

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Металлургия черных и цветных сплавов»

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Практикум

по учебной дисциплине «Технология литейного производства»
для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое
производство и материалобработка» (по направлениям)

*Рекомендовано учебно-методическим объединением Республики Беларусь
по образованию в области металлургического оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2021

УДК 621.74 (076.5) (075.8)

ББК 34.61я7

Т38

Составитель

К. Э. Барановский

Рецензенты:

Д. В. Куис, В. А. Розум

Т38

Технология литейного производства : практикум по учебной дисциплине «Технология литейного производства» для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалообработка» (по направлениям) / сост.: К. Э. Барановский. – Минск : БНТУ, 2021. – 45 с.

ISBN 978-985-583-299-8.

Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении соответствующего курса, приобретения практических навыков при изготовлении песчано-глинистых литейных форм, изучении затвердевания литейных сплавов.

УДК 621.74 (076.5) (075.8)

ББК 34.61я7

ISBN 978-985-583-299-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

Лабораторная работа № 1

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВКИ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

Цель работы: ознакомиться с устройством разовой песчано-глинистой литейной формы, выяснить функциональное назначение элементов литниковой системы, приобрести навыки изготовления разовой формы для получения отливки.

Общие сведения

Литейная форма – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой жидким металлом формируется отливка. Литейная форма состоит из собственно формы для воспроизведения наружных контуров отливок и литейных стержней для образования внутренних полостей отверстий, поднутрений. По количеству заливок формы разделяют на разовые и постоянные (многократно используемые).

Литейная песчаная форма состоит из двух полуформ – верхней и нижней, – образующих полость формы. Наружную поверхность полости формы получают по разъемной литейной модели (рис. 1.1, *а*). Нижнюю половину модели *1* и модель питателя *4* устанавливают на модельную плиту *3* (рис. 1.1, *б*) для изготовления нижней полуформы *12* с опокой *5* (рис. 1.1, *б*, *в*). Верхнюю полуформу *11* с опокой *6* изготавливают по верхней половине модели *2* и моделям литниковой системы *8*, *14*, *9*, *4*, *7* (рис. 1.1, *в*).

На рис. 1.1, *г* показана верхняя полуформа, а на рис. 1.1, *д* – нижняя полуформа с установленным в ней стержнем *10*.

Литниковая система служит для подвода расплавленного металла в полость литейной формы *13* (рис. 1.1, *е*), ее заполнения и питания отливки при затвердевании. Литниковая система (рис. 1.1, *ж*) состоит из литниковой чаши *8*, предназначенной для приема расплавленного металла и подачи его

в форму; стояк *14*, имеющего вид вертикального канала и используемого для последующей подачи расплава в шлакоуловитель *9*. Шлакоуловитель *9* служит для задержания шлака и других неметаллических примесей, а также для подачи расплавленного металла в питатель *4*.

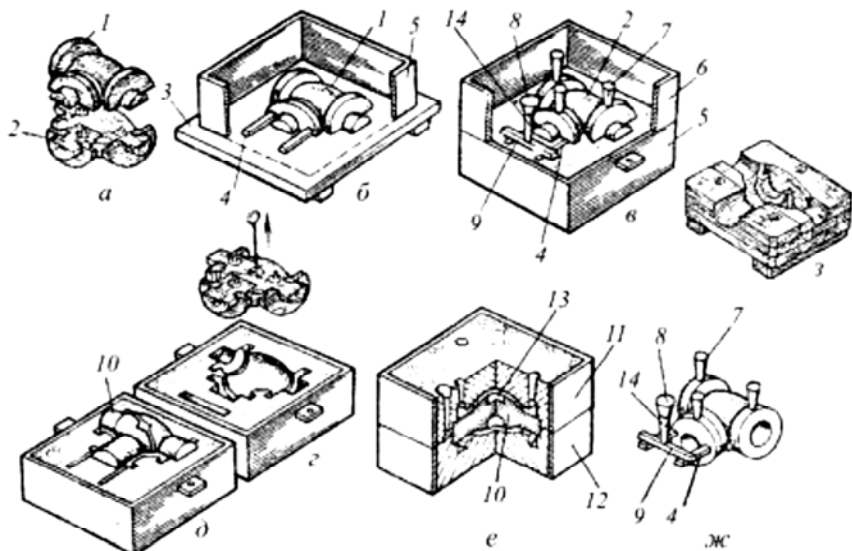


Рис. 1.1. Модель отливки (*а*), отливка «Корпус вентиля» (*ж*) и последовательность изготовления разовой песчаной формы (*б-е*):
1 – нижняя часть модели отливки; *2* – верхняя часть модели отливки;
3 – модельная плита; *4* – модель питателя; *5* – нижняя опока;
6 – верхняя опока; *7* – выпор; *8* – литниковая чаша; *9* – шлакоуловитель;
10 – стержень; *11, 12* – верхняя и нижняя полуформы;
13 – рабочая полость литейной формы; *14* – стояк

Питатель необходим для подвода расплава в полость литейной формы. Для вывода газов и контроля заполнения формы расплавом служит выпор *7*, который располагается на верхней поверхности полости формы.

На рис. 1.1, *з* представлен стержневой ящик для изготовления стержня *10* (см. рис. 1.1, *д*).

Рассмотрим технологические основы формообразования отливок на примере изготовления отливки литьем в песчаные формы – наиболее распространенного и универсального способа литья. Материалом для изготовления литейной формы является формовочная смесь. Формовочная смесь состоит из кварцевого песка (более 90 %), обеспечивающего огнеупорность и газопроницаемость формы. В качестве связующего в формовочной смеси используется литейная формовочная глина, увлажненная водой до общей влажности смеси 4–5 %. Формовочная смесь содержит до 1 % вспомогательных добавок, обеспечивающих податливость формы и противопригарные свойства. Обычно формовочная смесь состоит из 85–90 % отработанной формовочной смеси и 10–15 % свежих материалов.

Литейный стержень – элемент литейной формы для образования отверстий и полостей в отливках. Стержни изготавливают в стержневых ящиках. Для правильной установки стержней в литейной форме служат знаковые части стержня, которые входят в знаковые гнезда формы. Материалом для изготовления стержней является стержневая смесь. Стержневая смесь на 94–96 % состоит из кварцевого песка, остальное – связующее. В качестве связующего в стержневой смеси используют органические и неорганические связующие, синтетические смолы и т. п. Газопроницаемость стержневой смеси в 1,5–2,0 раза выше газопроницаемости формовочной смеси. Обычно перед сборкой формы стержни устанавливают в нижнюю полуформу.

Для удержания формовочной смеси при изготовлении, сборке, транспортировке и заливке литейных форм используют специальное приспособление – опоку.

Опока – жесткая рамка из стали, чугуна, предохраняющая песчаную форму от разрушения во время сборки, транспортировки и заливки.

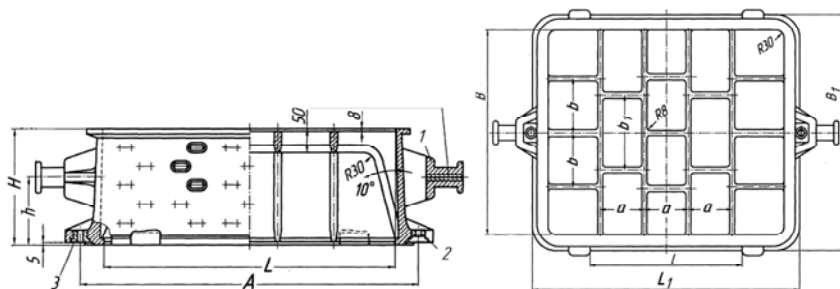


Рис. 1.2. Опока:
 1 – корпус; 2 – втулка направляющая;
 3 – втулка центрирующая

Литниковая система – совокупность каналов, служащих для заполнения рабочей полости литейной формы расплавленным металлом (рис. 1.3). Основные элементы литниковой системы: *чаша (воронка), стояк, шлакоуловитель, питатель*.

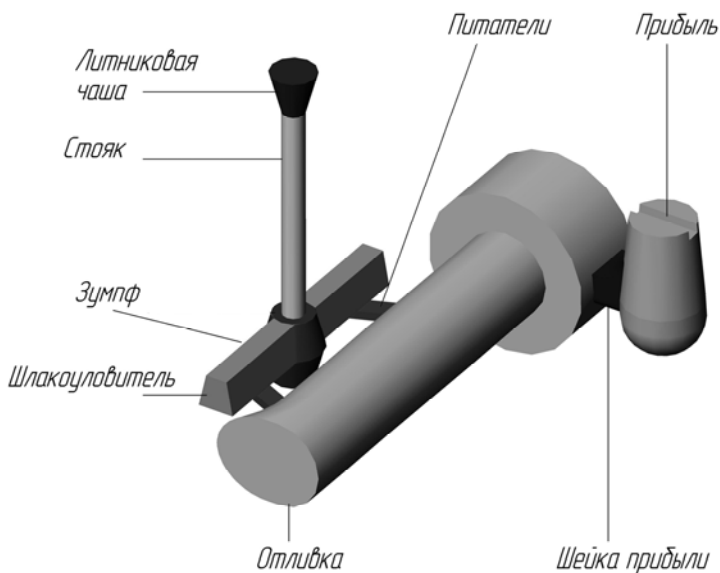


Рис. 1.3. Отливка с литниковой системой

В условиях массового и крупносерийного производства, как правило, используется формовка в двух опоках. Модели верха и низа с соответствующими элементами литниковой системы стационарно располагают на подмодельных плитах. При этом на подмодельной плите верха наряду с моделью отливки, как правило, размещают модель шлакоуловителя и место для установки модели стояка с литниковой чашей. На подмодельной плите низа располагают модель низа отливки, модели питателей, зумпфа. Зумпф – нижняя часть стояка, принимающая на себя динамический удар заливаемого металла.

Сущность получения отливок заключается в заполнении жидким металлом (расплавом) полости литейной формы с последующим затвердеванием и охлаждением металла.

Отливка – литая заготовка, получаемая после затвердевания металла в литейной форме. Размеры отливки больше размеров детали на величину припуска на механическую обработку, т.е. на толщину слоя металла, который удаляется механической обработкой с целью обеспечения необходимой точности размеров и шероховатости поверхности (рис. 1.4).

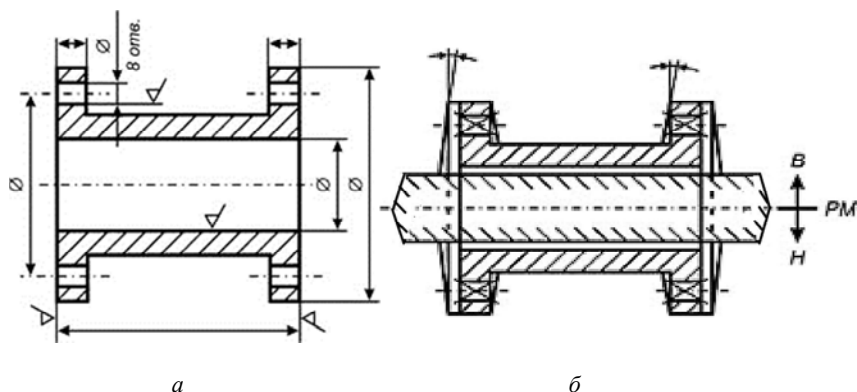


Рис. 1.4. Чертежи детали и отливки:
a – чертеж детали; *б* – чертеж отливки

Формовочные уклоны предназначены для облегчения извлечения модели из формы, стержня из стержневого ящика.

Модель – приспособление для получения полости в литейной форме. Форма и размеры этой полости близки к конфигурации отливки. Модель имеет большие размеры, чем отливка на величину, включающую в себя усадку (свойство литейных сплавов уменьшаться в размерах при охлаждении), припуск на механическую обработку и формовочные уклоны на обрабатываемых поверхностях. Модель имеет знаковые части, необходимые для получения гнезд в форме для установки стержней. Знаковые части на моделях делают несколько больших размеров, чем у стержней. Это необходимо для того, чтобы между поверхностью гнезда и знаком стержня оставался зазор.

При машинном способе изготовления формы обычно применяют металлические *модельные плиты*, на которые монтируют модели отливки и модели элементов литниковой системы. На рис. 1.5 показана верхняя (а) и нижняя (б) модельные плиты для изготовления формы.

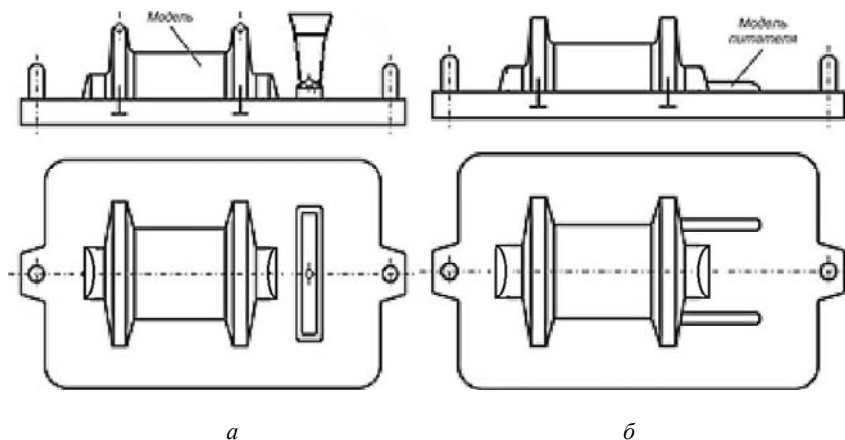


Рис. 1.5. Модели на подмодельных плитах:
а – модель верха на подмодельной плите;
б – модель низа на подмодельной плите

Сборкой называется процесс соединения отдельных частей формы в одно целое и подготовка формы к заливке. *Форма в сборе* должна быть показана на чертеже в разрезе так, чтобы было ясно видно положение стержней и литниковых каналов, выпоров, прибылей и способа скрепления опок. На рис. 1.6. показана форма в сборе. После сборки формы следуют операции заливки формы металлом, выдержки для достаточного охлаждения металла, выбивки отливки из формы и стержней из отливки, очистки (удаления налипшей и пригоревшей формовочной смеси) и обрубки отливки (отделения литниковой системы, прибылей, выпоров, заливок и облоя), проверки качества отливки и механическая обработка.

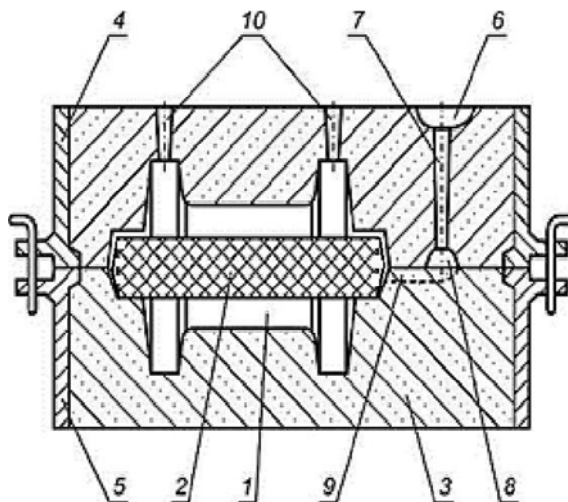


Рис. 1.6. Разрез формы в сборе:

- 1 – литейная полость; 2 – стержень; 3 – формовочная смесь;
- 4, 5 – верхняя и нижняя опоки; 6 – литейная чаша; 7 – стояк;
- 8 – шлакоуловитель; 9 – питатель; 10 – выпоры

Отливку получают путем заливки расплавленного металла в литейную форму. На рис. 1.7 показана готовая отливка с литниковой системой.

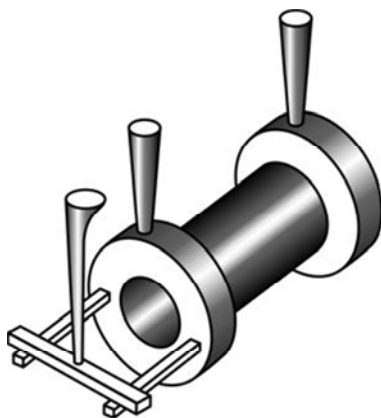


Рис 1.7. Отливка

Особенности изготовления отливок специальными методами литья

Формы, изготавливаемые из формовочных песчано-глинистых смесей, имеют ряд недостатков: они служат только один раз; отливки, которые получают этим методом, имеют малую точность, требуется большой припуск на механическую обработку. Развитие массового производства, которое требует большое количество деталей, вызвало необходимость создания специальных методов литья, устраняющих эти недостатки.

К специальным методам литья относятся: литье по выплавляемым моделям, литье в металлические формы (в кокиль), центробежное литье, литье под давлением, литье по газифицируемым моделям.

Литье по выплавляемым моделям. Этим методом можно изготавливать очень точные (до сотых долей миллиметра) отливки с толщиной стенок от 0,5 мм и выше, небольшого веса (2–3 кг) из любых металлов с температурой плавления до 1600 °С. При этом отсутствует дополнительная обработка отливок, кроме шлифования и полирования. Получение деталей по этому способу основано на изготовлении моделей из лег-

коплавкого материала – воска, стеарина, парафина и др. Восковые модели изготавливаются в специальных пресс-формах с очень большой точностью. Конструкция пресс-форм должна быть такой, чтобы модель можно было бы легко, без повреждений, извлечь из нее. В массовом производстве используют многогнездные пресс-формы из стали и алюминиевых сплавов, а в единичном и мелкосерийном производстве применяют пресс-формы из гипса, дерева и пластмассы.

Изготовленные в пресс-формах модели обычно собирают в блоки по несколько штук, соединяя эти блоки с литниковой системой. На собранный блок моделей методом окунания наносят жидкое облицовочное покрытие, состоящее из огнеупорной основы (молотый кварцевый песок – маршалит) и связующего вещества – этилсиликата (коллоидного раствора двуокиси кремния).

Процесс нанесения покрытия проводят 4–5 раз с присыпкой поверхности блоков мелкозернистым кварцевым песком, пока не будет получена оболочка толщиной 2,5–8,0 мм. Затем блок моделей просушивают на воздухе при комнатной температуре в течение 2–3 часов и заформовывают в опоку. Заформованную опоку с блоком моделей выдерживают в муфельной печи для выплавки легкоплавкого модельного состава (его можно выплавлять из форм паром, горячим воздухом или в горячей воде). Затем форму прокаливают при нагреве до 800–900 °С для удаления остатков модельного состава, влаги и для упрочнения оболочки.

Полученные таким образом формы обладают огнеупорностью до 1700 °С, высокой прочностью и хорошо сохраняют очертания.

Технологический процесс изготовления отливок по выплавляемым моделям рассмотрим на примере стальной отливки. В металлическую разъемную пресс-форму через отверстие запрессовывается легкоплавкий модельный состав (парафин, стеарин, воск). Этот расплав заполняет кольцевой

коллектор и оттуда по питателям перетекает в рабочие гнезда пресс-формы, повторяющие по очертаниям будущие модели. После затвердевания модельного состава из пресс-формы вынимают сразу несколько моделей – модельное звено (рис. 1.8, *а*). Несколько звеньев объединяют в блоки (рис. 1.8, *б*).

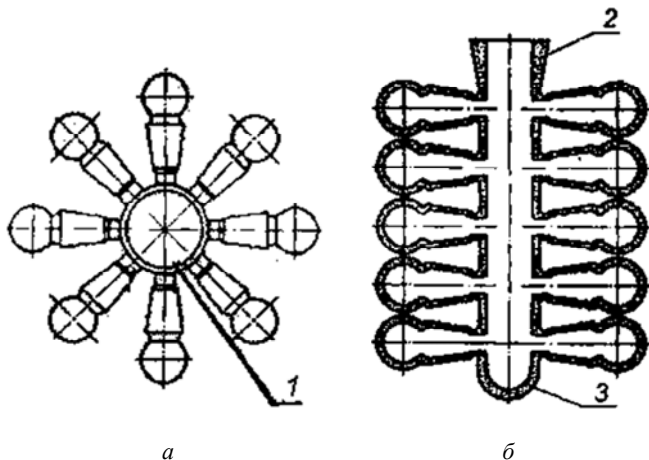


Рис. 1.8. Модельное звено (*а*) и блок моделей (*б*)

Для этого звенья объединяют общей литниковой системой *1* с моделью воронки *2*. Затем нагретым паяльником к коллектору последнего звена приваривают колпачок *3*. Таким образом получают блок моделей. Затем его окунают в жидкую огнеупорную смесь, основными составляющими которой являются пылевидный кварц и в качестве связующего вещества этилсиликат. После извлечения блока из раствора на поверхности моделей остается слой огнеупорной смеси, который обсыпают мелкозернистым кварцевым песком и сушат на воздухе. Затем модели выплавляют из форм горячим воздухом, паром или в горячей воде.

Полученную форму ставят в опоку, засыпают сухим кварцевым песком и прокаливают в печи при температуре 850–900 °С.

В раскаленную форму заливают металл, а после его за- твердевания блоки выбивают из опоки. Керамическую корку с поверхности отливок удаляют механическим путем. После окончательной промывки в воде отливки направляют на тер- мообработку.

Преимущества метода. 1. Возможность изготовления тонкостенных отливок сложной конфигурации из практически любых сплавов с толщиной стенки от 0,5 мм, что достигается заливкой в раскаленную форму. 2. Уменьшение расходов формовочных материалов, снижение материалоемкости процесса, обусловленные высокой точностью и качеством поверхности, не требующие последующей механической обра- ботки, кроме шлифования и полирования. 3. Возможность экономически выгодного способа получения отливок в се- рийном и массовом производстве. Отливка не имеет швов, т. к. форма не имеет разъемов.

Недостатки метода. 1. Процесс трудоемкий, длительный, многооперационный, с использованием дорогостоящих мате- риалов. 2. Повышенный расход металла на литниковую си- стему и небольшой выход готового литья, т. к. размеры отли- вок не превышают 150–200 мм. 3. Низкая интенсивность охлаждения металла снижает скорость кристаллизации, что дает крупное зерно, возможность появления усадочных рако- вин и пустот в массивных узлах и толстых стенках отливки (6–8 мм). 4. Из-за высокой температуры формы при заливке на поверхности развиваются дефекты, такие как окисленный и обезуглероженный слой на глубине до 0,5 мм. Поэтому необ- ходимо воздействие в форме восстановительной газовой среды.

Литье в металлические формы (кокиль). Этот способ получения фасонных отливок повышенной точности рентабе- лен при условии съема с каждой формы не менее 200–400 не- больших и 50–200 крупных отливок. Изготовление отливок в кокили целесообразно в массовом производстве в том случае, когда снижаются затраты на изготовление готовой детали

с учетом стоимости кокиля, отходов металла при обработке резанием полученной отливки. Высокая теплопроводность материала формы ускоряет затвердевание отливки. Вследствие этого образуется мелкозернистая и плотная структура, имеющая более высокие механические свойства. Возможность многократного использования кокиля зависит от температуры плавления металла, конструкции и веса отливки. Заполнение формы металлом и затвердевание отливки протекает под действием силы тяжести.

Кокили изготовляют литыми из чугуна, стали, алюминия и меди. Конструкции кокиля очень разнообразны. В зависимости от конфигурации отливки кокили бывают вытряхными или разъемными в одной плоскости (рис. 1.9), либо разборными с несколькими разъемами. Широко применяются многоступенчатые кокили для изготовления нескольких небольших отливок в одной форме.

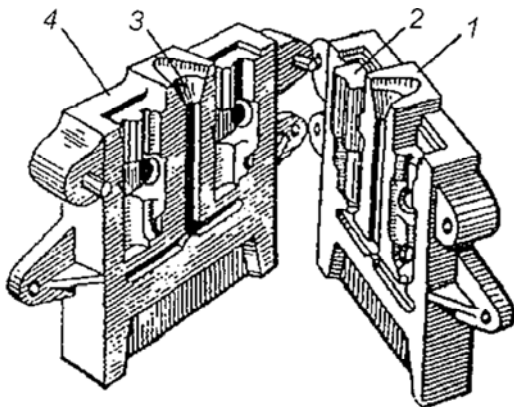


Рис. 1.9. Кокиль для чугунной отливки:
1, 4 – две половины кокиля (две полуформы);
2 – стержень; 3 – литниковая система

Технологический процесс литья в кокиль заключается в следующих операциях:

- а) нанесение облицовки на рабочую часть кокиля;

- б) нагрев кокиля до 200–300 °С;
- в) установка стержней в кокиль (если в этом есть необходимость);
- г) сборка кокиля;
- д) заливка металла (в воронку сверху либо через сетку для удержания шлака);
- е) разборка кокиля и удаление отливки;
- ж) обрубка, очистка отливки;
- з) контроль отливки.

Достоинства метода. 1. Повышенная точность размеров и качество поверхности отливок. 2. Повышаются механические свойства. 3. Улучшаются технико-экономические показатели производства (выход годного литья, себестоимость отливок, производительность труда, облегчается механизация и автоматизация процесса).

Недостатки метода. 1. Высокая стоимость металлических форм и недостаточная их стойкость при литье чугуна, стали. 2. Повышенная теплопроводность металлической формы. 3. При изготовлении отливок сложной конфигурации образуются трещины вследствие неподатливости металлической формы при усадке металла.

Центробежное литье. Изготовление отливок центробежным способом производят заливкой металла во вращающуюся металлическую форму, где под действием центробежных сил расплавленный металл отбрасывается к поверхности формы и, затвердевая, принимает ее очертания. На практике применяют скорости вращения от 250 до 500 об/мин. При этом сплывке отливка охлаждается в поле центробежных сил со стороны наружной поверхности (от формы). При интенсивном охлаждении расплава растут в первую очередь кристаллы у стенок формы. Растущие от стенок формы кристаллы постоянно питаются расплавом и растут направленно-перпендикулярно движению расплава. Затвердевание металла под давлением приводит к уплотнению металла и повышению за

счет этого механических свойств, к быстрому отделению газов, неметаллических примесей и вытеснению их на внутреннюю поверхность отливки. При этом возникает ликвация, что отрицательно сказывается на механических и других служебных характеристиках в различных сечениях отливок.

Этот способ широко применяется для изготовления труб, втулок и других отливок, имеющих форму тел вращения, а иногда и для фасонных отливок (детали арматуры, шестерни, кольца тормозного барабана, втулки, турбинные диски с лопатками и др.).

В промышленности применяются центробежные машины с вертикальной и горизонтальной осью вращения. Машины с вертикальной осью вращения используются для получения отливок небольшой высоты. Машины с горизонтальной осью вращения применяют для изготовления труб, втулок большой длины, где одинаковая по длине толщина стенки регулируется объемом подаваемого в единицу времени металла из желоба воронки.

На рис. 1.10 изображена схема машины с вертикальной осью вращения. Металл из ковша 1 заливают в форму 2, где он центробежной силой прижимается к боковой цилиндрической стенке и образует жидкий кольцевой слой. Форма вращается до полного затвердевания металла. Этим методом получают отливки небольшой высоты (кольца, короткие втулки, венцы зубчатых червячных колес и др.).

На рис. 1.11 изображена схема машины с горизонтальной осью вращения. Из ковша 1 металл заливают в форму 3 через желоб 2, где он образует вокруг формы цилиндрическую полуотливку.

Технологический процесс изготовления отливок центробежным литьем состоит из следующих операций:

- а) подогрев металлической формы до 200 °С;
- б) нанесение на ее рабочую поверхность краски или огнеупорного покрытия;

- в) установка и сборка формы в корпусе машины;
- г) включение машины и заливка металла через воронку;
- д) остановка машины, удаление отливок, контроль.

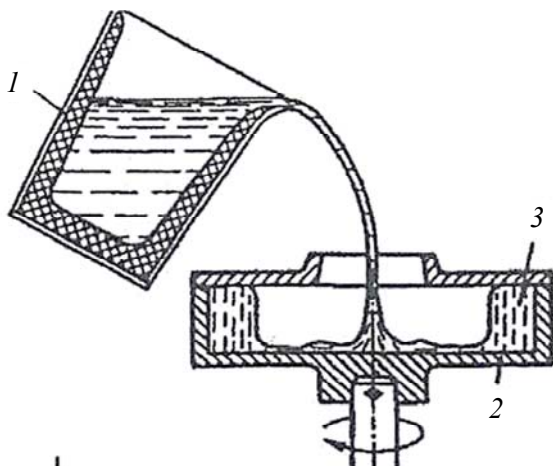


Рис. 1.10. Центробежная машина с вертикальной осью вращения:
 1 – ковш, 2 – форма, 3 – жидкий металл

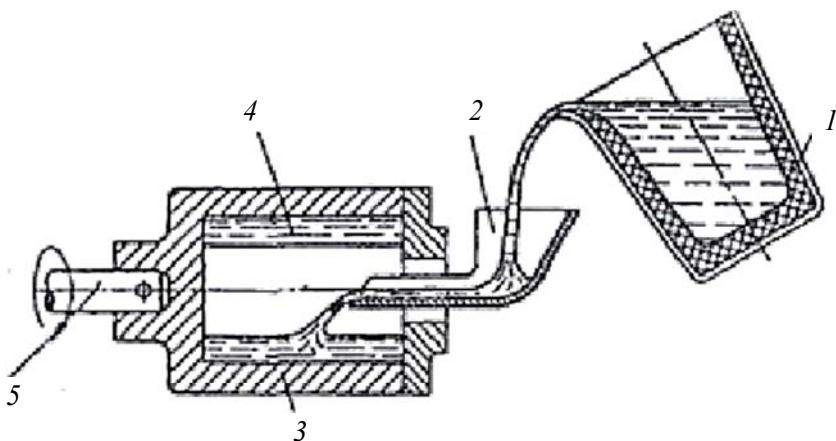


Рис. 1.11. Схема центробежной машины с горизонтальной осью вращения:
 1 – ковш; 2 – желоб; 3 – форма; 4 – жидкий металл;
 5 – вал (ось вращения)

Достоинства метода. 1. Большая плотность полученных отливок при достаточно высокой точности размеров и качестве поверхности. 2. Отсутствие стержней для оформления цилиндрических отверстий. 3. Увеличение выхода годного литья за счет отсутствия литниковой системы. 4. Возможность получения тонкостенных отливок из сплавов, обладающих низкой жидкотекучестью.

Недостатки метода. 1. Невозможность получения отверстий точного размера (диаметр отверстия зависит от количества залитого в форму металла). 2. Трудность получения высокого качества в отливках из сплавов, склонных к ликвации.

Литье под давлением. Этот метод является прогрессивным и характеризуется наиболее высокими технико-экономическими показателями. Его применяют в основном для получения отливок из цветных сплавов (цинковых, алюминиевых, магниевых, латуни). Сущность технологического процесса заключается в заполнении расплавленным металлом металлической формы под давлением сжатого воздуха или поршня, когда жидкий металл запрессовывается в форму и после затвердевания воспроизводит ее точную конфигурацию, обеспечивая при этом высокую точность отливки.

Формы изготавливают из стали со вставными стальными стержнями. Струя металла подается в полость пресс-формы с большой скоростью, что обеспечивает точность, высокое качество поверхности, герметичность на поверхности и высокие механические свойства отливки.

Наиболее широкое распространение получили машины поршневого действия с холодной камерой сжатия. Их применяют для получения отливок из сплавов алюминия, меди, магния под давлением 30–185 МПа.

Принципиальная схема получения отливки на машине с горизонтальной камерой сжатия приведена на рис. 1.12. Металл заливается в полость камеры сжатия 1. Поршень 2 подает сплав в пресс-форму 3. После затвердевания отливки откры-

вают пресс-форму, извлекают металлический стержень 4, а отливку удаляет выталкиватель 5.

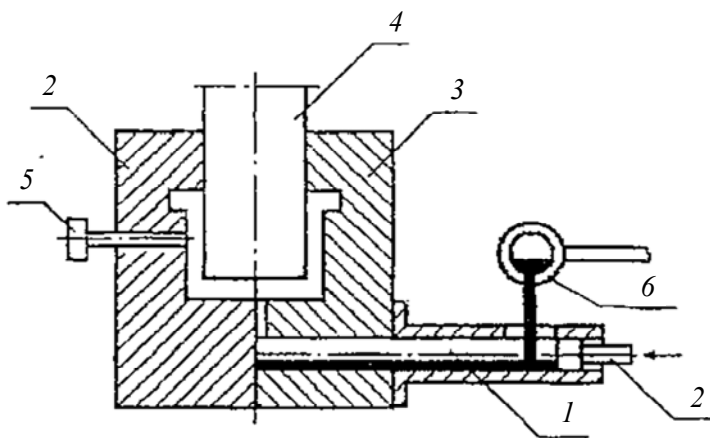


Рис. 1.12 Схема литья под давлением:
1 – камера сжатия; 2 – поршень; 3 – пресс-форма;
4 – стержень; 5 – выталкиватель; 6 – металл

Преимущества метода. 1. Высокая точность размеров отливки и низкая шероховатость поверхности с отсутствием необходимости механической обработки. 2. Возможность получения тонкостенных отливок с толщиной стенок до 0,8 мм. 3. Высокая производительность процесса (200–400 циклов в час). Этот метод превосходит не только все методы литья, но и холодную штамповку, если она выполняется больше, чем в одну операцию. Особенно возрастает производительность при применении многогнездных пресс-форм.

Недостатки метода. 1. Высокая стоимость пресс-форм и трудность получения отливок со сложными плоскостями. 2. Вследствие высоких скоростей охлаждения в отливках появляются большие внутренние напряжения. 3. Наличие газовой пористости в отливках. В результате использования больших давлений и скорости заливки газы не успевают удаляться из полости формы, что приводит к образованию пор под

литейной корочкой. Эти отливки не подвергают высокотемпературной обработке, т. к. вследствие расширения пузырьков воздуха (газа) образуется вздутие. 4. Ограниченная номенклатура используемых сплавов (цинковых, алюминиевых, магниевых, латуни) с низкой температурой плавления.

Литье по газифицируемым моделям. Очень часто возникает необходимость в точных отливках тех или иных деталей. В этих случаях по традиционной технологии приходится предварительно делать деревянные модели для получения наружного отпечатка в литейной форме и стержневые ящики для образования внутренних полостей отливки. Трудоемкость изготовления модельных комплектов в 3–5 раз превышает трудоемкость изготовления самой отливки. Для ее уменьшения и снижения себестоимости разовых отливок можно делать модели не из дерева, а из пенополистирола, который газифицируется расплавленным металлом. В последние годы использование пенополистирола (пенопласта) в качестве модельного материала получает все большее распространение. Его использование обеспечивает возможность получения различных отливок в неразъемных формах без извлечения модельных комплектов из форм, без формовочных уклонов и с минимальными припусками на механическую обработку (см. рис. 1.13).

При литье по газифицируемым моделям для изготовления моделей применяется пенополистирол в виде гранул. При этом для газифицируемых моделей применяют пенополистирол с объемной массой 0,015–0,025 г/см³. Применение пенополистироловых моделей сокращает трудоемкость формовочных работ на 80 %, объем обрубных и зачистных работ – на 70 %. Достоинство пенополистироловых моделей – их способность не усыхать и не набухать от влаги. Это исключает коробление при транспортировке и, особенно, при хранении. При отливке деталей со сложной конфигурацией внешних и внутренних обводов модель может быть изготовлена частями, которые собираются во время формовки.

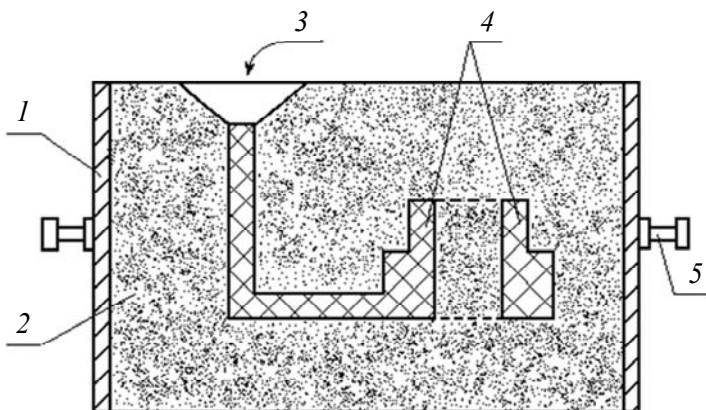


Рис. 1.13. Литейная форма с пенополистироловой моделью:
 1 – опока; 2 – песок; 3 – расплавленный металл;
 4 – модель из пенополистирола (пенопласта); 5 – цапфы

К недостаткам литья по газифицируемым моделям нужно отнести, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с определенной скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведет к образованию газовых дефектов в отливках. На рис. 1.14 показан окрашенный блок моделей из пенополистирола с литниковой системой (прибыльями).



Рис. 1.14. Окрашенный блок моделей с литниковой системой

Технологический процесс изготовления отливок литьем по газифицируемым моделям состоит из следующих операций:

- 1) подготовка полистирола (предварительное вспенивание);
- 2) изготовление модели в зависимости от величины, геометрии и серийности (это может быть автоклавный способ или вырезка модели из блочного пенополистирола с помощью режущего инструмента);
- 3) сборка моделей (если модель состоит из нескольких частей) и модельных блоков – моделей, собранных с литниковой системой;
- 4) приготовление, нанесение и сушка противопопригарного покрытия, которое наносится на поверхность модели;
- 5) формовка модельных блоков путем засыпки их кварцевым песком с последующим виброуплотнением;
- 6) подключение контейнеров к вакуумирующей системе и заливка жидкого металла (при этом продукты деструкции удаляются из формы, проходят через установку обезвреживания);
- 7) выбивка контейнеров (после отключения от вакуумирующей системы песок высыпается из контейнера и подается на установку регенерации, где очищается от продуктов деструкции пенополистирола, а отливки подаются на финишные операции).

Преимущества метода. 1. Возможность изготовления отливок сложной конфигурации с высокой точностью и низкой шероховатостью. 2. Уменьшение расходов формовочных материалов, снижение материалоемкости процесса. 3. Получение отливок без стержней и уклонов. 4. Изготовление единичных моделей вырезкой из блока полистирола.

Недостатки метода. 1. Процесс трудоемкий, длительный, многооперационный, с использованием дорогостоящих материалов. 2. Из-за выделения газов при разложении моделей возможно образование газовых дефектов. 3. Выделение токсичных продуктов термодеструкции моделей, что требует проведения соответствующих защитных мероприятий.

Оборудование и материалы

1. Бегуны лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Модельный комплект.
4. Печь плавильная.
5. Песок кварцевый.
6. Жидкое стекло.
7. Отработанная формовочная земля.
8. Формовочный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить стержневую смесь, состоящую из песка и жидкого стекла (3,5 %).

2. Вручную наполнить стержневой ящик стержневой смесью, уплотнить и поместить в сушильный шкаф для отверждения (200 °С).

3. Через 30 мин вынуть стержневой ящик из сушильного шкафа, разобрать его и извлечь стержень.

4. Приготовить формовочную смесь из отработанной формовочной земли, свежих материалов и воды.

5. Очистить модели и плиты от остатков формовочной земли.

6. Нанести разделительное покрытие на поверхность модели для предотвращения прилипания формовочной смеси.

7. На подмодельную плиту низа установить опоку и насыпать слой формовочной смеси высотой 50–70 мм. Руками уплотнить смесь вокруг моделей.

8. Насыпать второй слой формовочной смеси высотой 50–70 мм и произвести ее уплотнение трамбовкой. Продолжать до заполнения опоки. Излишек смеси над верхним срезом опоки удаляют линейкой.

9. Для образования небольших зазоров между моделью и формовочной смесью, чтобы облегчить отделение модели от

формовочной смеси, произвести по опоке несколько ударов сбоку.

10. Плавно, без рывков произвести отделение опоки от подмодельной плиты (протяжку).

11. Перекантовать заформованную опоку на 180 °С и произвести осмотр полученного отпечатка.

12. Следуя пунктам 5–11, изготовить полуформу верха, выполнив в ней перед отделением от подмодельной плиты вентиляционные каналы.

13. Сделать эскизы подмодельных плит и заформованных опок.

14. Собрать форму, предварительно проставив стержень в полуформе низа.

15. Установить на собранную форму груз.

16. Залить форму металлом.

17. Выполнить эскиз с разрезом собранной формы (без отливки).

18. Выполнить эскиз предполагаемой отливки с литниковой системой.

19. Извлечь отливку с литниковой системой и сравнить ее с выполненным эскизом.

Содержание отчета

1. Краткое описание последовательности выполнения работы.

2. Эскизы подмодельных плит с моделями верха и низа.

3. Эскизы полуформ верха и низа с проставленным стержнем.

4. Эскиз формы в сборе (разрез).

5. Эскизы стержневого ящика и стержня.

6. Эскиз отливки с литниковой системой.

Лабораторная работа № 2

ЗАТВЕРДЕВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучить закономерность хода затвердевания сплава в зависимости от его положения на диаграмме состояния.

Общие сведения

Термический анализ – совокупность методов определения температур, при которых происходят процессы, сопровождающиеся либо выделением тепла (кристаллизация из расплава), либо его поглощением (плавление).

Термический анализ затвердевания отливок из различных сплавов позволяет получить важные характеристики: температуру перегрева, критические точки (ликвидус и солидус – интервал затвердевания), величину переохлаждения, скорость кристаллизации, продолжительность затвердевания, скорость охлаждения и др.

Нагревая (охлаждая) изучаемый сплав, через небольшие промежутки времени измеряют его температуру, результаты измерений изображают графически, откладывая время по оси абсцисс, а температуру – по оси ординат. При отсутствии превращений кривая охлаждения (нагрева) идет плавно, превращения отражаются на кривой появлением изломов или горизонтальных участков.

В зависимости от положения сплава на диаграмме состояния (рис. 2.1) и ее вида термические кривые могут иметь различную форму. Чистые металлы и сплавы эвтектического состава дают термическую кривую с одной горизонтальной площадкой. Доэвтектические сплавы, имеющие в своем составе эвтектику, затвердевают сначала в интервале температур, а затем при постоянной эвтектической температуре. Примером таких сплавов являются силумины – сплавы алюминия с кремнием. Химический состав – 4–22 % Si, основа – Al.

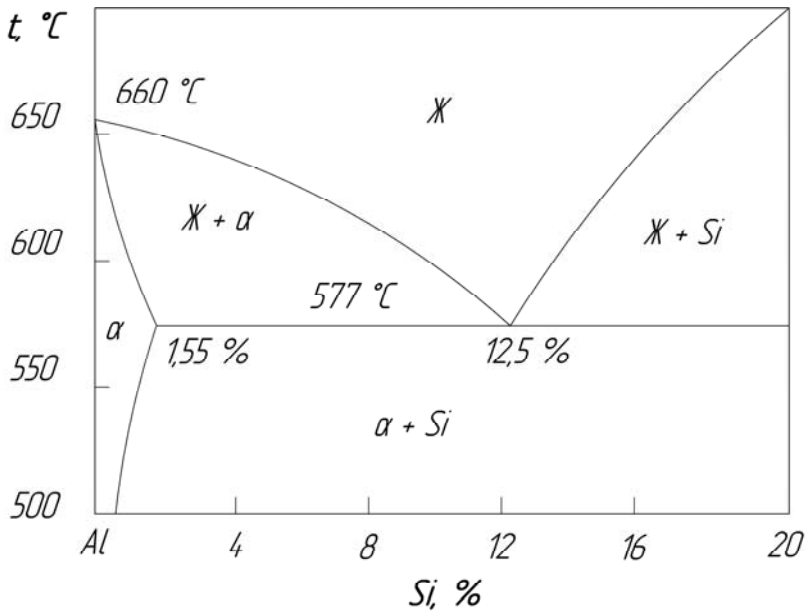


Рис. 2.1. Участок равновесной диаграммы состояния системы алюминий–кремний

Термоэлектрический метод измерения температуры основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (ТДЭС) в цепи, составленной из двух разнородных проводников при неравенстве температуры в местах соединения концов проводников. Данный метод наиболее широко используется при исследовании литейных процессов.

Термопара – пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце, входящая в состав устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры (рис. 2.2).

Фактическое напряжение, генерируемое термопарой, зависит от температуры нагрева и от типа используемых металлов. Напряжение это не велико и, как правило, составляет от 0,01 до 0,08 мВ на 1 °С.

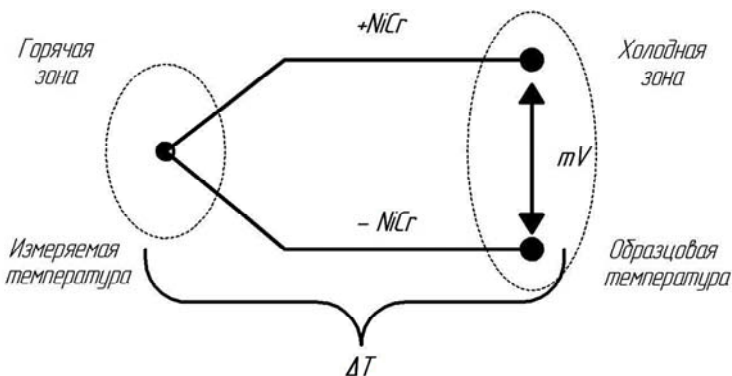


Рис. 2.2. Схема работы термопары

При подключении термопары к измерительному прибору получается еще один термоэлектрический переход. Таким образом, фактически получается два перехода, находящихся в разных температурных режимах, поэтому входной сигнал на измерителе будет пропорционален разности температур между этими двумя переходами (рис. 2.3).

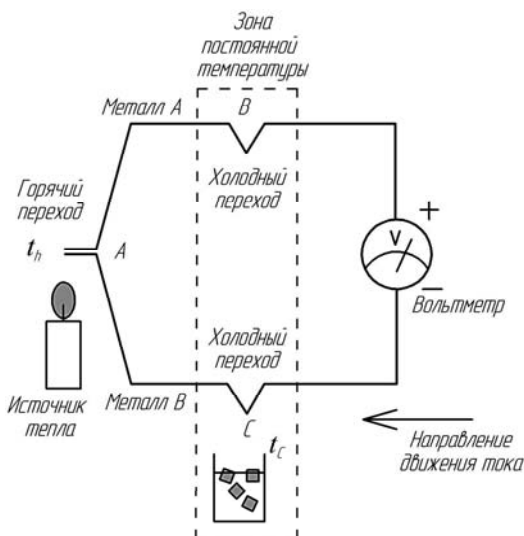


Рис. 2.3. Измерительная схема

Для того чтобы измерить абсолютную температуру, применяют метод, известный как «компенсация холодного спая». Его суть заключается в том, что второй переход (который протекает вне зоны измеряемой температуры) помещают при постоянной (образцовой) температуре. Ранее для этого использовали стандартный метод – помещая данный переход в ледяную воду.

На сегодняшний день применяют дополнительный датчик температуры, расположенный в непосредственной близости от второго перехода, и по его показаниям измерительный прибор вносит коррекцию в результат измерения. Это значительно упрощает общую схему измерения, поскольку термопару и измерительный элемент с элементом температурной компенсации можно объединить в единое целое.

Термопара широко используется в различных устройствах измерения температуры и системах сбора данных. Она является наиболее популярным типом датчика температуры, поскольку он надежный, универсальный, обладает низкой инертностью, относительно недорогой и позволяет измерять температуру в широком диапазоне.

Использование различных термопар позволяет измерять температуру в очень широком диапазоне: от $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ и до $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения, как правило, находится в пределах $0,5...2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Характеристики термопар различного типа

Термопара	Термоэлектроды		Пределы измерения $^{\circ}\text{C}$	Средняя чувствительность мВ/град
	положительный	отрицательный		
ХК	хромель	копель	$-50...+800$	0,080
ХА	хромель	алюмель	$-50...+1300$	0,040
ПП	платина- 10 % родия	платина	$0...1650$	0,012

Термопары изготавливаются из термоэлектродной проволоки диаметром 0,1...0,5 мм сваркой (ХК, ХА). Для изоляции термоэлектродов друг от друга используются: кварцевая соломка (диаметром 0,5...1,0 мм), двухканальные корундовые и фарфоровые трубки, керамические бусы. Для защиты термоэлектродов от расплавленного металла применяют кварцевые колпачки. Глубина погружения колпачка термопары в жидкий металл 30...60 мм, при этом горячий спай прогревается до температуры металла за 5...7 с, после чего можно производить измерение термоэдс. В отдельных случаях применяют термопары с оголенным горячим спаем.

Для защиты рабочих спаев термопар, предназначенных для разовых измерений температуры жидких сталей и сплавов, применяются кварцевые наконечники (рис 2.4).

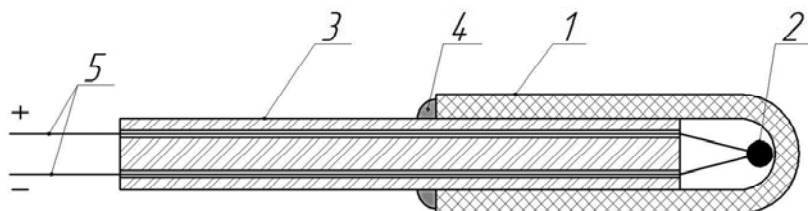


Рис. 2.4. Термопара с защитным наконечником:

1 – кварцевый колпачок; 2 – спай термопары;

3 – двухканальная корундовая трубка; 4 – термостойкий клей;

5 – термоэлектродная проволока

Термопары изготавливаются в различных формах. Они бывают безкорпусными, то есть спай двух металлов не закрыт защитным кожухом (рис 2.5). Это обеспечивает очень быстрое время измерения и низкую инертность.



Рис. 2.5. Безкорпусная термопара

Так же термопары могут быть доступны и в качестве зонда (рис 2.6, 2.7). Этот тип широко используется как в измерительных приборах бытового назначения, так и в производстве, где необходимо защитить термопару от агрессивной среды технологического процесса.



Рис. 2.6. Термопары в защитных чехлах



Рис. 2.7. Термопара-зонд

С помощью термического анализа решаются задачи измерения температур, получения количественных характеристик (фазовый состав, температуры фазовых переходов, теплота кристаллизации) при охлаждении (нагревании) исследуемых объектов.

Порядок выполнения работы

1. Собрать измерительную схему (термопара–потенциометр).
2. Расплавить и перегреть в муфельной электрической печи исследуемые сплавы (доэвтектический и эвтектический сплавы).
3. Извлечь из печи тигель с расплавленным сплавом и поместить его на штатив.
4. Установить термопару с защитным наконечником в тигель с расплавом.
5. Через каждые 10 секунд фиксировать показания прибора до полного затвердевания сплава.
6. Аналогичным образом произвести опыты для других сплавов.
7. Значения, полученные в ходе измерений, занести в таблицу.
8. По данным таблицы построить кривые охлаждения в координатах температура–время для всех исследованных сплавов.

Содержание отчета

1. Краткое описание последовательности выполнения работы.
2. Кривые охлаждения разных сплавов.
3. Анализ кривых охлаждения.
4. Выводы по исследованным в работе сплавам.

Лабораторная работа № 3

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ СПЛАВОВ

Цель работы: изучить влияние скорости охлаждения на структуру доэвтектического силумина.

Общие сведения

Перегретый расплав, поступающий в форму, в течение некоторого времени сохраняется в жидком состоянии, а затем начинает затвердевать от контакта поверхности с формой по направлению к тепловой оси отливки. По мере протекания процесса затвердевания увеличивается количество твердой и уменьшается количество жидкой фазы. Когда жидкая фаза будет полностью исчерпана, затвердевание закончится.

Под понятием «**затвердевание**» понимается образование сплошного металлического слоя и его нарастание по направлению к тепловой оси отливки. При затвердевании не учитывается формирование микроструктуры, и оно рассматривается как тепловой процесс.

Особенности тепловых процессов (в первую очередь их интенсивность) оказывают решающее влияние на качество литого металла и на протекание всех других процессов при формировании отливок.

При затвердевании и охлаждении отливки в системе «отливка-форма» происходят следующие нестационарные тепловые процессы: переход тепла через жидкий металл; переход тепла через твердый металл; передача тепла от расплава в форму; передача тепла от твердого металла в форму; переход тепла через форму; излучение тепла открытыми прибылями.

Условия теплопередачи от металла в форму постоянно меняются: температура отдельных точек системы «отливка-форма» изменяются во времени. Толщина затвердевшего слоя посте-

пенно возрастает, пока кристаллизация не завершится в центре отливки. Определение скорости и времени затвердевания – важнейшая задача теории затвердевания, и она положена в основу различных методов исследований затвердевания металла.

Процесс формирования структуры в реальных отливках зависит от многих факторов, которые определяются свойствами каждого конкретного сплава, литейной формы и конструкцией отливки. На формирование структуры влияют теплофизические свойства сплава и формы, температуры заливки сплава и формы перед заливкой, металлоемкость формы и средняя толщина стенки отливки. Кристаллизация сплавов начинается всегда у стенок формы.

Кристаллизация – процесс образования структуры при переходе из жидкого состояния в твердое (образование зародышей, рост дендритов и образование первичной структуры отливок). Под кристаллизацией понимается процесс, соответствующий фазовому превращению, при котором из исходной жидкой фазы возникает твердая кристаллическая фаза.

В чистых металлах и в эвтектических сплавах, а также в сплавах, имеющих состав, соответствующий химическому соединению, при медленном охлаждении кристаллизация происходит при определенной постоянной температуре. Остальные сплавы кристаллизуются в некотором интервале температур, определяемом удалением ликвидуса от солидуса на диаграмме. В процессе кристаллизации выделяется скрытая теплота кристаллизации. Причиной кристаллизации является стремление металла при изменении температуры достичь стабильного состояния, которое характеризуется минимальной свободной энергией.

Необходимое условие для начала кристаллизации – определенное **переохлаждение** ниже температуры ликвидус (теоретической). При этом разность свободных энергий вновь образующейся и исходной фаз должна быть достаточной, так как за счет этой разности возмещается работа, необходимая для образования и роста зародышей.

Процесс кристаллизации может устойчиво идти при условии уменьшения свободной энергии, для чего требуется, чтобы температура кристаллизации ($T_{кр}$) была ниже равновесной (T_0). Разность температур $T_0 - T_{кр} = \Delta T$ называется переохлаждением, которое обеспечивает достаточную для начала кристаллизации разность свободных энергий жидкой и твердой фаз. За счет разности энергий возмещается работа, необходимая для образования и роста зародышей.

Образование кристаллов при переходе металла из жидкого состояния в твердое называется первичной кристаллизацией, а изменение формы кристаллов в твердом состоянии – вторичной. От первичной кристаллизации зависит вторичная, поэтому она определяет свойства готовой отливки, в связи с чем первичную кристаллизацию можно считать решающим фактором, определяющим механические свойства отливки. Дефекты, возникающие при первичной кристаллизации, нельзя исправить термической обработкой, и они проявляются в местных ухудшениях таких свойств отливки, как прочность, пластичность, ударная вязкость, износостойкость. В связи с этим возникает необходимость в управлении процессом первичной кристаллизации.

Процесс кристаллизации в отливках определяется составом, температурой и строением жидкого металла, условиями его заливки и последующего охлаждения в форме. Обычно чем выше температура заливки и меньше скорость охлаждения в период затвердевания, тем крупнее строение первичной структуры.

Важной характеристикой сплавов является их чувствительность к скорости охлаждения. В одной и той же отливке можно получить мелкозернистое строение в тонких частях или грубозернистое в толстых частях отливки. Так, в тонких частях чугуновых отливок может появиться отбел, а в толстых частях – крупный пластинчатый графит, что неблагоприятно отражается на обрабатываемости, а также на конструктивной прочности и надежности отливки в целом.

Скорость охлаждения определяется степенью теплоотвода, которая зависит от многих технологических факторов. Одними из основных факторов являются теплопроводность и теплоемкость формы. Используя различные по свойствам материалы для изготовления форм, а также различные технологические приемы (местное захлаживание или утепление, искусственное охлаждение или разогрев формы, подвод металла в тонкие стенки и т. д.), можно в значительной степени управлять процессом кристаллизации отливки.

Для оценки влияния интенсивности охлаждения отливки на ее структуру служат технологические пробы – отливки с переменной толщиной сечения (клиновидные, ступенчатые). Зависимость структуры от интенсивности охлаждения можно определять, заливая отливки разной толщины в литейные формы, изготовленные из разных материалов (земляные формы, металлические и др.). Изменение структуры отливок исследуется в зависимости от скорости затвердевания, которая характеризуется величиной, обратно пропорциональной диаметру или толщине образца. При заливке проб в различные литейные формы одинаковой толщины меньшая скорость затвердевания будет наблюдаться в отливках, кристаллизирующихся в формах с меньшей теплоаккумулирующей способностью (теплопроводностью, теплоемкостью и т. д.).

Микроструктуру отливок характеризуют на специально протравленном микрошлифе, выявляющем внутреннее дендритное строение макрозерна, средним расстоянием d_i между вторичными осями дендрита (иногда эту характеристику имеют средним размером дендритной ячейки, рис. 3.1).

Структура металла зависит от большого числа различных по своей природе факторов – как металлургических (перегрева металла при плавке, состава шлака и газовой атмосферы в печи, способа раскисления и т. д.), так и технологических (температуры заливки металла, состава и способа ввода модификаторов, толщины отливки, теплоаккумулирующей способно-

сти формы и т. д.). Важной величиной, от которой зависит структура металла, является средняя скорость затвердевания отливки. Для того чтобы определить среднюю скорость затвердевания отливки ($v_{\text{ср.затв.}}$), необходимо знать продолжительность ее затвердевания и толщину. Продолжительность затвердевания τ определяют термометрированием (снимают кривую охлаждения) или рассчитывают.

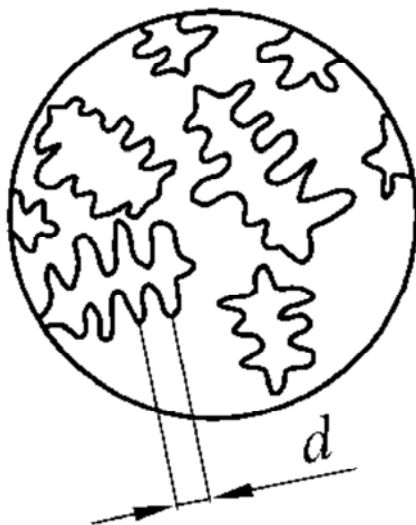


Рис. 3.1. Определение расстояния между вторичными осями дендритов

Различная скорость затвердевания может обеспечиваться разной толщиной отливок, применением формовочных смесей с различной величиной коэффициента аккумуляции тепла, разными материалами формы (металлическая форма, керамическая форма и др.)

Порядок выполнения работы

1. Изготовить на лабораторных бегунах 2–3 кг стержневой смеси, состав которой укажет преподаватель.

2. По моделям изготовить из стержневой смеси формы для отливок различной толщины. Собрать и покрасить металлические формы.

3. Выплавить силумин, содержащий 8–10 % кремния в соответствии с требованиями технологии плавки, перегреть его на 50–100° выше температуры ликвидуса.

4. По центру формы установить термопару в защитном чехле. Залить формы.

5. Снять кривые охлаждения отливок разной толщины, полученных в земляных и металлических формах.

6. Из каждой отливки вырезать образец и изготовить его шлиф.

7. С помощью металлографического микроскопа определить среднее расстояние между вторичными осями дендритов на всех шлифах.

8. Зарисовать микроструктуры отливок разной толщины, полученных в земляных и металлических формах.

9. По кривым охлаждения определить продолжительность затвердевания и рассчитать среднюю скорость затвердевания.

10. Результаты расчета занести в табл. 1.

Таблица 1

Оценка полученных экспериментальных данных

Материал формы	Толщина образцов, мм	Продолжительность затвердевания, с	Средняя скорость затвердевания, мм/с	Среднее расстояние между вторичными осями дендритов, мкм

Содержание отчета

1. Краткое описание последовательности выполнения работы.
2. Кривые охлаждения отливок разной толщины, полученных в разных формах (на одном графике построить все кривые охлаждения).
3. Анализ кривых охлаждения.
4. Результаты опытов (таблицы, рисунки микроструктур).
5. Выводы по влиянию скорости охлаждения как функции толщины отливки и материала формы на кристаллизацию исследуемого сплава.

Лабораторная работа № 4

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СПЛАВА НА ВЕЛИЧИНУ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ПОЛОСТЕЙ В ОТЛИВКАХ

Цель работы: изучить влияние состава сплава и скорости охлаждения на объем концентрированной усадочной раковины и усадочной пористости в отливках.

Общие сведения

При охлаждении отливок происходит уменьшение их объема. Общее относительное изменение объема (объемная усадка) от температуры заливки до полного охлаждения отливки складывается из изменений объема в каждый из трех периодов охлаждения: в жидком состоянии, в температурном интервале ликвидус-солидус и в твердом состоянии.

Уменьшение объема жидкого металла принято характеризовать **коэффициентом объемного сжатия в жидком состоянии** и температурным интервалом (величиной перегрева над температурой ликвидус). Снижение температуры сопровождается уменьшением объема.

Наибольшее значение при формировании отливок имеет изменение объема сплава при кристаллизации, характеризующегося **коэффициентом объемного сжатия при кристаллизации** (объемной усадкой).

Усадка в твердом состоянии приводит к изменению линейных размеров отливок, что приходится учитывать при проектировании, увеличивая размеры литых деталей на величину усадки (т. е. назначая припуск на усадку). Усадку такого сплава принято характеризовать **коэффициентом линейного сжатия** (линейной усадкой).

Линейная усадка (свободная) – это уменьшение линейных размеров отливки при ее затвердевании и охлаждении до ком-

натной температуры, выраженная обычно в процентах. Линейная усадка начинается с момента образования в отливке сплошного скелета твердых кристаллов и заканчивается при охлаждении отливки до температуры окружающей среды. Усадка твердого сплава или сплава, находящегося в твердожидком состоянии, но уже получившего и сохраняющего определенные геометрические очертания, является причиной развития внутренних напряжений в отливке и образования в ней трещин.

Разницу между линейными размерами модели $L_{\text{мод}}$ и отливки $L_{\text{отл}}$, выраженную в процентах, $\epsilon_{\text{лит}} = [(L_{\text{мод}} - L_{\text{отл}}) / L_{\text{отл}}]100$ называют относительной **литейной усадкой** (%). Она отличается от величины линейной усадки, так как зависит не только от коэффициента линейной усадки и температуры затвердевания, но и от конструкции отливки, формы, технологии изготовления формы и т. д. Литейная (затрудненная) усадка определяется практически и может быть несколько меньше линейной усадки.

Усадка в период затвердевания может быть причиной появления усадочных раковин и пористости. Изменение объема залитого в форму металла происходит в условиях перепада температур по сечению отливки. Когда наружные слои отливки уже затвердели, внутренние части могут находиться в жидком состоянии. В этом случае затвердевшая корочка ограничивает объем жидкого металла, заключенного внутри нее. Именно эта разница и проявляется в виде усадочных пустот: концентрированных усадочных раковин (внутренних и внешних) или рассредоточенной пористости.

На рис. 4.1 представлены четыре основные стадии усадки. На первой стадии (рис. 4.1, *а*) полость формы заполнена расплавом, залитым при температуре ликвидуса, так что расплав начинает затвердевать сразу же после контакта с формой. На второй стадии (рис. 4.1, *б*) затвердевает корка – получается своего рода закрытый сосуд, внутри которого заключен расплав. По мере охлаждения происходит усадка расплава и за-

твердевшей корки, а также имеет место уменьшение объема при изменении агрегатного состояния (кристаллизация). Усадка расплава и уменьшение объема при переходе из жидкого состояния в твердое превышают усадку корки. Поэтому в определенный момент расплав отделяется под действием силы тяжести от верха затвердевшей корки и опускается (рис. 4.1, в). Над расплавом остается полость – закрытая усадочная раковина (рис. 4.1, г). В образовавшейся раковине в отливках из дегазированных сплавов создается разрежение, вследствие чего верхняя тонкая корка может прогнуться внутрь раковины, как это показано пунктирными линиями на рис. 4.1, в, г. Таким образом, усадочная раковина состоит из наружной (впадины) и внутренней частей. Чтобы не допустить образования в отливке усадочной раковины, надо к отливке присоединить резервуар сплава – прибыль (рис. 4.1, д), из которой под действием силы тяжести расплав переместится в затвердевающую отливку. Усадочная раковина в этом случае образуется только в прибыли, которую отделяют от отливки.

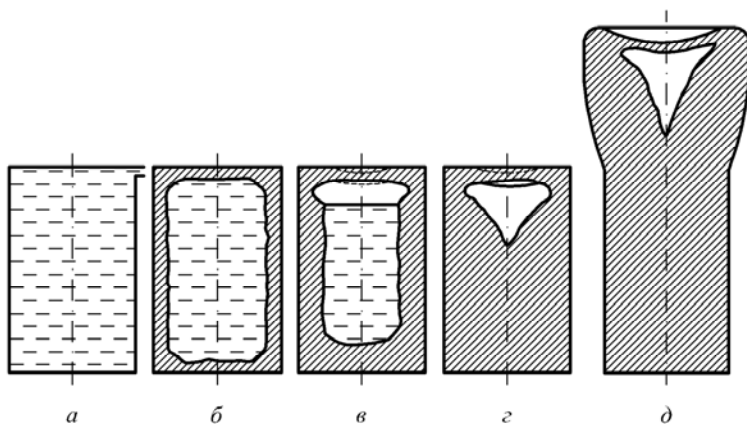


Рис. 4.1. Ход образования усадочной раковины в отливке

Характер распределения усадочных пустот в отливке зависит от ширины двухфазной зоны сплава. Чем она больше, тем

больше склонность сплава к образованию рассредоточенной пористости. **Усадочная пористость** – скопление мелких пустот, образующихся в результате усадки при затвердевании небольших объемов металла, изолирующихся в процессе формирования отливки от источников питания жидким металлом. С уменьшением ширины двухфазной зоны возрастает тенденция к образованию концентрированных усадочных раковин. Поэтому чистые металлы и сплавы, кристаллизующиеся при постоянной температуре или в узком интервале и образующие небольшую двухфазную зону, при прочих равных условиях более склонны к образованию концентрированной усадочной раковины (рис. 4.2).

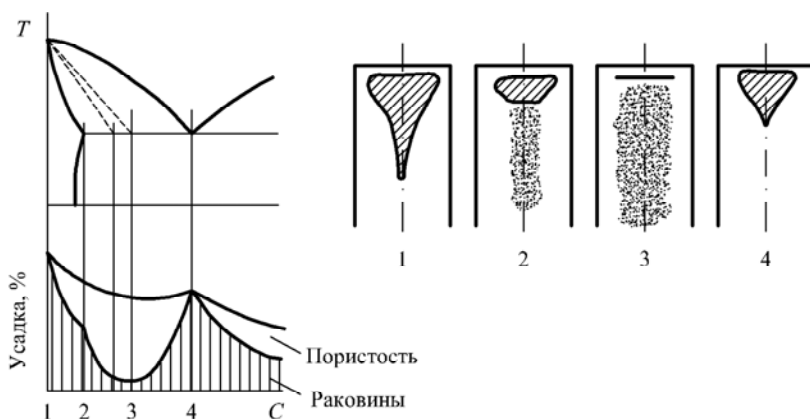


Рис. 4.2. Связь развития усадочных пустот с диаграммой состояния

Скорость охлаждения оказывает существенное влияние на соотношение между объемом концентрированных усадочных раковин и пористостью в отливке. Это обусловлено тем, что протяженность двухфазной зоны в значительной мере определяется условиями охлаждения.

При повышении интенсивности охлаждения в период кристаллизации (в интервале ликвидус-солидус) возрастает градиент температур по сечению отливки и соответственно уменьшается ширина двухфазной зоны, что способствует возник-

новению преимущественно концентрированных усадочных раковин. Охлаждение же отливки с малой интенсивностью может привести к образованию обширной зоны рассредоточенной пористости.

Увеличением интенсивности охлаждения можно добиться сосредоточения большей части объема усадочных полостей в одну концентрированную усадочную раковину или, по крайней мере, значительно сократить размеры области, пораженной усадочными порами. На практике стремятся сосредоточить все полости усадочного происхождения в небольшом объеме металла и вывести их в прибыль путем обеспечения последовательного затвердевания отливки по направлению к прибыли. Условия охлаждения определяют также место расположения усадочных полостей в отливке. Эти полости, как правило, располагаются несколько выше теплового узла, что обусловлено перемещением жидкого металла под действием гравитационных сил вниз.

Используя формовочные и стержневые смеси из различных материалов, применяя холодильники, воздушное или водяное охлаждение постоянных форм, можно изменять процесс кристаллизации отливки в нужном направлении.

Для исследования усадочных характеристик сплавов и их склонности к образованию усадочных раковин и пористости используются различные технологические пробы. Основное назначение этих проб – получение открытой сверху концентрированной усадочной раковины, определение объема V_p которой производится путем заливки жидкостью (водой, керосином) из мерной бюретки. С этой целью пробы имеют, как правило, коническую форму, которая способствует созданию направленного затвердевания (снизу вверх).

Порядок выполнения работы

1. Приготовить из стержневой смеси формы для отливки конических проб. Форму из стержневой смеси просушить в сушильном шкафу.

2. Приготовить металлическую форму для отливки конической пробы.

3. Выплавить сплавы заданного состава: а) силумин, содержащий 5–6 % кремния; б) силумин, содержащий 11–12 % кремния. Перегреть расплав на 100 °С выше температуры ликвидуса.

4. Залить формы расплавом: форму из стержневой смеси и металлическую форму – силумином, содержащим 5–6 % кремния; форму из стержневой смеси – силумином, содержащим 11–12 % кремния.

5. Охладить отливки, выбить их из форм, очистить от стержневой смеси.

6. Измерить объем открытой усадочной раковины, заполнив ее жидкостью из мерной бюретки.

7. Разрезать пробы по осевой плоскости.

8. Сделать шлифы проб. Изучить распределение усадочных пустот (усадочной пористости) под микроскопом. Оценить соотношение между объемами концентрированных и рассредоточенных полостей.

10. Сделать эскиз разрезанных проб.

Содержание отчета

1. Эскизы технологических проб.

2. Объем открытой усадочной раковины в зависимости от химического состава сплава и типа литейной формы.

3. Графическое изображение трех разрезанных проб с показанной осевой пористостью.

4. Выводы о величине и характере распределения усадочных пустот в зависимости от положения сплава на диаграмме состояния.

5. Выводы о величине и характере распределения усадочных пустот в зависимости от условий охлаждения (материала формы).

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Изготовление отливки в песчано-глинистой литейной форме	3
Лабораторная работа № 2. Затвердевание литейных сплавов	25
Лабораторная работа № 3. Влияние скорости охлаждения на кристаллизацию сплавов	32
Лабораторная работа № 4. Влияние состава сплава на величину и характер распределения усадочных полостей в отливках	39

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Практикум
по учебной дисциплине «Технология литейного производства»
для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое
производство и материалообработка» (по направлениям)

Составитель
БАРАНОВСКИЙ Константин Эдуардович

Редактор *Н. А. Костешева*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 13.10.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,67. Уч.-изд. л. 2,09. Тираж 100. Заказ 809.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.