплотнение.

При сложной конструкции стержневого ящика, наличии узких сечений отдельных частей стержня, воздушных затворов и т.д. рикошетное действие струи песчано-смоляной смеси оказывается недостаточным, поэтому смесь должна подаваться в ящик под давлением.

В пескодувных устройствах с закрытой системой надува стержневой ящик плотно прижимается к вдувной плите рабочего резервуара.

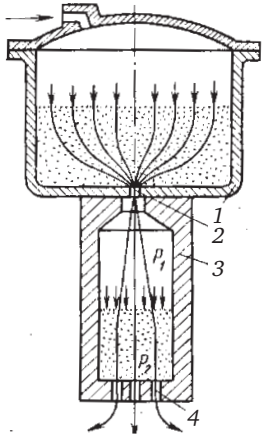


Рис. 6.8. Закрытая система с верхним направлением дутья:
1 — рабочий резервуар; *2* — вдувное отверстие; *3* — стержневой ящик; *4* — венты

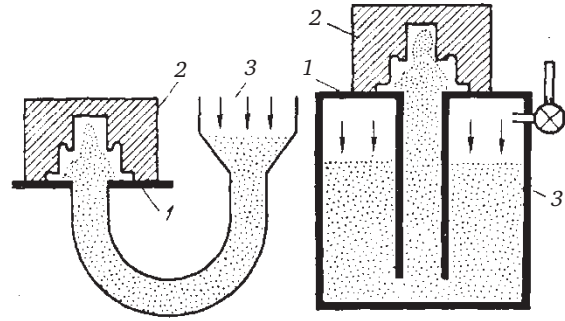


Рис. 6.9. Варианты систем с нижним направлением дутья:
1 — плита; *2* — стержневой ящик; *3* — резервуар с рабочей смесью

Машины с закрытой системой подразделяют по направлению дутья, которое может быть верхним, нижним и боковым.

Устройства с верхним направлением дутья (рис. 6.8) широко применяют для изготовления простых и сложных по конфигурации оболочковых стержней из песчано-смоляных и химически твердеющих смесей.

При нижнем направлении дутья песчано-смоляная смесь подается в перевернутый стержневой ящик под давлением, обеспечивающим подачу смеси снизу вверх (рис. 6.9).

На машинах с нижним направлением дутья изготовляют небольшие оболочковые стержни из песчано-смоляных смесей в нагретых ящиках; при изготовлении больших стержней их выдерживают под давлением для образования оболочки требуемой толщины. Смесь, не успевшая затвердеть внутри ящика, после снятия давления падает в резервуар.

На рис. 6.10 приведена схема изготовления оболочковых стержней с помощью нагретого формообразующего элемента. Этим методом получают пустотелые стержни, точные по размерам. Формообразующие элементы *2* устанавливают в ящик *3* до надува

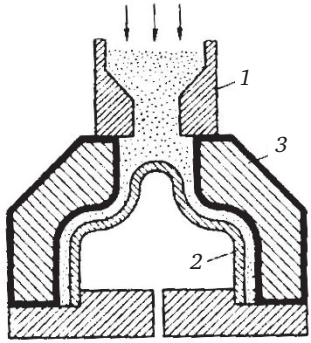


Рис. 6.10. Схема изготовления стержней с помощью нагретого формообразующего элемента:
1 — резервуар с рабочей смесью; *2* — нагретый формообразующий элемент; *3* — стержневой ящик

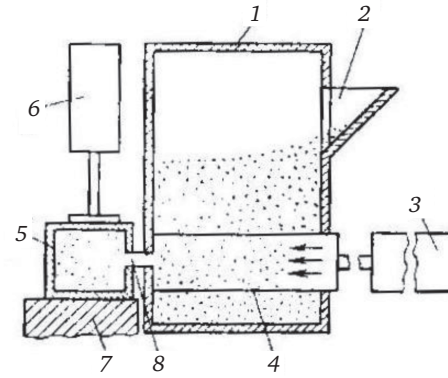


Рис. 6.11. Схема надува стержней с боковым направлением дутья:
1 — рабочий резервуар; *2* — загрузочное окно; *3* и *6* — пневмоцилиндры; *4* — гильза; *5* — стержневой ящик; *7* — стол; *8* — пескодувное сопло

песчано-смоляной смеси из рабочего резервуара *1*. Полость, образуемая между этим элементом и ящиком, будет соответствовать заданной толщине получаемой оболочки стержня. После твердения смеси формообразующий элемент удаляют из ящика.

В машине с боковым направлением дутья (рис. 6.11) рабочий резервуар *1* периодически заполняется песчано-смоляной смесью через загрузочное окно *2*. Внутри резервуара пневмоцилиндром *3* перемещается цилиндрическая гильза *4*. Порции смеси из резервуара вдуваются в стержневой ящик *5*; при этом гильза цилиндра перемещается в крайнее левое положение, а стержневой ящик пневмоцилиндром *6* прижимается к столу машины *7* и вместе со столом — к пескодувному соплу *8*. В гильзу подается сжатый воздух, который вдувает песчано-смоляную смесь в стержневой ящик. В случае если смеси в гильзе недостаточно для заполнения всей полости стержневого ящика, подачу смеси повторяют. При работе машины с боковым направлением дутья сжатый воздух действует на сравнительно небольшой объем песчано-смоляной смеси, что устраняет возможность зависания и слеживания смеси в рабочем резервуаре.

Этот метод позволяет изготовлять стержни высокого качества, простой и сложной конфигурации.

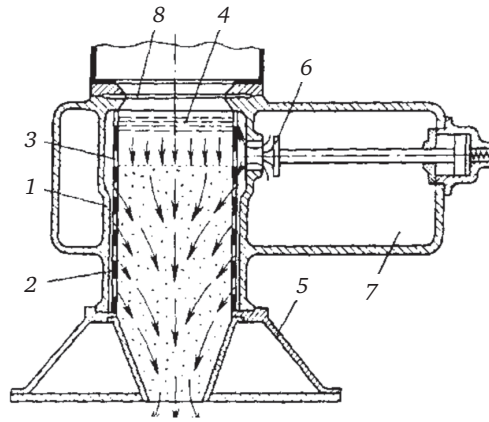


Рис. 6.12. Пескострельная головка:
1 — рабочий резервуар; *2* — гильза; *3* — щелевые отверстия; *4* — горизонтальные отверстия; *5* — насадка; *6* — клапан; *7* — ресивер; *8* — шибер

Пескострельный метод применяют для изготовления оболочковых стержней в серийном и массовом производствах.

Пескострельная головка (рис. 6.12) имеет рабочий резервуар *1*, периодически заполняемый песчано-смоляной смесью из бункера. В резервуар с зазором вставлена гильза *2*, в которой выполнены вертикальные и горизонтальные отверстия щелевидной формы шириной до 0,5 мм, обеспечивающие поступление сжатого воздуха при вдуве. Вертикальные отверстия *3* служат для сжатия смеси в резервуаре по периметру, что уменьшает трение смеси о стенки и устраняет ее зависание.

Горизонтальные отверстия *4* необходимы для выстрела смеси из резервуара через конусную насадку *5* в стержневой ящик. Сверху резервуар закрывают шибером *8*. При включении дутья воздух из ресивера *7* через быстродействующий клапан *6* поступает в рабочий резервуар *1*, в котором давление мгновенно повышается и ударно действует на столб песчано-смоляной смеси, выстреливая его через отверстия насадки *5* в стержневом ящике. Ящик заполняется смесью, а воздух удаляют через вентиляционные отверстия, предусмотренные в насадке или в самом ящике.

Большой интерес представляет возможность уплотнения и твердения стержней за одну операцию без применения печей. Для изготовления стержней таким методом необходимы пескодув-

ная машина и стержневой ящик, нагреваемый электричеством. В конструкции пескодувной машины должно быть предусмотрено удаление закрытого стержневого ящика или отвод пескодувной головки в сторону от нагретого стержневого ящика, что устраняет перегрев смеси в пескодувной головке и ее спекание. Этого можно добиться путем незначительных переделок пескодувных машин.

Стандартные стержневые ящики могут быть легко переоборудованы в электрически нагреваемые ящики. Для равномерного и непрерывного нагрева в них должен быть предусмотрен тепловой аккумулятор.

Для крупных стержней применяют нагрев как изнутри, так и снаружи.

Центробежный метод изготовления оболочковых стержней заключается в формировании и уплотнении стержней под действием центробежных сил, а также полимеризации и твердении песчано-смоляной смеси.

Схема центробежной машины приведена на рис. 6.13. Смесь из бункера *1* через дозатор *2* поступает в загрузочный лоток *3*, закрепленный на тележке *4*, откуда в открытую полость стержневого ящика *5*. Температурный режим поддерживается электропечью *6*. Электродвигатель *7* через пустотелый вал *9* стержневому ящику

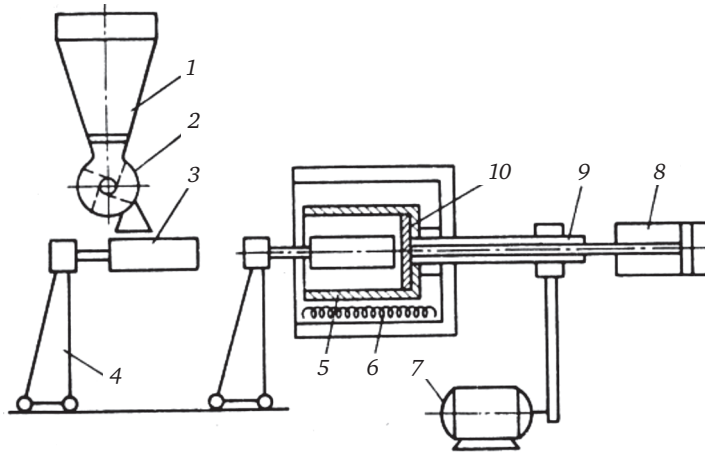


Рис. 6.13. Центробежная машина:
1 — бункер; *2* — дозатор; *3* — загрузочный лоток; *4* — тележка; *5* — стержневой ящик; *6* — электропечь; *7* — электродвигатель; *8* — пневмоцилиндр; *9* — вал; *10* — толкатель

сообщает вращательное движение. Выталкивание стержня осуществляется с помощью толкателя *10*, соединенного с пневмоцилиндром *8*.

Изготовление крупных оболочковых стержней. Сложные оболочковые стержни, а также цилиндрические стержни длиной до 1,2 м можно изготовлять на установке, показанной на рис. 6.14. Установка состоит из вертикальной стальной трубы *1* с внутренним диаметром 100 мм, верхнее засыпное отверстие которой закрывают съемным колпачком *2*. Сжатый воздух под давлением 0,2 МПа подается в трубу через патрубок *3* в съемном колпачке. К нижнему концу трубы прикреплена переходная конусообразная насадка *4*, которая уменьшает диаметр трубы до 24 мм. Клапан *5* насадки контролирует количество смеси, поступающей в стержневой ящик. Под клапаном находится сопло *6*. Сопло входит в отверстие стержневого ящика с некоторым зазором, так что в процессе заполнения ящика смесью из последнего может выходить воздух. Если стержневые ящики имеют два и более вдувных отверстий, то можно применять разветвленные сопла *7*. В некоторых случаях ящик заполняют последовательно, перенося сопло от одного отверстия к другому. Оптимальное давление сжатого воздуха около 0,2 МПа.

Стержни изготовляют из смеси, состоящей из 50 массовых частей мелкого кварцевого песка и 50 массовых частей крупного песка, смешиваемых с 5% фенолоформальдегидной смолы и 0,05% масс. специального увлажнителя.

Стержневые ящики, предварительно покрытые разделительным составом, нагревают до 200 °С, наносят обрызгиванием тонкую пленку того же разделителя и быстро собирают. После этого в ящик вдувают песчано-смоляную смесь, которую выдерживают в нем в те-

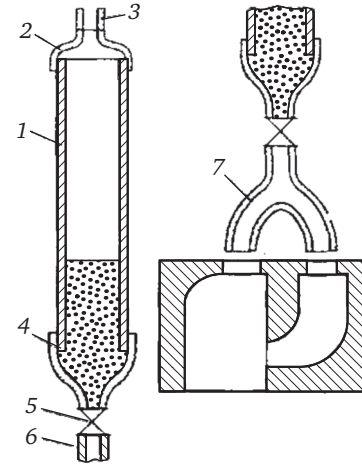


Рис. 6.14. Установка для изготовления длинных цилиндрических стержней:
1 — труба; *2* — съемный колпачок; *3* — патрубок; *4* — насадка; *5* — клапан; *6* и *7* — сопло

чение 10 с до образования оболочки нужной толщины. Излишек смеси высыпают, а ящик со стержнем на 2 мин помещают в печь с температурой 350 °С, после чего стержни легко удаляют из ящика.

Стержни, полученные таким методом, имею гладкую поверхность. Этим методом изготовляют также стержни длиной около 1,5 м.

Технология изготовления оболочковых стержней. Стрежневой ящик, тщательно очищенный от пыли и пригоревшей смеси, подогревают в печи до 200…250 °С в течение 10…20 мин.

Для лучшего отделения оболочкового стержня от металлического ящика рабочую поверхность его периодически покрывают разделительным составом. Рабочую поверхность вновь применяемого стержневого ящика рекомендуется покрыть чистой жидкостью № 5 (см. табл. 6.4) в два-три слоя, предварительно подогрев его до 250…300 °С. Затем стержневой ящик опять подогревают в течение 3…4 мин и засыпают песчано-смоляной смесью.

Смесь в ящике выдерживают в течение 15…20 с в зависимости от температуры подогрева ящика и требуемой толщины оболочки. По истечении указанного времени на внутренней поверхности ящика образуется оболочка определенной толщины (первая стадия процесса — формообразование). Излишек смеси высыпается из полости ящика.

Полученный стержень вместе с ящиком устанавливают в электрическую или газовую печь с температурой 300…450 °С для его окончательного затвердевания (вторая стадия — полимеризация).

При повышении температуры нагрева ящика до 400…450 °С и увеличении выдержки до 40…45 с для завершения второй стадии полимеризации прочность оболочки повышается, в результате чего готовый стержень вынимают из ящика без повреждений. Кроме того, в этом случае отпадает надобность в нагреве стержня в печи для повышения твердости.

При изготовлении стержней ручным способом в условиях более высокого нагрева (350…450 °С) ящиков можно объединить первую и вторую стадии полимеризации песчано-смоляной смеси, что упрощает технологию изготовления стержней и делает ненужным применение печей в тех случаях, когда ящики подогреваются пристроенными к ним электрическими элементами.

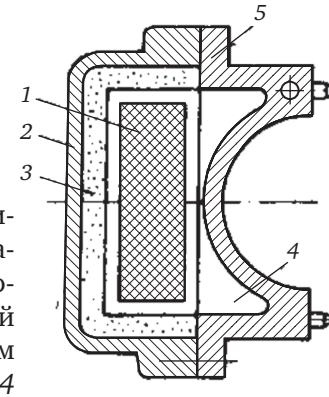


Рис. 6.15. Стержневой ящик с индивидуальным электронагревателем:
1 — нагревательный элемент; *2* — коробка; *3* — теплоизоляционный слой; *4* — стержневой ящик; *5* — болт

Конструкция стержневого ящика с индивидуальным электроподогревом показана на рис. 6.15. Элементы электросопротивления *1* расположены в специальной коробке *2* с теплоизоляционным слоем *3*. Одна половина стержневого ящика *4* присоединяется к этой коробке болтами *5*.

6.5. Основные свойства песчано-смоляных смесей

При изготовлении оболочковых форм и стержней качество отливок во многом зависит от свойств смесей. Основными свойствами являются следующие.

В исходном состоянии — потери при прокаливании, температура прилипания, текучесть, газотворная способность, продолжительность формирования и отверждения оболочки.

После отверждения проверяют прочность в горячем и холодном состояниях, газопроницаемость, деформацию при одностороннем нагреве и трещиноустойчивость.

Потери при прокаливании характеризуют фактическое содержание летучих веществ в смеси (смола + уротропин); их определяют весовым способом как разность масс (%) до и после прокаливания навески смеси 10 г при 902 °С в течение 1,5 ч.

Температуру прилипания определяют с помощью приборов, выпускаемых фирмами H.Dietert, Inc. (США) и Georg Fisher (Швейцария). На поверхность нагретого металлического стержня с температурным перепадом от 80 до 150 °С на длине 80 мм насыпают ровный слой смеси, который после 10 с выдержки сдувают струей сжатого воздуха под низким давлением. Температура стержня, измеренная контактной термопарой в начальной точке прилипшей части смеси, считается температурой прилипания.

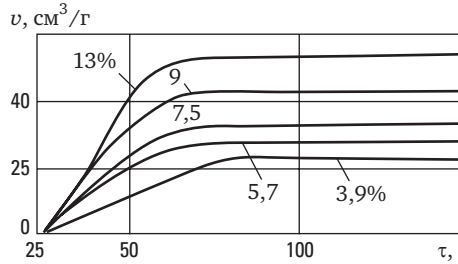


Рис. 6.16. Изменение газотворной способности при различном содержании связующего в смеси

Текучесть характеризует способность смеси перемещаться под действием собственной массы; она определяется временем истечения навески 100 г через калиброванное отверстие воронки диаметром 6…8 мм и выражается как скорость истечения, г/с. При использовании воронки диаметром 6 мм скорость истечения механической смеси 3,7 г/с; смеси, плакированной холодным способом, 16,6 г/с; сухого кварцевого песка — 21,7 г/с. Скорость истечения через воронку диаметром 8 мм горячеплакированной смеси 19…25 г/с.

Газотворная способность характеризует объем газов, выделяющихся из смеси при контакте с расплавленным металлом. Газотворная способность при нагреве навески смеси до 1000 °С находится в прямой зависимости от содержания связующего (рис. 6.16); вместе с тем, независимо от содержания смолы, кинетика газовыделения во всех случаях почти одинакова — основное количество газов выделяется в течение первых 60 с нагрева. Установлено значительное влияние скорости нагрева на газотворную способность: чем больше скорость нагрева, тем больше объем выделяющихся газов.

В табл. 6.11 приведены данные по составу газов, выделяющихся при различных температурах нагрева навески плакированного песка с 4% смолы СФ-015, 15% уротропина в водном растворе и 4% стеарата кальция (в % от массы смолы).

При всех температурах нагрева смеси очевидно преобладание восстановительной газовой атмосферы, которая возрастает с повышением температуры.

Продолжительность формирования характеризуется толщиной песчано-смоляной оболочки, образующейся на нагретой по-

верхности оснастки при ее контакте со смесью; эта толщина зависит от температуры оснастки и длительности выдержки при ней смеси; на толщину влияют также вязкость смолы и температура смеси при вводе уротропина при горячем плакировании. Толщину песчано-смоляной оболочки определяют путем измерения толщины оболочки, образованной на гладкой плите, нагретой до 180 °С при засыпке на ее поверхность постоянной навески смеси, выдержке в течение 30 с, сбросе излишка, отверждении оболочки и замере ее толщины в трех точках с последующим расчетом средней величины. Более удобна для сравнения свойств ряда смесей скорость формирования, полученная как частное от деления средней толщины оболочки (мм) на 30 с.

6.11. Состав газов, выделяющихся при различных температурах

Температура нагрева смеси, °С	Массовая доля						
	окислительных газов, %			восстановительных газов, %			
	CO_2	O_2	Всего	Углеводороды C_nH_{2n+2}	CO	H_2	Всего
352	13,0	14,7	27,7	7,1	26,3	38,9	72,3
502…602	2,1	2,6	4,7	33,0	15,1	47,2	95,3
602…802	3,5	0,8	4,3	25,7	10,0	60,0	95,7
802…902	2,2	1,0	3,2	11,3	7,5	78,0	96,8
902…1002	2,1	1,5	3,6	3,8	17,6	75,0	96,4
Выдержка при 1002	1,3	1,2	2,5	1,9	12,2	83,4	97,5

Продолжительность отверждения характеризуется кинетикой нарастания прочностных свойств смеси, нагреваемой при постоянной температуре; ею считается время, в течение которого достигаются максимальные прочностные свойства отвержденной смеси. Эта продолжительность зависит от свойств смолы, содержания в ней уротропина и борной кислоты, а также от температуры отверждения. С ростом температуры отверждение происходит быстрее, однако возникает опасность начала термодеструкции смолы. Продолжительность отверждения оценивают путем определения прочностных свойств горячих образцов «восьмерок» толщиной 10 мм, отверждаемых при температуре 300 °С в течение 60, 90, 120, 150 и 180 с. Для определения этого параметра наиболее пригоден прибор мод. № 365 H. Dietert. Inc. или его аналог

мод. PCR фирмы Georg Fisher, в котором временное сопротивление при растяжении может быть определено через любой промежуток времени после засыпки смеси в форму без необходимости удаления из нее образца.

Плакированные и механические песчано-смоляные смеси в исходном состоянии не обладают прочностью. В результате нагрева смеси смола оплавляется и, растекаясь, образует мостики, соединяющие между собой зерна песка. После отверждения смолы между зернами возникают связи, которые тем прочнее, чем больше общая площадь контактных зон. Этим объясняется более высокая (в среднем на 25…30% выше) прочность плакированных смесей по сравнению с механическими, содержащими такое же количество связующего материала. Кроме равномерности распределения связующего, на прочность влияют количество и качество связующего, размер и форма зерен песка, наличие глины и других примесей, а также степень уплотнения смеси.

Прочность контролируют путем испытания образцов немедленно после отверждения (испытания в горячем состоянии) или после охлаждения образцов до комнатной температуры (испытания в холодном состоянии). Методика испытаний в горячем состоянии приведена выше. В холодном состоянии проводят испытания образцов «восьмерок» толщиной 25 мм на растяжение или плоских образцов размером 150×25×10 мм — на изгиб.

Прочность смеси в горячем состоянии позволяет прогнозировать поведение оболочковых форм при съеме с модельной плиты и склеивании; прочность в холодном состоянии обусловливает возможности хранения, транспортирования и засыпки форм опорным материалом перед заливкой.

Примерные прочные свойства смесей приведены в табл. 6.9. Характер изменения прочностных свойств отвержденных смесей при нагреве обусловлен процессами термодеструкции смол. По данным ЦНИИТМАШ, прочность на сжатие цилиндрических образцов диаметром 30 и высотой 45 мм из смеси кварцевого песка с 7% связующего типа СФП-011Л, отвержденных в течение 5 мин при 350 °С, изменяется при нагреве следующим образом:

Температура нагрева, °С	20	200	400	600	800	1000	1200
Прочность $\sigma_{сж}10^{-5}$, Па	127	120	108	52	29	24	15

Временное сопротивление при растяжении смесей, содержащих 4% смолы, снижается при нагреве от 20 до 700 °С с 14,9 до $1{,}7 \cdot 10^5$ Па; смесей, содержащих 6% смолы, — с 20,8 до $2{,}2 \cdot 10^5$ Па.

Тонкостенные оболочковые формы обладают высокой газопроницаемостью, которая в 15…20 раз выше, чем у обычных песчано-глинистых форм. Однако при использовании очень мелких песков газопроницаемость следует контролировать по стандартной методике на образцах, диаметр и высота которых равна 50 мм.

Трещиноустойчивость характеризует способность оболочковых форм выдерживать тепловые и механические напряжения при заливке. Разрушение форм обусловлено не термодеструкцией смолы и разупрочнением смеси, а неравномерным тепловым расширением хрупкого материала оболочки. Поэтому повышение трещиноустойчивости достигается неполным отверждением смеси, вводом пластифицирующих добавок или применением модифицированных связующих материалов.

Трещиноустойчивость определяют временем от начала заливки форм (или имитирующего ее одностороннего нагрева образцов с помощью газовой горелки или раскаленного нагревателя) до образования трещин; чем длиннее этот период, тем выше трещиноустойчивость.

Применение для изготовления оболочковых форм и стержней высококачественных, чистых песков обусловливает целесообразность их многократного использования. Существует также важная экологическая проблема, связанная с необходимостью устройства «отвалов», куда свозятся фенолосодержащие отходы.

Наиболее эффективным способом регенерации отработанных оболочковых форм является нагрев в кипящем слое, т.е. терморегенерация. Терморегенерат является более качественным материалом, чем свежий песок; смеси на нем обладают большой прочностью при равном содержании связующего. Это обстоятельство, как правило, обеспечивает экономический эффект терморегенерации, несмотря на значительные затраты энергии. Перед регенерацией отходы (битые и бракованные формы и стержни, а также несгоревшие куски оболочек после выбивки отливок) подвергают дроблению и сепарации.

6.6. Расчет и проектирование литниковых систем

6.6.1. Классификация литниковых систем

Отличительной особенностью литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в песчаные формы является большая скорость течения металла в форме. Турбулентное движение металла, входящего в полость формы, становится причиной шероховатости литой поверхности, превышающей допустимую для литья в оболочковые формы. Сечения литников, которые обеспечивают минимальную усадку при литье во влажные песчаные формы, могут быть причиной брака по размерам при литье в оболочковые формы. При заливке формы необходимо контролировать высоту расположения носка ковша над литниковой чашей. При выборе типа литниковой системы в первую очередь необходимо определить положение отливки, которое обеспечивало бы удобство изготовления формы и модели, требуемые условия питания и заполнения формы. Вместе с тем следует учитывать большую скорость заливки оболочковых форм и меньшую температуру заливки металла благодаря наличию гладкой поверхности формы и меньшему ее сопротивлению, а также меньшую скорость охлаждения форм, что позволяет применять закрытые прибыли.

В зависимости от конструкции, массы отливки и вида сплава применяют различные литниковые системы: верхнюю, боковую, нижнюю (сифонную), вертикально-щелевую и др.

Рассмотрим некоторые типы литниковых систем с их преимуществами, недостатками и особенностями при литье в оболочковые формы.

Верхняя литниковая система обеспечивает наилучшие условия заполнения отливок с малыми и средними толщинами стенок; создает наиболее благоприятные условия для питания и направленного затвердевания; в наименьшей степени способствует развитию местных разогревов и связанных с ними дефектов; требует минимального расхода металла, проста по выполнению.

Основной недостаток верхней литниковой системы заключается в том, что падение металла может вызвать размыв формы и образование засоров, кроме того, она не обеспечивает задержание шлака. Струя металла увлекает за собой воздух и окисляется, особенно это относится к сплавам из цветных металлов. Степень

окисления возрастает при уменьшении диаметра струи и увеличении высоты падения, при ударе струи о преграду или в случае фонтанирования при быстром выходе струи из литникового канала в свободную полость формы.

Верхнюю литниковую систему применяют для изготовления отливок небольших размеров и массы.

При длительном течении металла, имеющего высокую температуру, выгорает большая часть смолы у основания стояка, и в потоке металла могут образоваться углеродистые включения, которые при неправильном выборе литниковой системы попадают в полость формы и являются причиной образования дефектов на поверхности отливки.

Заливку металла проводят так, чтобы шлак и прочие оксиды задерживались в литниковой чаше или улавливались шлакоуловителем, предусмотренным в соответствующем месте. Конструкция литниковой чаши должна исключать попадание шлака в центральную литниковую систему. При этом выгоднее применять литниковую чашу, чем улавливать шлак устройством специальных уловителей около стояка или применением сильно суженных питателей. Слишком сильное сужение питателей порождает завихрения, образующие морщины на поверхности отливок, особенно из тяжелых сплавов, и оксидые включения в отливках из легких сплавов.

Иногда быстродействующий поток металла регулируют с помощью дросселирующих систем. На практике распространена дросселирующая система с двумя сужениями. Первое дросселирование происходит в канале, подводящем металл к форме, который для того делают коническим. На нижнем конце этого канала устраивают колодец, откуда выходит второй дроссельный канал, идущий к литниковому каналу, гораздо большей емкостью по сравнению с дросселем.

Боковая литниковая система уменьшает по сравнению с верхней системой высоту падения струи металла, предохраняет форму от разрушения; в то же время она несколько ухудшает условия заполнения формы и требует повышенного расхода металла. При правильно выбранном месте подвода металла она обеспечивает такое же качество отливки, как и верхняя. Литниковая система этого типа обеспечивает удобный подвод металла к различным

узлам сложных отливок и шлакоотделение при размещении литниковых ходов и литников в плоскости разъема.

Боковая литниковая система применяется для отливок средней массы, небольшой высоты, но сравнительно больших габаритов.

Если литниковая чаша задерживает шлак первой порции заливаемого металла, то тем самым решается работа всей литниковой системы. Стояк имеет сечение, сужающееся книзу в соотношении 3:1. Это не только существенно ограничивает завихрение металла, но и препятствует засасыванию газа в металл, что обычно наблюдается в работе литниковых систем при прямых или сужающихся кверху стояках.

Зумпф, или коллектор, у низа стояка не только устраняет завихрения в потоке, но служит одновременно и шлакоуловителем. Следующее за шлакоуловителем сужение сечения литникового канала имеет особое значение при производстве отливок из серого чугуна.

Для обеспечения спокойного, ламинарного движения металла по литниковому ходу сечение последнего делают несколько большим, чем по расчету. Опытные данные показывают на необходимость применения большого плоского питателя, так как питатели малого сечения могут вызывать завихрение металла и размыв поверхности формы.

Нижняя сифонная литниковая система применяется большей частью при литье чугунных деталей (рис. 6.17, *а*). Эта система обеспечивает спокойное поступление металла в форму в нижнюю часть отливки и последовательное удаление газов из формы; она также предупреждает попадание в отливку шлаковых включений с помощью перемычек на коллекторе. Однако нижняя литниковая система создает неблагоприятные условия для отливок с тонкими стенками, может способствовать развитию местных разогревов и горячих трещин и вызывать повышенный расход металла.

Основное преимущество нижней литниковой системы заключается в минимальном размыве формы и образовании засоров, а также в получении качественной поверхности в нижних частях отливок большой высоты.

Сплавы, склонные к окислению и пленообразованию, например магниевые и алюминиевые, а также алюминиевые бронзы рекомендуется заливать снизу. Нижнюю литниковую систему

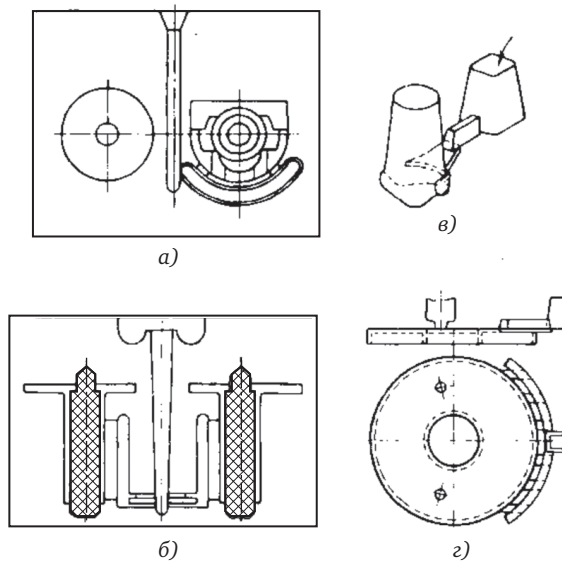


Рис. 6.17. Литниковые системы

целесообразнее применять для отливок с толстыми стенками и большой высоты.

Вертикально-щелевая литниковая система применяется для высоких тонкостенных отливок с прямым контуром (рис. 6.17, *б*). Эта система обеспечивает последовательное затвердевание отливок и свободное вытеснение газов из полости формы.

При литье многих деталей из цветных и черных сплавов вполне оправдала себя литниковая система, приведенная на рис. 6.17, *в*. Такая литниковая система исключает турбулентность потока металла, а также захват твердых включений, вводимых с металлом в полость формы или образуемых в результате турбулентности. Самым важным элементом такой системы является питатель. Литник находится выше разъема формы и допускает некоторую естественную флотацию примесей. Поэтому его высота должна быть больше ширины, а поперечное сечение прямоугольным. Важна также форма перехода из литника в питатель. Постепенный переход на конус позволяет шлаковым включениям проникнуть в форму, если до этого перехода не будет предусмотрен шлакоуловитель.

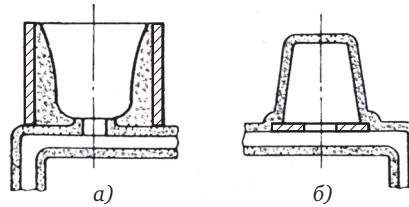


Рис. 6.18. Конструктивное оформление прибылей

Не на все металлы турбулентность в полости формы оказывает неблагоприятное действие. Серый чугун и фосфористую бронзу рекомендуется заливать непосредственно через стояк без питателей.

Литниковую систему (рис. 6.17, *г*) применяют при литье оловянных и других бронз с последующей частичной или без механической обработки.

В оболочковых формах делают открытые и закрытые прибыли. Предпочтение отдают боковым прибылям. Если требуется верхняя прибыль, то ее легко получить с помощью стержня (рис. 6.18, *б*) или устройства с воронкой (рис. 6.18, *а*).

Усадка в процессе затвердевания отливки происходит в направлении к толстым участкам, поэтому для наиболее эффективного питания целесообразнее применять такую литниковую систему, которая подводила бы металл к прибыли. Для этой цели установка боковых прибылей или прибылей у разъема является наиболее выгодной, например, при литье оловянных и марганцевых бронз (рис. 6.19).

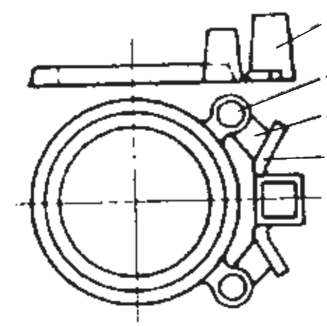


Рис. 6.19. Литниковые системы для отливок из оловянных и марганцевых бронз:
1 — литниковая чаша; *2* — литник; *3* — питатель; *4* — прибыль

6.6.2. Расчет основных параметров литниковой системы

Скорость заливки металла. При конструировании литниковых систем необходимо учитывать скорость заливки металла. Сплавы, имеющие узкий интервал кристаллизации, в частности стали и марганцевые бронзы, должны заливаться с большой скоростью и на нижнем пределе интервала температур заливки. Заэвтектические чугуны, чугуны с шаровидным графитом, оловянные бронзы и кремний-алюминиевые сплавы заливаются на верхнем пределе интервала температур и с малой скоростью.

Высокая скорость предполагает почти полное отсутствие торможения или трения жидкого металла, проходящего через литниковую систему оболочковой формы, по сравнению с величиной трения, существующего при заливке металла в обычные влажные песчаные формы. Жидкостное трение в литниковых системах оболочковых форм обычно в 3 раза меньше жидкостного трения в литниковых системах влажных песчаных форм. По этой причине площади поперечных сечений различных элементов литниковой системы оболочковой формы должны подсчитываться, а не браться в уменьшенном масштабе из практики применения литниковых систем для подобных влажных песчаных форм, так как зависимость между ними не является линейной.

Основным положением при проектировании любой литниковой системы является определение размеров сечения стояка: длины сторон, если это квадратный или прямоугольный стояк, либо диаметра, если стояк круглый. Площадь F нижнего сечения стояка зависит от общего металлостатического напора, равного высоте жидкого металла над этим сечением:

$$F = \frac{v_з}{\rho v},$$

где $v_з$ — скорость заливки металла, г/с; v — скорость течения металла в стояке, см/с; ρ — плотность жидкого металла, г/см^3.

Плотность жидких сплавов, необходимая при расчетах, приведена в табл. 6.12.

Скорость течения v жидкого металла в стояке при общем металлостатическом напоре 100…1000 мм можно подобрать для круглых, квадратных или щелевых стояков по табл. 6.13.

6.12. Плотность жидких сплавов

Сплавы	Плотность, г/см^3	Сплавы	Плотность, г/см^3
Магниевые	1,39	Чугуны:	
Кремний-алюминиевые	2,21	легированные	7,48
Медно-алюминиевые	2,35	с пластинчатым графитом	6,94
Магниево-алюминиевые	2,21	с шаровидным графитом	7,48
Алюминиевые бронзы	8,05	Стали:	
Марганцевые бронзы	8,59	углеродистые	7,48
Оловянные бронзы	8,32	легированные	7,46
Латуни:		Кобальтовые жаропрочные	8,16
80% Cu, 20% Zn	8,32	Монель-металл	8,32
70% Cu, 30% Zn	8,05	Никель-серебряные	9,00
60% Cu, 40% Zn	7,76	Титановые	4,16

Значения скорости v, приведенные в табл. 6.13, определены по формуле

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{k}},$$

где $g = 981$ м/с^2; H — общий металлостатический напор, мм; k — жидкостное трение в стояке, зависящее от конфигурации стояка: круглый $k = 0{,}4$, квадратный $k = 0{,}5$; щелевой $k = 0{,}9$.

Литниковая система должны быть сконструирована таким образом, чтобы ограничивать максимальную скорость заливки. Если заливщик следит за тем, чтобы литниковая чаша оставалась полной с начала заливки, то расчетная скорость заливки оболочковой формы будет выдерживаться автоматически и полость форм будет заполняться каждый раз в идентичных условиях.

Если масса и размеры отливки требуют подвода металла в нескольких местах, то литниковые системы оболочковых форм проектируют с несколькими литниковыми чашами. Иногда используют два стояка, чтобы создать дросселирующий эффект нижнего сечения стояка, используемый для снижения скорости входа металла в полость формы в начале заливки. При расчете площади нижнего поперечного сечения стояка учитывают объем формы и применяемый метод заливки — вертикальный, горизонтальный, стопочный, в контурные плиты или центробежный.

Все литниковые системы имеют общий элемент — литниковую

6.13. Скорость течения металлов в стояке, см/с

Общий металлостатический напор, мм	Стояк			Общий металлостатический напор, мм	Стояк		
	круглый	квадратный	щелевой		круглый	квадратный	щелевой
100	251,5	223,5	160,0	584	541,0	513,1	396,2
127	266,7	238,7	172,7	610	556,2	528,3	408,9
152	281,9	254,0	185,4	635	571,5	543,5	421,6
178	297,2	269,2	198,1	660	586,7	558,8	434,3
203	312,4	284,5	210,8	686	602,0	574,0	447,0
228	327,6	299,7	223,5	711	617,2	589,0	459,7
254	342,9	315,0	236,2	736	632,4	604,5	472,4
279	358,1	330,2	248,9	762	647,7	619,7	485,1
305	373,4	345,4	261,6	787	662,9	635,0	497,8
330	388,6	360,7	274,3	813	678,2	650,2	510,5
355	403,8	375,9	281,9	838	693,4	665,5	523,2
381	419,1	391,6	294,6	863	708,6	680,7	535,9
406	434,3	406,4	307,3	889	723,9	696,0	548,6
432	449,6	421,6	320,0	914	739,1	711,2	561,3
457	464,8	436,9	332,7	940	754,4	726,4	574,0
482	480,0	452,1	345,4	965	769,6	741,7	586,7
508	495,3	467,3	358,1	990	784,8	756,9	599,4
533	510,5	482,6	370,8	1000	800,0	782,0	612,0
559	525,8	497,8	383,5				

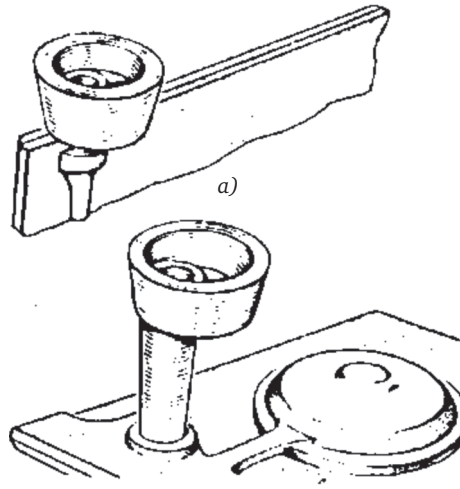


Рис. 6.20. Стандартные литниковые чаши для заливки:
а — вертикальной; *б* — горизонтальной

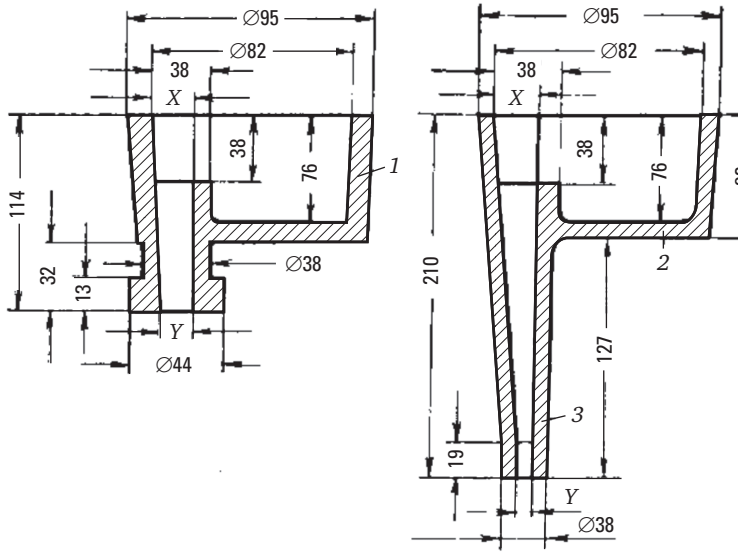


Рис. 6.21. Размеры литниковых чаш для заливки:
1 — вертикальной; *2* — горизонтальной; *3* — границы вставляемой в форму части

чашу. Ее размеры вместе с емкостью ковша и высотой носка ковша над чашей определяют начальную скорость течения металла. Рекомендуется использовать отъемную литниковую чашу, а не выполненную заодно с оболочковой формой.

Отъемные чаши (рис. 6.20) дают удовлетворительные результаты независимо от применяемого метода заливки. Размеры литниковых чаш приведены на рис. 6.21. Значения *X* и *Y* выбирают с учетом следующих рекомендаций:

X, мм 127;	14,3;	16,0;	17,5;	19,0;	20,6;	22,0;	23,8;	25,4
Y, мм 11,0;	12,7;	14,3;	16,0;	17,5;	19,0;	20,6;	22,0;	23,8

Соотношение площади сечения стояка, шлакоуловителя и питателя следует принимать как

$$F_{ст}: F_{шл}: F_{п} = 1{,}4 : 1{,}2 : 1.$$

К основным факторам, влияющим на скорость заливки металла, относятся размер формы, максимальная и минимальная толщина поперечного сечения отливки, объем полости формы

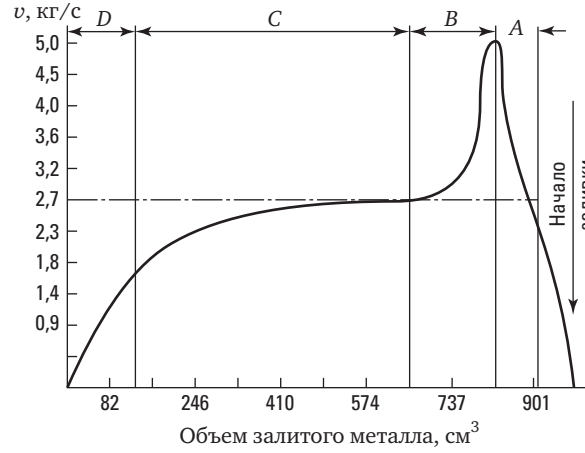


Рис. 6.22. Влияние степени заполнения полости формы на скорость заливки

(включая литниковую систему) и свойства заливаемого металла. Продолжительность заливки, как производная от скорости заливки, включает в себя время заполнения литниковой чаши, стояка, литников, полостей формы и прибылей. Вследствие постепенного уменьшения металлостатического напора по мере заполнения полости формы скорость заливки также постепенно уменьшается к концу заливки (рис. 6.22). Как видно из графика, для вертикальной оболочковой формы, имеющей объем 983 см^3, скорость заливки быстро увеличивается, металл попадает в литниковую чашу и, преодолевая уступ, быстро устремляется к нижнему сечению стояка, где происходит дросселирование (фаза *A*). Как только литники заполнятся металлом, скорость заливки υ_3 уменьшается до расчетной для нижнего сечения стояка; в этом случае $\upsilon_3 = 2{,}7$ кг/с при полном металлостатическом напоре (фаза *B*).

Когда жидкий металл заполняет полость отливки, разница по высоте жидкого металла между уступом в литниковой чаше и уровнем металла в полости отливки равномерно уменьшается (фаза *C*). При непрерывном заполнении прибыли скорость заливки понижается до нуля в конце заливки. Конструируя литниковую систему для конкретной отливки, необходимо принимать во внимание эту последовательность.

Значения скорости заливки приведены в табл. 6.14.

Металлостатический напор зависит от способа заливки: вертикального, горизонтального, стопочного, в контурных плитах (рис. 6.23) или центробежного. Каждый способ влияет на высоту стояка, зависящую от размеров полости отливки при статической заливке, или от центробежной силы, определяемой скоростью и радиусом вращения полости отливки в случае центробежной заливки.

Общий металлостатический напор при вертикальной заливке включает в себя размер формы, потребный для размещения либо одной крупной отливки, либо ряда мелких отливок, причем через один стояк может быть залито ограниченное число мелких отливок.

Например, если разместить 100 отливок массой по 113 г в фор-

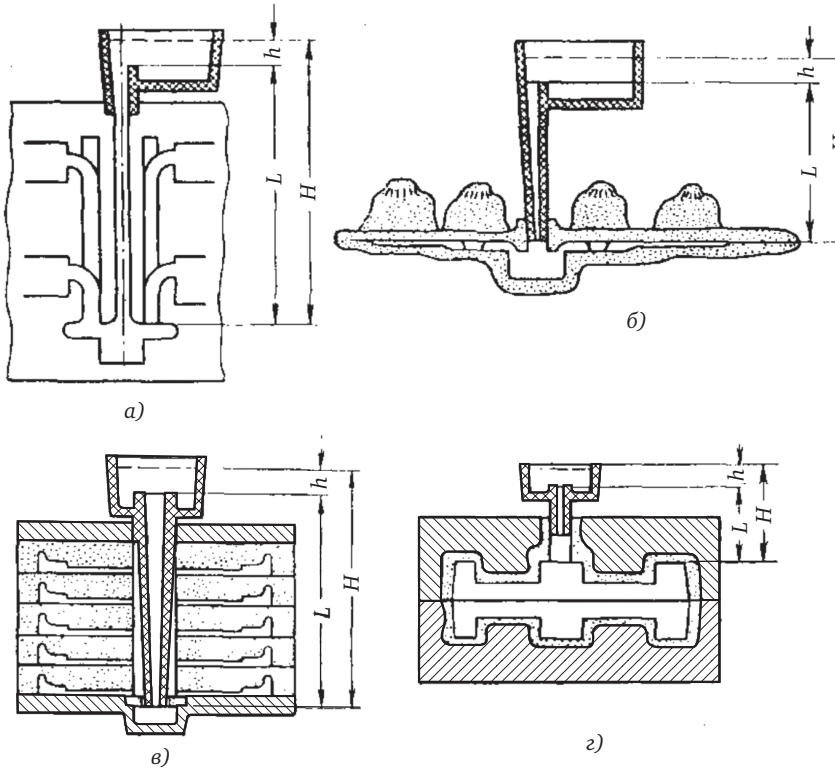


Рис. 6.23. Общий металлостатический напор *H* при заливке форм:
а — вертикальной; *б* — горизонтальной; *в* — стопочной; *г* — в контурных плитах; *h* — избыточная высота металла в чаше; *L* — высота стояка

6.14. Номинальные значения скорости заливки металла, кг/с

Масса заливаемого металла, кг	Толщина отливок, мм			
	2,4…4,1	8,0…11,5	13,2…16,5	19,8…23,1
0,45…2,27	1,81	1,13	0,73	0,32
2,27…4,54	2,27	1,36	1,09	0,73
4,54…6,80	2,50	2,09	1,45	1,18
6,80…9,07	2,80	2,36	2,00	1,72
9,07…11,34	3,31	2,83	2,40	1,88
11,34…13,61	3,40	2,90	2,45	1,91
13,61…15,88	3,49	2,99	2,63	2,00
15,88…18,14	3,58	3,04	2,68	2,10
18,14…20,41	3,67	3,18	2,77	2,18
22,68…34,02	3,77	3,31	2,81	2,27
34,02…45,36	3,81	3,58	2,86	2,68
56,70…68,04	—	4,04	3,54	3,22
68,04…79,38	—	4,45	4,17	3,63
79,38…90,72	—	4,99	4,31	3,77
102,06…113,40	—	5,63	4,72	4,04
113,40…124,74	—	5,94	4,99	4,17
124,74…136,08	—	6,17	5,22	4,40

ме, которая обычно может вместить отливку массой 11,3 кг, то потребуются литники большего поперечного сечения, для того чтобы обеспечить поступление горячего металла в полости формы малого размера, удаленные от стояка. Этот же принцип применяется при горизонтальной заливке, но высоту стояка не увеличивают при увеличении площади формы.

На практике уровень жидкого металла в литниковой чаше составляет примерно 100 мм над самой высшей точкой полости формы. Эта величина включает в себя около 50 мм избыточной высоты металла над стояком в литниковой чаше. Например, литниковая система формы высотой 457 мм и шириной 305 мм будет иметь общий напор 406 мм, включая 305 мм высоты стояка.

Размеры питателя и места установки его определяют в соответствии с принципом направленного затвердевания. При этом в системе отливка—питатель затвердевание должно происходить последовательно от тонких сечений к толстым; последним в системе должен застывать питатель.

Направленное затвердевание обеспечивается соблюдением следующих правил:

• питатель устанавливают у наиболее массивного узла отливки;

• если массивные узлы разделены тонкими сечениями, то устанавливают соответствующее число питателей у каждого отдельного узла;

• питатель заполняется непосредственно из литникового хода;

• переходные питатели следует применять в случаях, когда конструкция отливки или расположение отливок в форме не позволяет применять непосредственное питание.

Размеры питателей можно определить с учетом приведенной толщины сечения узла по формуле

$$z = F/P,$$

где F — площадь поперечного сечения узла в месте подвода металла, см^2; P — периметр поперечного сечения узла, см.

При конструировании литниковой системы необходимо учитывать, что каналы литниковой системы не должны тормозить усадку отливки, их не рекомендуется располагать по границам формы и стержня. Переходы от канала одного сечения к каналу другого сечения, а также повороты каналов следует делать плавными с радиусами галтелей, составляющими от $^1/_3$ до $^1/_2$ диаметра канала. При переходе от стояка к литниковому ходу и от литникового хода к крайнему литнику следует предусмотреть зумпфы с радиусами закруглений, равными радиусу канала, и глубиной не менее диаметра этого канала.

6.6.3. Примеры расчета литниковых систем

Вертикальная литниковая система. *Исходные данные.* Отливка массой 4,54 кг, номинальной толщины 9,5 мм, с размером полости формы 152×203 мм с толстым литником вдоль меньшей стороны изготавливается из легированного чугуна. На машине для оболочек можно получить форму размером 305×457 мм либо 457×610 мм, в зависимости от того, будут ли размещены на модельной плите только одна половинка или рядом верхняя и нижняя половинки формы. Глубоких карманов на отливке нет, и устанавливается всего один стержень.

Варианты размещения моделей на плите приведены на

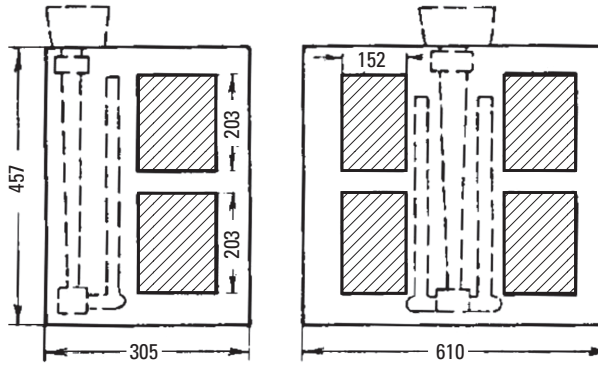


Рис. 6.24. Расположение моделей на плите при вертикальной заливке

рис. 6.24, *а*, *б*. Так как требуемое число отливок оправдывает стоимость либо двух, либо четырех моделей, лучшим будет вариант с четырьмя моделями из-за более высокого выхода годного, а также большей площади для размещения штырей-толкателей, литниковой системы и возможных прибылей.

Масса отливок в форме $4 \cdot 4{,}54 = 18{,}16$ кг; плотность легированного чугуна 7,48 г/см^3. Скорость заливки металла для питания толщиной 9,5 мм подбирают по табл. 6.14, для отливки массой 18,16 кг она составит 3,04 кг/с. Скорость течения металла по квадратному стояку при общем металлостатическом напоре 457 мм определяют по табл. 6.13, она будет равна 436,9 см/с.

Расчет. Определяем площадь нижнего сечения стока:

$$F_{\text{н.с}} = \frac{\upsilon_{\text{з}}}{\rho\upsilon} = \frac{3040}{7{,}48 \cdot 436{,}3} = 0{,}93 \text{ см}^2 = 93 \text{ мм}^2.$$

Размер стороны нижнего сечения стояка $\sqrt{93} = 9{,}5$ мм.

Площадь верхнего сечения квадратного стояка рассчитывают по формуле

$$F_{\text{в.с}} = F_{\text{н.с}} \sqrt{\frac{H}{h}},$$

где $F_{\text{н.с}}$ — площадь нижнего сечения стояка (93 мм^2); H — общий металлостатический напор (457 мм); h — высота избыточного металла в литниковой чаше (50 мм);

$$F_{\text{в.с}} = 93\sqrt{\frac{457}{50}} = 93 \cdot 3 = 279 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, размер стороны верхнего сечения стояка составит $\sqrt{279} \approx 16{,}7$ мм или диаметр выходного отверстия литниковой чаши 17,5 мм.

Зная площадь нижнего сечения стояка, можно определить остальные размеры литниковой системы из следующих соотношений:

диаметр зумпфа определяют из выражения

$$5F_{\text{н.с}} = 5 \cdot 93 = 465 \text{ мм}^2,\ d_{\text{з}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5F_{\text{н.с}}}{\pi}},\ \text{тогда}\ d_{\text{з}} = 24{,}6 \text{ мм};$$

глубина зумпфа

$$h_{\text{з}} = 3d_{\text{З}} = 3 \cdot 24{,}6 = 73{,}8 \text{ мм};$$

размер литников

$$2F_{\text{в.с}} = 2 \cdot 93 = 186 \text{ мм}^2 = 13{,}5 \times 13{,}5 \text{ мм};$$

размер питателей

$$2{,}1F_{\text{п}} = 2{,}1 \cdot 186 = 391 \text{ мм}^2 = 29 \times 13{,}5 \text{ мм}.$$

В месте сопряжения с отливкой размер питателя выбирается так, чтобы облегчить последующее отделение его при очистке.

Этот метод расчета можно использовать для отливок из других сплавов и другого развеса.

Горизонтальная литниковая система. *Исходные данные.* Масса отливки 31,7 кг, номинальная толщина поперечного сечения 25,4 мм, требуемый размер полости формы 508×710 мм, отливка изготавливается из легированной стали. На машине для изготовления оболочковых форм можно получить полуформу размером 610×915 мм, отдельно верхнюю и нижнюю. В форму устанавливают семь стержней, с тем чтобы выровнять поперечное сечение и уменьшить размер прибылей. На модельной плите должны быть предусмотрены площади для стержневых знаков-штырей-толкателей и литниковой системы. В форме получают отливку массой 31,7 кг из легированной стали плотностью 7,76 г/см^3.

Скорость заливки (см. табл. 6.14) составляет 2,27 кг/с, а ско-

рость течения в квадратном стояке (см. табл. 6.13) при общем металлостатическом напоре 152 мм равна 254 см/с.

Расчет. Находим площадь нижнего сечения стояка:

$$F_{\text{н.с}} = \frac{2270}{7{,}76 \cdot 254} = 1{,}16 \text{ см}^2,$$

откуда находим сторону квадрата:

$$\sqrt{116} \approx 11 \text{ мм}.$$

Площадь верхнего сечения квадратного стояка составит

$$F_{\text{в.с}} = F_{\text{н.с}} \sqrt{\frac{H}{h}} = 116 \sqrt{\frac{152}{50}} = 202 \text{ мм}^2,$$

следовательно, размер стенки верхнего сечения стояка $\sqrt{202} = 14{,}2$ мм или диаметр выходного отверстия литниковой чаши 16 мм.

Затем определяем остальные размеры литниковой системы из следующих соотношений:

диаметр зумпфа

$$13 + 5F_{\text{н.с}} = 13 + 5 \cdot 1{,}16 = 18{,}8 \text{ см}^2, \text{ тогда } d_3 = 50 \text{ мм}^2;$$

глубина зумпфа

$$h_3 = 1{,}5d_3 = 1{,}5 \cdot 50 = 75 \text{ мм};$$

ширина литников по всей длине

$$a = 2b = 2 \cdot 11 = 22 \text{ мм};$$

глубина литников около зумпфа

$$h_{\text{л}} = 0{,}4h_3 = 0{,}4 \cdot 75 = 30 \text{ мм};$$

площадь литников около зумпфа

$$F_{\text{л.з}} = ah_{\text{л}} = 22 \cdot 30 = 660 \text{ мм}^2.$$

Число питателей, отходящих от каждого из двух литников, $n = 4$.

Площадь одного питателя

$$F = \frac{F_{\text{л.з}}}{n} = \frac{660}{4} = 165 \text{ мм}^2.$$

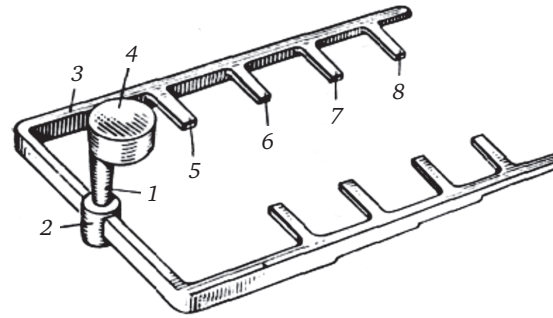


Рис. 6.25. К расчету горизонтальной литниковой системы:
1 — стояк; *2* — зумпф; *3* — литник; *4* — литниковая чаша; *5…8* — питатели

Глубина одного питателя

$$h_{\text{п}} = \frac{F_{\text{п}}}{a} = \frac{165}{22} = 7{,}5 \text{ мм}.$$

Глубина литников:
после первого питателя

$$h_{\text{л}1} = \frac{F_{\text{л.з}} - F_{\text{п}}}{a} = \frac{660 - 165}{22} = \frac{495}{22} = 22{,}5 \text{ мм};$$

после второго питателя

$$h_{\text{л}2} = \frac{F_{\text{л.з}} - 2F_{\text{п}}}{a} = \frac{660 - 2 \cdot 165}{22} = \frac{330}{22} = 15 \text{ мм};$$

после третьего питателя

$$h_{\text{л}3} = \frac{F_{\text{л.з}} - 3F_{\text{п}}}{a} = \frac{660 - 3 \cdot 165}{22} = \frac{165}{22} = 7{,}5 \text{ мм}.$$

На рис. 6.25 приведена горизонтальная литниковая система для отливки из легированной стали, построенная по расчетным данным.

Литниковая система для стопочной заливки металла в форму. *Исходные данные.* Масса отливки 0,46 кг; номинальная толщина 8 мм; требуемый размер полости формы 101,6×63,5 мм. Материал отливки — марганцевая бронза.

Отливки могут быть получены в плиточной форме толщиной 38 мм, в которой вокруг центрального стояка можно расположить шесть отливок. В стопке из восьми плиточных форм за одну заливку будет получено 48 отливок.

Элементы литниковой системы для стопочной формы изготовляют в специальном стержневом ящике, сконструированном в соответствии с расчетными размерами.

Масса отливок $48 \cdot 0{,}45 = 21{,}6$ кг; плотность марганцевой бронзы 8,59 г/см^3; скорость заливки 3,31 кг/с; скорость течения металла 434,3 см/с при металлическом напоре 406 мм.

Расчет. Определяем площадь нижнего сечения стояка:

$$F_{\text{н.с}} = \frac{3310}{8{,}59 \cdot 434{,}4} = 0{,}89 \text{ см}^2 = 89 \text{ мм}^2,$$

следовательно, внутренний диаметр стояка равен 10,3 мм.

Диаметр верхнего сечения стояка

$$F_{\text{в.с}} = 89\sqrt{\frac{405}{50}} = 252 \text{ мм}^2;$$

внутренний диаметр верхнего сечения стояка составит 17,5 мм. Толщина стенки стояка берется равной 6,4 мм.

Размеры стояка с верхним фланцем и фильтровальной сеткой приведены на рис. 6.26. Диаметр фланца 43 мм. Такой же диаметр имеют отверстия в центре плиточных форм. Фильтровальная сетка сконструирована так, что общая площадь шести небольших отверстий (диаметр 5 мм) равна или несколько больше площади нижнего сечения стояка. Диаметр фильтровальной сетки 50 мм; он сопрягается с заплечиками зумпфа, выполненными в нижней части формы. Диаметр зумпфа почти идентичен диаметру центрального отверстия в плиточных формах (в данном случае 43 мм). Его глубина почти равна его диаметру.

Питатели отходят от конического литника и рассчитываются по формулам:

длина питателей

$$l_{\text{п}} = \frac{D \cdot 3{,}14}{2n} = \frac{43 \cdot 3{,}14}{2 \cdot 6} = 11 \text{ мм};$$

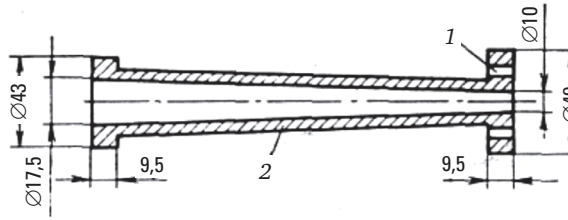


Рис. 6.26. Размеры стояка:
1 — шесть отверстий диаметром 5 мм, расположенных по окружности диаметром 32 мм; *2* — толщина стенки (6,4 мм)

глубина питателей

$$h_{\text{п}} = \frac{F_{\text{н.с}}}{l_{\text{п}}} = \frac{89}{11} \approx 8 \text{ мм},$$

где D — длина окружности центрального отверстия; n — количество питателей в отдельной форме.

Питатели сплющиваются в месте сопряжения с отливкой, но их площадь остается постоянной.

Литниковая система для литья в контурных плитах. *Исходные данные.* Масса отливки 56,7 кг; номинальная толщина 50 мм; требуемый размер полости формы 508×508 мм^2 с массивным литником вокруг обода и в центре ступицы. Поскольку отливка получается в контурных плитах с облицовкой из оболочковой смеси, затвердевание будет регулироваться с помощью различной толщины облицовки. Форму (без стержней) заливают в горизонтальном положении через верх. Отливку изготавливают из чугуна с пластинчатым графитом.

Плотность чугуна с пластинчатым графитом 6,94 г/см^3; скорость заливки металла 3,22 кг/с; скорость течения металла в круглом стояке 282 см/с при общем металлостатическом напоре 152 мм.

Расчет. Площадь нижнего сечения стояка

$$F_{\text{н.с}} = \frac{3220}{6{,}94 \cdot 282} = 1{,}72 \text{ см}^2 = 172 \text{ мм}^2.$$

Диаметр нижнего сечения стояка будет равен 15 мм. Площадь верхнего сечения стояка

$$F_{\text{в.с}} = 172\sqrt{\frac{152}{50}} \approx 172 \cdot 1{,}73 = 298 \text{ мм}^2.$$

Диаметр верхнего сечения стояка составит 19,5 мм.

Если конструкция отливки требует подвода металла по разъему, то необходимо использовать стандартную методику для конструирования и расчета литниковых систем (с литниками и питателями) при горизонтальной заливке оболочковых форм. Тот же принцип применяется, если контурные плиты с оболочковой облицовкой должны быть залиты в вертикальном положении. Тогда следует вести расчет и конструирование, как для вертикальной заливки оболочковых форм, определяя размеры стояка, литников и питателей.

Литниковая система для центробежной заливки форм. *Исходные данные.* Отливка массой 3,18 кг; номинальная толщина 9,5 мм, требуемый размер полости формы 100×152 мм. Отливка выполняется из магниево-алюминиевого сплава по I классу точности. Для изготовления формы используют круглую модельную плиту с тремя моделями, расположенными на равном расстоянии друг от друга по окружности. Стержни отсутствуют. Верхняя и нижняя полуформы устанавливают на стол центробежной машины в стальном цилиндрическом жакете.

Плотность магниево-алюминиевого сплава 2,21 г/см^3; масса металла, заливаемого в форму, 3×3,18 = 9,54 кг; скорость заливки равна 2,83 кг/с; скорость течения металла в круглом стояке 266,7 см/с при общем металлостатическом напоре 127 мм.

Расчет. Так как отверстия фильтровальной сетки (рис. 6.27) создают дросселирующий эффект, то общая площадь всех отверстий должна быть равна площади нижнего сечения эквивалентного конического стояка. Следовательно, общая площадь всех отверстий (число отверстий 6) фильтровальной сетки будет

$$F_s = \frac{2830}{2{,}21 \times 266{,}7} = 4{,}78 \text{ см}^2 = 478 \text{ мм}^2.$$

Площадь каждого отверстия 478/6 = 79,7 мм^2, а диаметр будет равен 10 мм. Диаметр окружности, на которой расположены центры этих отверстий на равном расстоянии друг от друга, составляющем примерно 6,35 мм, и вокруг центрального стержня

диаметром 25,4 мм, вычисляется из длины окружности: $3{,}14 \cdot 25{,}4 + 6 \cdot 6{,}35 + 6 \cdot 9{,}5 = 168$ мм и составит 54 мм.

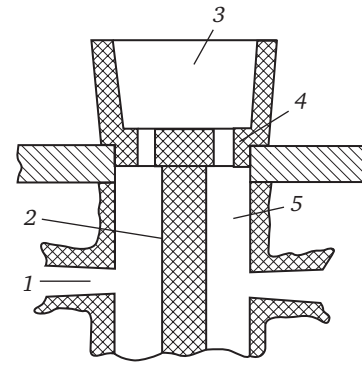


Рис. 6.27. Литниковая система для центробежной заливки форм:
1 — питатель; *2* — сплошной стержень; *3* — литниковая чаша; *4* — отверстия фильтровальной сетки; *5* — стояк

Таким образом, сплошной стержень диаметром 25,4 мм будет расположен в центре стояка диаметром 70 мм с питателями, показанными на рис. 6.27. Указанные размеры применяют только в случае использования литниковой чаши с центральным стояком, так как эти элементы литниковой системы будут вращаться вокруг собственного центра тяжести, т.е. на жидкий металл не действуют центробежные силы или действуют в незначительной степени до тех пор, пока металл проходит по стояку, а также по радиально расположенным питателям в полость формы, которая вращается вокруг центрального стояка на определенном радиусе вращения. Следовательно, питатели должны создавать дросселирующий эффект и расширяться в горизонтальной плоскости по направлению к месту соединения с отливкой.

Чтобы получить 30%-ное дросселирование в питателях, их площадь должна составлять

$$F = \frac{3F_s}{10} = \frac{3 \cdot 478}{10} = 143{,}4 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, питатели, имеющие сечение 5,7×25,4 мм около стояка и 3,2×50,8 мм около отливки, будут обеспечивать хорошие результаты при окружной скорости 83…200 м/мин.

Окружная скорость подсчитывается по формуле

$$v = 2\pi RN,$$

где R — радиус вращения полостей форм, м; N — число оборотов стола машины в минуту.

На практике установлено, что для радиуса вращения 305 мм

N = 75…100 мин$^{-1}$. Следовательно, окружная скорость будет составлять

при 100 мин$^{-1}$

$$v = 2\pi RN = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}305 \cdot 100 = 191{,}5 \text{ м/мин.}$$

при 75 мин$^{-1}$

$$v = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}305 \cdot 75 = 143{,}6 \text{ м/мин.}$$

6.7. Сборка и заливка оболочковых форм, выбивка и очистка отливок

Изготовленные любым из рассмотренных способов оболочки (полуформы) перед заливкой жидким металлом собирают и скрепляют.

Сборка и заливка форм. Выбор способа соединения оболочковых полуформ зависит от масштаба и характера производства. В мелкосерийном производстве используют механические методы соединения с помощью пружинящих скоб, струбцин, профильных стяжных приспособлений.

В крупносерийном и массовом производствах оболочковые полуформы склеивают в горячем или холодном состоянии.

В качестве клея хорошо зарекомендовало себя связующее ПК-104 или жидкое связующее на основе ПК-104 следующего состава, % масс.: ПК-104 32,4; машинное масло 54,1; керосин 13,5. Для отверждения в состав клеев добавляют разные отвердители в виде слабых кислот. Для предупреждения впитывания оболочками жидких смол в состав клея добавляют декстрин или молотую глину. Применяют также клей на основе мочевиноформальдегидных смол (УКС, М-60, КФ-60).

Горячие оболочки склеивают в пневматическом прессе с подпружиненными штырями (рис. 6.28). Для склеивания применяют термотвердеющий клей (чаще всего порошкообразный), который наносят на нижнюю полуформу после простановки в нее стержней. Далее устанавливают верхнюю полуформу и выдерживают собранную форму в прессе в течение 30…60 с под давлением 30…40 кПа. Температура оболочек при склейке должна находиться

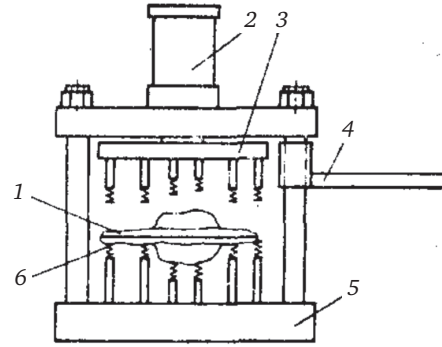


Рис. 6.28. Пружинный пресс для склеивания оболочек:
1 — оболочка; *2* — пневмоцилиндр; *3* — подвижная плита; *4* — устройство для подачи клея; *5* — неподвижная плита; *6* — подпружиненные штыри

в пределах 110…180 °С. При прессовании одновременно устраняется коробление полуформ, возникающее при съеме их с модельной плиты.

Для предотвращения попадания клея в полость формы и для повышения качества склейки клей наносят в специальные круглые или удлиненные клеевые знаки (выемки), предусматриваемые на плоскости разъема нижней полуформы; после сборки в эти выемки входят соответствующие выступы верхней полуформы. При наличии в форме одного рабочего гнезда клей наносят только по периметру оболочки, а в многоместных формах — также и в промежутки между рабочими полостями.

При холодной сборке снятую с модельной плиты горячую оболочку сначала помещают разъемом вниз на правильную плиту штыревого пресса, где устраняют ее коробление в течение 120… 180 с, а затем складируют до окончательного охлаждения. Для склейки холодных оболочек применяют жидкие клеи, отверждаемые катализаторами, диэлектрическим нагревом токами высокой частоты либо продувкой газообразных отвердителей. Склеивание осуществляют в штыревых прессах, дополнительно снабженных генераторами ТВЧ либо устройствами подачи газа.

Использование холодных оболочек обеспечивает повышение качества их сборки и улучшение условий труда на этой операции, однако требует специальных площадей для их складирования и дополнительного оборудования.

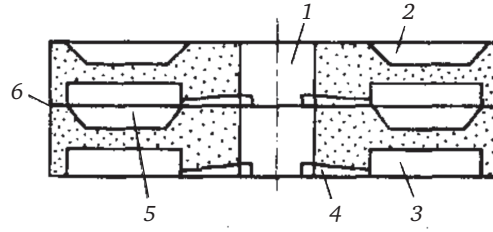


Рис. 6.29. Схема сборки оболочек в стопку:
1 — отверстие для установки центрального стояка; *2* и *3* — нижняя и верхняя части полости формы; *4* — питатели; *5* — полость формы; *6* — разъем

Без клея осуществляют сборку форм в контурных плитах. Горячие контурные плиты с оболочковой формой фиксируют по системе «штырь—втулка» и соединяют с помощью зажимов, охватывающих фланцы плиты. Контурные плиты заливают преимущественно в горизонтальном положении. Для заливки в вертикальном положении используют контурные зажимные приспособления, рабочие плиты которых отливают в песчаных формах по тыльной поверхности оболочек. Сборку вставленных в зажимное приспособление полуформ осуществляют путем смыкания рабочих плит с помощью пневмоцилиндров.

Для стопочной заливки применяют одно- и двусторонние оболочковые формы, получаемые пескодувным способом (рис. 6.29). Готовые формы собирают в вертикальную или горизонтальную стопку, которую зажимают стальными плитами с помощью стяжных шпилек.

Для центробежной заливки стопочные формы изготовляют круглыми. Полости форм располагают симметрично относительно оси центрального стояка, через который проходит ось вращения. Металл в полости подводят тангенциально через равные промежутки по окружности. Скорость вращения стопки выбирают такой, чтобы линейная скорость отливок находилась в пределах 1…3 м/с.

Способ заливки оболочковых форм сталью и чугуном рекомендуется выбирать в соответствии с табл. 6.15. Для отливок из легких сплавов приведенные в ней данные следует увеличить на 15…20%.

При вертикальной заливке без опорного слоя склеенные обо-

лочки устанавливают по 5…8 шт. в сваренные из полос или прутков контейнеры с зазором 30…40 мм между формами.

6.15. Рекомендуемый способ заливки оболочковых форм

Металлоемкость формы, кг	Толщина стенки отливки, мм	Способ заливки	Засыпка оболочек опорным материалом
5 8	20 40	Вертикальный Горизонтальный	Не нужна
Св. 8…15	40	Вертикальный Горизонтальный	Нужна Не нужна
Св.15	Св. 40	Вертикальный Горизонтальный	Нужна

Оболочки с горизонтальным разъемом без опорного слоя заливают на поддонах с песчаной постелью толщиной 100…200 мм. После охлаждения отливок формы снимают с поддонов, а на их место укладывают новые. Для предотвращения перегрева постели в процессе циклической эксплуатации либо ограничивают металлоемкость заливаемых форм, либо после затвердения отливок опрокидывают поддоны и осыпавшийся горячий песок направляют на охлаждение до 40…50 °С.

Вертикальная заливка оболочек обеспечивает по сравнению с горизонтальной существенную экономию производственных площадей, однако приводит к увеличенному механическому пригару нижних частей отливки вследствие большего металлостатического напора.

Для заливки в опорном слое склеенные формы устанавливают в контейнеры (рис. 6.30), имеющие направляющие для удержания оболочек в вертикальном положении. В одном контейнере находится от двух до восьми оболочковых форм, расстояние между которыми составляет около 50 мм. Пространство между оболочками и стенками контейнера засыпают чугунной (стальной) дробью диаметром 2…6 мм или сухим крупнозернистым кварцевым песком, подвергая контейнер вибрации для уплотнения материала. Температура металлической дроби перед засыпкой в контейнер не должна превышать 127 °С. Для предохранения дроби от брызг металла на ее поверхность кладут асбестовую бумагу и насыпают слой песка толщиной 5…10 мм.

На рис. 6.31 показан внешний вид контейнера для вертикаль-

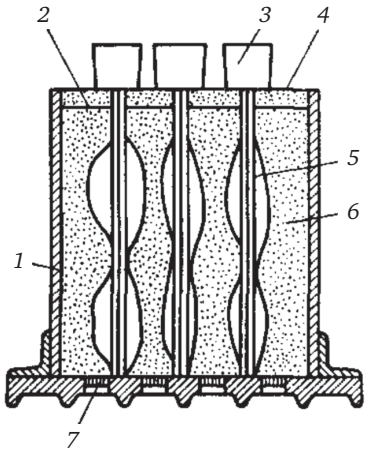


Рис. 6.30. Контейнер для заливки оболочковых форм в опорном слое:
1 — боковые стенки; *2* — лист асбестовой бумаги; *3* — литниковые чаши; *4* — песчаная засыпка; *5* — оболочковая форма; *6* — опорный материал (дробь); *7* — венты

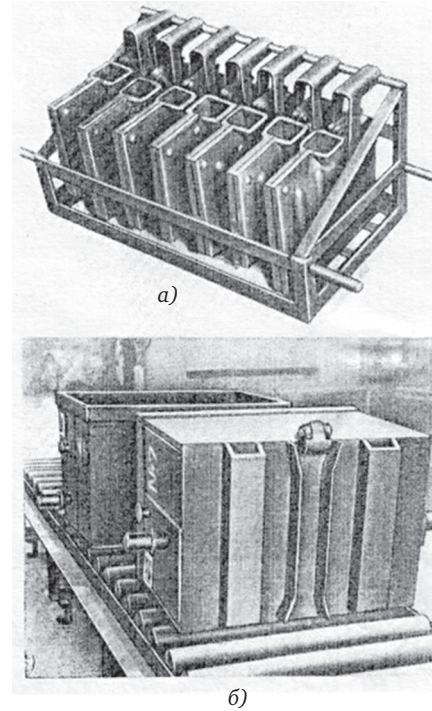


Рис. 6.31. Контейнеры открытого (*а*) и закрытого (*б*) типов

ной заливки. Без применения опорного материала применяют контейнеры открытого типа (рис. 6.31, *а*), с опорным материалом склеенные формы устанавливают в контейнеры закрытого типа со сплошными стенками и основанием (рис. 6.31, *б*). В качестве опорного упрочняющего материала используют металлическую дробь.

При небольшом гидростатическом напоре и небольших количествах металла (до 12 кг стали) оболочковые формы можно заливать без применения наружной засыпки.

Заливку форм металлом целесообразно проводить быстро, через рассредоточенную литниковую систему, не допуская сильных местных разогревов формы.

В массовом и серийном производствах собранные формы заливают на конвейерах напольного типа с движущимися тележками

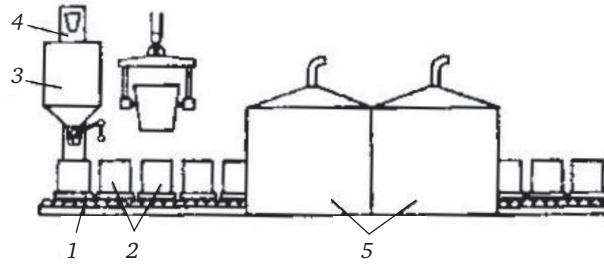


Рис. 6.32. Контейнер для заливки оболочковых форм:
1 — заливочный конвейер; *2* — контейнер с оболочками; *3* — бункер с опорным материалом; *4* — элеватор для подачи опорного материала; *5* — вытяжные камеры

либо на подвесных конвейерах с подвешенными к ним контейнерами, в которых установлены оболочковые формы с засыпкой упрочняющим материалом (рис. 6.32). Конвейер должен быть оборудован верхним бункером для засыпки форм наполнителем, ленточным элеватором для загрузки бункера упрочняющим наполнительным материалом и вытяжным устройством для охлаждения залитых форм. Заливку форм проводят обычными средствами, применяемыми для песчано-глинистых форм в литейных цехах.

Конвейер заканчивается у позиции выбивки, где осуществляется автоматическая разгрузка контейнеров и поддонов на выбивную решетку. Отливки подают в галтовочный барабан и далее на обработку и очистку. Опорный материал направляют на сепарацию, обеспыливание и охлаждение. Отработанную смесь дробят и регенерируют.

В случае мелкого развеса отливок заливку оболочковых форм удобно проводить из небольшого мерного ковша. Выделение вредных газов при заливке требует устройства мощной вентиляции на заливочном участке; при этом участок должен занимать по возможности меньшую площадь.

Контейнеры с формами, установленные на приводном роликовом или другом конвейере, могут заливаться металлом из ручных или крановых ковшей, в зависимости от развеса отливок.

Сталь можно заливать из стопорных ковшей, однако лучше заливать так же, как и другие сплавы, из чайниковых или ковшей с носком.

Температура заливки в оболочковые формы может быть на 30…50 °С ниже принятой для заливки обычных влажных песчано-глинистых форм.

Заливку следует начинать с контейнера, установленного у входа в охладительную (вытяжную) камеру, чтобы предотвратить попадание газов, выделяющихся при заливке форм, в помещение цеха.

Выбивка отливок, особенно из контейнеров с засыпкой дробью или песком, относительно проста и сводится к наклону платформы подвесного конвейера или раскрытию дна контейнера над выбивной решеткой. В серийном и массовом производствах это осуществляется автоматически, без участия оператора, и самая вредная в обычном литейном цехе ручная работа по выбивке опок при литье в оболочковые формы отпадает.

Выбивку отливок из оболочковых форм следует начинать после охлаждения отливок в формах. Продолжительность охлаждения отливок зависит от массы отливок и толщины стенок (табл. 6.16).

6.16. Продолжительность охлаждения отливок

Масса отливки, кг	Толщина стенок, мм	Продолжительность охлаждения, мин	Масса отливки, кг	Толщина стенок, мм	Продолжительность охлаждения, мин
5	5…8	10…15	50	10…20	25…40
10	8…12	15…20	100	12…30	30…60
30	8…15	20…30	250	15…40	40…90

Процесс выбивки и освобождения отливок от песчано-смоляной смеси значительно облегчается благодаря тому, что оболочковая форма или стержень после заполнения металлом и выгорания связующей смолы полностью теряет свою прочность и от сотрясения распадается.

Тонкостенные чугунные или алюминиево-магниевые отливки (например, ребристые цилиндры мотоцикла) выбивают на вибрационных решетках, покрытых резиновыми прокладками для лучшей амортизации удара отливки о решетку. Вибрационные решетки могут быть пневматическими и механическими.

Очистка отливок включает в себя отделение отливок от стояка с помощью пневмомолотка и непосредственно очистку отливок, которую осуществляют в дробеструйных аппаратах и на обдирочных станках абразивными кругами.

6.8. Разновидности способа литья в оболочковые формы

Литье с использованием псевдоожиженных сред и вакуумирования. Псевдоожиженные среды применяют как при изготовлении, так и при заливке оболочковых форм.

Оболочки из песчано-смоляной смеси изготовляют с помощью бункера с подвижным двойным дном (рис. 6.33), имеющим привод вертикального перемещения. Нагретую модельную оснастку устанавливают на приемную рамку бункера (рис. 6.33, *а*). Подавая сжатый воздух в распределитель *3* и под диафрагму *12*, переводят смесь в псевдоожиженное состояние и за 2…3 с транспортируют ее поднимающимся распределителем к модели *1*. По достижении смесью поверхности модельной оснастки подачу воздуха в рас-

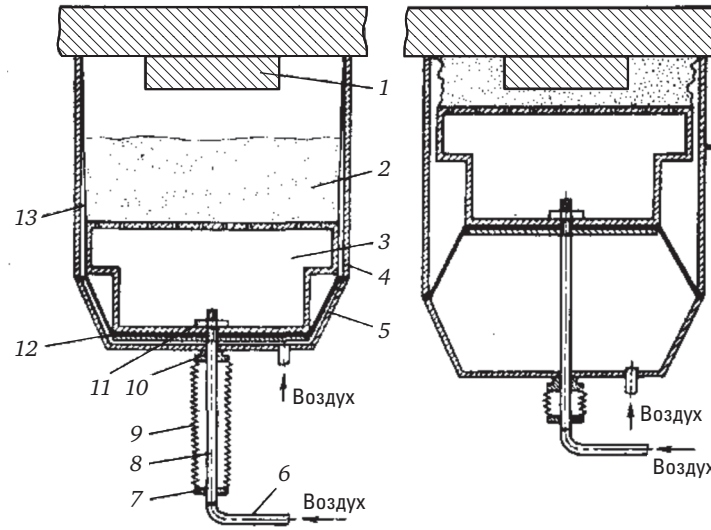


Рис. 6.33. Устройство для изготовления оболочковых форм в псевдоожиженном слое песчано-смоляной смеси:

1 — модель; *2* — песчано-смоляная смесь; *3* — распределитель воздуха с газопроницаемой верхней стенкой; *4* и *5* — стенки бункера; *6* и *8* — стальные трубки для подвода воздуха в распределитель; *7* и *10* — втулки для крепления эластичной гофрированной трубки; *9* — гофрированная резиновая трубка; *11* — гайка для крепления трубки *8* к днищу распределителя; *12* — резиновая диафрагма; *13* — брезентовый чехол для исключения попадания смеси между стенками бункера и распределителя

пределитель прекращают и осуществляют прессование им смеси в течение 15…40 с, необходимых для нарастания на модели оболочки требуемой толщины (рис. 6.33, *б*). При прекращении подачи воздуха под диафрагму распределитель с излишками смеси опускают в исходное положение.

Псевдоожижение формовочной смеси обеспечивает хорошее заполнение ею полостей моделей сложной конфигурации, исключение теневого эффекта вертикальных стенок модели. Наилучшее качество оболочек получают при вакуумировании модельной оснастки в процессе формообразования.

Процесс получения отливок заключается в следующем. Собранные оболочковые формы помещают по 2…4 шт. в проволочные кассеты с ячейкой ~50×50 мм. Кассету с оболочками погружают в псевдоожиженный слой опорного материала (рис. 6.34), после чего подачу воздуха в контейнер прекращают, и опорный материал, оседая, уплотняется вокруг оболочковых форм. Для улучшения уплотнения опорный слой подвергают вибрации и вакуумируют.

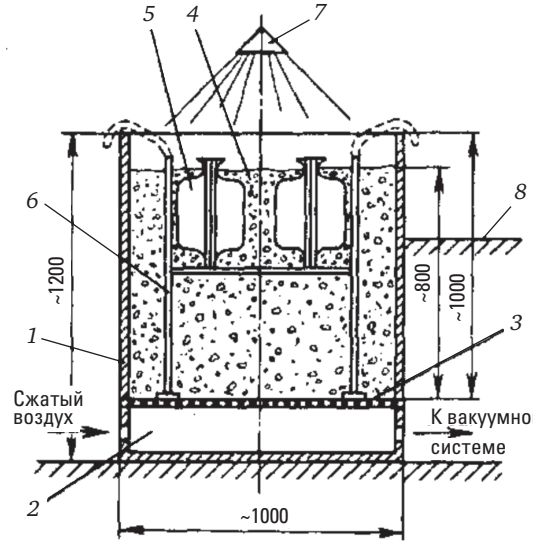


Рис. 6.34. Контейнер для заливки оболочковых форм в псевдоожиженном слое опорного материала:

1 — стенки контейнера; *2* — распределительная полость; *3* — пористая перегородка; *4* — опорный материал; *5* — оболочковая форма; *6* — кассета с откидным дном; *7* — поворотный душ; *8* — заливочная площадка

Вакуумирование продолжают и во время заливки оболочек, удаляя из рабочей зоны выделяющиеся газы. После образования на отливке достаточно толстой твердой корки проводят повторное псевдоожижение опорного слоя, что на 25…50% сокращает продолжительность технологического цикла формирования отливки. По окончании цикла кассету с отливками и остатками оболочек извлекают из контейнера и направляют на выбивку.

Псевдоожижение опорного материала существенно облегчает формовку оболочек в опорном слое, извлечение из него отливок и остатков оболочек, а также устраняет необходимость в сепарации, охлаждении и транспортировании опорного материала.

Изготовление оболочковых форм из холоднотвердеющих смесей (ХТС). Традиционным способом изготовления оболочковых полуформ из ХТС является засыпка модельной оснастки смесью с помощью поворотного бункера с дном в виде резиновой диафрагмы и уплотнение смеси диафрагмой в сочетании с вибрацией и отверждением смеси продувкой газом (CO_2 или SO_2). При этом в бункер перед каждым циклом формообразования засыпают порцию смеси, необходимую для изготовления одной оболочки. Полуформы получаются более толстостенными, чем оболочки из термотвердеющей смеси, однако содержат значительно меньше связующего и не требуют энергетических затрат на нагрев модельной оснастки, которую можно изготовлять из дерева и пластмасс.

Необходимость дозирования засыпаемой в бункер смеси устранена в Vacu-Shell-процессе, при котором толщина оболочки определяется глубиной проникновения газа-отвердителя в смесь (рис. 6.35). Глубину регулируют путем изменения давления газа и глубины вакуумирования в коллекторе *4* модельной оснастки.

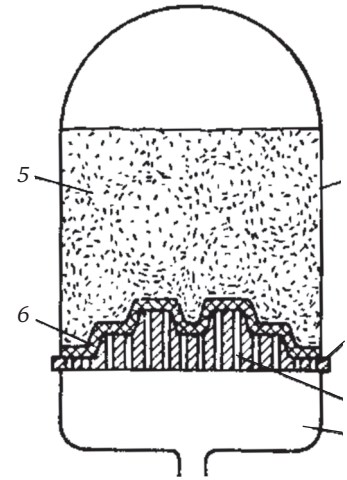


Рис. 6.35. Схема изготовления оболочковых форм по Vacu-Shell-процессу:
1 — поворотный бункер; *2* — модельная плита; *3* — венты; *4* — коллектор; *5* — формовочная смесь; *6* — оболочка

Аналогичный принцип используют и в способе изготовления оболочек из ХТС с помощью наполнительной рамки (рис. 6.36). Газоотвердитель, подаваемый в камеру *4,* проникает в смесь на глубину, определяемую его давлением и сопротивлением сжимающегося воздуха в порах между зернами песка. В результате отверждается только прилегающий к модели слой смеси, толщину которого можно регулировать. После отверждения оболочки смесь продувают сжатым воздухом через полую плиту *3* для вытеснения остатков отвердителя.

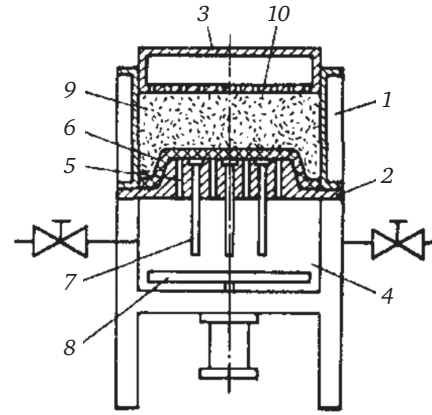


Рис. 6.36. Схема устройства для изготовления оболочковых форм с помощью наполнительной рамки:
1 — наполнительная рамка; *2* — модельная плита; *3* — полая плита; *4* — камера; *5* — вентиляционные каналы; *6* — оболочка; *7* — толкатели; *8* — плита толкателей; *9* — формовочная смесь; *10* — венты

6.9. Дефекты при литье в оболочковые формы

Отсутствие влаги в оболочковых формах способствует получению плотных и качественных отливок. Быстрое разрушение оболочковой формы после заливки в нее жидкого металла уменьшает вероятность образования горячих трещин, а более низкая температура заливаемого расплава снижает склонность к образованию дефектов усадочного происхождения. Тем не менее специфическими дефектами при литье в оболочковые формы, связанными с используемыми материалами и технологией, являются: газовые раковины, неметаллические включения, неслитины и спаи, наросты на поверхности отливки, трещины, усадочные раковины, пригар.

Возможные дефекты оболочковых форм и отливок приведены в табл. 6.17…6.19.

6.17. Дефекты оболочек при бункерном способе формообразования

Дефект	Момент образования дефекта	Причина образования дефекта
Нечеткое воспроизведение конфигурации частей модели с тонким рельефом поверхности	Во время свободной засыпки модельной оснастки при ее повороте вместе с бункером	Низкая текучесть смеси вследствие значительного внутреннего трения между ее частицами
Неравномерная плотность и переменная толщина оболочки		Постепенное наползание смеси на модель при повороте бункера; теневой эффект от стоящих на пути смеси протяженных вертикальных стенок модели
	Во время сброса смеси с модельной оснастки при возвращении бункера в исходное положение	Перемещение сбрасываемой смеси по поверхности оболочки; сила инерции, действующая на оболочку в момент торможения бункера; масса оболочки
Отслоение и обрывы оболочки с модельной оснастки	Во время съема модельной оснастки с оболочкой с бункера при ее повороте вокруг неподвижной оси	Сила инерции, действующая на оболочку в момент разгона модельной оснастки; масса оболочки

6.18. Дефекты оболочковых форм из термоактивных формовочных смесей

Дефект	Причина образования	Способ предупреждения
Отслаивание неотвержденной оболочки от рабочей поверхности модельной оснастки	Применение низковязкого смоляного связующего или связующего, имеющего длительный период желатинизации	Подбор соответствующего связующего или ввод дополнительно 0,2…0,4 % уротропина либо 0,05 % борной кислоты от массы смеси
	Неполное удаление растворителя из смеси (при холодном плакировании)	Удлинение продолжительности продувки смеси, использование для продувки воздуха, подогретого до 70…80 °С
	Низкая или неодинаковая температура в разных зонах оснастки	Подъем температуры, изменение расположения нагреваемых устройств

Продолжение табл. 6.18

Дефект	Причина образования	Способ предупреждения
Недостаточная толщина оболочки	Низкая температура оснастки	Подъем температуры, изменение расположения нагреваемых устройств
	Недостаточная теплоаккумулирующая способность оснастки	Замена материала оснастки; уплотнение стенок моделей и других элементов оснастки
	Недостаточная продолжительность периода формирования оболочки	Удлинение периода формирования оболочки
	Высокая температура каплепадения смоляного связующего	Использование смоляного связующего с более низкой температурой отверждения
Избыточная толщина оболочки	Высокая температура оснастки	Снижение температуры оснастки
	Избыточная продолжительность периода формирования оболочки	Уменьшение периода формирования оболочки
Поломки, трещины и деформация оболочковых форм и стержней при съеме	Недостаточное количество толкателей в оснастке	Установка дополнительных толкателей в местах затрудненного съема
	Неодинаковый ход толкателей	Проверка высоты хода толкателей, регулировка толкателей
	Образование нагара на оснастке	Регулярная очистка оснастки от нагара
	Низкая прочность песчано-смоляной смеси	Соблюдение технологии смесеприготовления; увеличение количества связующего в смеси
	Высокая или неоднородная температура отверждения различных частей оболочки	Снижение температуры оснастки; регулировка нагревателей
	Наличие поднутрений, недостаточные литейные уклоны на оснастке	Ремонт и зачистка дефектного участка оснастки; доводка оснастки; соблюдение режима нанесения разделительного состава
Коробление оболочковых форм	Различное тепловое расширение отдельных элементов оснастки	Изготовление элементов оснастки из одинакового материала

Окончание табл. 6.18

Дефект	Причина образования	Способ предупреждения
Коробление оболочковых форм	Неравномерное отверждение оболочки	Регулировка работы нагревательных устройств
	Температурные напряжения при остывании оболочки	Проведение правки горячих полуформ; сокращение интервала между съемом оболочки и поступлением ее на склейку

6.19. Дефекты отливок при литье в оболочковые формы

Дефект	Причина образования	Способ предупреждения
Повышенная шероховатость поверхности	Рыхлоты и неплотности оболочки	Повышение текучести смеси, использование вибрации
	Переотверждение формовочной смеси	Снижение температуры модельной оснастки, продолжительности отверждения смеси, снижение содержания уротропина
	Задиры на рабочей поверхности оболочки вследствие неравномерного ее съема с модельной плиты	Регулировка механизма съема оболочек с модельной плиты
	Увеличенный и неравномерный слой разделительного состава на модельной оснастке	Регулярная очистка оснастки от нагара, соблюдение режима нанесения состава
	Механическое повреждение рабочей поверхности модельной оснастки	Ремонт и зачистка дефектного участка, соблюдение правил хранения и ремонта оснастки
	Перегрев расплава	Соблюдение установленных режимных параметров
	Перегрев и эрозионное повреждение отдельных участков оболочки	Рассредоточение подвода расплава к рабочей полости формы; уменьшение линейной скорости заливки
	Увеличенный статический и динамический напор расплава при заливке	Изменение положения отливки в форме до момента перехода отливки в горизонтальное положение (в положении заливки); заливка металла сверху; устройство в форме открытых выпоров (прибылей)

Продолжение табл. 6.19

Дефект	Причина образования	Способ предупреждения
Пригар песка	Наличие в формовочной смеси легкоплавких составляющих и повышенное содержание глины	Применение кварцевых песков с минимальным содержанием примесей; использование песка повышенной температуры спекания (например, цирконового)
	Переотверждение формовочной смеси	То же
Песчаные и шлаковые раковины и засоры	Попадание песка через отверстие литниковой воронки при формовке оболочки и укладке ее под заливку	Закрытие литниковой воронки перед формовкой оболочки
	Смыв металлом острых и выступающих участков формы и стержня	Увеличение радиусов закруглений на модели и стержневом ящике
	Рыхлоты и неплотности оболочки	То же
	Переотверждение формовочной смеси	То же
	Неудовлетворительная конструкция литниковой системы в части шлакоулавливания	Применение литниковой системы с надежной системой шлакоулавливания (например, с помощью сетки)
	Небрежная заливка форм	Соблюдение правил заливки; применение чайниковых ковшей
Газовые раковины	Повышенная газотворная способность песчано-смоляной смеси	Снижение содержания смоляного связующего и удлинение периода отверждения
	Недостаточное отверждение оболочки	Удлинение периода формирования и отверждения оболочки
	Недостаточная вентиляционная способность формы и стержня	Использование крупнозернистого песка; устройство выпоров и вентиляционных каналов
Науглероживание металла и образование «апельсиновой корки»	Повышенная науглероживающая способность песчано-смоляной смеси	Снижение содержания связующего; ввод в смесь оксидов железа или карбонатов (до 10%)
	Малая интенсивность охлаждения отливки	Применение холодильников, охлаждающих ребер и других воздействий; уменьшение коробления оболочки
	Недостаточное питание отдельных участков отливки	Устройство технологических напусков и прибылей для организации строго направленного затвердевания

Окончание табл. 6.19

Дефект	Причина образования	Способ предупреждения
Трещины горячие и холодные	Низкая податливость оболочковых форм и стержней из-за высокой прочности	Повышение податливости формы
Усадочные раковины	Неправильная конструкция отливки, не обеспечивающая достаточное питание отливки в процессе затвердевания	Применение открытых прибылей в оболочковых формах с вертикальным разъемом. При горизонтальном разъеме форм следует применять закрытые прибыли
Спаи	Несоответствие конструкции отливки требованиям технологии, плохая жидкотекучесть металла, низкая температура заливки, медленное заполнение формы	При изготовлении сложных тонкостенных отливок: подводить металл в форму через несколько питателей в разные точки отливки; обеспечить направление питателей в одну сторону. При изготовлении отливок с тонкими ребрами подводить литники (питатели) в ребра. Заполнять формы металлом с оптимальной температурой и с определенным напором

6.10. Технико-экономическая эффективность

Анализируя технологические особенности процесса литья в оболочковые формы, можно выделить основные преимущества и недостатки этого способа.

Достоинства литья в оболочковые формы, по сравнению с литьем в песчаные формы, заключаются в следующем:

• уменьшение параметров шероховатости поверхности и существенное улучшение товарного вида отливок;

• возможность получения отливок с тонким и сложным рельефом, а также толстостенных отливок с литыми каналами малых сечений (как следствие существенно меньшей жесткости оболочковой формы);

• уменьшение трудоемкости ряда операций технологического процесса (особенно таких, как приготовление формовочной смеси, изготовление форм, очистка отливок и др.);

• сокращение (в 8…10 раз) расхода и объема переработки и транспортирования формовочных материалов;

• снижение (примерно в 2 раза) первоначальных капитальных затрат и потребных производственных площадей;

• уменьшение металлоемкости формовочного оборудования;

• высокая производительность и прочность оболочковых форм и стержней;

• возможность длительного хранения готовых оболочек, что положительно влияет на планирование и организацию производства;

• оптимальные физико-механические свойства готовых оболочек обеспечивают высокое качество отливок из любых металлов, сплавов и снижение брака литья.

К недостаткам литья в оболочковые формы можно отнести:

• относительно высокую стоимость и дефицитность смоляного связующего;

• сложность модельной (стержневой) оснастки;

• повышенное выделение вредных элементов вследствие термического разложения смоляного связующего;

• недостаточную прочность оболочек при получении относительно тяжелых отливок;

• склонность к появлению в отливках специфических дефектов (в частности, газовых раковин, «апельсиновой корки» и др.);

• сложность ввода в технологический поток отливок нового наименования (в связи с необходимостью предварительного нагрева модельной оснастки).

Литые детали, полученные заливкой в оболочковые формы, используют в различных отраслях промышленности: автомобильной, судостроительной, авиационной, станкостроительной, в сельскохозяйственном и транспортном машиностроении и др. Преимущества этого способа наиболее сильно проявляются в серийном и массовом производствах, несмотря на высокую стоимость песчано-смоляной смеси.

На литье в оболочковые формы в первую очередь рекомендуется переводить детали, имеющие простой разъем или вообще без разъема формы; детали, которые при литье в песчано-глинистые формы требуют высокой трудоемкости очистки отливок; а также детали повышенной размерной и весовой точности.

Основными показателями эффективности литья в оболочковые формы являются себестоимость готовых деталей, затраты на материалы и оснастку, экономия металла, приходящаяся на одну деталь, трудоемкость получения отливок и механической обработки.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение оболочковой формы.
2. Назовите основные операции технологического процесса литья в оболочковые формы.
3. Перечислите основные материалы для изготовления оболочковых форм. Их назначение?
4. Из каких материалов изготавливают модельную и стержневую оснастку?
5. Какие виды песчано-смоляных смесей используют для приготовления оболочковых форм?
6. Что такое плакирование песка? Виды плакирования и его назначение.
7. Назовите способы нанесения песчано-смоляной смеси на модельную оснастку и их особенности.
8. Назовите способы изготовления оболочковых стержней. Принцип осуществления, преимущества и недостатки.
9. Перечислите основные свойства песчано-смоляных смесей.
10. Назовите типы литниковых систем при литье в оболочковые формы. Их преимущества и недостатки.
11. Назовите основные параметры, влияющие на характер заполнения оболочковых форм.
12. Назовите способы крепления оболочковых полуформ перед заливкой жидкого металла.
13. Назовите способы заливки оболочковых форм, их область применения.
14. Каковы особенности выбивки оболочковых форм?
15. В чем сущность процесса литья с псевдоожижением и вакуумированием формовочной смеси?
16. В чем особенности и сущность изготовления оболочковых форм из ХТС?
17. Перечислите основные дефекты и причины образования дефектов оболочек при бункерном способе формообразования.

18. Перечислите основные дефекты и причины образования оболочковых форм из термореактивных смол.

19. Назовите основные дефекты отливок при литье в оболочковые формы. Причины образования и способы предупреждения.

20. Назовите преимущества и недостатки, область применения литья в оболочковые формы.

Список литературы

1. Цветное литье: справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др. / под общ. ред. Н.М. Галдина. — М.: Машиностроение, 1989. 528 с.

2. Технология литейного производства: Литье в песчаные формы / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М.Ю. Ершов и др. / под ред. А.П. Трухова. — М.: ИЦ «Академия», 2005. 528 с.

3. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, В.Н. Бабич и др. / под общ. ред. В.А. Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. 436 с.

4. Соколов Н.А. Литье в оболочковые формы / Н.А. Соколов. — М.: Машиностроение, 1969. 328 с.

5. Эндрюс Р.С. Техника оболочкового литья в США / под ред. В.М. Шестопала. — М.: Машиностроение, 1967. 222 с.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Художественное литье

7.1. История развития художественного литья

7.1.1. Художественное литье Древнего мира

Древним миром принято обозначать наиболее ранние культуры и цивилизации, оказавшие сильное влияние на духовную и материальную культуру, на технический прогресс и имевшие в конечном итоге решающее значение для развития человечества в последующие эпохи. Ведущую роль в этом процессе сыграли цивилизации и культуры, возникшие на территориях Северной Африки, Ближнего Востока, Индии, Китая, Средиземноморья.

Древний Египет. На территории Древнего Египта металлурги были знакомы с выплавкой меди из оксидных руд уже в 5000-х гг. до н.э.

Современной науке известно более ста мест, где в древнейшие времена добывали золото. В Каирском национальном музее хранится немало шедевров ювелирного искусства. В их числе золотые браслеты, золотая пектораль, украшенная бирюзой, гранатами и другими полудрагоценными камнями, золотая головка ястреба, миниатюрные золотые статуэтки (рис. 7.1).

Наибольшие по размерам статуэтки отливались цельными, крупные — полыми с применением техники литья по восковым моделям. Полость в скульптуре создавалась путем заливки расплавленного воска в форму с последующим его сливом. Образовавшаяся на стенках формы восковая прослойка обеспечивала толщину будущей отливки. После изготовления таким образом пустотелой восковой модели оставалось заполнить пустоту глиной (внутренняя часть формы) и подготовить форму к заливке расплавленным металлом.

К числу наиболее древних египетских бронзовых пустотелых отливок относятся статуэтки божеств Осириса, Хонеда, Гора, Амо-

Рис. 7.1. Статуэтки Древнего Египта (золото, 2000-е гг. до н.э.)

Рис. 7.2. Пустотелые отливки Древнего Египта (бронза, 2000-е гг. до н.э.)

на, Изиды, архитектора Имхотепа из собрания Московского музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина, датируемые концом 2000-х гг. до н.э. (рис. 7.2).

Древняя Азия. К середине III тыс. до н.э. в долине реки Инд сложилась Хараппская цивилизация — одна из величайших цивилизаций мира. В местах распространения этой культуры обнаружено значительное количество разнообразных бронзовых изделий. Литейщики уже в тот период применяли стержни для получения отливок с отверстиями.

Развитию статуарного бронзового литья на территории Индии во многом способствовало зарождение в VI–V вв. до н.э. буддизма.

Косвенным подтверждением популярности буддизма является большое количество каменных и металлических скульптурных изображений Будды различных размеров, среди которых есть колоссальные. В V в. до н.э. была отлита из бронзы статуя Будды высотой 2,25 м, массой свыше 2 т. Есть сведения, что в этот период были отлиты по частям бронзовые изваяния Будды высотой 24 и 32 м.

Древним и важным по значимости для развития металлургии регионом в Азии является Древний Китай.

Сохранилось значительное количество образцов хозяйственной и культовой посуды, датированной II тыс. до н.э. Поверхность многих из них украшена горельефными изображениями (анималистические, растительные и геометрические мотивы), свидетельствующими о глубокой самобытности китайской культуры и искусства.

Высокого уровня развития бронзовое художественное литье достигло в эпоху Шан-Инь (1766…1122 гг. до н.э.). В этот период активно функционировало много бронзолитейных мастерских, изготовлявших оружие, сельскохозяйственные орудия, ритуальную посуду. Для производства серийных отливок применялись каменные формы. Масса культовых отливок достигала 700 кг.

Эпоха Чжоу (VIII—VII вв. до н.э.) знаменуется великим китайским изобретением — выплавкой чугуна. Одним из наиболее ранних примеров чугунного литья, представляющих интерес с точки зрения декоративно-прикладного искусства, дизайна, литейной технологии, а также права и юриспруденции, является сосуд, датированный 513 г. до н.э. На его внешних стенках литой рельефной иерографической надписью изложен свод законов того времени.

В это время появляется способ литья чугуна в металлические формы, совершенствуются плавильные печи, разрабатывается стопочное литье.

Китайские мастера увековечили свой опыт технологии художественного литья в книге «Као-Гунди». Это, вероятно, первое в мире сочинение, посвященное литью, где изложены способы изготовления отливок, приведено подробное описание сплавов, описаны способы выплавки металла.

Древняя Греция. Искусство античной Греции занимает особое место в мировой культуре. Древнегреческие племена, перейдя к рабовладельческому обществу, создали величайшую многогранную культуру и изобразительное искусство. Произведения греческих мастеров и ремесленников глубоко реалистичны и гармонически совершенны, проникнуты гуманизмом, уважением к достоинству человека.

В античную эпоху славилась широкоизвестная школа художественного литья скульптора Агелада. Его считают учителем целой плеяды мастеров. Их творениям присущи гармония пропорций, точное воспроизведение анатомии тел человека и животных, отображение гармонии внутреннего психологического состояния.

Высшее достижение древнегреческой пластики связано с именем выдающегося скульптора Фидия (середина V в. до н.э.). Часть созданных им произведений исполнена в технике бронзового литья. Например, самой крупной литой статуей высотой 7 м считается Афина Промахос. Ее отливали, вероятно, по частям.

Скульптор Леохар (середина IV в. до н.э.) создал прекрасную статую олимпийского бога Аполлона Бельведерского, известную сегодня по копии, хранящейся в музее Ватикана.

Литье из бронзы и драгоценных металлов применялось не только в процессе создания предметов скульптуры, но было важной отраслью и художественных ремесел. Из бронзы отливались треножники, жаровни, курильницы, светильники, зеркала, элементы украшения мебели, детали колесниц, конской упряжки, ручки для металлических сосудов. Греческие отливки выполнены с превосходным качеством и великолепной механической обработкой с применением золочения, инкрустации, чеканки, шлифовки, токарной обработки.

Ювелирные изделия греческих мастеров отличаются изысканным вкусом и тончайшей работой. Созданные греческими мастерами уникальные произведения служили в качестве дипломатических подарков или были изготовлены по заказам правителей

Рис. 7.3. Отливка Древней Греции (середина IV в. до н.э.)

соседних стран. Такие шедевры находят среди погребального инвентаря скифских царей (рис. 7.3).

Древняя Италия. Наряду с Древней Грецией огромную роль в распространении античной культуры сыграла Древняя Италия. Культуру и искусство Древнего Рима отличают рациональность и прагматизм мышления, нормативизм, нашедший отражение в изобразительном искусстве, художественных ремеслах, среди которых важное место занимало художественное литье.

Этрусское государство существовало на Апеннинском полуострове уже в VIII в. до н.э. Этруски были искусными литейщиками. Из бронзы отливались погребальные саркофаги и урны-канопы, ритуально-культовые и бытовые предметы, скульптуры и украшения.

В VI в. до н.э. этрусская культура достигает пика развития. Одним из лучших произведений этрусского художественного литья признана бронзовая статуя легендарной Капитолийской волчицы, вскормившей своим молоком Ромула и Рема — основателей города Рима. Отличительная особенность статуи — максимальное использование декоративных и пластических свойств бронзы как средств выразительности, значительно обогащающих созданный символический образ (рис. 7.4).

Рис. 7.4. Статуя Капитолийской волчицы (бронза, VI в. до н.э.)

Этруски были признанными мастерами изготовления бронзовых зеркал, которые имели тщательно отполированную лицевую сторону, оборотную сторону и фигурную ручку, украшенные сюжетным гравированным или литым изображением на мифические темы.

Древний Кавказ. Кавказ — один из регионов, где еще в древнейшие времена развивалась металлургия.

Во времена археологических раскопок в Кюль-Тене (Азербайджан) в слоях, относящихся к раннему периоду бронзового века (конец IV — начало III тыс. до н.э.), обнаружены изделия из бронзы и глиняные формы для получения отливок. Металлические сплавы были получены из полиметаллических руд.

На поселении Амиранис-гора (Грузия) удалось отыскать изделия из сурьмы, золота, серебра и свинца.

О наличии на территории Кавказа литейного производства свидетельствуют обнаруженные на местах древних поселений остатки плавильных печей, тигли, шлаки, бронзовые слитки, литейные формы.

В III–II тыс. до н.э. в Закавказье по выплавляемым моделям отливались богато декорированные рукояти кинжалов, навершия копий, украшения. При изготовлении длинных кинжалов и ме-

Рис. 7.5. Отливка быка (золото, III–II тыс. до н.э.)

чей выкованный клинок вставлялся в восковую модель рукояти, по которой выполнялась глиняная форма. Затем ее сушили, выплавляли воск, обжигали форму и заливали в нее металл. Кинжалы, изготовленные таким способом, являются специфическими изделиями, характерными для Кавказско-Переднеазиатского региона.

Во время раскопок Майкопского кургана обнаружены массивные фигурки быков из золота и серебра (рис. 7.5).

На территории Армении в период существования государства Урарту (XI–X вв. до н.э.) по восковым моделям в глиняных формах отливали подлокотники кресел, статуэтки божеств в виде фантастических полулюдей-полузверей, парадное оружие.

Всемирно известные великолепные бронзовые предметы, датируемые серединой II — серединой I тыс. до н.э., представляют собой родственные кобанскую и колхидскую культуры Северной Осетии и Абхазии. Судя по качеству отливок, по богатому ассортименту отливаемых изделий, литье здесь достигло высокого художественно-эстетического и технического уровня.

Древние металлурги Кавказа изготавливали отливки из оловянных и мышьяковых бронз, а также из более сложных сплавов меди, содержащих сурьму, свинец, цинк. Древние металлурги научились менять цветовой тон бронз путем введения различного

количества олова. Цветовая окраска сплава менялась от золотистого (10%) к красному (16%), желтому (20%) и белому (33%), что использовалось в качестве выразительного средства при изготовлении ювелирных украшений или предметов культового назначения.

Древняя территория Украины. Трипольская культура получила свое название по месту особо богатых находок, сделанных неподалеку от села Триполье возле Киева.

В среднетрипольский период (вторая пол. IV — нач. III тыс. до н.э.) трипольцы были знакомы с литьем в открытые формы. Они владели навыками выплавки меди и ее сплавов с серебром.

На завершающем этапе развития трипольской культуры значительное распространение получает способ литья в закрытые формы. Таким образом отливали топоры, наконечники стрел, орудия труда, украшения.

Бронзовый век на территории Украины начинается со второй половины III тыс. до н.э. Уже на ранней стадии этой эпохи начинается разработка медных руд на территории Донбасса. Это способствовало дальнейшему развитию литейного производства.

Отливки изготовлялись преимущественно в двустворчатых формах. Был известен способ получения отливок и по восковым моделям.

Литейное дело в XIII–IX вв. до н.э. уже имело характер ремесленного производства. Некоторые виды изделий отливались сравнительно большими сериями и предназначались для удовлетворения спроса как на внутреннем рынке, так и для экспорта в соседние страны.

7.1.2. Художественное литье России XIII—XX веков

Литье Московского государства XIII—XVII вв. Начиная с XIII в. в силу многих обстоятельств — монгольское вторжение с востока, экспансия католической церкви с запада, ослабление Византии — в сознании русских людей формируется идея объединения земель и княжеств.

Монголо-татарское иго довлело над славянами два с половиной века. Конец его наступил в 1480 г., когда московский князь Иван III разорвал ханскую грамоту.

Рис. 7.6. Корсунские ворота Новгородского Софийского собора (вторая половина XIV в.)

Несмотря на влияние восточных и западно-европейских культур, древнерусская культура периода монгольского владычества сохраняет верность византийской христианской художественной традиции.

Памятников художественного литья второй половины XIII–XV в. сохранилось мало. Преимущественно это бронзовые отливки культового характера. Технические качества таких изделий невелики.

Возрождение художественных ремесел и, в частности, художественного литья активизируется в XIV—XV вв. Оно было связано с консолидацией древнерусских земель вокруг Москвы.

Известно мало имен древнерусских мастеров. В Новгороде работал литейщик Авраам. Его автопортрет сохранился на Корсунских воротах Новгородского Софийского собора, которые были созданы во второй половине XIV в. (рис. 7.6).

Определенный вклад в развитие древнерусского монументально-художественного литья связан с именем известного итальянского зодчего, скульптора, инженера и изобретателя, строителя Успенского собора Московского Кремля Аристотеля Фиораванти

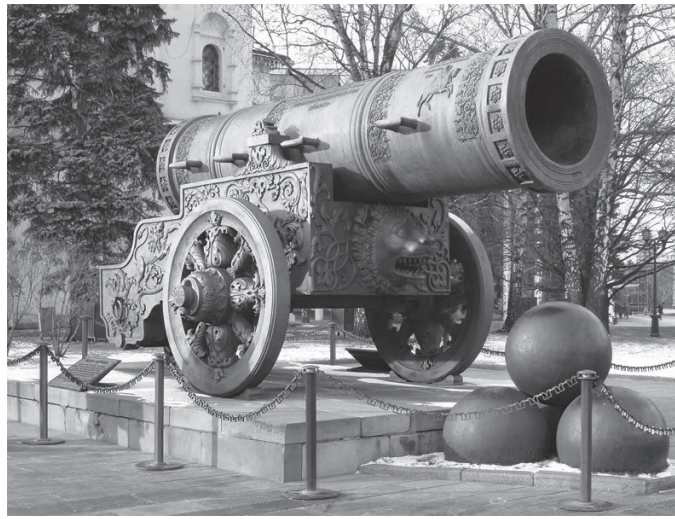


Рис. 7.7. Царь-пушка (1586 г.)

(1420…1486). Он построил в Москве Пушечную избу, которая впоследствии была уничтожена пожаром.

Новый Пушечный двор был возведен в конце XV в. Помимо артиллерийских орудий на нем из бронзы отливали колокола различных размеров, а также церковную, аптекарскую утварь.

Мастер Андрей Чохов был выдающимся литейщиком пушек. Ему принадлежит отливка легендарной 2400-пудовой (39,3 т) Царь-пушки в 1586 г. (рис. 7.7).

Ствол этого громадного орудия, помимо сложных рельефных орнаментов и надписей, был украшен конным изображением московского царя Федора Иоанновича.

Помимо пушек и колоколов московские мастера в XVII в. отливали из бронзы и другие виды монументальных изделий. В 1625 г. мастер Дмитрий Сверчков отлил из бронзы решетку шатра, предназначенного для хранения реликвий. Полотнища решетки по углам обрамляли крупные литые столбики с тончайшей проработкой элементов.

Аналогичная решетка была отлита из бронзы в 1630 г. для ограждения гробницы царевича Дмитрия в Московском Кремле. Декор решетки составлен из побегов, стеблей, бутонов цветов, в обрам-

ление которых включены медальоны с изображением единорогов (лошадей с рогом на носу). Изображения этих фантастических существ были очень популярны в древнерусском искусстве.

Наряду с монументальным бронзовым литьем сохраняются традиции изготовления осветительных приборов, паникадил и других предметов. Тенденция к большей пышности и усложненности форм привела к усложнению формы осветительных приборов, к увеличению насыщенности поверхности изделий растительным декором.

В послемонгольский период продолжает развиваться художественное литье из олова. Из него отливали низкорельефные нательные кресты, иконки, поцелуйные образки, рельефные фигурные бляшки для украшения стенок деревянных ларцов, сундуков, складов книг и другие предметы.

В XVI–XVII вв. заметно развивается чугунное литье. В конце XVII в. начали изготовлять из чугуна литые надгробные плиты. Они отличались внушительными размерами. Один из ранних образцов имеет размеры 1,48×0,55 м.

Литье России XVIII в. В России монументальное и декоративное художественное литье XVIII в. развивалось по двум основным направлениям: в русле христианской традиции и народного искусства.

Одним из наиболее показательных примеров монументального декоративного художественного литья является легендарный Царь-колокол (рис. 7.8), отлитый в 1735 г. по чертежам и моделям знаменитого российского литейщика Ивана Моторина. Масса колокола после удаления литников и обрубки составила 12 000 пудов (около 200 т). Устроенное над колоколом деревянное сооружение для его подъема загорелось. Пытаясь охладить раскаленный колокол, его поливали водой, из-за чего часть колокола массой 11,5 т откололась. Спустя столетие колокол извлекли из литейной ямы и установили возле колокольни Ивана Великого.

Проблему подготовки высококвалифицированных бронзолитейщиков, способных выполнять сложные художественные отливки, во многом решило создание в Академии художеств при Литейном доме «класса чеканного и литейного дела».

Одной из разновидностей художественного чугунного литья небольших размеров, которое одновременно являлось и элемен-

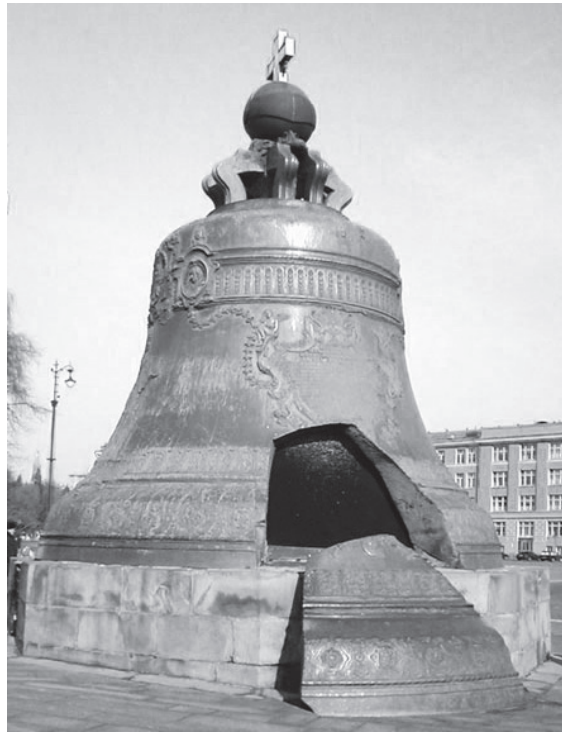


Рис. 7.8. Царь-колокол (1735 г.)

том интерьеров, в XVIII– начале XIX в. становятся печные чугунные дверцы. Характерные мотивы их декора: изображения античных квадриг, фантастических зверей, сцен охоты, оленей, преследуемых собаками, и др.

Подлинным центром художественного литья становится Каслинский чугунолитейный завод, основанный в 1747 г. купцом Коробковым. Литейщики Каслей использовали чугун, содержащий значительный процент фосфора, способствовавшего хорошей жидкотекучести расплава. Это является одним из объяснений изумительного рельефного каслинского литья.

Предпринимая меры по дальнейшему развитию художественного литья, Петр I приглашает из-за границы на работу в Россию опытных мастеров-литейщиков, ставя при этом обязательное условие обучения этому искусству российских мастеров.

Рис. 7.9. Памятник Петру I

Значительный толчок в развитии монументальной, монументально-декоративной, станковой скульптуры и мелкой пластики связан с творчеством итальянского скульптора Бартоломео Карло Растрелли (1675…1744).

Растрелли — автор конного памятника Петру I (рис. 7.9). Император, облаченный в богато декорированные пластинчатые доспехи и увенчанный лавровым венком, торжественно восседает на медленно движущемся коне.

Событием огромной важности для развития российской и мировой монументальной скульптуры стало создание французским скульптором Этьеном Морисом Фальконе (1716…1791) конного монумента Петру I. Фальконе разработал собственную образную концепцию конного монумента, отличающуюся от концепции скульпторов эпохи барокко (рис. 7.10).

Работа над бронзовым монументом, получившим название

Рис. 7.10. Конный монумент Петру I

«Медный всадник», длилась свыше 12 лет. Примечательная техническая особенность памятника — то, что изваяния лошади и всадника цельнолитые.

Застройка Петербурга и Москвы в XVIII в., создание загородных резиденций и дворцово-парковых комплексов способствуют широкому внедрению в архитектуру художественного литья из чугуна. Чугунные решетки балконов, оград, ворот, садово-парковая мебель (скамьи, урны, вазы), ажурные павильоны-беседки, архитектурные детали фасадов, столбы и торшеры-светильники все чаще сменяют кованные из железа и становятся неотъемлемой составной частью архитектурного облика Петербурга, Москвы и других городов России.

С архитектурным художественным литьем XVIII–XIX вв. связано имя архитектора эпохи барокко Бартоломео Франческо Растрелли (1700…1771), сына скульптора Карло Растрелли. Ему при-

Рис. 7.11. Решетка ограды дворца графа М.С. Воронцова (XVIII в.)

надлежит авторство одной из наиболее ранних из сохранившихся в городской застройке чугунных решеток XVIII в. — решетки ограды дворца графа М.С. Воронцова (рис. 7.11).

Классицизм, утвердившийся в последней четверти XVIII в. в искусстве России, дал блестящие образцы чугунного архитектурного литья. Можно отметить решетку перил канала Грибоедова в Петербурге, детали китайского мостика в Александровском парке Царского Села и др. Подлинным шедевром стала знаменитая решетка высокой ограды и ворот Летнего сада в Петербурге (Фельтен, Егоров, 1784 г.).

Образцами архитектурного художественного чугунного литья являются творения Камерона (1730…1811) и Кваренги (1744…1817). Камероном создано немало высокохудожественных произведений для Петербурга, Царского Села, Павловска. Они поражают своими изящными пропорциями, утонченным рисунком и качеством литья.

Произведения Кваренги отличаются массивностью форм и торжественностью пропорций. К лучшим созданиям зодчего относятся решетка ограды Ассигнационного банка в Петербурге, мостик Концертного зала в Екатерининском парке Царского Села.

Литье России XIX — начала XX в. XIX — начало XX в. были насыщены различными событиями в истории России. Победа над

Рис. 7.12. Скульптура «Укрощение коня»

Наполеоном в Отечественной войне 1812 г. вызвала громадный патриотический подъем и нашла отражение во всех областях творчества. Формы художественных стилей классицизма и ампира, господствовавших в искусстве, оказались весьма созвучными времени и способствовали воплощению героических тем и образов.

В это время создается много оригинальных произведений садово-парковой и декоративной пластики, размещенных в пригородах Петербурга.

Произведения П.К. Клодта (1805…1867) представляли собой плоды редкого в художественной практике сочетания мастерства талантливого скульптора и высокопрофессионального литейщика. Скульптурные композиции «Укрощение коня» принесли их создателю мировую известность (рис. 7.12).

Во второй половине XIX — начале XX в. Академия художеств продолжает оставаться единственным в Российской империи высшим художественным учебным заведением.

Плодотворно в этот период работает М.М. Антокольский (1842…1902), создавший ряд памятников, отлитых в бронзе. А.М. Опекушин (1838…1923) — автор одного из лучших памятников А.С. Пушкину.

В первой половине XIX в. наступает золотой век архитектурного чугунного литья, которое включается в величественные архи-

тектурные, градостроительные, ландшафтные, садово-парковые ансамбли и отдельные гражданские постройки, придавая их облику черты неповторимости.

Оригинальные композиции создал замечательный архитектор А.Н. Воронихин (1759…1814), автор одного из шедевров декоративно-прикладного искусства — решетки ограды Казанского собора. Эта решетка является примером литейного мастерства, которым славился Петрозаводский чугунолитейный завод. Также крупнейшим мастером архитектурного градостроительного ансамбля был архитектор Карл Росси (1775…1849).

В начале XIX в. бронзовое декоративное художественное литье вступает в период расцвета. Бронзовые изделия этого времени отличают широта ассортимента, богатство и изящество форм, декоративность отделки. Из бронзы отливаются предметы для убранства дворцовых, общественных, казенных и жилых интерьеров: люстры, настенные, настольные, каминные светильники, канделябры, вазы, различных видов интерьерные часы, настольные украшения в виде фигурных подсвечников, письменных приборов, фигурные накладки для мебели, дверные ручки и др.

Расцвету, увеличению выпуска бронзового художественного литья во многом способствовали размах городского и дворцового строительства, господство стилей классицизма и ампира, применение которых предполагало использование бронзовых изделий в украшении интерьеров.

В середине — второй половине XIX в. увеличивается число предприятий, выпускающих бронзовые художественные отливки. Ассортимент изделий из бронзы этого времени отличается особым разнообразием.

Со второй половины XIX в. активизируется развитие художественного чугунного литья. Среди уральских заводов по производству высокохудожественных чугунных отливок первенство по праву принадлежит Каслинскому заводу. В 1913 г. в ассортименте выпускаемых им изделий было около 750 наименований.

Мировое признание каслинское художественное литье получило в 1900 г. на Всемирной выставке в Париже. Наряду со скульптурами, ажурной декоративной посудой, хозяйственной утварью, садовой мебелью, отлитыми из чугуна с высочайшим мастерством, в экспозиции демонстрировалось изделие, которое журналисты

Рис. 7.13. Каслинский чугунный павильон

единодушно оценили как «ажурное чудо», а жюри отметило высшей наградой Гран-при. Речь идет о чугунном павильоне, выполненном по проекту архитектора Баумгартена в 1898 г., ставшем главным экспонатом российского раздела выставки (рис. 7.13).

Павильон представлял собой произведение, демонстрирующее неисчерпаемые творческие возможности и исполнительское мастерство уральских литейщиков. Он имел почти пятиметровую высоту, производил впечатление сотканного из чугунных кружев, выразительность которых заметно усиливалась благодаря включению в их орнамент сюжетных и анималистических рельефов.

Литье России 1920…1990-х гг. После Октябрьской революции в 1920…1990-х гг. в СССР было создано немало ценных произведений в области художественного литейного искусства, накоплен богатый технический и творческий опыт.

Десятилетия, последовавшие за Октябрьской революцией и Гражданской войной, оказались неблагоприятными для развития художественного литья. Трудности были связаны не только с отсутствием сырья и энергоносителей, с отсутствием опытных

скульпторов и формовщиков, но и с новыми эстетическими и политическими взглядами того времени.

Определяющим фактором для развития монументальной скульптуры стал «План монументальной пропаганды», утвержденный В.И. Лениным в 1918 г.

Отсутствие в этот период бронзовых и чугунных литых памятников связано с новыми эстетическими взглядами на материалы. Исповедовалось конструктивистское направление, согласно которому считалось, что цемент, железобетон и камень больше отвечают характеру революционного времени.

В числе лучших произведений монументальной скульптуры довоенного периода, отлитых в бронзе, следует назвать памятник Тарасу Шевченко, открытый в Харькове в 1935 г.

После окончания Великой Отечественной войны значительно усилилась работа по сооружению памятников и монументов, отражающих героику народного подвига в войне. В стилевом отношении в этих произведениях продолжались традиции, которые наметились в довоенный период. Примерами служат мемориальный

Рис. 7.14. Мемориальный комплекс защитникам Ленинграда

комплекс воинам-освободителям в берлинском Трептов-парке работы известного скульптора Е.В. Вучетича и мемориальный комплекс защитникам Ленинграда скульптора М.К. Аникушина (рис. 7.14).

В середине 1960-х — конце 1970-х гг. возрастают количество и качество сооружаемых памятников и монументов. Об этом свидетельствуют созданные М. Аникушиным бронзовые памятники А. Пушкину (рис. 7.15) и В. Бехтереву в Ленинграде, работы скульптора О. Комова, воплотившего в бронзе образы деятелей российской истории и культуры (памятники Венецианову в Вышнем Волочке, Пушкину в Твери, Болдине, Пскове, Суворову и Андрею Рублеву в Москве), конный памятник фельдмаршалу Кутузову в Москве работы Н. Томского и др.

Данью уважения благодарных потомков стало сооружение в 1997 г. в Киеве бронзового монумента князю Ярославу Мудрому. В основу композиции монумента, представляющего фигуру князя с макетом Софийского собора в руках, положен эскиз памятника, созданный в 1920 г. скульптором И. Кавалеридзе.

В последние годы уходящего XX в. наметилась тенденция создания статуй литературных героев и других персонажей.

Так, в Киеве появился «Великий слепой» — один из наиболее колоритных персонажей бессмертного романа «Золотой теленок» И. Ильфа и Е. Петрова. Бронзовый Паниковский движется по направлению к Крещатику, а по пути его рука застряла в кармане случайно оказавшегося рядом профессора СХН. Магницкого. Скульпторы В. Шур и В. Сивко придали Паниковскому портретные черты замечательного актера З. Гердта.

Рис. 7.15. Памятник А.С. Пушкину

7.2. Классификация художественных отливок

7.2.1. Показатели качества отливок

В зависимости от характеризуемых свойств показатели качества любых отливок могут быть подразделены на следующие основные виды: функциональные, природоохранные, ресурсосберегающие.

Функциональные показатели характеризуют сущность отливки, выражающуюся в ее способности выполнять установленные функции в соответствии с основным назначением. Примерами функциональных показателей для художественных отливок могут служить качественные показатели эстетического совершенства, художественной выразительности, исторической ценности; для отливок технического назначения — количественные показатели механических свойств, надежности, коррозионной стойкости и т.д.

Природоохранные показатели качества отливок определяют их свойства, связанные с воздействием на человека и окружающую его среду в процессе производства и эксплуатации. Примерами природоохранных показателей являются экологичность производства отливок, безопасность потребления.

Ресурсосберегающие показатели отражают те свойства отливок, которые определяют уровень затрачиваемых на всех стадиях жизненного цикла отливок ресурсов для формирования, обеспечения и реализации их качества и потребительских свойств в целом. К числу ресурсосберегающих показателей качества отливок можно отнести их материалоемкость, трудоемкость, энергоемкость, себестоимость.

В жизненном цикле подавляющего большинства художественных отливок отсутствует стадия утилизации, являющаяся обязательной в жизненном цикле отливок технического назначения. Чем больше возраст художественных отливок, чем длительнее период их художественного восприятия (эксплуатации), тем выше их историческая ценность.

Все отливки технического назначения, наряду с физическим износом, т.е. снижением своих потребительских свойств (прочности, надежности и др.) в процессе эксплуатации, претерпевают и моральный износ по мере того, как новые отливки становятся тех-

нически более совершенными и экономически более выгодными. По-настоящему художественные отливки моральному износу не подвержены.

7.2.2. Классификация по художественно-функциональному назначению

При классификации художественных отливок классификационными признаками служат художественно-функциональное назначение, масса, вид сплава, способ изготовления.

По художественно-функциональному назначению художественные отливки могут подразделяться на: музейные; монументально-декоративные; декоративно-прикладные.

Музейные художественные отливки — это изделия, представляющие собой примеры высших достижений духовной и материальной культуры, имеющие большую историческую ценность и предназначенные для экспонирования и изучения в художественно-просветительских, научно-исследовательских, творческо-образовательных учреждениях (музеях, галереях, академиях художеств и т.п.).

Монументально-декоративные отливки отличаются крупным масштабом, обобщенностью форм, значительностью идейно-духовного содержания. Как правило, эти отливки представляют собой памятники: в честь знаменательных исторических событий, на мифологические или библейские сюжеты, увековечивающие память о выдающихся деятелях. Они устанавливаются на открытом воздухе и являются органической частью конкретного природного ландшафта или архитектурной среды. Это могут быть также одиночные фигуры, бюсты.

Декоративно-прикладные отливки — это художественные литые изделия, имеющие практическое применение и наряду с утилитарными качествами обладающие художественно-эстетическими свойствами. К числу декоративно-прикладных отливок относятся: кабинетная скульптура, архитектурные отливки, светильники, ювелирные изделия, сувениры, а также предметы культового назначения (колокола, кресты, чаши и др.).

Кабинетная скульптура — это наиболее распространенные художественные отливки. К ним относятся различные бюсты, фи-

гурки животных, подчасники, чернильницы, пепельницы и всевозможные кабинетные предметы.

Для кабинетных отливок используются бронза, латунь, чугун. Если же изделия изготавливаются из сплавов на основе цинка или алюминия, их поверхность облагораживается химической обработкой под бронзу или серебро, электрохимическим способом покрывается другими металлами.

Архитектурные отливки относятся к прикладному искусству, неотделимы от архитектуры города и являются частью его урбанистической культуры. В целях создания архитектурных художественных образов отливались низкие и высокие ограды, ворота и парковые мосты, оконные решетки и перила лестниц, фонари, зонты и крылечки подъездов, литые украшения вестибюлей и станций метро.

Садовая мебель. Первоначально элементы садовой мебели (столы, кресла, скамейки, этажерки и др.) отливались из чугуна. Позже, когда стали широко использоваться алюминиевые сплавы, из них также стали изготавливать детали садовой мебели.

К *отливкам хозяйственного назначения* относятся предметы быта (посуда, декоративные тарелки и блюда с ажурным декором, вазы со сложными барельефами и т. д.).

Светильники. К этим отливкам относятся одно- и многорожковые настольные подсвечники, многорожковые напольные канделябры, настенные бра и люстры очень сложной конструкции. Как правило, светильники состоят из отдельно отлитых деталей, которые соединяют при сборке.

Часы (подчасники). В Большом Кремлевском дворце представлена коллекция французских часов XVIII в. и первой половины XIX в., в создании которых принимали участие крупнейшие мастера всех стран, в том числе и России.

Основным способом изготовления украшений для часов стало литье по выплавляемым моделям в гипсовые формы из бронзы и латуни. Золоченые изделия из медных сплавов были в большой моде.

В коллекции Большого Кремлевского дворца наряду с французскими часами есть часы работы русских мастеров. Оформление часов — настоящее и уникальное художественное произведение литейного искусства.

Медали, значки, сувениры. Медали — металлические значки с двухсторонним изображением. Чаще всего они имеют круглую форму, а иногда бывают многогранными. В качестве материала используются бронзы, латуни.

Ювелирные отливки. К ним относятся женские украшения, столовые приборы и т.п. Помимо драгоценных металлов при литье ювелирных изделий применяются также сплавы на основе меди — нейзильбер, мельхиор и цветные металлы с позолотой или серебрением.

Колокола. Колокольное литье относится к художественному, поскольку на колоколах искусно выполнялись украшения и иконы, которые стали неотъемлемой частью русских колоколов. Колокол — один из древнейших и самых загадочных музыкальных инструментов, привлекающий к себе внимание специалистов из многих областей знания. Во время звучания он издает более 200 тонов, что не под силу ни одному музыкальному инструменту. Известно также, что люди, живущие рядом с колокольнями, болеют меньше, чем живущие далеко от церквей. Возможно, это связано с большим спектром частот, распространяемых колоколами.

Самый старый в мире колокол найден в 1849 г. в Вавилонском дворце Нимрода. Он отлит в 1000 г. до н.э. Древнейший бронзовый колокол, отлитый на Руси, был найден при раскопках Десятинной церкви в Киеве (989…996). Он весил 36 кг, содержание олова по отношению к меди составляло 8…10 %.

Пушки. Отливки этой группы имеют историческую ценность и в настоящее время не изготавливаются.

Важнейшая отличительная особенность орудийных стволов XVI–XVII вв. — их великолепная художественная отделка. Химический состав пушечной бронзы в % масс.: 7…10 Sn; 0,31…1,87 Pb; до 2,1 Zn; до 0,06 Fe; остальное Cu.

7.2.3. Классификация художественных отливок по сплавам

Для изготовления художественных отливок применяют в основном следующие сплавы: бронзы, латуни, чугуны, сплавы на основе алюминия, цинка, олова, драгоценных металлов.

Отливки из бронзы. Бронзами называются сплавы на основе

меди, в которых основной легирующей добавкой может быть любой элемент, кроме цинка и никеля. Бронзы подразделяются на оловянные и безоловянные. Бронза была одним из главных материалов, применявшихся еще в античное время для художественного литья. До этого художественное литье из бронзы существовало на Востоке, откуда греки и позаимствовали его технику.

Оловянная бронза — основной материал для изготовления колоколов. В настоящее время применяют разнообразные бронзы. В целях экономии дорогостоящего олова используют безоловянные бронзы, пригодные для статуарного и кабинетного литья.

Отливки из латуни. Латунями называются сплавы на основе меди, в которых основной легирующей добавкой является цинк. Латуни в отличие от бронз обладают лучшей жидкотекучестью, малым интервалом кристаллизации, меньшей усадкой и меньшей стоимостью. Недостатки латуни для художественного литья — менее прочная оксидная пленка, более узкие колористические возможности.

Отливки из чугуна. Чугуны — это сплавы на основе железа, содержащие, % масс.: 2,0…4,5 C, 1,0…3,5 Si, 0,5…1,0 Mn. Наибольшее воплощение возможность использования чугуна как материала для художественных отливок получила в изделиях Каслинского завода. Художественным литьем из чугуна завод стал заниматься с 1845 г. Произведения уральских мастеров-литейщиков получили признание как в России, так и на международных выставках в Париже, Вене, Филадельфии, Милане, Стокгольме, Копенгагене и других городах, обрели истинных поклонников и завоевали множество медалей и дипломов.

С появлением чугуна скульпторы нашли в нем дешевый материал, который по своим литейным свойствам не уступал бронзе. Постепенно чугун как материал для художественного литья завоевал свое место наряду с бронзой.

Отливки из алюминиевых сплавов. Первыми изделиями из алюминия, полученного из глинозема восстановлением с помощью натрия, были кираса для императора Наполеона III, погремушка для его сына и ложки, использовавшиеся на государственных банкетах вместо золотых. В 1858…1860 гг. парижский ювелир литьем и чеканкой изготовил несколько статуэток. Одна из них — копия скульптуры Дианы, находящаяся в Лувре, выставлена в Ассоциа-

ции по развитию алюминия. Ее высота 84 см. Сплав содержит 98% алюминия и 2% меди.

В настоящее время алюминиевые сплавы широко используют для изготовления скульптур.

Литейные свойства алюминиевых сплавов делают их весьма технологичными материалами. Они имеют относительно невысокие температуры начала и конца кристаллизации, небольшую усадку и могут заливаться в любые литейные формы — гипсовые, песчаные, металлические и др. Натуральный, нетонированный алюминий можно совмещать с деревом или любым другим природным материалом, не нарушая при этом цветовой гармонии.

Алюминиевые сплавы широко применяют в оформлении интерьеров зданий, станций метро, ограждений и т. д.

Отливки из цинковых сплавов. Литейные цинковые сплавы обладают хорошей жидкотекучестью при относительно низкой температуре заливки, что позволяет получать из них отливки сложной формы с тонкими сечениями стенок. В настоящее время цинковые сплавы широко применяют для отливки небольших полых художественных изделий, главным образом бюстов, методами заливки в металлическую форму, а также при изготовлении тонкостенных изделий литьем под давлением.

Барельефы, отлитые из цинкового сплава, украшают в Москве памятник русским гренадерам, павшим в боях под Плевной, изготовленный из чугуна.

Отливки из сплавов олова. Впервые сплав на основе олова был использован около трех с половиной тысяч лет тому назад. В античное время олово считали важнейшим материалом, из которого изготовлялась посуда для хранения напитков. Так, Плиний (I в. н.э.) утверждал, что оловянная посуда улучшает вкус вина.

Легкоплавкие сплавы на основе олова с низким содержанием свинца имеют хорошую жидкотекучесть, небольшую усадку, низкую температуру плавления и мало склонны к образованию трещин при затрудненной усадке. Низкая температура заливки позволяет использовать для литейной формы любой материал, в том числе гипс. Получают отливки сложной конфигурации с толщиной стенок до 0,3 мм.

Отливки из драгоценных металлов и сплавов. Драгоценные металлы — золото, серебро, платиноиды (платина, палладий, родий

и др.) — и их сплавы применяют для отливки ювелирных изделий. Наибольшую группу ювелирных изделий составляют украшения, предметы сервировки стола, различные сувениры, предметы религиозного культа.

7.2.4. Классификация художественных отливок по способам их изготовления

По способам изготовления художественные отливки из различных сплавов в зависимости от массы и назначения можно подразделить в соответствии в данными табл. 7.1.

7.1. Классификация художественных отливок по способам их изготовления

Способ изготовления	Рекомендуемые группы отливок по массе	Применяемые сплавы	Требования к отливкам и их назначение	Примечание
Литье в разовые песчаные формы	Все группы, кроме мелких и миниатюрных	Все сплавы, кроме драгоценных	Отливки любых габаритов и средней сложности. Преимущественно монументально-декоративные и архитектурные отливки, отливки хозяйственного назначения, колокола и др.	При наличии сложных орнаментальных поверхностей применяют части формы, выполненные по выплавляемым моделям, или керамические стержни
Литье по выплавляемым моделям	Средние, малые, мелкие, миниатюрные	Бронза, латунь, чугун, алюминиевые, драгоценные сплавы	Отливки сложной конфигурации с высоким качеством поверхности. Кабинетная скульптура, детали светильников, часы, медали, ювелирные отливки	—
Литье по газифицируемым моделям	Тяжелые, средние, малые, мелкие	Бронза, латунь, чугун	Барельефы, мемориальные доски, медали	—

Продолжение табл. 7.1

Способ изготовления	Рекомендуемые группы отливок по массе	Применяемые сплавы	Требования к отливкам и их назначение	Примечание
Литье в керамические формы, изготовленные по постоянным моделям	Тяжелые, средние, малые, мелкие	Бронза, латунь, чугун, алюминиевые сплавы	Отливки любых габаритов и сложности. Кабинетная скульптура, тарелки, барельефы, медали	Способ конкурентоспособен по сравнению с литьем по выплавляемым моделям
Литье в металлические формы (кокили)	Малые, мелкие	Бронза, латунь, чугун, алюминиевые, оловянные сплавы	Кабинетная скульптура, отливки хозяйственного назначения (посуда), светильники, сувениры, медали и др.	Может применяться для отливок, конфигурация которых имеет открытую полость и позволяет изготавливать их с «выплеском» металла, не затвердевшего внутри отливки после образования прочной поверхностной корки
Литье в вакуумно-пленочные формы	Все группы, кроме уникальных тяжелых и миниатюрных	Все сплавы, кроме драгоценных	Отливки любых габаритов, сложной конфигурации и с высоким качеством поверхности. Архитектурные отливки, сувениры, светильники и др.	—
Литье под давлением	Малые, мелкие, миниатюрные	Цинковые, алюминиевые сплавы, латунь, бронза	Отливки малых габаритов, тонкостенные с высоким качеством поверхности и малым объемом механической обработки. Медали, значки и др.	—

Окончание табл. 7.1

Способ изготовления	Рекомендуемые группы отливок по массе	Применяемые сплавы	Требования к отливкам и их назначение	Примечание
Литье в гипсовые формы	Мелкие, миниатюрные	Драгоценные сплавы, бронза, латунь, алюминиевые, оловянные, цинковые сплавы	Отливки малых габаритов, любой степени сложности. Ювелирные отливки, сувениры и др.	Основной способ изготовления ювелирных изделий в сочетании с центробежной заливкой или вакуумным всасыванием
Центробежное литье	Мелкие, миниатюрные	Бронза, латунь, алюминиевые, цинковые драгоценные сплавы	Ювелирные отливки, сувениры и др.	Для цинковых сплавов используют формы из вулканизированных синтетических резин, для остальных — гипсокристобаллитовые формы
Комбинированные способы	Все группы	Все виды сплавов	Отливки любых габаритов и сложности, требования к которым делают целесообразным применение комбинированных методов	Примеры комбинированных способов: изготовление отливок в разовых песчаных формах с керамическими стержнями; в металлических формах с песчаными стержнями; в керамических формах, заливаемых на центробежных машинах и т.д.

7.3. Формовочные материалы

Художественные отливки по степени сложности, массе и материалу, из которого они изготовлены, весьма разнообразны. Так, в производстве одного лишь Каслинского завода на Урале можно

встретить отливки массой от нескольких граммов до нескольких тонн, по размерам от сантиметра до нескольких метров, по толщине стенки от миллиметра до десятков миллиметров. Естественно, что требования, предъявляемые к литейным формам таких разнообразных отливок, также не одинаковы. Например, прочность стенки формы статуи массой 5 т не может быть равна прочности стенки формы ажурной коробочки или браслета для часов. Следовательно, и формовочные смеси, как материал для изготовления литейных форм, не могут быть одинаковыми для всех форм.

Формовочные смеси, применяемые в производстве художественных и архитектурных отливок, подразделяют по нескольким признакам:

• по виду использования — облицовочные, наполнительные, единые;

• в зависимости от применяемых при приготовлении смеси песков — природные, или естественные и искусственные, или синтетические;

• по роду применяемого для отливки металла — для чугунного литья и для цветного литья;

• по состоянию формы перед заливкой — для форм, заливаемых в сыром виде, и для форм, заливаемых после сушки;

• специальные формовочные смеси.

Природные формовочные смеси широко применяют в производстве тонкостенных ажурных и кабинетных чугунных и цветных отливок для форм, заливаемых в сыром виде и после сушки. Эти смеси обладают хорошей пластичностью и прочностью.

Искусственные, или синтетические смеси — наиболее распространенные в производстве художественных и архитектурных отливок. Они представляют собой смесь песка и глины или нескольких песков с большим или меньшим содержанием глины и отработанной смеси. Пески и оборотную смесь смешивают в таких пропорциях, чтобы в результате образовалась формовочная смесь, обладающая необходимыми технологическими свойствами.

Формовочные смеси. Состав формовочных смесей (табл. 7.2) зависит от сложности конфигурации и поверхности отливок, толщины их стенок и состояния литейной формы перед заливкой. Смеси для форм ажурных отливок, имеющих сложную поверхность, тонкую стенку и большое число просветов, образующих ажур, долж-

7.2. Формовочные смеси для форм чугунных художественных и архитектурных отливок

Отливки	Особые требования к отливкам	Состояние формы перед заливкой	Смесь, группа песка	Массовая доля смеси, %, остальное — оборотная смесь		Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см^2)	Газопроницаемость, единиц	Влажность, %
				Глина	Песок			
Тонкостенные ажурные (шкатулки, вазы, тарелки, кронштейны и др.)	Повышенная чистота поверхности	Сырая	Единая, тощий	12…20	10…12	0,03…0,035 (0,30…0,35)	80…90	3…4
Кабинетные (настольные бюсты, статуэтки и др.)	Чистота и мягкость поверхности (отливки подвергаются отжигу)	Сухая	Облицовочная, жирный	25…30	60…70	0,085…0,09 (0,85…0,9)	19…21	9…10
			Наполнительная, жирный	10	—	0,055…0,06 (0,55…0,60)	20…25	6…8
Статуарные (статуи и памятники)	Чистота поверхности	Сухая	Облицовочная, жирный	30	70	0,08…0,09 (0,8…0,9)	20…25	5…6
			Наполнительная, жирный и кварцевый	2,4	12,5	0,065…0,07 (0,65…0,70)	25…30	6…7
Архитектурные (решетки, колонны, балясины, барельефы и др.)	Чистота поверхности	Сырая	Облицовочная, кварцевый 3К016, жирный Ж01 Мазут	12…15	30 2	0,02…0,025 (0,20…0,25)	30…50	4…6
			Наполнительная, тощий, кварцевый 2К03 Бентонитовая эмульсия	10…12	15 8	0,02…0,03 (0,20…0,30)	65…70	4…5

ны обеспечивать получение в форме четкого отпечатка сложной поверхности модели и прочность мельчайших болванчиков, дающих просветы в отливке. Чугун при заливке в форму по сравнению с цветными сплавами имеет более высокую температуру. Поэтому формовочные смеси для форм, заливаемых чугуном, должны иметь достаточную огнеупорность.

Повышение температуры заливки чугуна приводит к более интенсивному газовыделению при прогреве формы. Таким образом, формовочные смеси для форм, заливаемых чугуном, при достаточной прочности должны быть газопроницаемыми и огнеупорными.

Латунь, бронза и алюминиевые сплавы, применяемые в производстве художественного литья, по сравнению с чугуном имеют более низкую температуру заливки и большую жидкотекучесть. Поэтому при изготовлении литейных форм представляется возможным применять мелкозернистые формовочные смеси, дающие чистую и гладкую поверхность отливки.

Формовочные смеси для форм, заливаемых по-сырому, применяют при изготовлении литейных форм для тонкостенных и ажурных отливок (барельефов, ажурных тарелок, ваз, деталей статуэток).

Для получения в форме хорошего отпечатка, сложной поверхности модели и прочности небольших болванчиков, образующих просветы в отливке, формовочные смеси таких форм должны иметь хорошую газопроницаемость, пластичность и быть достаточно прочными. Поэтому при приготовлении смесей применяют мелкозернистые пески с повышенным содержанием глины.

Смеси для форм, заливаемых по-сырому, применяют и при изготовлении форм для архитектурных отливок. В этом случае большая масса отливки и размеры форм требуют применения в формовочных смесях более крупных песков и повышающих огнеупорность смеси добавок.

Литейные формы статуй и бюстов значительно сложнее обычных. Для их изготовления применяют, как правило, сложную кусковую формовку. При такой формовке формовщик, разбирая форму для удаления модели, имеет дело не с полуформами, скрепленными стенками опоки, а с частями формы в виде спрессованных кусков формовочной смеси. Естественно, что такие фор-

мы должны быть изготовлены из более прочных формовочных смесей.

Смеси для кусковой формовки должны выдерживать давление не менее 0,09 МПа поверхности формы. Газопроницаемость таких смесей в сыром виде вследствие содержания в них большого количества глины низкая (20…25 ед.). Поэтому литейные формы, изготовленные из этих смесей, нельзя заливать в сыром виде, так как повышенное количество пара и газа не будет иметь возможность свободно выходить из формы через ее стенки. Газопроницаемость форм, изготовляемых из жирных формовочных смесей, улучшают путем их сушки. В процессе сушки в результате испарения влаги и выгорания добавок увеличивается пористость формы. Газопроницаемость смеси в форме после сушки повышается до 60…70 единиц.

Специальные формовочные смеси. В производстве художественного литья часты случаи, когда сложность отливки требует применения особых способов изготовления литейной формы, применения специальных формовочных смесей.

Жидкую формовочную смесь применяют при формовке скульптурных отливок для нанесения облицовочного слоя на поверхность восковой модели и изготовления в форме стержня. На поверхность модели жидкую смесь наносят путем оплескивания модели, при изготовлении стержня смесь заливают в полость гипсовой формы. В состав жидкой формовочной смеси входят кварцевые пески, маршалит, цемент и вода.

Суспензию на этилсиликатном связующем применяют для нанесения на поверхность выплавляемой модели слоя, который после выплавления ее образует неразъемную керамическую форму — оболочку для отливки. Связующим суспензии является гидролизованный раствор этилсиликата, наполнителем — пылевидный кварц (маршалит), прокаленный при температуре 850…900 °С и просеянный через сито с шелковой сеткой.

Песчано-смоляные смеси применяют в производстве отливок, получаемых в оболочковых формах. В состав смеси в качестве наполнителя входит кварцевый песок с зернами размером менее 0,2 мм. В качестве связующего используют термореактивную смолу. В целях экономии дорогостоящих смол оболочки полуформ изготовляют двухслойными. В этих случаях песчано-смоляные

7.3. Стержневые смеси для чугунных художественных и архитектурных отливок

Отливки	Массовая доля смеси, %										Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Предел прочности, МПа (кгс/см^2)	
	Основные материалы							Связующие крепители					При сжатии	При растяжении
	Оборотная смесь	Песок					Глина	Сульфитная барда	Декстрин	Жидкое стекло				
		2К016	Ж01	Т016	1К01	3К02								
Кабинетные (настольные бюсты, статуэтки и группы)	–	90	10	–	–	–	–	–	1	–	130	3…4	0,018…0,03 (0,18…0,30)	0,2 (2)
	–	–	–	98	–	–	2	–	–	–	70	6…7	0,02…0,03 (0,2…0,3)	
Архитектурные (колонны, тумбы, вазы декоративные и др.)	40	50	10	–	–	–	–	2	–	–	90	5…6	0,03…0,035 (0,30…0,35)	0,07…0,15 (0,7…1,5) 0,3…0,5 (3…5)
	50	–	–	–	25	20	5	–	–	5…7	100	3…4	0,015…0,03 (0,15…0,30)	

смеси подразделяют на облицовочные и наполнительные. Облицовочные приготовляют с большим содержанием смол, наполнительные — с меньшим.

Стержневые смеси в процессе заливки формы находятся в более тяжелых условиях, чем формовочные, поэтому они должны быть более прочными, газопроницаемыми, податливыми, огнеупорными, менее гигроскопичными, с хорошей выбиваемостью из отливки.

Для улучшения податливости и газопроницаемости в стержневые песчано-глинистые смеси для крупных стержней статуарных отливок добавляют рубленую солому, древесные опилки, торф. Для небольших стержней статуэток иногда вместо специальной стержневой смеси используют облицовочную смесь для кусковой формовки. В табл. 7.3 приведены составы и свойства стержневых смесей, применяемых в производстве кабинетных художественных и архитектурных отливок.

7.4. Материалы для изготовления моделей художественных отливок

Деревянные модели. Для изготовления таких моделей используют древесину следующих пород деревьев: сосны, березы, бука, груши, ореха. Сосна вследствие значительного содержания в ней смолистых веществ мало впитывает влагу и меньше подвержена короблению. Поэтому ее в основном применяют для моделей крупных архитектурных отливок, не имеющих на поверхности тонких украшений. Такие модели в процессе формовки продолжительное время находятся в сырой формовочной смеси, больше подвержены воздействию ее влаги, чем модели малых размеров. Модели, при изготовлении которых требуется их обработка на токарных станках, чаще всего делают из березы, так как она обладает большой прочностью, легко обрабатывается на станке. Деревянные модели от продолжительного соприкосновения с сырой формовочной смесью разбухают, а при высыхании коробятся и трескаются. При формовке их острые кромки быстро изнашиваются, теряют четкость формы, на поверхности появляются вмятины, и модель становится непригодной для дальнейшей работы. Особен-

но часто изнашиваются модели с резной поверхностью, мелкими выступами и с незначительной толщиной стенок. Такие модели при многократном использовании требуют частого ремонта или замены новыми. Изготовление нескольких деревянных моделей повышает стоимость отливок, поэтому при массовом производстве применение деревянных моделей не выгодно.

Металлические модели. При изготовлении большого числа литейных форм удобнее и выгоднее применять металлические модели, которые изготовляют из чугуна, бронзы, латуни, алюминиевых сплавов. Металлические модели по сравнению с деревянными имеют ряд преимуществ: не коробятся, хорошо сохраняют свою форму, имеют прочную, чистую поверхность и значительно большую долговечность.

Металлические модели гарантируют длительное сохранение воплощенного в них оригинала художественного произведения. Известный по производству художественного литья Каслинский завод на Урале, например, располагает металлическими моделями, изготовленными более 80 лет назад.

Чугунные модели. Чугун является дешевым и в то же время достаточно прочным материалом для моделей, поэтому чугунные модели нашли широкое применение. Из чугуна изготовляют большие простые модели, не имеющие на поверхности мелких выступов (модели садовых решеток, поручней, постаментов, колонн, скульптурных групп).

Применение чугуна для изготовления мелких со сложной поверхностью моделей художественных отливок ограничивается тем, что чугун хрупкий, поверхность сложных моделей, изготовляемых из него, быстро выкрашивается. Кроме того, чугун подвержен коррозии и плохо паяется.

В настоящее время в практике литейных цехов известны способы обработки поверхностей моделей, позволяющие уменьшить влияние некоторых отрицательных факторов. Например, для уменьшения коррозии чугунные модели рекомендуется выдерживать в кислотной ванне в течение 10…15 ч с последующей промывкой в известковой воде, сушкой и тщательной протиркой. Для получения чистой и гладкой поверхности модели нагревают до 30…40 °С, натирают в три приема воском или олифой. После остывания поверхность модели зачищают мелкой шкуркой и про-

тирают. Получить хорошую поверхность чугунной модели можно и путем трехкратного натирания ее густым шеллачным лаком и тщательной зачистки мелкой шкуркой после высыхания.

Латунные и бронзовые модели. Медные сплавы (латунь и бронза) являются лучшими материалами для изготовления мелких и сложных моделей художественных отливок. Латунные и бронзовые модели не ржавеют, хорошо воспринимают и сохраняют чеканку их поверхности. Хорошо обработанные латунные и бронзовые модели имеют чистую, гладкую и плотную поверхность. В процессе формовки к поверхности таких моделей формовочная смесь не прилипает.

Модели хорошо вынимаются из формы, оставляя на стенках ее чистый и ясный отпечаток своей поверхности. Эта особенность бронзовых и латунных моделей позволяет применять сложный способ изготовления литейных форм — кусковую формовку. Кроме того, такие модели хорошо паяются, что дает возможность изготовлять из них сложные модели по частям и после окончательной их отделки собирать на модели путем пайки. Из латуни и бронзы обычно делают модели небольших ажурных и кабинетных отливок, а также модели, которые необходимо хранить продолжительный срок.

Алюминиевые модели. Преимуществом моделей из алюминиевых сплавов по сравнению с другими металлическими моделями является их незначительная масса. Кроме того, алюминиевые модели, как и латунные, не ржавеют, поэтому их часто применяют в современном литейном производстве. К недостаткам алюминиевых моделей следует отнести их меньшую, чем у моделей из чугуна, латуни и бронзы, поверхностную твердость. Поэтому поверхность их быстро изнашивается, на ней остаются следы наколов формы вентиляционной иглой, а при кусковой формовке — следы подрезки кусков. Ремонтировать и восстанавливать алюминиевые модели трудно, так как алюминий плохо поддается пайке. Этот недостаток алюминиевых сплавов ограничивает возможности их широкого применения при изготовлении моделей художественных отливок.

В производстве архитектурных отливок, имеющих по сравнению с кабинетными и статуарными менее сложную форму и поверхность, недостатки алюминиевых моделей при формовке

менее значительны, а применение их во многом сокращает трудоемкость процесса отливки. Твердость алюминиевых моделей повышается при изготовлении их из алюминия с примесью 6…7% меди и 7…8% цинка.

Гипсовые модели. Начальным этапом изготовления отливки художественного изделия является, как правило, лепка скульптором его оригинала. В качестве основного материала для изготовления оригинала скульптур использует пластилин, воск или глину, как наиболее удобные при лепке материалы.

Однако пластилин, воск и глина недостаточно прочны и не могут быть хорошим материалом для моделей. Поэтому оригиналы художественных отливок, используемые как модели, создают при формовке большие неудобства и часто разрушаются. В этом случае можно лишиться дорогостоящего оригинала, не получив отливки. Во избежание этого формовку по оригиналам выполняют в исключительных случаях и высококвалифицированные мастера.

Значительно удобнее, если оригинал выполнен из гипса. Гипсовый оригинал прочнее, чем восковой и пластилиновый, он не оплавляется при повышенной температуре окружающей среды. Кроме того, он значительно легче. Прочность гипсового оригинала позволяет не только свободно его транспортировать, но и изготовлять по нему небольшое число литейных форм. Поэтому в производстве художественных литых изделий гипсовые оригиналы часто используют как гипсовые модели.

Преимущество гипсовых моделей в производстве художественного литья заключается в том, что их можно быстро и легко изготовить. Кроме того, они легкие, имеют чистую и гладкую поверхность и по сравнению с другими видами моделей художественных отливок дешевые. Недостатки гипсовых моделей — малые по сравнению с металлическими моделями прочность и твердость поверхности, что ограничивает их применение при кусковой формовке.

Выплавляемые модели. Сложность изготовления литейной формы художественной отливки заключается, прежде всего, в процессе удаления модели из формы. Если изготовить модель сложной художественной отливки такой, чтобы она при удалении из формы не требовала разборки формы, то процесс изготовления литейной формы не представлял бы большой трудности. Такими моделями

при производстве художественных отливок с давних пор являлись модели, изготовленные из воска. Восковая модель заформовывалась и не извлекалась из формы (для получения в ней полости), как обычная модель, а выплавлялась в процессе нагрева при сушке формы.

Применение восковых моделей упрощало процесс изготовления литейной формы для получения скульптур, улучшало качество поверхности отливки (не было швов, образующихся на отливках при использовании кусковой формовки). Кроме того, сокращался процесс механической обработки отливки, так как скульптура отливалась в форме целой.

К недостаткам восковых моделей скульптур относится высокая стоимость отливаемых по ним отливок из-за большой продолжительности процесса изготовления литейной формы. Литейная форма, например, конной статуи Петра I изготовлялась по восковой модели в течение года, не считая времени изготовления самой модели. Поэтому такие восковые модели не нашли широкого применения в дальнейшем. В серийном производстве кабинетных художественных отливок применяют выплавляемые модели из парафино-стеариновых составов, изготовляемые в пресс-формах.

Выжигаемые модели. В современных литейных цехах применяют модели, которые удаляются из формы путем плавления и газификации их при контакте с заливаемым металлом или выжигания при 350…400 °С. Газифицируемые модели изготовляют из пенополистирола, представляющего собой ячеистый пластик с несообщающимися между собой ячейками, заполненными газом. Такая структура образуется при вспенивании гранул полистирола.

Для изготовления моделей применяют пенополистирол двух видов: в виде гранул и блоков (пенопласт). Модели из гранул полистирола приготовляют путем вспенивания их в пресс-формах при нагревании до температуры 100 °С. Пенопласт хорошо обрабатывается; режется ножом, обрабатывается на деревообрабатывающих станках, склеивается декстрином, столярным клеем, сваривается при 130…150 °С. Такие свойства пенопласта позволяют изготовлять из него модели в несколько раз быстрее, чем из дерева.

Применение моделей из пенополистирола упрощает процесс изготовления литейной формы, сокращает расход металла на при-

были, увеличивает точность отливки за счет отсутствия разъема литейной формы и литейных уклонов на модели. Использование таких моделей позволяет получать из чугуна и цветных сплавов сложные и крупные отливки массой от нескольких килограммов до 30 т.

Пластмассовые модели. В современных условиях литейного производства для изготовления моделей широкое применение получили пластические массы. В качестве материалов для изготовления пластмассовых моделей используют специальные составы, называемые компаундами, состоящие из эпоксидной смолы, полиэтилен-полиамина, дибутилфтолата с добавкой в качестве наполнителя маршалита и опилок. Модели из пластмасс прочные, не коробятся, находясь во влажной среде, не разбухают, имеют чистую, гладкую поверхность, легко ремонтируются. В производстве художественного литья пластмассовые модели используют для отливки небольших изделий с гладкой поверхностью (постаментов, розеток, деталей чернильных приборов и т.п.).

7.5. Способы формовки скульптур

Процесс получения крупных художественных отливок в основном тот же, что при производстве кабинетных отливок, с некоторыми особенностями в выполнении технологических операций формовки, связанными с увеличением размеров формы и ее частей. К таким особенностям следует отнести: применение каркасов при изготовлении крупных частей формы для увеличения их прочности и удобства съема, изготовление литейных форм без опок (ямная — кессонная формовка), изготовление стержней путем заливки жидкой стержневой массы в полость формы, сушка форм на месте. Своеобразным способом изготовления литейных форм для литья скульптур является формовка по выплавляемым моделям.

Формовка по восковой модели. Одним из существенных недостатков кусковой формовки является то, что на поверхности отлитого изделия остаются следы соединений отдельных кусков в форме в виде швов. Это осложняет процесс механической обработки отливки, чеканку ее поверхности. Кроме того, как указывалось

ранее, такую формовку должен выполнять формовщик высокой квалификации.

Для изготовления литейной формы художественной отливки наиболее простым является способ формовки по восковой выплавляемой модели, так как модель вместе с литниковой системой и выпором удаляют из формы путем ее выплавления, а не путем разборки.

Для небольших, менее сложных художественных изделий восковые модели изготовляет скульптор путем лепки. Для получения пустотелой отливки внутри восковой модели в процессе ее изготовления устанавливают отдельно приготовленный, с удлиненными концами каркаса песчаный стержень. Бывают случаи изготовления моделей литьем их в гипсовых формах целыми или по частям с последующей сборкой и обработкой.

Изготовление литейных форм по восковым моделям, не имеющим тонких деталей на поверхности, сводится к следующему: восковую модель укладывают в специально приготовленную, с хорошо припыленной поверхностью, фальшивую опоку. На поверхности фальшивой опоки в нужных местах к модели прикладывают восковую литниковую систему и каналы для вытекания воска. На фальшивую опоку с моделью устанавливают опоку формы. Модель припыливают, засеивают облицовочной смесью, применяемой для кусковой формовки, и, слегка уплотнив ее вокруг модели рукой, продолжают изготовление полуформы. В этом случае при уплотнении смеси в опоке следует иметь в виду малую прочность поверхности модели, аналогично тому, как и при кусковой формовке по пластилиновому оригиналу. Затем заформованную опоку вместе с фальшивой опокой переворачивают, фальшивую осторожно снимают так, чтобы не повредить модель и литниковую систему, устанавливают и формуют вторую опоку. Форму, не разбирая, вместе с моделью подвергают сушке, в процессе которой восковая модель плавится, вытекает из формы, оставляя в ней полость для заливки металла.

Способ формовки по восковой модели несложен, позволяет получить чистую (без швов) поверхность отливки. Однако он имеет ряд недостатков. Во-первых, при формовке по восковой модели сама модель, как художественное произведение, уничтожается в процессе приготовления одной формы и в случае необходимо-

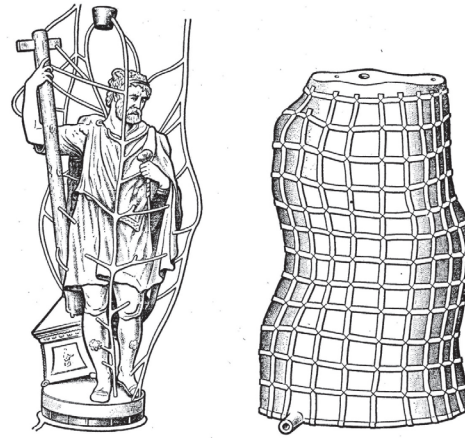
сти повторения ее модель нужно изготовлять вновь. Во-вторых, отливка по восковой модели обходится дорого, так как в стоимость ее, кроме стоимости работ и материалов, для изготовления литейной формы и механической обработки включается и полная стоимость изготовления восковой модели, затраты на которую превышают все предыдущие. В-третьих, формовка по восковой модели неудобна и ограничивает производительность труда формовщиков из-за возможности поломки модели или повреждения ее непрочной поверхности.

В современном производстве художественных отливок (малой скульптуры) формовку по восковой модели почти не применяют. Ее используют иногда лишь при получении разовых отливок, необходимых для изготовления металлической модели.

Способ формовки скульптур по восковой модели является самым древним и до начала XIX столетия считался единственным способом отливки скульптур. У нас, в России, по восковым моделям были отлиты хорошо известные памятники: Петру I в Санкт-Петербурге, Минину и Пожарскому в Москве, группа укротителей коней на Аничковом мосту в Санкт-Петербурге и многие другие уникальные отливки.

Процесс изготовления литейных форм таких отливок в прошлом, описанный в трудах профессора Н.Н. Рубцова, состоял в следующем.

1. Изготовление модели и стержня. Вокруг изготовленного скульптором и установленного на кирпичном постаменте гипсового оригинала отливки приготовляли кусковую гипсовую форму. Оригинал для удобств отделения от него кусков смазывали жировым составом. На куски, облегающие поверхность оригинала, наносили гипсовый слой — раковины, объединяющие несколько кусков гипсовой формы и позволяющие впоследствии точнее собирать форму для модели. Затем раковины снимали, убирали с оригинала куски гипсовой формы. На внутреннюю поверхность кусков, смазанную тонким слоем жирового состава, наносили кистью слой воска, соответствующий толщине стенки будущей отливки. Далее гипсовый оригинал убирали и на его место на постаменте устанавливали металлический каркас для стержня. Вокруг каркаса в прежнем положении собирали гипсовую форму, полость которой заполняли жидкой стержневой массой, состоящей из



а) *б)*

Рис. 7.16. Формовка по восковой модели:
а — восковая модель с литниковой системой; *б* — изготовленная по модели литейная форма

кирпичной муки и гипса. После затвердевания стержневой массы гипсовую форму разбирали так, чтобы восковой слой ее остался на поверхности стержня. Такой слой воска на стержне и представлял собой выплавляемую модель. Изготовленную модель перед формовкой осматривал скульптор, ее исправляли в поврежденных местах, чеканили. Вокруг модели устраивали литниковую систему и выпоры, представляющие собой вертикальные восковые стояки, ответвления от них, примыкающие к телу модели, — питатели (рис. 7.16, *а*). В таком виде модель была готова для формовки.

2. Изготовление литейной формы. Процесс формовки состоял из приготовления на модели глиняной формы. Материалом для изготовления формы были хорошо размолотые и пропаренные конский навоз, глина и коровья шерсть, приготовленные в виде мастики. В несколько приемов кисточкой такую мастику наносили на поверхность модели слоем 12…15 мм.

После просушки на слой мастики наносили слой глины до 200 мм. Для прочности формы вокруг обмазанной модели клали кирпичную стенку, пространство между обмазкой модели и кирпичной кладкой заполняли землей и утрамбовывали. Снаружи кирпичную кладку обмазывали глиной и стягивали металлическими стяжками (рис. 7.16, *б*). В таком положении форму суши-

ли на месте. В процессе сушки из формы выплавлялись восковая литниковая система и модель. Воск протекал вниз по специально устроенным каналам; выплавленная модель оставляла после себя в форме полость, заполняя которую металлом, получали отливку.

Достоинством такого способа формовки является получение отливки с чистой (без швов) поверхностью, не требующей особой механической обработки. Говоря о механической обработке скульптур, следует заметить, что она значительно проще по сравнению с обработкой поверхности кабинетных отливок (из-за менее жестких требований, предъявляемых к ней). Это связано с тем, что на нее смотрят с большого расстояния.

К недостаткам описанного способа формовки относится продолжительность изготовления литейной формы (литейную форму для отливки конной статуи Петра I изготовляли в течение года), высокая стоимость отливки вследствие уничтожения в процессе отливки дорогостоящей разовой модели.

В настоящее время статуи отливают по частям, что позволяет уменьшить габариты литейной формы. Применяют новые способы приготовления смеси. Сушку формы и выжигание модели проводят не на месте, как прежде, а в специальных камерных сушильных печах периодического действия, работающих на газе. Измененный способ формовки позволил сократить процесс изготовления литейной формы, уменьшить его трудоемкость и стоимость отливки.

Формовка по пустотелой выплавляемой модели. Более совершенным способом формовки по выплавляемой модели является способ, при котором оригинал изделия, как художественное произведение, не уничтожается в процессе изготовления литейной формы, а является моделью для изготовления пустотелых выплавляемых моделей. Такой способ отливки изделия состоит также из двух процессов: изготовление по оригиналу изделия пустотелой выплавляемой модели и изготовление по пустотелой выплавляемой модели литейной формы изделия.

Процесс изготовления пустотелой модели состоит из следующих операций.

1. Гипсовый оригинал укладывают в фальшивую опоку (рис. 7.17, *а*). Поверхность оригинала покрывают тонкой мокрой бумагой и обкладывают слоем глины (рис. 7.17, *б*).

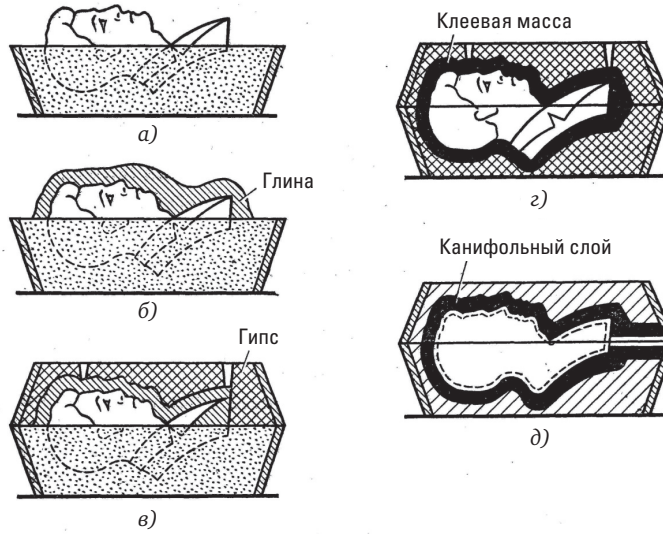


Рис. 7.17. Изготовление пустотелой выплавляемой модели

2. На фальшивую опоку с оригиналом устанавливают опоку и заливают ее гипсом. В слое гипса оставляют два отверстия, соединяющие гипсовый слой в опоке со слоем глины на оригинале (рис. 7.17, *в*).

3. После затвердевания гипса опоки переворачивают, фальшивую снимают и устанавливают вместо нее вторую опоку.

4. Вторую половину оригинала, находившуюся ранее в фальшивой опоке, таким же образом покрывают бумагой во избежание прилипания глины к поверхности оригинала. Наносят слой глины и заливают гипсом, оставляя в нем два отверстия, как и в первой опоке.

5. После затвердевания гипса опоку снимают, с поверхности оригинала удаляют слой глины и бумагу. Снятую опоку устанавливают на место.

6. В образовавшееся пространство между поверхностью оригинала и гипсом опоки, ранее занимаемое слоем глины, через отверстия в гипсе заливают особый клеевой раствор, основную массу которого составляет столярный клей. После застывания такой раствор приобретает свойства эластичной резины.

7. После остывания слоя клеевого раствора обе опоки перево-

рачивают и снимают нижнюю опоку; затем удаляют с поверхности оригинала, как и в первой опоке, слой глины и бумагу, устанавливают снятую опоку вновь и таким же порядком заливают в образовавшееся в ней пространство клеевой раствор (рис. 7.17, *г*).

8. Форму разнимают и удаляют оригинал. При этом эластичность клеевого раствора, несмотря на наличие на поверхности оригинала различного рода извилин и углублений, дает возможность снять верхнюю опоку и удалить оригинал из нижней опоки, не повредив стенок клеевой рубашки и оригинала. Внутреннюю поверхность клеевой рубашки обеих полуформ покрывают лаком и наносят на нее кистью подкрашенный слой воска.

9. Форму снова собирают (рис. 7.17, *д*) и заливают в ее полость расплавленную канифоль. Залитую канифоль выливают из формы, при этом часть ее остается на стенках полости формы. Повторяя несколько раз такую операцию (заливку и выливание), наносят на внутреннюю поверхность формы слой канифоли, равный желаемой толщине стенки модели и будущей отливки.

10. После затвердевания слоя канифоли осторожно снимают с него опоку с гипсом и клеевой рубашкой. Образовавшийся таким образом канифольный слой и является пустотелой выплавляемой моделью, изготовленной по оригиналу отливаемого изделия. Освободившиеся опоки с гипсом и клеевой рубашкой приготовляют для следующей модели.

Изготовление литейной формы по такой модели начинают с изготовления в ней стержня. В полость модели устанавливают специальный каркас, концы которого выходят из модели и служат для крепления стержня в форме, затем в полость модели с установленным каркасом заливают жидкую стержневую массу. После затвердевания стержня модель поступает на формовку.

Полученная таким образом выплавляемая модель имеет небольшую прочность и при формовке требует особой осторожности. Поэтому небольшие литейные формы по таким моделям часто изготовляют из заливаемой жидкой формовочной смеси. Затем опоку вместе с моделью подвергают сушке, в процессе которой канифольная оболочковая модель выплавляется. Вытекая из опоки по приготовляемым для этой цели каналам, модель оставляет в форме полость для заливки металла. При выплавлении модели часть канифоли впитывается в стенки формы и стержня. Такой

слой при соприкосновении с жидким металлом сгорает, оставляя на стенке формы копоть, улучшающую чистоту поверхности отливки.

Преимущество описанного способа получения отливок художественных изделий состоит в том, что отливки получаются без швов на поверхности (вследствие неразъемной формы), сохраняется оригинал модели и уменьшается расход материала на модель. Однако этот способ имеет ряд недостатков. Во-первых, пустотелая выплавляемая модель, изготовленная способом заливки, имеет менее четкий рельеф поверхности, ее трудно исправлять и чеканить, во-вторых, сушка стержня и формы, изготовленной из жидкой стержневой и формовочной смеси, более длительна и неудобна.

7.6. Особенности изготовления архитектурных отливок

Архитектурными отливками называют отливки, идущие на отделку и украшение зданий, мостов и других сооружений. К таким отливкам относятся крупные барельефы, балясины для балконов и лестниц зданий, решетки мостов, набережных, садов, колонны, фонарные столбы и другие так называемые малые архитектурные формы. Отливки архитектурных изделий отличаются от рассмотренных ранее нами художественных отливок тем, что они имеют большие размеры, толщину стенок и менее сложны по форме. Кроме того, отливки архитектурных изделий в процессе эксплуатации часто являются деталями, несущими определенную силовую нагрузку в архитектурном сооружении (брусья, поручни, колонны и др.), поэтому в отличие от художественных отливок они должны иметь большую прочность.

Способы получения архитектурных отливок разнообразнее и в техническом оснащении более совершенны по сравнению со способом получения скульптур. Если в производстве художественных отливок до сих пор применяют в основном способы ручной формовки, то при изготовлении литейных форм архитектурных отливок широко применяют способы машинной формовки, литье в металлические формы и другие перспективные способы получения отливок.

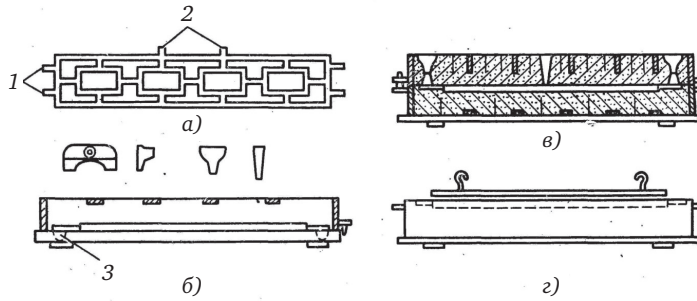


Рис. 7.18. Процесс формовки газонной решетки

Формовка решеток. Формовка газонной решетки (рис. 7.18) проводится по неразъемной чугунной модели на гладкой модельной плите.

1. К торцам *1* модели (рис. 7.18, *а*) на модельной плите (рис. 7.18, *б*) укладывают металлические модели литниковой системы, а в местах *2* — выпор. При этом шлакоуловители и основания стояков углубляются в специальные вырезы модельной плиты *3* (рис. 7.18, *б*).

2. Модель накрывают опокой и изготовляют в ней нижнюю полуформу.

3. Заформированную нижнюю полуформу переворачивают вместе с модельной плитой, устраивают в ней поверхность разъема формы.

4. Установив модели стояков и выпора, накрывают опоку, изготовляют в ней верхнюю полуформу (рис. 7.18, *в*). В верхней полуформе, как и в нижней, накалывают вентиляционные каналы, извлекают модели стояков и выпора.

5. Снимают верхнюю полуформу и отделывают ее. В нижней полуформе снимают модели питателей. Смочив смесь у краев модели, приглаживают болваны в просветах модели, затем, ввернув в модель подъемы и легко растолкав ее, удаляют из формы (рис. 7.18, *г*).

Особенностью формовки газонной решетки является наличие в нижней полуформе большого числа небольших болванов, образующих звенья модели. Целость этих болванов в форме при удалении из нее модели обеспечивается наличием у модели хороших формовочных уклонов, применением при формовке прочной

облицовочной смеси и дополнительным прикалыванием их перед удалением модели специальными формовочными гвоздями-шпильками.

6. Обе полуформы припыливают и собирают форму для заливки.

Формовка колонок. Колонка (рис. 7.19, *а*) в системе ограждения является связующим элементом отдельных звеньев решетки и крепления их в вертикальном положении. Колонка представляет собой полый цилиндр, оканчивающийся внизу квадратным основанием (подземная часть колонки). Верхнюю часть колонки закрывают отдельно отливаемой декоративной головкой. На уровне верхнего края основания в колонке делают сквозное отверстие, предназначенное для укладки концов бруса решетки.

В верхней части под основанием головки устроены вырезы для концов поручня, боковая поверхность колонки ребристая.

Для удобства изготовления литейной формы металлическую

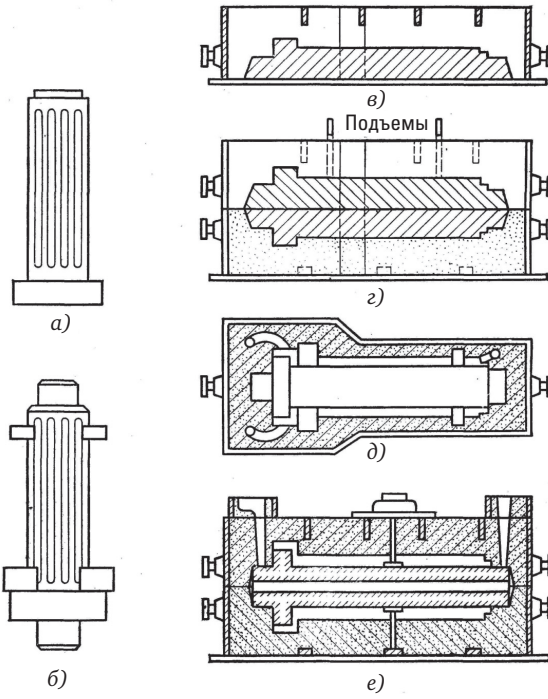


Рис. 7.19. Процесс формовки колонки садовой решетки

(чугунную) модель колонки (рис. 7.19, *б*) делают разъемной по вертикальной плоскости. Для уменьшения массы и снижения стоимости модель изготовляют пустотелой, а стержневые знаки боковых и центрового стержней делают деревянными. Особенность формовки колонок заключается в том, что формовщику при изготовлении литейной формы приходится устанавливать в форму стержни различных размеров и применять при этом различные способы их крепления.

Рассмотрим в качестве примера изготовление литейной формы колонки садовой решетки.

1. Для изготовления литейной формы колонки используют гладкую модельную плиту. Поставив на нее половинку модели (без шпилек), приставляют к ней модели питателей, как показано на рис. 7.19, *д*. Устанавливают опоку, изготовляют в ней нижнюю полуформу (рис. 7.19, *в*). Переворачивают заформованную полуформу вместе с модельной плитой, плиту снимают.

2. Приготовляют поверхность разъема формы, устанавливают вторую половину модели с ввернутыми в нее подъемами, ставят модели стояков и выпора. Проводят формовку верхней полуформы (рис. 7.19, *г*).

3. Закрепляют на верхней поверхности полуформы подъемы и снимают ее так, чтобы верхняя половина модели поднялась с полуформой. Вывернув подъемы, устанавливают полуформу разъемом вверх и удаляют из нее модель.

4. В нижней полуформе прорезают канал к выпору, удаляют модель. Затем устанавливают в форму стержни. Во избежание прогиба центровой стержень в форме устанавливают на жеребейки. В данном случае применяют жеребейки с длинной стойкой и одной полочкой, повторяющей профиль стержня. Длина стойки жеребейки определяется внизу расстоянием от поверхности стержня до ребра нижней опоки, а вверху — до уровня смеси на поверхности полуформы (рис. 7.19, *д*). Толщина стенки отливки определяется половиной разницы диаметров модели и ее знаков для центрового стержня. Определив длину стойки, устанавливают жеребейки в нижней и верхней полуформах, в местах предполагаемого прогиба стержня так, чтобы полочка жеребейки, на которую будет опираться стержень, возвышалась над дном полости формы на высоту, равную толщине стенки будущей отливки. При

этом конец стойки жеребеек должен опираться в нижней полуформе — в ребро опоки, а в верхней — в пластину, установленную на поверхности полуформы (рис. 7.19, *е*).

5. На поставленную таким образом жеребейку в знаки нижней полуформы укладывают центровой стержень.

6. Проверив правильность поставленного стержня шаблоном, устанавливают в знаки стержни боковых отверстий колонки, подгоняя их торец плотно к поверхности центрового стержня.

7. Подготовленные нижнюю и верхнюю полуформы собирают для заливки. Разрез готовой литейной формы колонки показан на рис. 7.19, *е*.

Аналогичным образом изготовляют литейные формы более крупных колонн, где стержни в форме крепятся большим числом жеребеек.

Литье ажурных изделий. Литые ажурные изделия отличаются от всех других видов художественных отливок мелким и сложным рельефом поверхности с большим числом просветов, образующих ажур изделия. Кроме того, ажурные отливки при сравнительно большой площади поверхности имеют обычно незначительную толщину стенки. Литейные формы ажурных отливок должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Для получения в литейной форме хорошего качества отпечатка ажурной модели поверхность полости такой формы должна быть прочной и пластичной. Поэтому литейные формы ажурных отливок следует изготовлять из формовочных смесей с использованием мелкозернистых песков, позволяющих получить в форме тонкий отпечаток поверхности модели.

Ажур в виде сквозных отверстий в стенках отливки образуется болванчиками формы, расположенными на ее внутренней поверхности. Прочность таких болванчиков зависит от степени уплотнения формы и прочности применяемой при этом формовочной смеси. Хорошо показала себя в производстве ажурных отливок формовочная смесь с величиной зерен песка 0,05…0,063 мм с содержанием глины 10…12% и прочностью при сжатии 0,03…0,035 МПа (0,3…0,35 кгс/см^2).

2. Металл, заливаемый в форму для ажурных отливок, протекает по узким, извилистым каналам полости формы, образуемым болванчиками. В таких условиях металл быстро охлаждается,

поэтому скорость заливки форм ажурных отливок следует увеличивать, применяя при этом верхнюю литниковую систему с щелевым питателем или горизонтальную с кольцевыми питателями. Нормальное заполнение полости формы ажурной отливки зависит от своевременного удаления образующихся в ней при заливке газов. Следовательно, формы для ажурных отливок должны быть достаточно газопроницаемыми.

3. На заполнение формы металлом оказывает влияние не только способ подвода металла в полость формы, но и его жидкотекучесть, зависящая, прежде всего, от температуры его при заливке формы. Чем выше температура металла, тем лучше его жидкотекучесть, тем лучше и легче металл заполняет формы. Но чем выше температура заливаемого в форму металла, тем больше опасность образования пригара смеси на стенках отливки. Поэтому стенки полости форм ажурных отливок должны быть и достаточно огнеупорными.

Хорошее качество литейных форм ажурных отливок достигается не только изготовлением их из отвечающих всем требованиям формовочных смесей, но и применением некоторых особых приемов и способов формовки.

4. Литейные формы ажурных отливок нужно уплотнять так, чтобы отпечаток поверхности модели на ее стенках был четким.

5. Перед удалением модели из формы прочность небольших болванчиков увеличивают смачиванием поверхности форм через просветы модели водой. Но смачивание поверхности полости формы одновременно увеличивает ее влажность и уменьшает газопроницаемость, что может отразиться на качестве будущей отливки. Металл, попадая на переувлажненные стенки формы, быстро охлаждается, теряет жидкотекучесть и плохо заполняет мелкие детали ее поверхности. При этом уменьшается резкость рельефа отливки.

Во избежание подобных явлений поверхность полости форм ажурных отливок перед заливкой подвергают кратковременной сушке коптящим пламенем ацетиленовых горелок в течение 2…3 мин. При такой сушке с поверхности формы испаряется излишек влаги, увеличиваются газопроницаемость и прочность небольших выступов, образующих ажур. Подогрев стенок формы перед заливкой устраняет возможность отбела чугунной отлив-

а) *б)*

Рис. 7.20. Ажурные отливки:
а — тарелка; *б* — блюдо

ки, создает благоприятное условие заполнения формы металлом. Кроме того, при такой подсушке формы, носящей название «подкапчивание», на стенках ее осаждается тонкий слой копоти, которая увеличивает огнеупорность формы, повышает чистоту поверхности отливки и придает ей своеобразный оттенок.

Формовка ажурной тарелки. Литейную форму тарелки (рис. 7.20, *а*) изготовляют по латунной модели в круглых опоках. Формовку начинают с изготовления фальшивой опоки.

Для этого модель тарелки укладывают на гладкую модельную плиту и накрывают опокой. Модель припыливают, опоку заполняют жирной формовочной смесью и уплотняют ее. Заформованную опоку переворачивают вместе с модельной плитой. Плиту снимают, примочив смесь вокруг модели, удаляют модель, заглаживают отпечатки ее просветов до уровня общей площади отпечатка модели. Такую операцию проводят для того, чтобы болванчики, образующие просветы в отливке, располагались в нижней опоке. Отпечаток модели припыливают, модель в прежнем положении укладывают и легкими ударами деревянного молотка осаживают так, чтобы смесь плотно закрыла просветы модели. Затем, исправив поверхность разъема, модель удаляют, фальшивую опоку для увеличения плотности сушат.

Литейную форму тарелки изготовляют следующим образом.

1. В приготовленную фальшивую опоку укладывают модель (рис. 7.21, *а*) и накрывают нижней опокой (рис. 7.21, *б*), поверх-

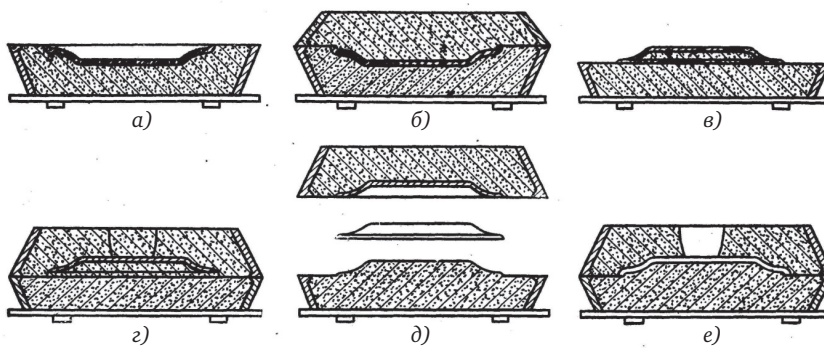


Рис. 7.21. Формовка по модели с односторонним ажуром

ность модели в ней припыливают древесно-угольным порошком, затем насыпают слой 15…20 мм облицовочной смеси и, заполнив опоку наполнительной смесью, изготовляют нижнюю полуформу.

2. Заформованную опоку вместе с фальшивой переворачивают, фальшивую опоку снимают (рис. 7.21, *в*), заглаживают поверхность разъема формы, проверяют плотность болванчиков в просветах модели.

3. Накрывают верхнюю опоку. В дно модели устанавливают целевой стояк так, чтобы он не попадал на просветы модели. Припылив поверхность модели и разъема формы, насыпают облицовочную смесь и изготовляют верхнюю полуформу (рис. 7.21, *г*).

4. Срезав лишнюю смесь с опоки, делают несколько наколов вентиляционной иглой на поверхности и вокруг стояка. Удаляют стояк. Снимают верхнюю опоку, исправляют в ней отпечаток модели и литниковый канал (рис. 7.21, *д*).

5. В нижней полуформе смачивают смесь вокруг модели и в ее просветах. Ввернув подъем и легко ударяя деревянным молотком по модели, удаляют ее из формы.

6. После удаления модели исправляют возможно сдвинувшиеся при съеме модели болванчики. Окончательно отделывают полуформы. Нижнюю полуформу в течение 2…3 мин сушат (подкапчивают). После подкапчивания, которое делается непосредственно перед заливкой, форму собирают для заливки (рис. 7.21, *е*).

Литейные формы ажурного блюда (см. рис. 7.20, *б*), имеющего модель с односторонним ажуром, изготовляют так же, как и для тарелки, с той лишь разницей, что блюдо на нижней стороне име-

ет ножки, которые отливают отдельно и крепят к корпусу блюда в процессе его механической обработки.

Формовка ажурной вазы. Вазу (рис. 7.22) отливают в виде пяти отдельных деталей: тарелки *1*, розетки *2*, подставки *3*, состоящей из двух половин, и основания *4*. Все детали скрепляют при сборке в одно целое (вазу) с помощью винта, проходящего через подставку и основание. Детали вазы отливают по латунным, хорошо прочеканенным моделям в двух формах: в одной из них тарелку, во второй — остальные детали. Процесс формовки розетки, подставки и основания аналогичен рассмотренному ранее процессу формовки тарелки, так как модели их имеют односторонний ажур.

Модель тарелки вазы имеет двусторонний ажур, поэтому в приготовлении фальшивой опоки и самой формы есть некоторые особенности.

Процесс изготовления литейной формы тарелки вазы начинают с приготовления фальшивой опоки. Для этого модель тарелки укладывают на гладкой модельной плите, накрытой опокой, и набивают ее смесью. Затем заформованную опоку вместе с модельной плитой переворачивают, снимают модельную плиту и извлекают из опоки модель. Отпечаток просветов модели в опоке хорошо заглаживают и очищенную от песка модель снова укладывают в опоку в прежнем положении. Легкими ударами деревянного молотка осаживают модель так, чтобы образующиеся при этом в просветах модели болванчики поднялись до половины высоты модели.

Рис. 7.22. Ажурная ваза

Загладив поверхность разъема вокруг модели, припыливают ее древесно-угольным порошком и устанавливают нижнюю опоку. Установленную опоку плотно набивают жирной формовочной смесью, так как она впоследствии будет представлять собой фальшивую опоку. Затем обе опоки переворачивают и осторожно снимают верхнюю. На болване

в нижней опоке, где осталась модель, примачивают просветы и удаляют модель. Таким образом, на поверхности болвана нижней (фальшивой) опоки образовались болванчики, равные по высоте стенке модели. Полученную фальшивую опоку окончательно отделывают и для прочности сушат. Литейную форму тарелки вазы изготовляют следующим образом.

1. На болван фальшивой опоки укладывают модель и устанавливают верхнюю опоку формы. В середине модели ставят специально подогнанный по модели щелевой стояк. Поверхность модели припыливают, насеивают слой облицовочной смеси и формуют верхнюю полуформу.

2. Заформованную верхнюю опоку переворачивают вместе с фальшивой опокой, последнюю снимают. Смочив просветы в модели, удаляют ее из верхней полуформы и тщательно приглаживают отпечатки просветов. Заглаженную поверхность в опоке припыливают и укладывают в нее хорошо очищенную модель в прежнем положении.

Легким ударом деревянного молотка модель осаживают в опоке до половины толщины стенки модели, как это делалось при набивке фальшивой опоки, поверхность разъема после осадки модели заглаживают. Смачивание просветов, заглаживание их отпечатка в опоке и осаживание модели необходимы для придания большей прочности болванчикам в верхней опоке во избежание обрыва их при снятии верхней опоки с модели, находящейся на болване нижней опоки. Кроме того, эти операции вызваны тем, что возможно частичное разрушение болванчиков в фальшивой опоке (поломка, обсыпка, износ), а это приводит к искажению поверхности разъема болванчиков в просветах модели и разрушению их при извлечении модели из верхней полуформы.

3. Устанавливают нижнюю опоку, поверхность разъема и модели припыливают, насыпают облицовочную смесь. Наполнив опоку наполнительной смесью, уплотняют ее. Излишек смеси с опоки срезают, накалывают вентиляционные каналы, переворачивают обе полуформы.

4. Удаляют модель литника, осторожно снимают верхнюю полуформу. Небрежность при снятии верхней полуформы может привести к срыву болванчиков. В нижней полуформе через про-

светы в модели слегка смачивают болванчики водой и осторожно снимают модель с болвана. После отделки поверхности обеих полуформ их припыливают древесно-угольным порошком и проводят подчеканку отпечатка хорошо прочищенной моделью.

В процессе подчеканки формы особое внимание следует обращать на правильность положения модели при укладке ее в форму. Укладка модели в ином, чем она была ранее, положении приводит к смятию болванчиков и искажению поверхности полости формы. Чтобы исключить это, полезно делать на краю модели небольшую метку (например, черту мелом) и перед первым удалением ее из формы отметить положение этой метки на поверхности разъема формы.

5. Перед заливкой каждую из полуформ подсушивают (подкапчивают).

После заливки жидким металлом и охлаждения отливки выбивают из формы и отделяют литниковую систему. Процесс окончательной обработки отливок включает в себя отжиг, обработку поверхности, чеканку, сборку отдельных деталей, шпаклевку и окраску готового изделия.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие художественных отливок от отливок технического назначения?
2. Назовите показатели качества художественных отливок.
3. Перечислите классификационные группы художественных отливок по назначению.
4. Из каких сплавов изготавливают художественные отливки?
5. Перечислите основные способы получения художественных отливок.
6. Какие материалы применяют для изготовления форм и моделей?
7. Какие существуют типы формовочных смесей?
8. Чем отличается формовочная смесь для форм, заливаемых в сыром виде, от смеси для форм, заливаемых после сушки?
9. Что такое облицовочная и наполнительная смеси и чем они отличаются друг от друга?

10. Назовите преимущества и недостатки деревянных моделей.

11. Назовите преимущества и недостатки металлических моделей.

12. Назовите преимущества и недостатки моделей из неметаллических материалов.

13. Назовите способы и особенности изготовления форм для скульптурных отливок.

14. Каковы особенности литья ажурных отливок?

15. Каковы особенности формовки архитектурных отливок?

Список литературы

1. **Бех Н.И., Иоффе М.А., Магницкий О.Н., Ри Хосен.** Технология художественного литья: учебник / под ред. Ри Хосена. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 455 с.

2. **Зотов Б.Н.** Художественное литье. — М.: Машиностроение, 1982. 288 с.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Литье в магнитные формы

Литье в магнитные формы является дальнейшим развитием способа получения отливок по газифицируемым моделям, так как между ними много общего. Так же, как и при литье по газифицируемым моделям, используют неразъемную форму, которую изготавливают без связующего, модель и литниковую систему выполняют из пенополистирола и не извлекают из формы перед заливкой жидкого металла. Заливку осуществляют через литниковую систему, модель под действием теплоты жидкого металла газифицируют и замещают металлом. Принципиальным отличием является использование для изготовления формы вместо сухого кварцевого песка ферромагнитных металлических сыпучих материалов и магнитного поля для упрочнения формы. Эти особенности позволяют исключить из технологического процесса песчаные смеси — главный источник пылевыделения в литейном цехе, а следовательно, улучшить условия труда.

8.1. Материал и оснастка для изготовления магнитных форм

8.1.1. Формовочные смеси и их свойства

Учитывая особенности рассматриваемого способа литья в качестве основного и единственного компонента формовочных смесей, используют сыпучие ферромагнитные материалы (металлические пески): дробь стальную колотую и литую (ДСК и ДСЛ), чугунную колотую и литую (ДЧК и ДЧЛ), железный порошок ПЖ (ГОСТ 9849—86).

Литую чугунную и стальную дробь получают путем разбрызгивания струи жидкого металла, выливаемого из ковша на вращающийся барабан, наполовину погруженный в воду, колотую —

дроблением в валках литой дроби, а иногда дроблением стружки. Железный порошок получают методом прямого восстановления из руды.

При выборе ферромагнитного наполнителя учитывают технологические и санитарно-гигиенические условия производства.

Для получения отливок из чугуна и стали лучшими материалами формы считаются стальные и чугунные литые и колотые дроби ДЧЛ, ДСЛ, ДЧК и ДСК различного фракционного состава, выпускаемые отечественной промышленностью.

Химический состав литых и колотых дробей представлен в табл. 8.1, а гранулометрический — в табл. 8.2.

8.1. Химический состав дроби

Марка	Массовая доля, %				
	C	Si	Mn	S	P
ДСК-03	0,04	2,30	0,40	0,014	0,048
ДСК-05	0,04	2,28	0,35	0,013	0,046
ДСК-08	0,03	2,28	0,36	0,013	0,046
ДСК-1	0,04	2,30	0,39	0,010	0,045
ДЧК-03	3,64	1,58	0,28	0,096	0,084
ДЧК-05	3,47	1,28	0,28	0,096	0,078
ДЧК-08	3,47	1,47	0,32	0,093	0,078
ДЧК-1	3,65	1,73	0,32	0,084	0,078
ДЧЛ-05	2,9…3,5	1,5…2,0	0,4…0,7	Не более 0,2	Не более 0,12

8.2. Гранулометрический состав дроби

Марка	Номер сита										
	1,6	1	063	04	0315	02	016	01	0063	005	Тазик
ДСК03	—	—	0,6	11,3	29,7	31,06	12,6	10,1	4,3	0,2	0,2
ДСК05	—	0,01	27,8	58,5	8,2	2,5	0,8	0,86	0,7	0,3	0,3
ДСК08	—	0,16	74,21	23,66	1,38	0,3	0,08	0,09	0,07	0,04	0,02
ДСК01	—	0,23	78,14	20,38	0,79	0,24	0,08	0,04	0,04	0,03	0,02
ДЧК03	—	—	0,3	21,16	26,38	24,9	9,89	7,55	5,9	2,38	1,55
ДЧК05	—	0,41	50,97	44,57	1,94	1,02	0,40	0,26	0,20	0,07	0,05
ДЧК08	—	45,17	53,70	0,67	0,13	0,12	0,09	0,03	0,03	0,04	0,03
ДЧК1	0,04	58,86	39,07	1,36	0,20	0,19	0,11	0,07	0,07	0,04	0,01
ДЧЛ05	—	0,2	10,18	66,25	17,67	5,17	0,45	0,26	0,01	—	—

Гранулометрический состав железного порошка приведен в табл. 8.3.

8.3. Гранулометрический состав железного порошка

Группа порошка	Номер сеток	Остаток порошка на сите, %	Проход порошка через сито, %
К (крупный)	045	Не более 10	Не менее 90
	025	30	60
	016	Не менее 50	Остальное
	045	0	100
С (средний)	025	Не более 10	Не менее 90
	016	Не менее 70	Остальное
	025	0	100
М (мелкий)	016	Не более 10	Не менее 90
	0071	Не менее 35	Остальное

Структурно-механические свойства металлической дроби представлены в табл. 8.4. Металлические колотые дроби (пески) обладают высокой газопроницаемостью, хорошо уплотняются вибрацией и вследствие остроугольной формы зерен имеют высокое значение угла внутреннего трения в уплотненном состоянии.

Литые дроби, имея скругленную форму частиц, обладают низким значением угла внутреннего трения, и в этом отношении они менее предпочтительны, чем колотые, так как увеличивается давление со стороны формы на модель, а следовательно, необходима более высокая магнитная связность, т.е. более высокая индукция магнитного поля.

Так как при изготовлении магнитных форм дисперсный материал подвергается виброуплотнению, то одним из важнейших технологических свойств формовочной смеси следует считать виброуплотняемость, от которой зависят объемная плотность и газопроницаемость формы.

Оптимальное время уплотнения при максимальной амплитуде колебания 0,75 мм и частоте колебаний 50 Гц для всех марок и фракций дроби составляет 20…30 с. По мере уплотнения газопроницаемостъ их уменьшается. При свободной засыпке дроби коэффициент газопроницаемости имеет высокие значения. При максимальном виброуплотнении газопроницаемость уменьшается в 2,5…3 раза, однако она остается вполне достаточной для

8.4. Структурно-механические свойства дроби

Марка	Объемная масса, г/см^3	Насыпная масса, г/см^3		Относительная уплотняемость, %	
		При свободной засыпке	После виброуплотнения	При статической нагрузке	При виброуплотнении
ДСК-03	6,7	2,77	3,64	18,4	24,6
ДСК-05	6,7	2,88	3,64	16,2	21,6
ДСК-08	6,7	2,90	3,64	14,7	20,2
ДСК-1,0	6,7	2,91	3,64	13,1	20,2
ДЧК-03	7,5	2,92	3,8	17,6	24,1
ДЧК-05	7,5	2,97	3,8	16,1	21,8
ДЧК-08	7,5	3,32	4,07	15,7	18,5
ДЧК-1,0	7,5	3,36	4,07	12,1	17,5
ДЧЛ-05	7,14	3,62	4,3	14.4	—

Марка	Пористость, %		Газопроницаемость, ед.		Угол внутреннего трения, град		Удельная поверхность, см^2/г
	При свободной засыпке	При виброуплотнении	При свободной засыпке	После виброуплотнения	При свободной засыпке	После виброуплотнения	
ДСК-03	58	46	505	145	31	49	840
ДСК-05	57	46	1770	750	34	52	600
ДСК-08	57	46	2780	1000	34	52	440
ДСК-1,0	57	46	3820	1450	36	52	440
ДЧК-03	61	47	404	160	32	52	1300
ДЧК-05	61	47	2708	900	32	52	870
ДЧК-08	56	43	600	2300	38	56	550
ДЧК-1,0	55	42	7650	3000	41	59	550
ДЧЛ-05	49,4	39,8	1600	830	30	33	—

нормального удаления продуктов газификации модели. Пористость смеси с уменьшением величины зерна возрастает, что связано с увеличением угловатости зерен по мере уменьшения их размеров.

Стальные колотые дроби уплотняются лучше, чем чугунные. Самой высокой уплотняемостью обладает литая дробь, что объясняется формой зерен.

При определении угла внутреннего трения песков установлено, что по мере увеличения размера зерна металлического песка угол внутреннего трения в среднем возрастает на 5…8%, а по мере уплотнения — на 30…40%.

При длительном использовании одного и того же песка при заливке пенополистироловых моделей структурно-механические, электромагнитные и теплофизические свойства этого песка изменяются. Эти изменения происходят за счет появления в песке продуктов горения, побочных загрязнений, например, от стояка формы, за счет изменения химического состава песка. Установление зависимости изменения структурно-механических характеристик от числа заливок моделей металлом, т.е. долговечности песка, является необходимым для управления процессом образования формы и отливки, а также определения экономичности данного процесса.

В табл. 8.5 приведены физико-механические свойства ДСК-08 в зависимости от ее состояния, причем рассматриваются свойства и регенерированной (прошедшей очистку) дроби. Данные таблицы свидетельствуют о том, что характеристики дроби при длительном ее использовании меняются. Заметно снижаются значения удельной плотности, пористости, угла внутреннего трения, газопроницаемости и объемной плотности при свободной засыпке и после виброуплотнения.

Изменение зернового состава становится заметным только после 30 циклов заливки формы металлом. Проведенные исследования показали, что металлические пески являются сравнительно долговечным материалом. Исследование поверхности металлических песков после многократных заливок показало, что песчинки (дробинки) плакируются углеродом деструкции моделей и приобретают свойства самосохранения от окисляемости и оплавляемости при дальнейшем использовании, что увеличивает их долговечность.

Магнитные свойства ферромагнитных сыпучих материалов оказывают большое влияние на свойства формы. Используемые для изготовления магнитных литейных форм материалы, из которых изготовляют стальные и чугунные дроби (см. табл. 8.1), представляют собой магнитомягкие материалы, означающие, что их остаточная намагниченность после снятия магнитного поля

8.5. Физико-механические свойства дроби ДСК-08

Показатель	Состояние дроби								
	Исходная		Нерегенерированная			Регенерированная			
Количество циклов	0	5	10	20	30	5	10	20	30
Удельная масса, г/см^3	6,70	6,47	6,34	6,27	6,00	6,73			
Газопроницаемость:									
при свободной засыпке	2800	2780	2360	2040	1200	2800			
после виброуплотнения	960	1000		920	710	980	960	950	970
Объемная плотность, г/см^3:									
при свободной засыпке	2,90	2,85		2,84	2,42	2,95			
после виброуплотнения	3,51	3,48	3,34	3,34	3,30	3,50			
Пористость, %:									
при свободной засыпке	57,0	56,0	55,0			56,0	56,7	56,0	56,6
после виброуплотнения	47,7	48,0		47,0	45,0	48,0	48,2	48,0	48,3
Угол внутреннего трения φ:									
при свободной засыпке	38		35	33		37			38
после виброуплотнения	51	50	49	48		50	51	50	51
Засоренность, %	0,1	3,2	3,9	4,2	5,0	0,00			
Удельная поверхность, м^2/г	0,021	—	—	—	—	0,021			0,027
Зольность, %	—	0,00	0,12	0,17	0,17	0,00			
Окисляемость, %	—	0,50	0,52	0,65	0,67	0,00			
Удельная газотворность, см^3/г	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,0			

становится равной нулю, и сыпучие свойства их полностью восстанавливаются.

Установлено, что с повышением плотности дроби магнитная индукция возрастает. Что касается магнитной проницаемости, то

чем она ниже, тем меньше градиент напряженности магнитного поля на границе модель—форма, а следовательно, и давление со стороны формы, поэтому стальные и чугунные колотые дроби, обладающие низкой магнитной проницаемостью, являются предпочтительными. Однако с энергетической точки зрения материалы, имеющие высокую магнитную проницаемость, более выгодны. Это объясняется тем, что такие материалы позволяют получать прочные формы в слабых магнитных полях, поэтому можно использовать более слабые намагничивающие устройства, что приводит к снижению расхода электроэнергии.

8.1.2. Материалы для изготовления моделей и противопригарные покрытия

В качестве модельного материала, как и при литье по газифицируемым моделям, используют, как правило, пенополистирол. Возможно использование и постоянных моделей, выполненных из немагнитных материалов, но такая технология применяется редко в связи со сложностью использования намагничивающих устройств, обеспечивающих прочность полуформ на поверхности разъема. Поэтому дальнейший материал рассматривается применительно к литью в магнитные формы по пенополистироловым моделям. Характеристика, свойства и особенности изготовления моделей из пенополистирола подробно рассмотрены в гл. 3. Там же приводятся и различные противопригарные покрытия и требования к ним. Дополнительно можно отметить следующие композиции покрытий, хорошо зарекомендовавших себя при получении отливок из чугуна и стали.

Отмечаются хорошие результаты покрытия на основе перлитового наполнителя при заливке в магнитные формы чугуна и маршалита при заливке стали (табл. 8.6).

Другие покрытия не обеспечивают хорошей поверхности отливок, поскольку они оказались непрочными в условиях высоких температур, и на поверхности отливок заметны пригар и просечки металла через поры и трещины в краске, образовавшиеся при заливке металла.

Перлит, используемый в качестве противопригарного теплоизоляционного наполнителя, способствует при высыхании кра-

8.6. Составы покрытий

Компонент	Массовая доля, %	
Вспученный перлит	50	—
Маршалит термообработанный	—	50
4%-ный раствор поливинилбутираля в спирте	50	50
3%-ный раствор борной кислоты (сверх 100%)	10…12	10…12
Бакелитовый лак «А» (сверх 100 %)	10	10

ски образованию в корочке макро- и микропор. Раствор поливинилбутираля в спирте играет роль стабилизатора красочной суспензии и связующего, придающего прочность покрытию при нормальных условиях. Борная кислота является катализатором, увеличивающим вязкость суспензий при введении бакелитового лака и улучшающим адгезионные свойства покрытия по отношению к материалу модели. Бакелитовый лак при высокотемпературной деструкции дает высокий (до 60%) выход коксового остатка, который обеспечивает при высоких температурах (до 1500 °С) термостойкость покрытия.

Максимальное время сушки в естественных условиях при двухслойном нанесении красок составляет 1,5 ч, при сушке в термостате в потоке воздуха при 50…60 °С — 45 мин.

Покрытие, изготовленное на основе перлита, обладает высокой газопроницаемостью. Корочка имеет многочисленные поры, через которые свободно фильтруются газы, образующиеся в результате деструкции модели под действием расплава. После заливки окрашенной модели металлом и остывания отливки слой покрытия в виде скоксовавшейся корочки свободно отстает от поверхности отливки и легко удаляется при обдувке сжатым воздухом, исключая прочие методы очистки. Такое покрытие можно рекомендовать для любых отливок из чугуна и мелких тонкостенных отливок из стали.

Для тонкостенного стального литья можно рекомендовать также покрытие на основе маршалита, однако оно дает поверхность меньшего качества.

Хорошие результаты были получены при применении краски на основе этилсиликата (не содержащей в качестве растворителя ацетона или спирта), разработанной для литья по выплавляемым моделям (табл. 8.7).

8.7. Состав этилсиликатного покрытия

Компонент	Массовая доля, %
ЭТС 40	7,20
Вода	1,60
Соляная кислота	0,65
Серная кислота	0,15
Маршалит или цирконовый концентрат	76,00

Замена в этой краске маршалита цирконовым концентратом улучшает чистоту поверхности стальных отливок.

Представляет интерес также краска (табл. 8.8), в которой в качестве наполнителя используется железный порошок.

8.8. Состав противопригарной краски на основе железного порошка

Компонент	Массовая доля, %
Вода	41
Маршалит	37
Железный порошок	18
Бентонит	2,51
Декстрин	1,4
Пентахлорофинат натрия	0,06

Противопригарные покрытия на основе этилсиликата можно применять для получения стальных отливок с внутренними полостями без использования стержней. В этом случае отливки имеют чистую поверхность (без пригара) даже в самых узких полостях.

Краску на модель наносят окунанием или опрыскиванием. Количество слоев краски зависит от требуемой толщины покрытия. После внесения каждого слоя его сушат на воздухе. Для ускорения сушку проводят в атмосфере газов, ускоряющих гелеобразование связующих. Применяемый способ нанесения противопригарного покрытия на пенополистироловую модель должен обеспечивать получение равномерного слоя, обладать достаточно высокой производительностью и отвечать необходимым требованиям гигиены труда.

Способ нанесения покрытий кистью является одним из распро-

страненных, он прост и не требует специального оборудования. Недостатки способа — малая производительность и повышенная трудоемкость.

Нанесение покрытия окунанием наиболее удобно для мелких моделей, так как дает возможность получить равномерное покрытие по всей поверхности модели из-за действия выталкивающей силы.

При нанесении покрытий пульверизацией получается равномерное по толщине и свойствам покрытие с ровной поверхностью при высокой производительности. Недостаток данного процесса — большой объем образующегося при распылении противопригарной краски аэрозоля, что требует выполнения этой операции в специальных камерах для соблюдения санитарно-гигиенических условий труда.

Способ нанесения покрытий механическим бестуманным распылением без помощи воздуха с гигиенической точки зрения наиболее приемлем. Отсутствие воздушной струи резко снижает загазованность рабочих мест, интенсифицирует процесс получения покрытий.

8.1.3. Оснастка

Основными элементами оснастки для изготовления форм являются опоки и вибростол.

В отличие от обычной формовки опоки для изготовления магнитных форм представляют собой ящики с дном (контейнеры). Так как опока помещается в немагнитное поле, к ней предъявляются следующие требования:

• для исключения шунтирования магнитного потока дно и стенки опоки, параллельные направлению магнитного потока, должны выполняться из немагнитного материала, чтобы устранить искажение магнитного поля в форме;

• отдельные конструктивные элементы опоки, например цапфы, во избежание искажения магнитного поля также следует изготовлять из немагнитного материала;

• опоки не должны увеличивать немагнитный зазор между полюсами электромагнита и формой из намагничиваемого материала, для этого ее стенки, обращенные к полюсам электромаг-

нита, выполняют из ферромагнитного материала. Это делается для того, чтобы снизить расход электрической энергии на создание требуемой индукции магнитного поля в форме, кроме того, ферромагнитный материал стенок способствует также лучшему упрочнению обращенных к полюсам пристеночных слоев магнитной формы.

При получении в магнитных формах отливок по газифицируемым пенополистироловым моделям для удаления газов в опоках может быть предусмотрено второе дно.

Вибростол необходим для обеспечения плотного прилегания ферромагнитного формовочного материала по всей поверхности пенополистироловой модели, включая полости и поднутрения.

8.2. Особенности технологического процесса

Разработка и проектирование технологического процесса изготовления формы включают в себя следующие этапы:

- определение положения модели в форме;
- выбор материала формы;
- выбор режима уплотнения формы;
- расчет и конструирование литниковой системы;
- определение оптимальной величины магнитной индукции;
- выбор покрытия и оптимального режима нанесения его на модель;
- тепловой расчет формы.

При выборе положения модели в форме следует учитывать возможность создания минимальной напряженности газового режима и подвода литниковой системы в нижнюю часть модели, равномерного виброуплотнения дроби по всему объему формы и наиболее благоприятного расположения модели относительно магнитного потока при заливке формы.

В форме без модели из металлического песка, помещенной в постоянное магнитное поле, распределение магнитной индукции по всему объему опоки с ферромагнитным материалом приближенно можно считать равномерным. Однако с установкой модели характер распределения индукции существенно меняется. При установке одной прямоугольной пластины из полистирола перпен-

дикулярно направлению магнитного потока на границе металлический песок—модель в средней части пластины величина индукции уменьшается более чем в 2 раза по сравнению с индукцией без модели. В то же время величина индукции на гранях пластин, параллельных силовым линиям, увеличивается в 1,5 раза. Поэтому давление ферромагнитного материала на модель в магнитном поле будет различным в разных частях модели. В большинстве случаев при заливке металла в форму между моделью и расплавом образуется зазор, величина которого зависит от многих факторов. В зазоре при газификации модели образуется давление, которое создает при фильтрации через поры формы фильтрационные силы.

Кроме этого, металл, заполняя форму, давит на ее стенки. Все это может привести к деформированию формы. Повышая индукцию, можно увеличить прочность формы и исключить «подутия». Однако при превышении некоторого значения индукции форма теряет устойчивость: дробинки на поверхности полости формы поворачиваются и располагаются вдоль силовых линий, устремляясь в зазор между металлом и моделью. Это явление называют «зарастанием» формы. Оно приводит к браку отливок. Для получения качественной отливки необходимо обеспечить равновесие системы форма—модель—металл. Это возможно сделать, зная закономерности изменения напряженности магнитного поля на границе раздела модель—форма, зависящие от напряженности и конфигурации магнитного поля и от геометрических параметров модели. Методы определения напряженности магнитного поля представляют собой сложную задачу. Подробно они рассмотрены в инженерной монографии И.А. Степанова.

Для предотвращения брака отливок, вызванного зарастанием полости формы, следует стремиться придать модели в форме такое положение, при котором вероятность зарастания уменьшается и достигается достаточная прочность формы при минимальной индукции постоянного магнитного поля. Первое из этих условий удовлетворяется при расположении модели в форме большим размером вдоль направления магнитного поля (рис. 8.1, *а*). Расположение модели по схеме рис. 8.1, *б*, *г* нежелательно. Второе условие следует учитывать при формовке моделей с полостями, например, модели гильзы, которую располагают в форме таким образом, чтобы ось полости была параллельна направлению маг-

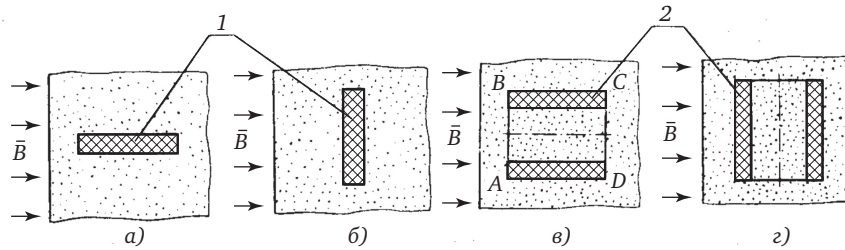


Рис. 8.1. Схема расположения моделей в магнитной форме относительно направления индукции магнитного поля *B*:
1 — модель плиты; *2* — модель гильзы

нитного поля (рис. 8.1, *а*, *в*). В этом случае возможные плоскости сдвига, например *AB* и *CD*, ориентированы перпендикулярно направлению магнитного поля. При таком положении плоскостей сдвига достигается максимальная величина магнитной связности, и, следовательно, болван из ферромагнитного формовочного материала может иметь достаточную прочность при более низких значениях индукции магнитного поля в отличие от ориентации модели по схеме, показанной на рис. 8.1, *г*.

При выборе положения модели в форме следует учитывать не только возможность создания минимальной напряженности газового режима, но также возможность равномерного виброуплотнения наполнителя по всей поверхности модели и наиболее благоприятного расположения ее относительно магнитного потока при заливке формы. Основными критериями при выборе материала формы являются магнитные свойства металлических наполнителей, определяющие прочность формы, и дисперсность, определяющая газопроницаемость формы. При этом необходимо учитывать долговечность металлических песков и дроби.

Важно также выбрать материал с наибольшей степенью размагничивания (магнитомягкий материал) для обеспечения разупрочнения формы после образования твердой корки металла кристаллизующейся отливки.

При массовом производстве отливок приобретает большое значение плотность формы, влияющая на стабильность размеров и геометрическую точность отливок. Наиболее эффективным методом уплотнения металлических материалов является вибрационный, при котором достигается максимальная плотность за

короткий период времени. Максимальная плотность необходима для предотвращения возможности сдвига металлических частиц при введении формы в зону магнитного поля. Максимальная плотность используемых магнитных песков достигается при амплитуде колебаний 0,3…0,75 мм и частоте тока 50 Гц в течение 20…30 с.

При производстве отливок в магнитных формах по пенополистироловым моделям вследствие взаимодействия расплава с материалом модели образуется много газов. Недостаточная газопроницаемость формы способствует увеличению давления выделяющихся газов, что может приводить к выбросам металла из чаши при заливке и, кроме того, возрастанию вероятности образования газовых раковин. Поэтому определение и поддержание оптимальной газопроницаемости магнитных форм является очень важной задачей. Газопроницаемость ферромагнитных формовочных материалов определяют стандартным прибором для определения газопроницаемости песчаных смесей.

Газопроницаемость некоторых ферромагнитных материалов приведена в табл. 8.9.

8.9. Газопроницаемость ферромагнитных материалов

Марка материала	Газопроницаемость, ед.
ДСЛ-08	2000
ДЧЛ-08	2000
ДЧК-08	1620
ДСК-03	1350
ДСК-03	520
ДСК-03	480
ПМЖ1М	150
Песчано-глинистая смесь (для сравнения)	100

Исследование газопроницаемости различных ферромагнитных формовочных материалов показало, что величина индукции упрочняющего магнитного поля не влияет на величину газопроницаемости. Это является признаком того, что изменения плотности укладки частиц ферромагнитного материала в форме не происходит.

При конструировании литниковой системы необходимо руководствоваться в первую очередь спокойным и равномерным спо-

собом заполнения формы, которое может быть обеспечено сифонным рассредоточенным подводом металла к модели.

Литниковая система, выполненная из пенополистирола, в процессе изготовления формы (нанесение противопригарного покрытия, транспортирование комплектов моделей, установка и вибрация при формовке) испытывает механические нагрузки. Поэтому для элементов литниковой системы следует проводить проверочный расчет прочности. При сборке литниковой системы и креплении к ней модели в условиях массового производства рационально применять бесклеевую сборку. Для простых по конфигурации отливок расчет литниковой системы может быть проведен по средней скорости подъема металла в форме (табл. 8.10).

8.10. Скорость подъема металла в форме

Толщина стенок отливки, мм	Оптимальная скорость, см/с		Максимально допустимая скорость, см/с	
	Чугун	Сталь	Чугун	Сталь
10	2,5	5,0	3,5	7,0
20	2,0	4,0	3,0	6,0
40	1,5	3,0	2,5	5,0

Для отливок сложной конфигурации и переменных сечений по высоте необходимо предварительно провести расчет скоростей и, соответственно, времени заполнения по участкам равного сечения, приняв для участка с наибольшим сечением минимально допустимую скорость подъема металла.

Литниковая система для магнитной формовки должна быть компактной. В тех случаях, когда необходима боковая прибыль, наиболее удобны подводяще-питающие системы с заливкой через прибыль. Конструкцию литниковой системы следует выбирать с учетом создания требуемого газового режима. В ряде случаев каналы литниковой системы удается использовать для вывода газов из полости формы.

Главной особенностью заполнения магнитных форм расплавом является заливка в условиях действия постоянного магнитного поля. Влияния магнитного поля на время заполнения форм расплавами черных металлов не установлено. Поэтому конструировать и рассчитывать литниковые системы для магнитных форм

можно без учета магнитогидродинамических эффектов, возникающих в движущихся по литниковым каналам расплавах.

В зависимости от принятой системы подвода металла применяют различные способы вентиляции магнитных форм (рис. 8.2). При сифонной заливке газы удаляются из зазора между расплавом и моделью только через стенки формы, если краска обладает высокой газопроницаемостью (рис. 8.2, *а*). Составы таких красок приведены в табл. 8.6…8.8. В случаях применения более плотных и менее газопроницаемых красок (например, для массивных отливок из высоколегированных сталей) улучшить условия отвода газов можно, используя способы, представленные на рис. 8.2, *б–е*.

При сифонной заливке форм модели выполняют со сквозными каналами (рис. 8.2, *б*) или полыми (рис. 8.2, *в*). Выходные отверстия из модели закрывают стержневыми пробками, или при формовке в них вставляют модель выпора (из дерева, алюминия или другого немагнитного материала), удаляемую после наложения магнитного поля. При этом в форме образуются сквозные полые каналы, через которые в процессе заливки легко удаляются газы. Устройство выпора нежелательно, так как к металлу отливки может привариваться дробь. Полые модели дают хорошие результаты, но при малой толщине стенок в отливке образуются углубления (канавки) из-за зарастания и теплового расширения дроби (дефект типа ужимин в песчаной форме). Наилучшие результаты при сифонной заливке достигаются при отводе газов через стержни (рис. 8.2, *г*), образующие полости в отливке, или специальные наружные стержни, приставляемые к модели. Поверхности контакта стержня и модели не следует окрашивать. В массовом производстве отливок стержень, образующий полость, делают «по ящику» и затем устанавливают в полость модели.

Если полость замкнутая, модель выполняют из двух частей и после установки стержня их склеивают. В условиях индивидуального или серийного производства можно не изготовлять стержень, а засыпать холоднотвердеющую смесь непосредственно в полость формы.

В ряде случаев для вывода газов из полости формы удается использовать каналы литниковой системы.

Все эти разнообразные функции — заполнение формы, питание отливки, удаление газов из литейной полости — при соблю-

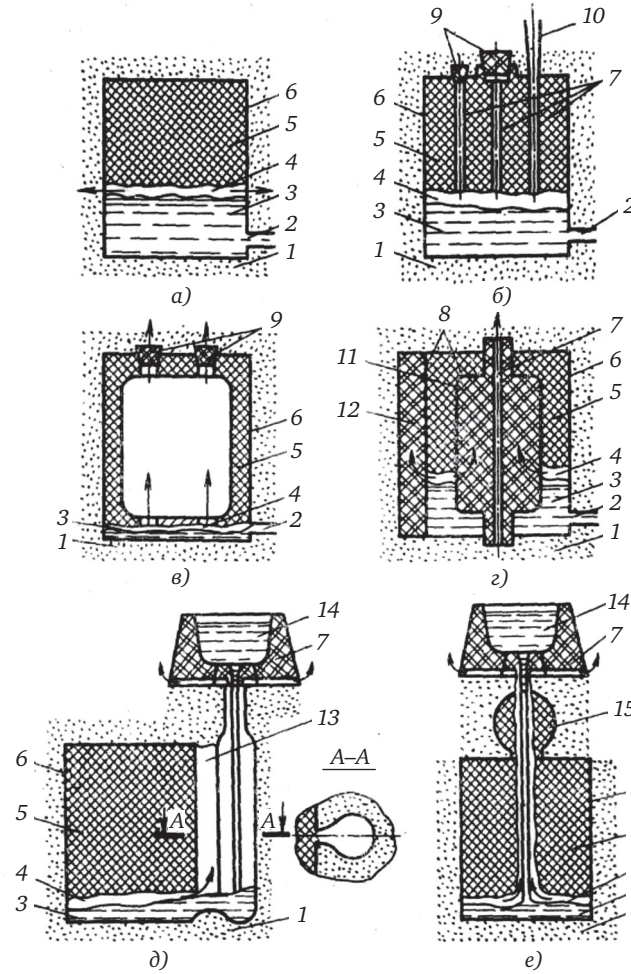


Рис. 8.2. Способы вентиляции литейной полости и системы подвода металла: *а, б, в, г* — сифонный подвод металла; *д* — щелевой; *е* — верхний; *1* — ферромагнитный формовочный материал; *2* — сифонный подвод металла; *3* — расплав; *4* — газовый зазор; *5* — модель из пенополистирола; *6* — слой краски; *7* — вентиляционные каналы; *8* — участок модели, не покрытой краской; *9* — стержневая пробка; *10* — выпор; *11* — стержень внутренний; *12* — стержень внешний; *13* — щелевая подводяще-питающая литниковая система; *14* — чаша с диафрагмой; *15* — прибыль; стрелками показано направление движения газа

дении условия компактности конструкции наиболее эффективно выполняют подводяще-питающие системы со свободнопадающей струей, которая формируется диафрагмой, установленной в чаше (рис. 8.2, *д*, *е*). Скорость заливки регулируется размером отверстия в диафрагме. Сечение канала, соединяющего прибыль с литейной полостью, зависит только от толщины стенки отливки. Как видно из приведенных схем, литниковые системы с щелевыми питателями (рис. 8.2, *д*) и системы с верхним подводом металла (рис. 8.2, *е*) не только выполняют основные функции, но и позволяют удаляться газам.

При контакте с расплавом материал магнитной формы быстро нагревается. При нагреве ферромагнитного материала до температур выше 600 °С форма начинает разупрочняться, а при достижении температур, близких к точке Кюри, разупрочняется полностью. Поэтому важно знать температурное поле магнитной формы, образующееся вокруг охлаждающейся отливки (рис. 8.3). Для изучения температурного режима в форму из ферромагнитного дисперсного материала заливали по пенополистироловой модели чугунную плитку размером 150×150×15 мм. Температуру регистрировали пятью хромель-алюмелевыми термопарами,

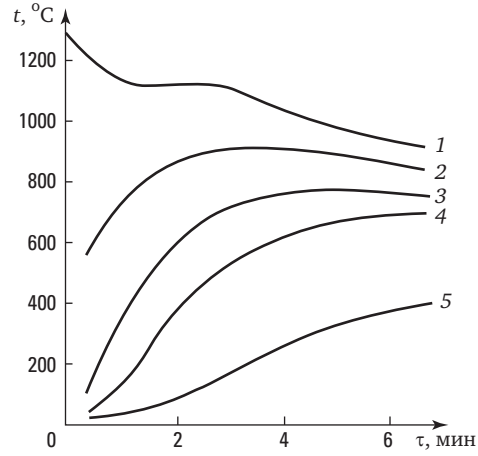


Рис. 8.3. Распределение температуры в магнитной форме из ДСК-08 при затвердевании чугунной плитки:

1 — на границе отливка—форма; *2* — на расстоянии 4 мм от поверхности; *3* — на расстоянии 8 мм; *4* — на расстоянии 12 мм; *5* — на расстоянии 22 мм

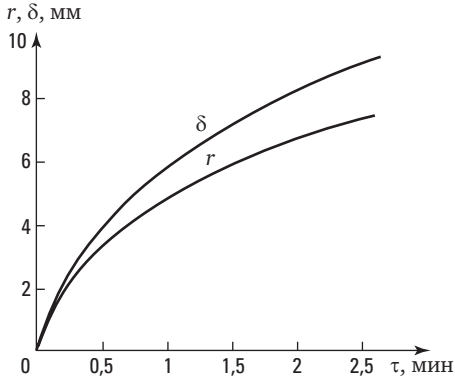


Рис. 8.4. Зависимость толщины корки отливки *r* и толщины δ разупрочненного слоя формы из ДСК-08 от времени затвердевания чугунной плитки размерами 150×150×15 мм

одну из которых помещали на границе отливки и формы, а четыре располагали в форме на разных расстояниях от большой грани отливки.

Исследование показало, что слои материала формы, прилегающие к отливке, нагреваются выше 600 °С и, следовательно, разупрочняются. Однако нужно учитывать, что этот процесс сопровождается быстрым нарастанием корки отливки.

На рис. 8.4 приведена кривая, характеризующая процесс нарастания корки отливки. Для сравнения построена кривая зависимости толщины разупрочненного слоя формы от времени остывания отливки. Как видно из последнего графика, эти кривые близки друг к другу. На толщину разупрочненного слоя существенно влияют примеси, содержащиеся в ферромагнитном формовочном материале, особенно примесь кремния.

Разупрочнение слоев формы, прилегающих к отливке, как правило, не приводит к браку отливок, так как разупрочненный слой оказывается зажатым между «монолитной» массой формы, сохранившей магнитные свойства, и коркой отливки, толщина и прочность которой быстро увеличиваются.

При превышении некоторого значения индукции магнитного поля, характерного для каждого материала, магнитная форма теряет свою устойчивость. Это явление выражается в том, что начинается зарастание полости формы, причем только со стороны поверхностей, перпендикулярных магнитным силовым линиям. Зарастание полостей в магнитной форме, наблюдаемое при увеличении индукции поля, можно объяснить тем, что в процессе формовки частицы ферромагнитного материала фиксируются в различных положениях. В магнитном поле эти частицы поворачиваются.

В относительно слабых магнитных полях возникающие моменты сил недостаточны для поворота частиц, так как этому препятствуют силы трения и силы сцепления, возникающие вследствие притяжения частиц. При увеличении индукции магнитного поля моменты сил возрастают и достигают значений, достаточных для преодоления сил сцепления частиц. Первыми поворачиваются частицы, находящиеся у поверхности полости. Плотность упаковки частиц уменьшается, наиболее намагниченные частицы (крупные и имеющие удлиненную форму) притягивают соседние, и происходит внедрение в полость формы.

Отрицательное влияние зарастания при получении отливок в магнитных формах в случае неправильно выбранной величины индукции магнитного поля проявляется в образовании специфического дефекта отливки: в слои отливки, перпендикулярные магнитным силовым линиям, внедряются частицы ферромагнитного формовочного материала.

Зарастание полости зависит от вида применяемого формовочного материала и индукции магнитного поля. Дисперсные ферромагнитные материалы ДЧЛ-08 и ДСЛ-08, форма частичек которых близка к шарообразной, имеют наименьшую величину зарастания. Кроме того, величина зарастания зависит от геометрии полости и ее ориентации в магнитном поле. Для уменьшения вероятности зарастания модель в процессе формовки нужно ориентировать по возможности таким образом, чтобы при помещении формы в магнитное поле более длинные стороны модели были расположены вдоль магнитных силовых линий.

При производстве отливок в магнитных формах пенополистироловые модели обычно покрывают слоем противопригарной краски, которая также способствует уменьшению вероятности образования дефектов отливок вследствие зарастания.

При изготовлении толстостенных отливок, в особенности из высоколегированных сталей (например, 5ХНМ и др.), для получения чистой поверхности могут потребоваться сравнительно толстые (в несколько слоев) и плотные покрытия моделей. Газопроницаемость такого покрытия весьма мала, и при сифонной заливке формы «кипят». Для вывода газов из литейной полости в таких случаях необходимо применять специальные приемы: вентиляцию формы, установку стержней, изготовление полых моделей и др.

8.3. Регенерация формовочных смесей

При получении отливок по пенополистироловым моделям в формах из ферромагнитных дисперсных материалов для обеспечения стабильных прочностных характеристик магнитной формы требуется непрерывно поддерживать определенное соотношение между ферромагнитной составляющей и немагнитными включениями.

Необходимая прочность магнитной литейной формы достигается, если засоренность металлической дроби немагнитными включениями (обломки песчано-глинистых стержней, стояков, остатки противопригарных покрытий, продукты деструкции моделей и т.д.) не превышает 10%. Поэтому для создания поточных линий получения отливок в магнитных формах требуется достаточно высокая степень очистки ферромагнитных сыпучих материалов при высокой производительности и минимальных потерях ферромагнитной составляющей (не более 0,1%).

На рис. 8.5 приведен агрегат для двухступенчатой очистки ферромагнитных формовочных материалов. Его особенность заключается в том, что в нем ферромагнитный сыпучий материал вначале очищается электромагнитным сепаратором со свободнопадающим мимо электромагнита потоком материала, этим достигаются высокие производительность и степень очистки от немагнитных включений с последующей очисткой отходов в сепараторе, где они перемещаются по наклонному желобу под магнитами, извлекающими из отходов остатки ферромагнитной составляющей, обеспечивая ее минимальные потери.

Основную функцию по очистке металлической дроби выполняет сепаратор со свободнопадающей струей дроби. В этом сепараторе дробь пропускают по обе стороны соленоидального отклоняющего электромагнита *2*, установленного под трубопроводами *1* между их щелевыми отверстиями, перпендикулярными плоскости его витка. Под воздействием сил гравитации немагнитные включения попадают в бункер *5*, а ферромагнитные частицы подвергаются воздействию относительно равномерно распределенного поля рассеяния в активной зоне сепарации. В результате этого воздействия искривляются траектории движения ферромагнитных частиц, которые попадают в приемный бункер *3*. Для предот-

вращения налипания ферромагнитных частиц на боковую поверхность электромагнита *2*, возникающего при неизбежных изменениях геометрии и плотности падающей струи, периодически поток смеси в трубопроводах отсекается удерживающим электромагнитом. С выдержкой времени отключают отклоняющий электромагнит и включают два захватывающих электромагнита *4*, установленные на боковых стенках приемного бункера *3*. Отделившиеся от электромагнита *2* частицы захватываются электромагнитами *4*. После этого вновь устанавливают нормальный режим сепарации. Захваченные электромагнитом частицы поступают в бункер *3*.

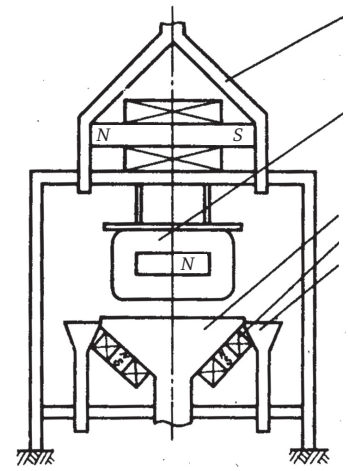


Рис. 8.5. Конструкция вертикального электромагнитного сепаратора:
1 — трубопровод; *2*, *4* — электромагниты; *3*, *5* — бункеры

Тем не менее в бункер для немагнитного материала попадает некоторое количество ферромагнитных частиц. Для их извлечения отходы, поступившие в бункер, пропускают по разветвленному желобу, между рукавами которого по всей длине устанавливают импульсные электромагниты. При этом немагнитные частицы под действием сил гравитации перемещаются по желобу и поступают в соответствующий приемник. Ферромагнитные частицы по ходу движения отработанного формовочного материала извлекаются одновременно из двух рукавов желоба импульсными электромагнитами и поступают в бункер для последующего использования.

Желобковый сепаратор (рис. 8.6) состоит из разветвленного наклонного желоба *1*, импульсных электромагнитов разной мощности *2*, приемного бункера для немагнитных частиц *4*. Сепаратор работает следующим образом: на верхнюю часть наклонного желоба *1* подают отработанный ферромагнитный сыпучий материал. Ферромагнитные частицы по ходу движения материала подвергают воздействию импульсных электромагнитов, извлекают из желоба, и они поступают в бункер *3*. Немагнитные частицы

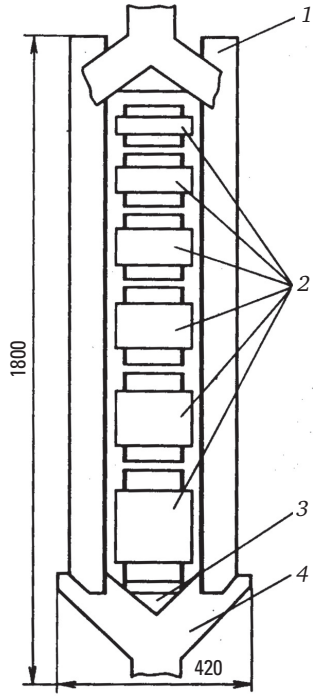


Рис. 8.6. Конструкция желобкового электромагнитного сепаратора:
1 — желоб; *2* — электромагнит; *3* и *4* — бункеры

под действием сил гравитации перемещаются вниз по желобу и попадают в бункер *4*. Материал движется по желобу с равномерным ускорением, и энергия частиц по мере перемещения вниз возрастает. Поэтому для равномерного извлечения ферромагнитных частиц по всей длине желоба электромагниты выполняются неодинаковыми: ширина их сердечников увеличивается от верхнего к нижнему концу желоба. Частоту воздействия электромагнитов выбирают и зависимости от производительности, соотношения магнитных и немагнитных составляющих и магнитной проницаемости материала.

Потери металлического песка в установившемся режиме сепарации не превышают 0,08% от общей массы очищаемой металлической дроби.

Для регенерации металлического песка применяют также аппарат, работающий по принципу кипящего слоя, который позволяет проводить одновременно с очисткой быстрое охлаждение песка после выбивки отливки.

Аппарат (рис. 8.7) представляет собой металлический корпус *6* цилиндрической формы высотой 2 м и внутренним диаметром 25 см.

В нижней части камеры внутри расположена беспровальная решетка *4* с живым сечением, позволяющим проводить нормальное кипение песка. Материал в аппарат поступает сверху через загрузочную воронку *1*. Выход очищенного песка осуществляется через желоб *5*, расположенный над решеткой. Для регулирования засыпки и выхода песка в камере установлены шиберные затворы. Осаждение удаляемой пыли происходит в циклоне *2*. Подачу воздуха осуществляют из сети через диафрагму *3* под воздухораспределительную решетку.

Сущность процесса очистки и охлаждения песка в аппарате заключается в следующем. Холодный воздух поступает под газораспределительную решетку аппарата и проходит через слой засыпанного песка.

При достижении воздухом критической скорости зерна песка переходят во взвешенное состояние и, перемещаясь, создают кипящий слой. При этом пылевидные частицы, скорость витания которых меньше критической скорости (кипения) основной массы песка, подхваченные потоком воздуха, уносятся в циклон. Взвешенное состояние песка способствует увеличению контакта частиц с воздухом, что увеличивает теплообмен. В таких условиях охлаждение горячего формовочного материала происходит с большей скоростью.

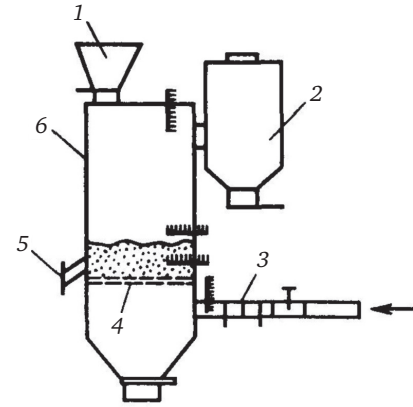


Рис. 8.7. Установка с кипящим слоем:

1 — загрузочная воронка; *2* — циклон; *3* — диафрагма; *4* — газораспределительная решетка; *5* — желоб; *6* — корпус

Оптимальной рабочей скоростью является скорость потока воздуха в слое, равная 0,8 м/с, так как при этом обеспечивается полный унос пылевидных фракций с сохранением рабочих фракций формовочного материала. При производительности аппарата 150 кг/ч с расходом воздуха в 120 $м^3$/ч время охлаждения от 350 до 50 °С составляет 12 мин.

Аппарат очищает металлический песок от кварцевых включений в среднем на 12%. Невысокая степень очистки объясняется тем, что скорость витания (уноса) крупных зерен кварцевого песка превышает принятую скорость воздуха в слое. Очистка идет только от пылевидных кварцевых зерен.

Аппараты с кипящим слоем рекомендуются для очистки формовочного металлического песка от запыленности при одновременном его охлаждении. При этом рекомендуется рабочая скорость воздуха в слое, равная 0,8…0,9 м/с. Повышения производительности процесса регенерации можно достичь за счет увеличения площади рабочей решетки и увеличения количества аппаратов.

Так как аппарат не обеспечивает полной очистки материала от засорений кварцевым песком, при проектировании автоматических линий рекомендуется применять установку кипящего слоя с последующим использованием магнитной сепарации.

8.4. Намагничивание устройства

Магнитная формовка требует создания в заданном объеме пространства постоянного магнитного поля с индукцией определенной величины. Для этого могут быть использованы различные намагничивающие устройства (рис. 8.8): постоянные магниты U-образной формы; катушки Гельмгольца; U-образные электромагниты; соленоиды. Намагничивающие устройства с постоянными магнитами (рис. 8.8, *а*) позволяют создавать магнитное поле в течение длительного времени без какого-либо потребления мощности, однако в этом случае невозможно регулировать величину индукции магнитного поля при постоянном воздушном зазоре, что ограничивает номенклатуру получаемых этим способом отливок. Катушки Гельмгольца (рис. 8.8, *б*), представляющие собой в идеальном виде два кольцевых витка, соединенных последовательно и расположенных на расстоянии радиуса витка, позволяют получить однородное магнитное поле, однако вследствие его малой напряженности могут найти лишь ограниченное применение для магнитной формовки. В установках магнитной формовки наибольшее распространение находят соленоиды (рис. 8.8, *г*) и U-образные электромагниты (рис. 8.8, *в*), по-

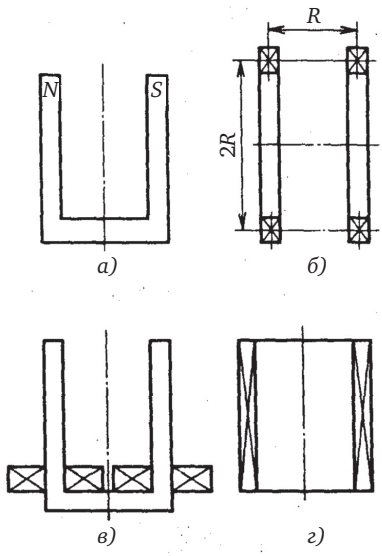


Рис. 8.8. Виды намагничивающих устройств для установок магнитной формовки:
а — U-образный постоянный магнит; *б* — катушка Гельмгольца; *в* — U-образный электромагнит; *г* — соленоид

зволяющие создавать магнитное поле достаточно большой величины и обеспечивающие возможность его регулировки в широких пределах путем изменения силы тока в катушках.

U-образный электромагнит (рис. 8.9) имеет ферромагнитный сердечник (магнитопровод) с рабочим воздушным зазором, в который помещают опоки. Конструкция такого намагничивающего устройства предусматривает регулировку величины воздушного зазора для опок различного размера.

Вокруг сердечника располагаются катушки возбуждения симметрично относительно полюсов электромагнита для получения более однородного поля в зазоре. Особенностью такого намагничивающего устройства является наличие большого воздушного зазора, величина которого определяется размерами опоки. Для получения в таком воздушном зазоре достаточно большой индукции магнитного поля требуется значительная величина намагничивающей силы, создаваемой катушками возбуждения. Повышенное рассеяние магнитного потока, наблюдаемое в намагничивающих устройствах с большими воздушными зазорами, также требует увеличения намагничивающей силы катушек. Несмотря на то что при установке опоки с дробью в намагничивающее устройство воздушный зазор заполняется дисперсным ферромагнитным материалом, это не приводит к заметному уменьшению потоков рассеяния вследствие малой магнитной проницаемости дроби. Мощность, потребляемая U-образными электромагнитами, в значительной мере зависит от размера и геометрии опок и ее ориентации относительно полюсов электромагнита. С увеличением размера опок потребляемая мощность резко возрастает. Более выгодными с энергетической точки зрения являются электромагниты, проектируемые с учетом расположения прямоугольных опок длинной стороной вдоль направления магнитного поля.

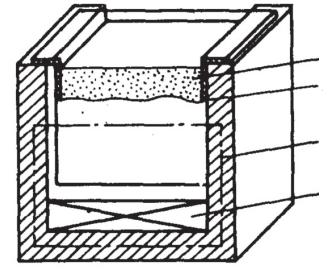


Рис. 8.9. U-образный электромагнит для магнитных форм:
1 — ферромагнитный формовочный материал; *2* — стека опоки; *3* — сердечник электромагнита; *4* — окно обмотки

Основные параметры электромагнитов в зависимости от размеров опок приведены в табл. 8.11.

8.11. Основные параметры электромагнита

Параметр	Значения параметров для опок размерами, мм			
	400×400×400	500×500×500	700×700×700	1000×1000×1000
Магнитная индукция B_{max}, Т	0,1	0,1	0,1	0,1
Толщина сердечника δ, см	5	10	10	10
Магнитодвижущая сила F, А	$32 \cdot 10^3$	$36 \cdot 10^3$	$54 \cdot 10^3$	$92 \cdot 10^3$
Мощность, Вт	1300	1800	3200	8100

Намагничивающее устройство представляет собой обмотку возбуждения на цилиндрическом каркасе из немагнитного материала. Особенность получения магнитных форм с помощью соленоида заключается в существенном влиянии геометрии формы на величину устанавливаемой в ней индукции магнитного поля. В соленоиде магнитная форма образует незамкнутый магнитопровод, что приводит к появлению магнитного поля, направленного навстречу магнитному полю соленоида (как и при использовании U-образного электромагнита). Напряженность магнитного поля вдоль оси соленоида постепенно убывает от центра к его краям. Определять параметры соленоида следует с учетом достижения заданной индукции магнитного поля на его краях, так как из расчета магнитных форм следует, что наибольшая индукция должна быть в районе потолка формы.

При выборе устройства того или иного вида следует учитывать, что неоднородность магнитного поля, характерная для соленоидов, отрицательно влияет на стабильность магнитной формы, так как доведение до необходимой прочности одних частей формы может приводить к зарастанию полостей других частей, оказавшихся в более сильном магнитном поле. Некоторое уменьшение неоднородности магнитного поля внутри соленоида может быть достигнуто применением катушек со специальной намоткой, однако это связано с усложнением технологии изготовления соленоида и с увеличением потребляемой мощности.

Соленоиды в качестве намагничивающих устройств целесообразно применять для получения отливок типа гильз. Так как магнитное поле соленоида направлено вдоль оси, то модель гиль-

зы можно располагать вертикально, что при наилучших условиях упрочнения болвана значительно облегчает его формовку.

В большинстве случаев, несмотря на необходимость изготовления массивного сердечника, более перспективными оказываются U-образные электромагниты, основные преимущества которых заключаются в следующем: в зазоре сердечника U-образного электромагнита может быть получено более однородное магнитное поле, следовательно, большая равномерность свойств магнитных форм в различных сечениях и более стабильные производственные результаты; U-образный электромагнит позволяет иметь в установке для магнитной формовки проходную позицию, что облегчает его встраивание в поточную линию; расположение катушек возбуждения ниже опоки уменьшает вероятность попадания на них расплавленного металла при заливке и делает установку более надежной.

8.5. Технико-экономические показатели и область применения

Комплексные исследования и накопленный опыт производства отливок в магнитных формах позволяют выделить основные технико-экономические достоинства и рациональную область их применения.

Магнитная формовка может применяться практически для любого вида производства. Процесс получения отливок легко поддается автоматизации.

С точки зрения экономической эффективности, применение нового способа литья наиболее целесообразно в индивидуальном (до 6…8 шт.) и крупносерийном производствах. В индивидуальном производстве экономичность перехода к новому способу в существенной мере обусловливается сложностью и развесом отливок. Практика показывает, что при переводе индивидуальных отливок, изготовляемых по деревянным моделям в песчаные формы, на литье по газифицируемым моделям в магнитные формы себестоимость 1 т годного снижается в зависимости от сложности и развеса. Чем сложнее конфигурация отливки и больше ее масса, тем целесообразнее переход к новому способу литья. При этом

основными компонентами экономии являются снижение затрат на материалы (60…70%) и сокращение трудоемкости (30…40%). В расчетах экономии по материалам необходимо учитывать: изменение затрат на основные и вспомогательные материалы для моделей; изменение затрат по материалам для формы: стержням, метизам, топливу, противопригарной краске; изменение затрат по материалам отливок.

Анализ затрат по материалам показывает, что большую долю экономии составляют основные материалы для моделей (около 60%) и металл на отливки (около 10%).

При оценке экономии от снижения трудозатрат следует учитывать изменение трудоемкости изготовления моделей, форм, стержней, обрубных работ, механической обработки. Повышение точности отливок, полученных по газифицируемым моделям, позволяет на 30…50% уменьшить припуски, что дает значительный эффект на механической обработке. В сумме экономического эффекта следует также учитывать снижение транспортных расходов, связанных с перемещением грузов в модельном цехе.

При оценке экономической эффективности внедрения процесса литья по газифицируемым моделям необходимо учитывать главную его особенность — одноразовое использование моделей. В связи с этим при расчетах экономии в индивидуальном производстве следует учитывать повторяемость отливок, изготовляемых ранее по деревянным моделям, а в крупносерийном — факторы экономии процесса литья по газифицируемым моделям по сравнению с повышенными затратами на вспомогательные материалы — стоимость пенополистироловых моделей.

В крупносерийном производстве применение способа литья по газифицируемым моделям в формах с ферромагнитным наполнителем позволяет значительно повысить размерную точность отливок, резко уменьшить, а в ряде случаев и совсем устранить припуски на механическую обработку, высвободить до 50% производственных площадей и улучшить использование оборудования. Создание высокопроизводительного механизированного и автоматизированного комплекса по изготовлению отливок в магнитных формах меняет структуру и значение отдельных факторов экономического эффекта по сравнению с показателями для индивидуального производства.

В крупносерийном производстве литья по газифицируемым моделям основными составляющими экономии являются: металл отливок — 50%; трудоемкость — 20%; расходы на содержание оборудования в механическом цехе — 15%; снижение внешнего брака — 10%.

Экономией по этим факторам окупаются дополнительные текущие затраты на вспомогательные материалы и эксплуатацию магнитной установки (составляющие всего 0,3% общих затрат на электроэнергию). Общее снижение себестоимости отливок достигает 28%. Увеличением годовой производительности оборудования для литья по газифицируемым моделям обусловливаются снижение удельных капитальных вложений по литейному комплексу на 35% и окупаемость общих дополнительных капитальных вложений в течение первого года внедрения новой технологии с высокой экономической эффективностью по приведенным затратам.

Магнитная формовка по сравнению с традиционными способами литья обладает целым рядом особенностей, способствующих повышению качества отливок. Металл заливают в форму, упрочненную магнитным полем, а затвердевание и последующее охлаждение отливки происходят вне магнитного поля. Отсутствие сил сцепления между частицами и уменьшение размеров отливки в процессе затвердевания и охлаждения приводят к перераспределению укладки зерен наполнителя в прилегающем к отливке слое формы, т.е. к уменьшению плотности формы. Это уменьшает силовые взаимодействия формы и отливки, что в свою очередь способствует увеличению усадки металла и уменьшению литейных напряжений. Таким образом в магнитной форме ликвидируется основная причина появления горячих трещин в отливках. Это особенно важно при получении отливок из стали и медных сплавов, склонных к образованию горючих трещин. Увеличенная скорость затвердевания отливки в магнитной форме приводит к измельчению первичной структуры и снижению неоднородности металла. Механические свойства отливок из чугуна и медных сплавов, полученных в магнитной форме, на 10…15% и плотность на 4…6% выше, чем в песчаной. При магнитной формовке ликвидируются такие традиционные формы брака, как ужимы, земляные и газовые раковины, разностенность, смещение и другие, характерные для песчаных и разъемных форм.

В формовочном материале отсутствуют вредные соединения, содержащиеся в песчано-глинистых смесях. Упрощается контроль формовочного материала, сокращаются цикл формовки и период охлаждения благодаря повышенной теплоаккумулирующей способности формы. Уменьшаются энергозатраты на упрочнение формовочного материала (с помощью вибрации).

В настоящее время разработаны научно обоснованные эффективные технологические приемы литья по газифицируемым моделям, которые позволяют полностью ликвидировать специфические дефекты на поверхности чугунных отливок.

В связи с указанными преимуществами способ получения отливок по газифицируемым моделям в магнитной форме находит все более широкое применение в отечественной промышленности.

Область применения магнитной формовки весьма разнообразна: в судостроении и химическом машиностроении для отливок арматуры из чугуна и бронзы; рабочих колес центробежных насосов и других ответственных деталей ходовых частей машин массой до 100 кг — в автомобильном, тракторном и тяжелом машиностроении и т.п.

При подборе номенклатуры необходимо исходить, прежде всего, из следующего. Конфигурация отливок должна обеспечивать возможность изготовления модели в одной пресс-форме без линии разъема, при этом допускается дополнительное изготовление отдельных отъемных элементов модели. Возможно изготовление отливок средней сложности, подвергающихся значительной механической обработке, гидроиспытаниям, а также отвечающих требованиям повышенной точности в литом состоянии или высокого качества обработанной поверхности.

На рис. 8.10 приведена компоновка технологического оборудования для производства отливок по газифицируемым моделям в магнитной форме. Исходное сырье *1* для изготовления модели подают на позицию рассева на фракции *2*, откуда оно поступает в расходный бункер *3*, а затем в подвспениватель *4*. Предварительное вспенивание является важной технологической операцией, определяющей насыпную массу гранул, а следовательно, и конечную объемную массу моделей и качество их поверхностей. Подвспениватель состоит из цилиндрического теплоизолированного резервуара, в нижнюю часть которого из расходного бункера шнековым питателем подает-

ся исходный материал. Внутри резервуара расположен ворошитель для перемешивания подвспенивающихся гранул.

По полым трубчатым конструкциям ворошителя подается перегретый пар под давлением 0,5…0,8 атм ($0{,}5 \cdot 10^5 ... 0{,}8 \cdot 10^5$ Па). В верхней части резервуара проводится отбор подвспененного полистирола, который затем поступает в следующий расходный бункер *5*. Для изготовления моделей применяют автоматические установки *6*, которые выполняют следующие операции технологического процесса: загрузку гранул пенополистирола в пресс-форму; спекание моделей в пресс-форме с использованием метода теплового удара; охлаждение пресс-формы; извлечение моделей и другие вспомогательные операции, например, раскрытие и закрытие пресс-формы, смазку разделительной жидкостью.

Нанесение противопригарного покрытия на блоки моделей проводят на конвейере в проходной ванне *7* методом окунания. Сушку покрытия модельных блоков осуществляют в проходном конвейерном сушиле *8* в потоке подогретого воздуха с температурой 50…55 °С.

Время сушки первого слоя 20…25 мин. Второй слой противопригарного покрытия наносят в такой же последовательности, как и первый. Время сушки второго слоя 45…50 мин. Толщина двухслойного покрытия 0,4…0,8 мм.

Автоматизированная поточная линия *9* для формовки, заливки, охлаждения и выбивки отливок обеспечивает механизацию технологических и транспортных операций. Линия работает следующим образом. На предварительно засыпанную в опоку постель устанавливают блок моделей и сверху из бункеров насыпают металлический песок. Уплотнение наполнителя обеспечивается вибраторами. Заформованные опоки подают в магнитный узел, где на время заливки и кристаллизации отливок включают магнитное поле. Залитые опоки поступают в охладительную камеру. Охлажденные формы подают на кантователь, который опрокидывает форму на инерционную решетку. Отливки по уклону решетки поступают в контейнеры, в которых их отправляют на последующую обработку. Металлический песок, проходя сквозь решетку, поступает в охладительную установку кипящего слоя, затем проходит магнитную сепарацию. Регенерированный формовочный материал опять поступает на линию формовки.

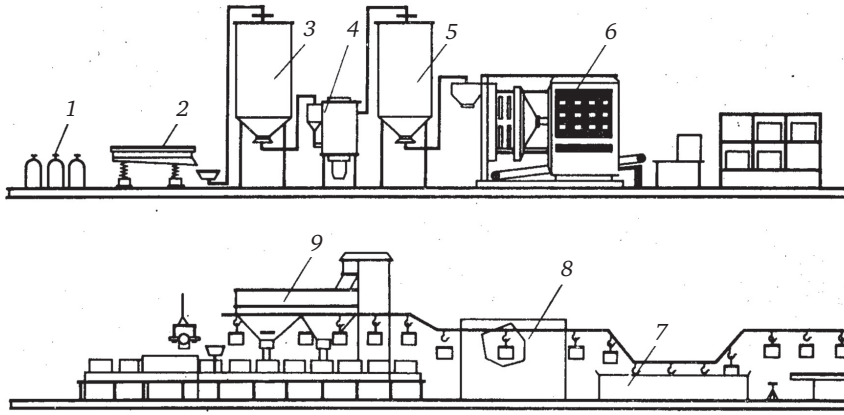


Рис. 8.10. Компоновка технологического оборудования для производства отливок по газифицируемым моделям в магнитной форме:
1 — исходное сырье (полистирол); *2* — установка для рассева; *3*, *5* — расходные бункеры; *4* — подвспениватель; *6* — автомат для изготовления моделей; *7* — проходная ванна; *8* — сушитель; *9* — поточная линия

Разработан способ серийного изготовления отливок по газифицируемым моделям в формах из сыпучих ферромагнитных материалов в магнитном поле.

Сущность способа заключается в следующем (рис. 8.11): литейную опоку устанавливают на вибростол *7* между полюсами постоянного электромагнита и засыпают слоем ферромагнитного песка (дроби) высотой 25…30 мм для образования постели.

После этого устанавливают с помощью приспособления *5* модель *4* (из пенополистирола), и опоку *6* засыпают из бункера *2* и дозатора *3* металлическим песком. Затем включают электромеханический вибратор с амплитудой колебаний 0,4…0,75 мм и частотой 25…50 Гц, и формовочный материал за 20…40 с уплотняют с 2,9 до 4 г/см^3.

При заливке и кристаллизации металла форма находится в постоянном магнитном поле электромагнита *1*. Частицы металлического песка сцепляются между собой, что предотвращает деформацию формы. Под действием тепловой энергии расплава модель газифицируется и замещается металлом.

После кристаллизации отливки магнитное поле снимают, металлический песок практически размагничивается, форму пере-

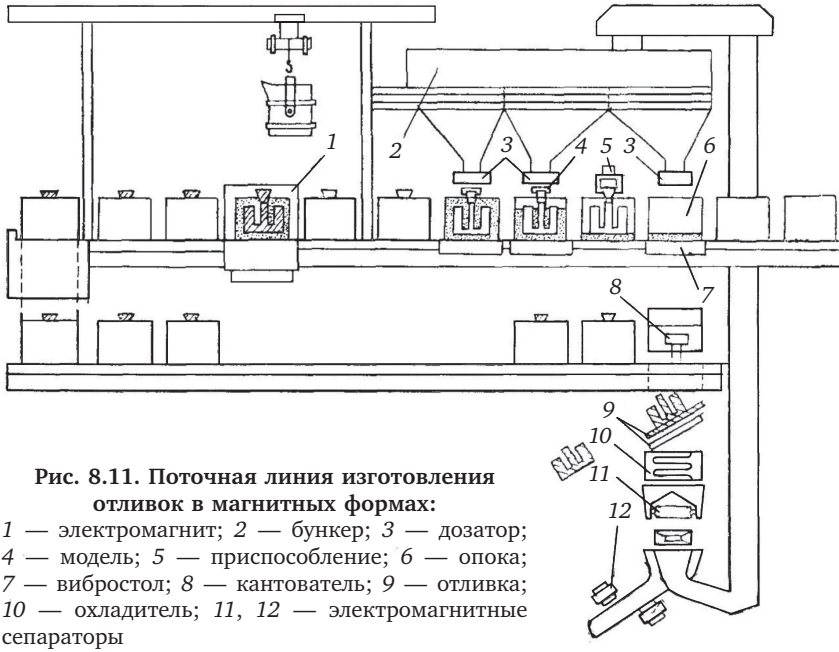


Рис. 8.11. Поточная линия изготовления отливок в магнитных формах:
1 — электромагнит; *2* — бункер; *3* — дозатор; *4* — модель; *5* — приспособление; *6* — опока; *7* — вибростол; *8* — кантователь; *9* — отливка; *10* — охладитель; *11*, *12* — электромагнитные сепараторы

ворачивают кантователем *8*, отливку *9* извлекают из формы, а металлический песок после охлаждения в охладителе *10* и регенерации в электромагнитных сепараторах *11* и *12* поступает снова на участок формовки. Металлический песок является постоянным формовочным материалом, и при нормальной эксплуатации потери его незначительны.

Для изготовления формы применяют металлические дроби марок ДЧК и ДСК (с размером зерна 0,3…0,5 мм) из магнитомягких материалов с малой величиной остаточной намагниченности. Как показали исследования, магнитные характеристики этих песков после многократного использования изменяются незначительно.

Чтобы получить отливки заданных размеров, необходимо сохранять прочность формы на весь период ее изготовления и заливки.

Газифицируемые модели изготовляют на автоматах из предварительно вспененного в водяной или паровой ванне при 100… 105 °С полистирола марки ПСВ-Л. Режим вспенивания устанавливают для каждой партии полистирола экспериментально. После

сушки и выдержки гранулы пенополистирола подают в пресс-формы автоматической установки, где проводится окончательное вспенивание и заканчивают получение моделей.

Оптимальный объем массы моделей 0,02…0,025 г/см^3.

Окраску модели проводят методом окунания. Толщина слоя краски 0,3…0,8 мм.

Применение новой технологии производства отливок позволяет снизить себестоимость отливок по сравнению с изготовлением их в формах из песчано-глинистых смесей; исключить изготовление стержней, сборку форм, приготовление стержневых и формовочных смесей; уменьшить трудоемкость выбивки, обрубки и очистки литья; уменьшить массу отливок на 10…20% за счет снижения припусков на механическую обработку и ликвидации уклонов на модели; повысить точность отливок и чистоту поверхности отливок.

За рубежом фирма Brown Boveri Co. разработала установки для изготовления отливок по газифицируемым моделям в формах из магнитных материалов. Для изготовления отливок сложной конфигурации из чугуна, стали и цветных сплавов по газифицируемым моделям эта фирма выпускает формовочные установки типа MFA, технические характеристики которых представлены в табл. 8.12.

8.12. Основные параметры установок типа MFA

Модель	Размеры опок, мм	Производительность, форм/ч	Продолжительность заливки и охлаждения, с	Такт, с	Объем опок, м^3	Средняя производительность литья, кг/ч	Габариты установок, м
433	400×300×300	48	225	75	0,036	384	7,8×4,2×5,2
644	600×400×400	40	270	90	0,096	600	9,2×4,4×5,2
755	700×500×500	30	360	120	0,175	650	10,0×4,6×5,2

В состав установок входят участок засыпки и вибрации, электромагнит, участок охлаждения и выбивки, виброжелоб для разделения отливок и магнитного формовочного материала, участок возврата опок, устройства для охлаждения и транспортирования

магнитного наполнителя формы в расходный бункер. Установка снабжена отсасывающими устройствами в местах возможного пылеобразования и газовыделения.

В качестве формовочной смеси на указанных установках применяют мелкозернистый магнитный материал. Окрашенную пенополистироловую модель засыпают магнитным материалом, для плотной упаковки частиц которого применяют вибрацию.

Для лучшего распределения и уплотнения формовочного материала предусматривается поворот (покачивание) формы при вибрации. Форму подают в пространство между полюсами электромагнита пневмотолкателем. Перед заливкой расплава в форму включают электромагнит. После образования корочки затвердевшего металла магнитное поле снимают. За это время заформовывается следующая опока, которая поступает на заливку, перемещая залитую опоку на участок охлаждения (на один такт).

После охлаждения отливки форма разрушается на виброжелобе, формовочный материал отделяется от отливки, охлаждается и поступает на повторное использование. Устройство для создания магнитного поля в этих установках выполнено также независимым от опок, что позволяет использовать конвейер для транспортных операций. Установки имеют позиции засыпки в опоки ферромагнитного наполнителя, вибрационного и электромагнитного упрочнения формы, охлаждения, выбивки и снабжены устройствами для извлечения отливок, регенерации наполнителя и отсоса газовыделений.

На некоторых установках для равномерного и компактного заполнения опок (особенно карманов и поднутрений) наполнителем предусмотрен поворот (покачивание) формы при вибрации. Постоянное магнитное поле создают U-образным электромагнитом. Заливку форм осуществляют на позиции электромагнитного упрочнения, где форма остается до образования прочной корочки на поверхности отливки. После чего магнитное поле снимают, и форму по конвейеру передают на позиции охлаждения и выбивки отливки.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность литья в магнитные формы?
2. Назовите формовочные материалы, используемые при изготовлении магнитных форм.
3. Назовите материалы для изготовления моделей и особенности опок для магнитной формовки.
4. Какие существуют способы нанесения противопригарных покрытий на пенополистироловые модели?
5. Назовите основные этапы и их особенности при проектировании технологии литья в магнитные формы.
6. Какие существуют способы подвода металла в литейную полость и отвода газов, образующихся при газификации модели?
7. Перечислите характерные дефекты при литье в магнитные формы.
8. Назовите виды намагничивающих устройств и их особенности.
9. Назовите преимущества и недостатки литья в магнитные формы, область применения.

Список литературы

1. **Тауэр М.В.** Применение способа магнитной формовки в литейном производстве // Технология, организация и механизация литейного производства (ЦНИИТЭИтяжмаш). 1979. №31.

2. **Зальцман Ю.Е.** Литейные магнитные формы. — М.: НИИмаш, 1974. 63 с.

3. **Литье** по газифицируемым моделям. Инженерные монографии / под ред. Ю.А. Степанова. — М.: Машиностроение, 1976. 224 с.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Литье под регулируемым давлением

Существует несколько способов литья под регулируемым давлением:

- литье под низким давлением;
- литье под низким давлением с противодавлением (или просто литье с противодавлением);
- литье вакуумным всасыванием;
- литье вакуумным всасыванием с кристаллизацией под давлением (вакуумно-компрессионное литье).

Сущность всех способов литья под регулируемым давлением заключается в том, что заполнение полости формы расплавом и затвердевание отливки происходят под действием избыточного давления воздуха или газа, создаваемого в камере с расплавом.

9.1. Литье под низким давлением

В соответствии с ГОСТ 18169—86 литье под низким давлением — это литье металла, осуществляемое в кокиль на заливочной установке низкого газового давления.

На рис. 9.1 показана одна из установок для литья под низким давлением, на которой получают отливки из алюминиевых сплавов в металлических формах с горизонтальной плоскостью разъема. Металлораздатчик *7* установки — герметизированная электропечь сопротивления ванного типа с заливочной горловиной, закрывающейся футерованной крышкой *6* на поролоновой прокладке. На раме *8* печи расположена плита *5* с металлопроводом *4* из жаростойкого материала. К нижней стороне этой плиты на болтах подвешен свод печи с нагревателями, а на верхней плоскости закреплена нижняя неподвижная половина формы *9*. Верхняя половина формы *10* крепится в пазах подвижной траверсы *3*. На

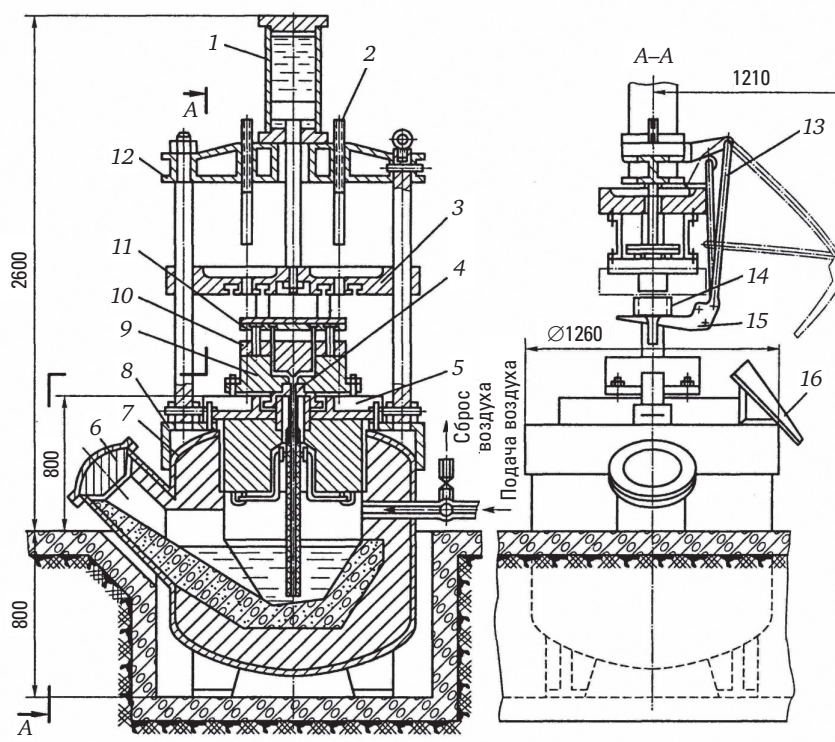


Рис. 9.1. Установка для литья под низким давлением (получение отливок из алюминиевых сплавов):

1 — гидроцилиндр; *2* — штанги для движения плиты толкателей; *3* — подвижная траверса; *4* — металлопровод; *5* — плита; *6* — крышка заливочного окна; *7* — металлораздатчик; *8* — рама печи; *9* — нижняя половина формы; *10* — верхняя половина формы; *11* — плита толкателей; *12* — неподвижная траверса; *13* — рычажный механизм; *14* — отливка; *15* — приемный лоток; *16* — склиз

неподвижной траверсе *12* размещен гидроцилиндр *1*, предназначенный для перемещения верхней половины формы. Регулируемые по высоте штанги *2* служат для выталкивания отливки плитой толкателей *11* из верхней половины формы. Отливка *14* удаляется из рабочего пространства установки вспомогательным устройством, состоящим из приемного лотка *15*, перемещаемого рычажным механизмом *13*. При раскрытой форме лоток *15* находится под отливкой, при закрытой — отходит в сторону, сбрасывая отливку на склиз *16*. Металлопровод *4* погружают в расплав таким

образом, чтобы его конец не доходил до дна тигля на 40...60 мм. Полость в отливке может быть выполнена металлическим, оболочковым или песчаным стержнем.

Воздух или инертный газ под давлением до 0,05 МПа через систему регулирования поступает по трубопроводу внутрь герметичной камеры установки, где находится жидкий металл, и давит на зеркало расплава. Вследствие разности давления в камере установки и атмосферного давления в форме расплав поступает в полость формы снизу через металлопровод *4* со скоростью, регулируемой давлением в камере установки. По окончании заполнения формы давление в системе можно увеличивать до конца затвердевания отливки, после чего автоматически открывается клапан, соединяющий камеру установки с атмосферой. Давление воздуха в камере снижается до атмосферного, и незатвердевший расплав из металлопровода сливается в тигель. Металлопровод одновременно выполняет роль прибыли, компенсируя жидким металлом усадку затвердевающей отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры форма раскрывается, отливка выталкивается и цикл повторяется.

9.1.1. Особенности формирования отливки при литье под низким давлением

Главная особенность технологии литья под низким давлением — возможность регулирования в широких пределах скорости заполнения форм за счет регулирования расхода и давления сжатого воздуха. Такая особенность технологии позволяет обеспечить спокойное и плавное заполнение металлом формы в начальный период заливки с последующей быстрой заливкой всей формы. Для получения качественной отливки предпочтительно форму заполнять сплошным потоком, для этого должно выполняться условие:

$$\mathrm{Re} = \frac{UR}{\mu} < 2300,$$

где U — скорость потока; R — гидравлический радиус полости формы; μ — кинематическая вязкость расплава; Re — критерий Рейнольдса.

При таких скоростях обеспечивается качественное плавное заполнение формы и исключается захват воздуха расплавом, образование в отливках газовых раковин, попадание в них оксидных плен и неметаллических включений. Однако уменьшение скорости потока, необходимое для сохранения его сплошности, может вызвать преждевременное, т.е. до полного заполнения формы, охлаждение и затвердевание расплава. Поэтому, как и в других литейных процессах, важно согласовывать гидравлические и тепловые режимы заполнения формы расплавом.

Оптимальная скорость течения расплава в полости формы должна составлять U=0,4…0,6 м/с. Скорость потока U и расстояние Z, которое проходит расплав, пока температура его поверхности не становится равной температуре кристаллизации, можно определить из следующих выражений.

Для металлической формы (кокиля)

$$Z = \frac{c'\rho x_1 U}{\beta} \ln \frac{T_{зал} - T_ф}{T_{кр} - T_ф},$$

для песчаной формы

$$Z = \left(\frac{c'\rho x_1 \sqrt{U}}{1{,}13 b_ф} \ln \frac{T_{зал} - T_ф}{T_{кр} - T_ф} \right)^2,$$

где c' — теплоемкость расплава; ρ — плотность расплава; x_1 — половина толщины отливки; U — скорость потока в форме; β — коэффициент теплоотдачи между движущимся потоком расплава и стенкой формы, $\beta = \lambda_{кр}/x_{кр}$, $\lambda_{кр}$ — теплопроводность краски, $x_{кр}$ — толщина краски; $T_{зал}$ — температура заливаемого металла; $T_{кр}$ – температура кристаллизации сплава; $T_ф$ — температура формы; $b_ф$ — коэффициент аккумуляции тепла формой.

Тепловые особенности формирования отливки заключаются в следующем. По окончании заполнения формы под действием давления улучшается контакт затвердевшей корочки и поверхности формы, вследствие чего увеличивается скорость затвердевания отливки.

При литье под низким давлением обеспечивается направленность затвердевания отливки и питания ее усадки.

Направленность затвердевания обеспечивается следующим. Части формы, расположенные на плите (крышке) рабочей камеры установки (см. рис. 9.1), нагревают до температуры большей, чем температура верхней части формы. Кроме того, через нижние сечения полости формы, расположенные ближе к металлопроводу, проходит большое количество расплава, что существенно увеличивает разницу температур в нижней и верхней частях отливки. Поэтому массивные части отливки, требующие питания, располагают внизу формы, вверху формы располагают части отливки, не требующие питания.

Давление воздуха на расплав в тигле способствует постоянной подпитке усаживающейся отливки, в результате чего уменьшается пористость, возрастает плотность и повышаются механические свойства отливки.

Однако избыточное давление при заполнении формы может приводить к проникновению расплава в поры песчаного стержня (или формы) и появлению механического пригара на отливках.

Продолжительность выдержки затвердевающего расплава под давлением определяют длительностью затвердевания отливки. В идеальном случае эти величины ($\tau_{давл} = \tau_{зат}$) должны быть равны между собой, а практически время выдержки под давлением несколько превышает продолжительность затвердевания ($\tau_{давл} \geq \tau_{зат}$).

Продолжительность затвердевания отливки определяют по известным формулам.

Тепловые и гидравлические режимы зависят от химического состава и конструкции отливки. При литье под низким давлением стремятся заполнить форму расплавом с возможно меньшим перегревом, но достаточным для хорошего заполнения формы. С уменьшением толщины стенки отливки и увеличением ее размеров температуру заливки принимают большей. Температуру кокиля назначают с учетом свойств сплава, толщины стенки и размеров отливки, руководствуясь правилами, известными из практики кокильного литья.

Литниковые системы конструируют с учетом литейных свойств сплава и конструкции отливки. Для отливок простой конфигурации литниковая система может состоять из одного литника, непосредственно примыкающего к массивной части, для более слож-

ных тонкостенных отливок — из литника, литниковых ходов, коллектора и питателей.

9.1.2. Преимущества и недостатки литья под низким давлением и область применения

Основными *преимуществами* литья под низким давлением являются:

• автоматизация трудоемкой операции дозирования заливки форм;

• возможность регулирования скорости заполнения расплавом полости формы за счет изменения давления в камере установки, что особенно важно при получении тонкостенных отливок;

• улучшение питания отливки и условий направленного затвердевания, что повышает плотность, устраняет усадочные дефекты и повышает механические свойства отливки;

• снижение расхода металла на литниковую систему, а следовательно, повышение технологического выхода годного (ТВГ достигает 90%); незатвердевший расплав из металлопровода сливают в тигель — этим объясняется высокий ТВГ;

• получение тонкостенных отливок с толщиной стенки до 1,5 до 2 мм, т.е. в 1,5 раза меньше, чем при литье в кокиль.

Наряду с указанными преимуществами способ литья под низким давлением имеет *недостатки*:

• невысокая стойкость металлопровода (его нижней части, погруженной в расплав). Это основная проблема, которая сдерживает широкое применение этого способа для сплавов с высокой температурой плавления: чугуна и стали;

• сложность системы регулирования скорости заполнения расплавом формы. Это объясняется понижением уровня расплава в установке по мере изготовления отливок, что приводит к увеличению объема рабочего пространства камеры и уменьшению массы и глубины расплава в тигле; нестабильностью утечек воздуха через уплотнения и др.;

• возможность ухудшения качества сплава при длительной выдержке в тигле установки.

Отмеченные преимущества и недостатки способа позволяют определить область его рационального использования. Этот способ

наиболее широко применяют для изготовления сложных фасонных и, особенно, тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, простых отливок из медных сплавов в серийном и массовом производствах. Особенно эффективно создавать и эксплуатировать специализированную установку для производства одной или однотипных деталей. При этом динамические характеристики системы изменяются незначительно, и процесс литья становится устойчивым. При литье под низким давлением можно использовать металлические (кокиль), песчаные и комбинированные (кокиль с песчаным или оболочковым стержнем) формы. Но предпочтение отдают металлическим или комбинированным формам.

Установка литья под низким давлением может быть использована как раздаточная и как плавильно-раздаточная печь. В первом варианте расплав готовят в обычных плавильных печах, и в тигель установки заливают готовый сплав. В этом случае обеспечивается более высокая производительность. В мелкосерийном и опытном производствах, когда производительность не важна, плавку можно вести в тигле установки с последующей разливкой из этого же тигля.

Литьем под низким давлением получают отливки из черных и цветных металлов, но чаще — из алюминиевых сплавов, реже — магниевых и медных сплавов. Литье чугуна и стали пока довольно ограничено.

9.2. Литье под низким давлением с противодавлением

Данный способ литья (рис. 9.2) является развитием способа литья под низким давлением. Установка для литья с противодавлением (рис. 9.2, *а*) состоит из двух камер I и II. В камере I, устройство которой подобно герметической камере установки литья под низким давлением, располагается тигель *7* с расплавом *6*. В камере II находится форма *3*, обычно металлическая. Камеры I и II разделены герметичной крышкой *4*, через которую проходит металлопровод *2*, соединяющий тигель *7* и форму *3*. Камеры I и II прочно соединены одна с другой зажимами *5*.

В начале процесса сжатый воздух или инертный газ при требуемом по технологии давлении, например, 0,12 МПа, поступает

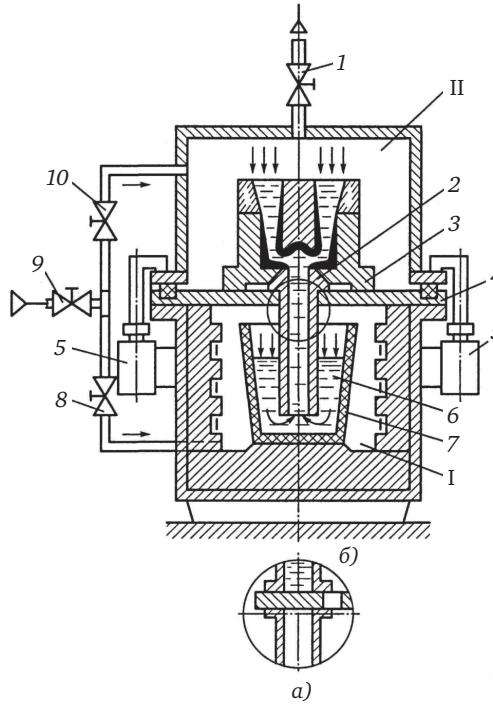


Рис. 9.2. Установка для литья с противодавлением (*а*) и устройства для перекрытия металлопровода (*б*):
1, *8*, *9*, *10* — вентили пневмосистемы установки; *2* — металлопровод; *3* — форма; *4* — крышка печи; *5* — зажим; *6* — расплав; *7* — тигель; прямыми стрелками показано направление действия газа (воздуха) на расплав; I, II — нижняя и верхняя камеры установки

через вентили *8*…*10* в камеры I и II. Вентиль *1* при этом закрыт, и расплав в тигле *7* остается неподвижным. По достижении заданного давления вентиль *10* закрывается, а вентиль *1* постепенно открывается. В результате давление в камере II понижается, и под действием разности давлений в камерах I и II расплав поднимается по металлопроводу и заполняет форму.

Можно, наоборот, повысить давление в камере печи через вентиль *8*. После заполнения формы давление в камерах I и II можно повысить, сохраняя их перепад равным таковому в период заполнения формы. Обычно значение давления при кристаллизации отливки выше, чем при литье под низким давлением (0,4…0,6 МПа),

что улучшает питание отливки, уменьшает усадочную и газовую пористость, повышает плотность и герметичность отливки.

Таким образом, литье с противодавлением отличается от литья под низким давлением тем, что еще перед заполнением в форме создается газовое (воздушное) давление (противодавление), действующее против направления движения заполняющего форму расплава.

Литье с противодавлением (ГОСТ 18169—86) — литье металла, осуществляемое в кокиль на заливочных установках с регулируемым давлением над металлической ванной и в литейной форме.

По существу, в этом процессе литья совмещены два способа: способ литья под низким давлением, используемый для заполнения полости формы, и способ кристаллизации отливок под всесторонним давлением газа или воздуха.

Скорость заполнения форм расплавом при данном способе литья зависит от скорости нарастания разности давлений Δp. Оптимальный диапазон изменения $d(\Delta p)/d\tau$=0,007...0,0025 МПа/с, что соответствует скорости заполнения форм металлом в пределах U=0,01…0,035 м/с. Превышение указанной скорости приводит к появлению в отливках газовых раковин.

Закономерности процессов заполнения формы и расчетные зависимости при литье с противодавлением аналогичны таковым при литье под низким давлением.

Литье с противодавлением наиболее эффективно при изготовлении отливок с массивными стенками равномерной толщины (10…30 мм) из Al и Mg сплавов, кристаллизующихся в широком интервале температур. Использование второй стадии процесса — кристаллизации под всесторонним избыточным давлением для тонкостенных отливок — не всегда приводит к заметному улучшению их свойств. Это объясняется тем, что при кристаллизации тонкостенных отливок последняя может затвердеть раньше, чем давление в верхней камере установки достигнет необходимой величины.

9.3. Литье вакуумным всасыванием

Литье вакуумным всасыванием (ГОСТ 18169—86) — это литье металла, осуществляемое в кокиль на заливочной установкеваку-

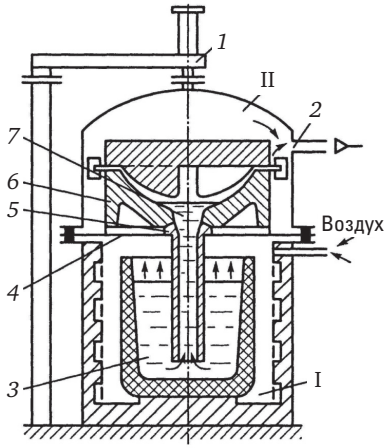


Рис. 9.3. Установка для литья вакуумным всасыванием:
1 — прижим камеры II; *2* — вакуумпровод; *3* — тигельная печь сопротивления; *4* — крышка нижней камеры; *5* — металлопровод; *6* — форма; *7* — литниковая система; I, II — камеры

умным всасыванием жидкого металла. Существуют два варианта осуществления этого способа.

Установки первого типа (рис. 9.3) для фасонного литья имеют две камеры: нижнюю I и верхнюю II. Нижняя камера I представляет собой раздаточную печь с электрическим или газовым обогревом, в которой располагается тигель *3* с расплавом. Верхняя камера II расположена на крышке *4* нижней камеры. В крышке *4* размещен металлопровод *5*.

Форму *6* устанавливают и закрепляют в камере II так, чтобы литник *7* соединялся с металлопроводом *5*. Верхняя камера II герметически соединена цилиндром прижима *1* с крышкой *4*. Полость верхней камеры II через вакуумпровод *2* соединена с ресивером, в котором насосом создается разрежение, регулируемое системой управления.

В начале цикла клапан управления открывается, в камере II создается разрежение, и расплав за счет разности давлений в камерах I (атмосферное) и II (менее атмосферного) по металлопроводу *5* поднимается, заполняя полость формы. После затвердевания отливки клапан системы управления соединяет полость камеры II с атмосферой, давление в верхней и нижней камерах становится одинаковым, а остатки незатвердевшего расплава сливают из металлопровода *5* в тигель *3*. Камеру II снимают, форму *6* с отливкой извлекают, и цикл можно повторять.

Природа и закономерности протекания процессов такие же, как при литье под низким давлением.

Установки такого типа используют обычно для улучшения заполнения форм тонкостенных сложных фасонных отливок из Al и Mg сплавов с толщиной стенки до 2…2,5 мм, иногда до 1…1,5 мм.

Эти установки можно использовать для изготовления отливок по следующим вариантам:

• вначале создают разрежение в камере II установки, а затем форму заполняют расплавом, и отливка затвердевает под низким давлением, создаваемым в камере I;

• заполнение формы осуществляют по первому варианту (за счет разрежения в верхней камере), а затвердевание отливки происходит под всесторонним давлением воздуха в той же камере II установки.

Установки второго типа используют для получения отливок втулок, слитков и заготовок простой конфигурации в водоохлаждаемые кристаллизаторы. Носок металлического водоохлаждаемого кристаллизатора *1* (рис. 9.4) погружают в расплав, находящийся в тигле *2* раздаточной печи. Рабочую полость кристаллизатора, образующую отливку, соединяют вакуум-проводом с вакуумным ресивером *3*. Разрежение в системе создают вакуум-насосом *6* и регулируют натекателем *5*. Через распределительный кран *4* рабочую полость кристаллизатора соединяют с вакуумным ресивером *3*. В полости кристаллизатора создается разрежение, и расплав всасывается внутрь кристаллизатора. После затвердевания

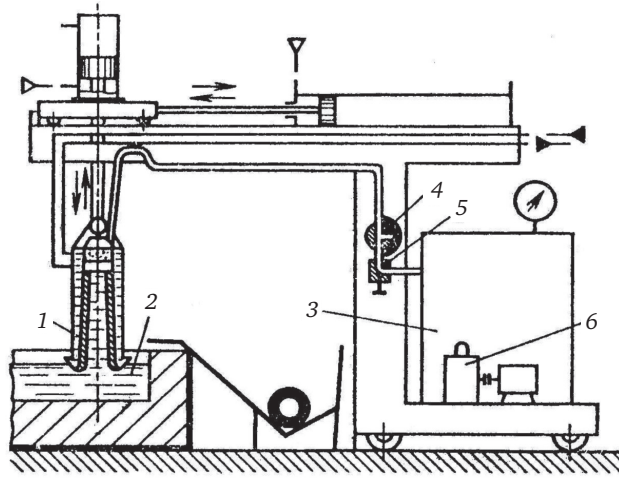


Рис. 9.4. Установка для литья вакуумным всасыванием втулок, гильз, слитков:

1 — кристаллизатор; *2* — тигель с жидким металлом; *3* — ресивер; *4* — кран; *5* — натекатель; *6* — вакуумный насос

отливки носок кристаллизатора извлекают из ванны расплава, поворотом крана *4* рабочую полость соединяют с атмосферой, и отливка выпадает из кристаллизатора в приемный короб.

Наибольшая высота отливки, которую можно изготовить этим способом, зависит от плотности жидкого сплава и составляет около 1200…1400 мм для медных сплавов и около 4000 мм для алюминиевых сплавов.

Обычно при литье вакуумным всасыванием получают пустотелые заготовки типа втулки или трубы без стержней. В этом случае после всасывания расплава в кристаллизатор и намораживания на внутренних стенках кристаллизатора корочки твердого металла необходимой толщины вакуум отключают (снимают разрежение), и незатвердевший расплав сливают обратно в тигель. Внутренняя поверхность втулок в этом случае бывает волнистой из-за неравномерного затвердевания и требует механической обработки. Для уменьшения припусков на механическую обработку такие заготовки можно отливать с применением стержня, устанавливаемого внутрь кристаллизатора.

К преимуществам литья вакуумным всасыванием относятся:

- плавное, спокойное заполнение сплавом формы (кристаллизатора);
- отливки получаются без газовых раковин и пористости, так как газы, содержащиеся в расплаве, могут из него выделиться;
- отсутствие усадочных дефектов (особенно на установках первого типа) — под действием давления воздуха на зеркале расплава последний постоянно питает усаживающуюся отливку;
- устранение расхода сплава на литниковую систему;
- автоматизация процесса заполнения формы, что позволяет осуществить комплексную автоматизацию процесса;
- возможность получения полых отливок без стержней;
- повышение выхода годного отливок.

Способ позволяет получать отливки из легких цветных, медных сплавов, чугуна и стали. Наиболее часто этот способ используют для литья заготовок втулок, вкладышей, подшипников скольжения из дефицитных и дорогостоящих медных сплавов.

9.4. Вакуумно-компрессионное литье

Вакумно-компрессионное литье (ГОСТ 18169—86) — литье металла, осуществляемое в кокиль с вакуумным всасыванием жидкого металла при заливке и повышенным газовым давлением при затвердевании отливки.

Установка (рис. 9.5) состоит из двух камер, из которых в верхней располагают форму *1* (металлическую или песчаную) так, чтобы литниковая система соединялась с верхней частью металлопровода *3*. Форму *1* покрывают стальным колпаком *2* и для герметичности запирают специальными затворами. В нижней камере размещают (в данном случае закатывают) тигель *4*, камеру герметически закрывают крышкой *5*. Камеры формы и тигля

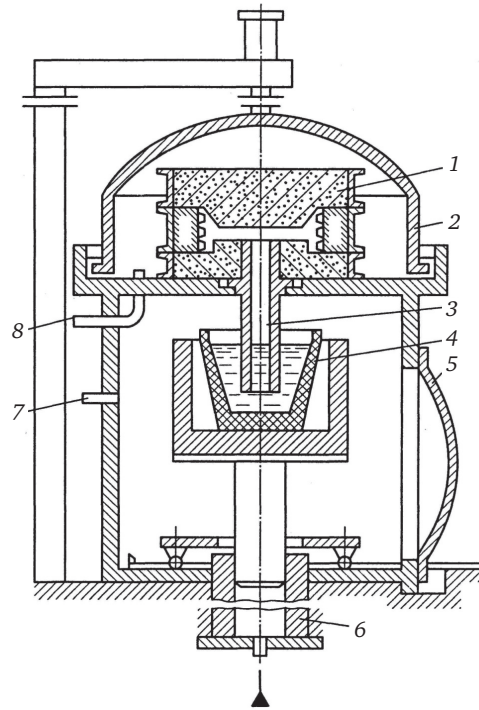


Рис. 9.5. Установка для вакуумно-компрессионного литья:
1 — форма; *2* — стальной колпак; *3* — металлопровод; *4* — тигель с расплавом; *5* — крышка нижней камеры; *6* — гидроцилиндр подъема тигля с расплавом; *7*, *8* — трубопроводы пневмосистемы установки

соединяют с вакуумной системой трубопроводами *7* и *8* для дегазации сплава и формы.

По окончании дегазации гидроцилиндр *6* поднимает тигель с расплавом, и металлопровод погружается в расплав. Затем давление в камере формы постепенно снижают, создавая разность давлений в нижней и верхней камерах, за счет чего происходит всасывание расплава из тигля в полость формы. Разность давлений в камерах формы и тигля обычно не превышает 25 кПа.

После заполнения формы отверстие металлопровода перекрывают, и в камеру формы по трубопроводу *8* подают сжатый воздух, отливка затвердевает под всесторонним давлением. Избыточное давление в верхней камере выше давления газов в растворе, поэтому оставшиеся в расплаве после вакуумирования растворенные газы из него не выделяются и газовая пористость не образуется. Такая мера способствует повышению механических свойств материала отливки. Этим способом получают сложные отливки без пористости с высокими механическими свойствами.

Контрольные вопросы

1. Перечислите способы, использующие перепад газового низкого давления.
2. В чем сущность литья под низким давлением?
3. Назовите основные факторы, влияющие на качество отливок, получаемых литьем под низким давлением.
4. Назовите преимущества и недостатки литья под низким давлением. Область применения.
5. Назовите особенности литья под низким давлением с противодавлением. Область применения.
6. Назовите способы литья вакуумным всасыванием, их особенности и назначение.
7. Назовите преимущества литья вакуумным всасыванием.
8. Назовите особенности вакуумно-компрессионного литья.

Список литературы

1. **Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А.** Технология литейного производства: Специальные виды литья. — М.: ИЦ «Академия», 2005. — 252 с.

2. **Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А.** Технология литейного производства: Специальные виды литья. — М.: Машиностроение, 1983. — 287 с.

Оглавление

Предисловие 3

Глава 1. Литье по выплавляемым моделям. 5
1.1. Общие сведения 5
1.2. Исходные материалы для изготовления моделей и модельные составы 9
1.3. Пресс-формы 17
1.4. Технология изготовления моделей. 24
1.5. Технология изготовления керамической оболочковой формы . . 29
1.5.1. Материалы для изготовления форм 31
1.5.2. Приготовление суспензии 45
1.5.3. Нанесение суспензии на поверхность модельных блоков и обсыпка их огнеупорным материалом 48
1.5.4. Сушка оболочек. 50
1.5.5. Удаление моделей 53
1.5.6. Прокаливание оболочковых форм 55
1.6. Заливка, выбивка и очистка отливок 56
1.7. Методы испытания оболочковых форм. 63
1.8. Дефекты отливок 64
1.9. Повышение качества отливок по выплавляемым моделям 67
1.10. Проектирование литниково-питающих систем. 69
1.11. Автоматизация технологического процесса. 73
1.12. Эффективность литья по выплавляемым моделям и область применения 75
1.13. Новые направления в литье по выплавляемым моделям 77
1.13.1. Использование пористых и газифицируемых материалов для изготовления пористых оболочковых форм 78
1.13.2. Барботажная технология порообразования в структуре керамических оболочек 87
1.13.3. Промышленное опробование пористых оболочковых форм 87
1.13.4. Получение отливок по пористым комбинированным выплавляемым моделям 94
1.13.5. Применение термитных моделей 100
Контрольные вопросы 103

Глава 2. Литье в оболочковые формы,полученные методом электрофореза 106
2.1. Сущность технологического процесса. 106
2.2. Основные положения теории электрофореза 107
2.3. Составы и технология приготовления электрофоретических суспензий 109
2.4. Токопроводящие покрытия 113
2.5. Изготовление оболочковых форм методом электрофореза 114

2.6. Сушка оболочковых форм 118
2.7. Основные технологические параметры, преимущества и недостатки. 121
Контрольные вопросы 124

Глава 3. Литье по газифицируемым моделям. 126
3.1. Модельные материалы 127
3.2. Способы подготовки модельных материалов 128
3.3. Способы изготовления пенополистироловых моделей в пресс-формах. 131
3.4. Конструкции пресс-форм для изготовления моделей 136
3.5. Способы сборки моделей в модельные блоки. 140
3.6. Противопригарные краски и покрытия, способы их нанесения на модель и модельные блоки 143
3.7. Способы изготовления форм и применяемые формовочные материалы. 146
3.8. Литниковые системы 154
3.9. Заливка форм 161
3.10. Газовый режим при заливке формы с газифицируемой моделью 164
3.11. Выбивка, обрубка и очистка отливок 166
3.12. Основные виды брака в литье по газифицируемым моделям . 167
3.13. Оборудование для литья по газифицируемым моделям 177
3.13.1. Оборудование для подготовки пенополистирола и изготовления моделей 177
3.13.2. Оборудование для формовки, заливки, охлаждения и выбивки отливок. 198
3.13.3. Оборудование для регенерации песка и утилизации продуктов термической деструкции модели 201
Контрольные вопросы 203

Глава 4. Литье в углеродные формы 205
4.1. Углеродные формовочные материалы, их виды и свойства. . . . 206
4.2. Литье в графитовый кокиль отливок из цветных и черных сплавов 210
4.3. Литье в углеродные формы тугоплавких сплавов 212
4.3.1. Технология изготовления углеродных форм 213
4.3.2. Процессы, происходящие при формообразовании 215
4.3.3. Особенности плавки и взаимодействия углеродных форм с отливкой 220
Контрольные вопросы 223

Глава 5. Литье в гипсовые формы 225
5.1. Материалы для изготовления формы 227
5.2. Технологические особенности изготовления гипсовых форм . . 229
5.3. Оборудование, применяемое при изготовлении гипсовых форм. 236
5.4. Особенности литья в гипсовые формы. 243
5.5. Пеногипсовые формы 245
Контрольные вопросы 247

Глава 6. Литье в оболочковые разъемные формы 248
6.1. Общие сведения..... 248
6.2. Материалы и оснастка для изготовления оболочковых форм.. 253
6.3. Модельная и стержневая оснастка 259
6.4. Технология изготовления оболочковых форм и стержней..... 262
6.4.1. Приготовление смесей..... 262
6.4.2. Изготовление оболочковых форм..... 266
6.4.3. Изготовление оболочковых стержней 271
6.5. Основные свойства песчано-смоляных смесей..... 279
6.6. Расчет и проектирование литниковых систем 284
6.6.1. Классификация литниковых систем..... 284
6.6.2. Расчет основных параметров литниковой системы 289
6.6.3. Примеры расчета литниковых систем..... 296
6.7. Сборка и заливка оболочковых форм, выбивка и очистка отливок 305
6.8. Разновидности способа литья в оболочковые формы..... 312
6.9. Дефекты при литье в оболочковые формы 315
6.10. Технико-экономическая эффективность..... 320
Контрольные вопросы 322

Глава 7. Художественное литье.....324
7.1. История развития художественного литья..... 324
7.1.1. Художественное литье Древнего мира..... 324
7.1.2. Художественное литье России XIII—XX веков..... 331
7.2. Классификация художественных отливок 344
7.2.1. Показатели качества отливок..... 344
7.2.2. Классификация по художественно-функциональному назначению 345
7.2.3. Классификация художественных отливок по сплавам ... 347
7.2.4. Классификация художественных отливок по способам их изготовления 350
7.3. Формовочные материалы..... 352
7.4. Материалы для изготовления моделей художественных отливок 358
7.5. Способы формовки скульптур..... 363
7.6. Особенности изготовления архитектурных отливок 370
Контрольные вопросы 380

Глава 8. Литье в магнитные формы 382
8.1. Материал и оснастка для изготовления магнитных форм..... 382
8.1.1. Формовочные смеси и их свойства..... 382
8.1.2. Материалы для изготовления моделей и противопригарные покрытия..... 388
8.1.3. Оснастка 391
8.2. Особенности технологического процесса..... 392
8.3. Регенерация формовочных смесей 402
8.4. Намагничивание устройства..... 406
8.5. Технико-экономические показатели и область применения ... 409
Контрольные вопросы 418

Глава 9. Литье под регулируемым давлением 419
9.1. Литье под низким давлением 419
9.1.1. Особенности формирования отливки при литье под низким давлением. 421
9.1.2. Преимущества и недостатки литья под низким давлением и область применения. 424
9.2. Литье под низким давлением с противодавлением 425
9.3. Литье вакуумным всасыванием 427
9.4. Вакуумно-компрессионное литье 431
Контрольные вопросы 432

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

А.И. Евстигнеев, Е.А. Чернышов, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, В.В. Черномас, И.Г. Сапченко, Б.И. Марьин, А.В. Свиридов, М.В. Салина, В.И. Якимов, Н.В. Захарова, С.Г. Жилин

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Часть 2

Редактор *Е.М. Нуждина*
Корректор *Л.Д. Амелина*
Компьютерная верстка *В.В. Дёмкин*

Сдано в набор 15.02.2012. Подписано в печать 19.03.2012.
Формат 60×88/16. Бумага офсетная. Гарнитура PT Serif.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,25. Уч.-изд. л. 27,12.
Тираж 300 экз. Заказ №

ISBN 978-5-94275-635-2