

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности

1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»

В 2 частях

Часть 1

МЕТАЛЛЫ И ИХ СПЛАВЫ. ОСНОВНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ, СМЕСИ И ЛИТЕЙНЫЕ ФОРМЫ

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

Минск
БНТУ
2023

УДК 629.74
ББК 34.61
О-75

С о с т а в и т е л и:
С. Л. Ровин, С. В. Коренюгин

Р е ц е н з е н т ы:
декан механико-технологического факультета ГГТУ им. П.О. Сухого,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Металлургия и технологии
обработки материалов» *И. Б. Одарченко*;
начальник научно-исследовательского отдела комплексных проектов
и технологий литейных песчаных форм и стержней
ОАО «БЕЛНИИЛИТ», канд. техн. наук *Д. М. Голуб*

Основы технологии изготовления отливок : учебно-методическое
О-75 пособие для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и техноло-
гия литейного производства»: в 2 ч. / сост. : С. Л. Ровин, С. В. Корен-
нюгин. – Минск : БНТУ, 2023. – Ч. 1 : Металлы и их сплавы. Основ-
ные формовочные материалы, смеси и литейные формы. – 82 с.
ISBN 978-985-583-883-9 (Ч. 1).

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с учебной програм-
мой по курсу «Основы технологии изготовления отливок», содержит требования и
необходимую информацию для выполнения практических работ по указанной дис-
циплине.

Издание предназначено для закрепления теоретических знаний, полученных при
изучении дисциплины, а также приобретения практических навыков, необходимых
для овладения выбранной специальностью.

УДК 629.74
ББК 34.61

ISBN 978-985-583-883-9 (Ч. 1)
ISBN 978-985-583-884-6

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

Введение

Целью изучения учебной дисциплины «Основы технологии изготовления отливок» является ознакомление студентов с литейным производством, историей его зарождения и развития, современными технологиями изготовления отливок, технологическим оборудованием и материалами, применяемыми в литейном производстве, основами его организации, структурой литейных цехов, профессиональной терминологией.

Основными задачами учебной дисциплины являются:

– ознакомление студентов с важнейшими технологическими процессами изготовления отливок из металлических сплавов, включая процессы получения литейных сплавов, приготовления формовочных и стержневых смесей, изготовления и заливки расплавом литейных форм, формирования и финишной обработки отливок;

– ознакомление с современным технологическим оборудованием, применяемым в литейных цехах для плавки металлов и сплавов, для смесеприготовления, формовки и финишных операций;

– изучение основных материалов, применяемых для изготовления литейных форм, стержней и отливок.

Практическая работа № 1

ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ЛИТЬЕ. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Цель работы: ознакомление с технологическими процессами изготовления художественных отливок по выплавляемым моделям; приобретение практических навыков выполнения основных технологических операций на примере изготовления отливки «Колокол».

Приборы и материалы: электросушило, муфельная печь, паяльник, весы, вакуумируемая опока, виброустановка, тигель (графито-шамотный, вес загрузки 3 кг), плавильная печь сопротивления, щипцы, изложница, разделительный состав, двухкомпонентный силикон, гипс, модельный жидкий состав (воск), бронза ЛБ3, флюс (фосфористая медь), жидкое стекло, емкости и инструменты для приготовления формовочной массы и модельного состава.

Общие сведения

Существуют два основных способа изготовления художественных отливок:

– *литье по газифицируемым моделям* – процесс получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла в формы, изготовленные с использованием газифицируемых (выжигаемых) моделей;

– *литье по выплавляемым моделям* – метод получения отливки с применением разовых точных неразъемных форм с использованием жидких формовочных смесей или суспензий.

Изготовление отливок по *выплавляемым моделям* включает в себя следующие основные технологические операции:

1. *Изготовление мастер-модели, которая является прототипом восковой модели.* В качестве материала для мастер-модели может использоваться пластилин или глина. В качестве прототипа может выступать и уже готовое изделие. С развитием аддитивных технологий для изготовления мастер-модели все чаще используется 3D-печать.

2. *Изготовление формы для получения выплавляемой модели.* С изготовленной мастер-модели снимается комбинированная форма. На модель наносят разделительный состав для получения качественной поверхности. Затем наносят двухкомпонентный силикон, после отверждения которого наносят гипс и формируют жесткий кожух будущей формы. Гипсовый кожух после затвердевания разрезают на две части – половинки будущей формы. Силиконовую оболочку стягивают с мастер-модели и возвращают в гипсовый кожух, затем половинки кожуха снова соединяют между собой и получают полупостоянную форму для изготовления выплавляемых моделей.

3. *Изготовление выплавляемой модели.* В сушильном шкафу при температуре 95–100 °С расплавляют модельный состав (технический воск, парафин) и заливают его в изготовленную ранее комбинированную форму. После отверждения и охлаждения воска получается выплавляемая модель – образ будущей отливки.

4. *Изготовление литниковой системы и сборка модельного блока.* Литниковая система выстраивается индивидуально для каждой отливки таким образом, чтобы обеспечивалось последовательное заполнение формы и не образовывались литейные дефекты (пористость, недоливы, корольки и др.). Элементы литниковой системы также изготавливаются из воска. Габариты модельного блока и ЛПС выбирают, исходя из размеров вакуумируемой опоки. В ином случае модельный блок необходимо разделять на части, что затрудняет и продлевает процесс изготовления отливки.

5. *Изготовление огнеупорной оболочки.* Формовочную массу изготавливают из специального гипсового состава, смешивая его с водой до нужной консистенции. Затем в опоку, установленную на вибростол, помещают модельный блок, заливают формовочную массу, включают вибрацию и присоединяют опоку к вакуумному насосу. Происходит формирование оболочки: уплотнение формовочной массы и удаление из нее воздуха. Затем в течении трех часов происходит отверждение полученной оболочки.

6. *Вытапливание модельного состава.* После отверждения смеси осуществляется вытапливание воска из оболочки и, тем самым, создание полости для последующего заполнения ее металлическим расплавом. Для этого форма в перевернутом виде помещается в электроушило, разогретое до 100–110 °С, где воск расплавляется и стекает в металлический поддон, модельный состав затем может

снова использоваться для изготовления новых моделей. Модельный состав может также удаляться выплавлением в горячей воде, горячим воздухом в камерных электропечах, паром в автоклаве.

7. *Прокалка оболочки.* Прокаливание оболочки производится в муфельной печи при плавном подъеме (не более 100 °С в час) и обязательной регулировке температуры и зависит от используемых формовочных материалов и заливаемого металлического расплава. Температурно-временной режим прокалки представлен на рис. 1.1.

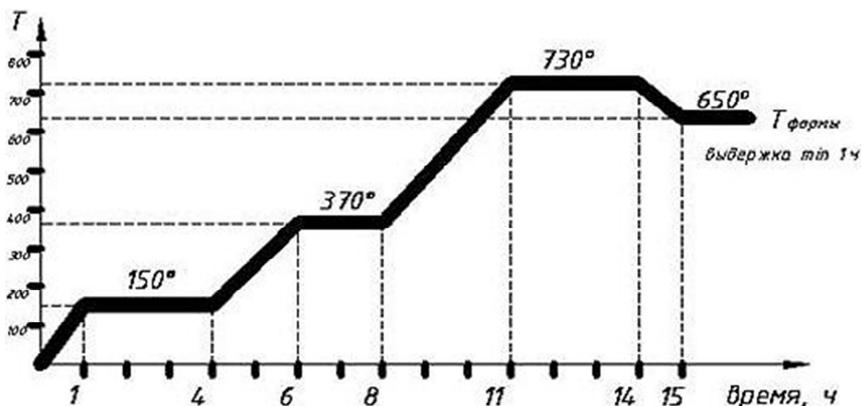


Рис. 1.1. График прокалки формовочной массы

8. *Плавка и заливка жидкого металла.* Прокаленную оболочку литниковой чашей вверх устанавливают в металлический ящик. Пространство между оболочкой и стенками ящика заполняют кварцевым песком. Параллельно с прокалкой ведут расплавление металла. Подготовленный жидкий металл заливают в оболочку. В качестве основного сплава при проведении практической работы используется бронза Л63. При заливке расплава также может использоваться вакуумирование, что снижает вероятность образования газовых дефектов в отливке. Залитая оболочка выдерживается до окончания кристаллизации и охлаждения отливки.

9. *Разборка форм и обработка отливок.* После остывания, опоки разбираются, удаляется формовочная масса. Обрезаются литники, отливки отделяются друг от друга. Операции обработки выбирают индивидуально для каждого вида отливок (шлифовка, монтаж,

пайка, полировка, тонировка химическим оксидированием, гравировка и т. д.)

Достоинства процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям:

- высокая точность массы и размеров отливок;
- отсутствие стержней;
- высокое качество поверхности отливок;
- малый объем и относительно низкая трудоемкость финишных операций получения отливок;
- отсутствие необходимости в последующей механической обработке.

Недостатки процесса:

- высокая стоимость материалов;
- длительность и сложность процесса.

Порядок выполнения работы

Приготовить модельный состав путем расплавления воска в подготовленной емкости, изготовить восковую модель путем заливки модельного состава в готовую силиконовую форму. Изъять остывшую восковку, устранить дефекты заливки, с помощью паяльника припаять литниковую систему, собрать модельный блок.

Подготовить формовочную массу (смешать гипс с водой в пропорции 2:1). Поместить модельный блок в вакуумируемую опоку, установленную на вибростоле. Залить формовочную массу в опоку и дождаться удаления воздуха из формы. Затем отключить вибрацию и вакуумнасос, дождаться отверждения формовочной массы.

Отвержденную оболочку поместить в сушильный шкаф для вытапливания воска. Прокалить оболочку в муфельной печи, в соответствии с графиком на рис. 1.1.

Расплавить металл и залить сплав в оболочку, установленную в металлический ящик, подключенный к вакуумной установке. Дождаться окончания кристаллизации и охлаждения отливки. Разобрать форму. Отделить отливки друг от друга и обрезать литники.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.

3. Краткие теоретические сведения.
4. Методика проведения работы.
5. Результаты работы.
6. Выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Какие существуют методы изготовления художественных отливок?
2. Что такое мастер-модель и из какого материала изготавливают выплавляемые модели?
3. Перечислите последовательность операций изготовления отливок методом литья по выплавляемым моделям.
4. Какими методами можно удалить модельный состав из огнеупорной оболочки?
5. Каков режим прокаливания огнеупорной оболочки?
6. Каковы преимущества и недостатки метода литья по выплавляемым моделям?

Практическая работа № 2

ЧЕРНЫЕ СПЛАВЫ – ЧУГУНЫ И СТАЛИ. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО–УГЛЕРОД»

Цель работы: ознакомление с черными металлами; изучение диаграммы состояний сплавов Fe–Fe₃C / Fe–C; приобретение навыков практического использования диаграммы для литья железоуглеродистых сплавов.

Общие сведения

Черными металлами принято называть сплавы на основе железа. Помимо железа важнейшим компонентом этих сплавов является углерод. *Железоуглеродистые сплавы* – стали и чугуны; являются важнейшими металлическими сплавами современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов, вместе взятых, более чем в десять раз.

Железо – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления – 1539 °С.

В твердом состоянии железо может находиться в двух кристаллических модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911 °С и 1392 °С. При температуре ниже 911 °С существует α -железо (Fe _{α}) с объемно-центрированной кубической решеткой (ОЦК). В интервале температур 911–1392 °С устойчивым является γ -железо (Fe _{γ}) с гранецентрированной кубической решеткой (ГЦК). Выше 1392 °С железо снова перестраивается в объемно-центрированную кубическую решетку и называется δ -железо (Fe _{δ}) или высокотемпературное Fe _{α} . Высокотемпературная модификация Fe _{α} не представляет собой новой аллотропической формы.

При температуре ниже 768 °С железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Температура перехода из магнитного в парамагнитное состояние называется *точкой Кюри железа*. При этом кристаллическая ОЦК решетка сохраняется, но меняются межатомные расстояния. Для обозначения парамагнитного состояния железа используют обозначение β -железо (Fe _{β}).

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности $\sigma_B = 250$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 120$ МПа) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение $\sigma = 50$ %, а относительное сужение $\psi = 80$ %). Свойства могут изменяться в некоторых пределах, в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения; с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

Углерод относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования, существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления – 3500 °С, плотность – 2,5 г/см³) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом, равным четырем (температура плавления – 5000 °С).

В сплавах железа углерод находится в состоянии твердого раствора в виде химического соединения, цементита (Fe₃C), либо в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

Цементит (Fe₃C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа); содержит 6,67 % углерода. Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу. Температура плавления цементита находится в интервале 1250–1550 °С. При низких температурах цементит слабо ферромагнитен; магнитные свойства теряет при температуре около 217 °С.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется *легированным цементитом*.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

Железоуглеродистые сплавы, в зависимости от содержания в них углерода, делятся на техническое железо (до 0,02 % С), сталь (0,02–2,14 % С), чугун (2,14–6,67 % С).

Основное представление о строении железоуглеродистых сплавов дает диаграмма состояния «железо–углерод» / «железо–цементит» (рис. 2.1).

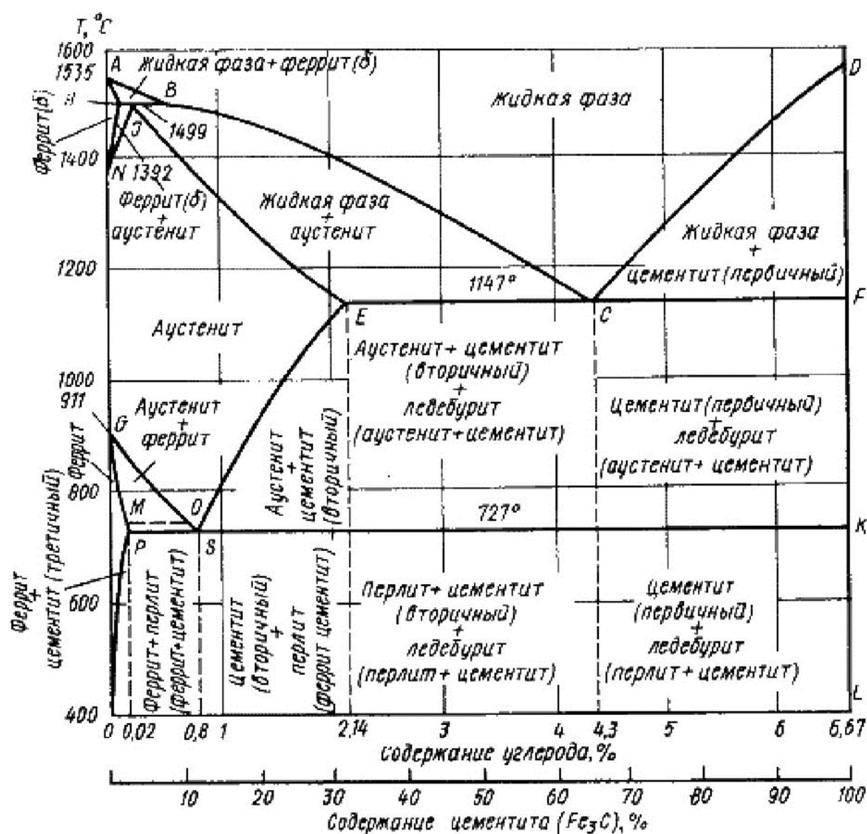


Рис. 2.1. Диаграмма состояния «железо–цементит»

Первооткрывателем полиморфных превращений в стали и разработчиком диаграммы «железо–углерод» является русский ученый Дмитрий Константинович Чернов. В 1868 г. он впервые указал на существование в стали критических точек, при которых происходят полиморфные превращения, сопровождающиеся изменением ее кристаллического строения, и на зависимость их положения от содержания углерода.

В системе «железо–углерод» существуют следующие основные фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит, или графит.

Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

Феррит (Ф) Fe_α (С) – твердый раствор внедрения углерода в α -железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка *Q*), максимальную – 0,02 % при температуре 727 °С (точка *P*). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше 1392 °С существует высокотемпературный феррит (δ) Fe_δ (С), с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1499 °С (точка *L*).

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость 130 НВ, предел прочности $\sigma_B = 300$ МПа) и пластичен (относительное удлинение – $\sigma = 30$ %), магнитен до 768 °С.

Аустенит (А) Fe_γ (С) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо.

Углерод занимает место в центре гранцентрированной кубической ячейки. Аустенит имеет предельную растворимость углерода: максимальную – 2,14 % при температуре 1147 °С (точка *E*).

Аустенит имеет твердость 200–250 НВ, пластичен (относительное удлинение $\sigma = 40$ –50 %), парамагнитен.

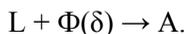
При растворении в аустените других элементов могут изменяться его свойства и температурные границы существования.

В железоуглеродистых сплавах различают *цементит первичный* C_I , *цементит вторичный* C_{II} и *цементит третичный* C_{III} . Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывают различия в размерах, количестве и расположении этих выделений. *Цементит первичный* выделяется

из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. *Цементит вторичный* выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). *Цементит третичный* выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

Ломаная линия $ABCD$ – ликвидус системы. На участке AB начинается кристаллизация феррита (δ), на участке BC – кристаллизация аустенита, на участке CD – кристаллизация цементита первичного.

Ломаная линия $AHJECF$ – линия солидус. На участке AH заканчивается кристаллизация феррита (δ). На ломаной линии HJB при постоянной температуре $1499\text{ }^\circ\text{C}$ идет перитектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита (δ), в результате чего образуется аустенит:



На участке JE заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ECF при постоянной температуре $1147\text{ }^\circ\text{C}$ идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая $4,3\%$ углерода, превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:



Эвтектика системы «железо–цементит» называется *ледебуритом*, по имени немецкого ученого Ледебура, обозначается буквой «Л» и содержит $4,3\%$ углерода.

При температуре ниже $727\text{ }^\circ\text{C}$ в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют *ледебурит превращенный* L_I .

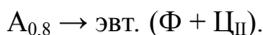
По линии HN начинается превращение феррита (δ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии NJ превращение феррита (δ) в аустенит заканчивается.

По линии GS происходит превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии PG превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ES начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

По линии *MO* при постоянной температуре 768 °С имеют место магнитные превращения.

По ломаной линии *PSK* при постоянной температуре 727 °С идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного:



По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы «железо–цементит» называется *перлитом* Π , содержит 0,8 % углерода. Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск.

Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

По линии *PQ* начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы «железо–цементит», т. е. критические точки, имеют условные обозначения. Обозначаются буквой «А» (от фр. “arrêt” – остановка):

A1 – участок *PSK* (727 °С) – превращение $\Pi \leftrightarrow A$;

A2 – участок *MO* (768 °С, точка Кюри) – магнитные превращения;

A3 – участок *GOS* (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $\Phi \leftrightarrow A$;

A4 – участок *NJ* (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $A \leftrightarrow \Phi(\delta)$;

A_{ст} – участок *SE* (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A₃).

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву «с», т. е. A_{с1} при охлаждении – букву «г», т. е. A_{г1}.

Сталь. Кристаллизация начинается на участке *ABC* и заканчивается на *АНJE*. При содержании углерода в пределах 0,1–0,5 % при

первичной кристаллизации образуется δ -феррит, превращающийся затем в аустенит. С содержанием углерода свыше 0,5 % аустенит образуется при непосредственной кристаллизации расплава. В дальнейшем охлаждении доэвтектоидной стали ниже линии GS аустенит постепенно превращается в феррит, состав аустенита изменяется по линии GS в сторону точки S . При температуре ломаной PSK (727 °C) состав оставшегося аустенита достигает точки S (0,8 % C), и он превращается в эвтектоид (перлит). Таким образом, структура доэвтектоидной стали состоит из перлита и феррита.

Перлит имеет значительно более высокую прочность и меньшую пластичность, чем феррит. Поэтому, чем больше углерода содержит сталь, т. е. чем выше в ней содержание перлитной составляющей, тем выше прочность стали и ниже ее пластичность.

При охлаждении эвтектоидной стали аустенит при температуре ломаной PSK целиком превращается в перлит. В заэвтектоидной стали ниже линии ES из аустенита выделяется вторичный цементит C_{II} , располагающийся, как правило, по границам аустенитных зерен. По мере выделения вторичного цементита, состав аустенита изменяется по линии ES в сторону точки S . При температуре участка PSK состав аустенита достигает точки S , и он превращается в перлит. Таким образом, структура заэвтектоидной стали состоит из перлита и сетки вторичного цементита. Выделение вторичного цементита по границам зерен повышает хрупкость стали.

Белый чугун. Кристаллизация начинается на линиях BC и CD и заканчивается на ломаной ECF . Доэвтектический белый чугун начинает кристаллизацию с образованием в жидком растворе кристаллов аустенита. При этом состав жидкости изменяется по линии BC в сторону точки C . При температуре участка ECF (1147 °C) состав оставшейся жидкости достигает точки C (4,3 % C), и она кристаллизуется в эвтектику – ледебурит. Следовательно, структура затвердевшего доэвтектического чугуна вблизи линии EC состоит из ледебурита и аустенита. При дальнейшем охлаждении доэвтектического чугуна из аустенита выделяется вторичный цементит. При этом состав аустенита изменяется по линии ES в сторону точки S . При температуре участка PSK состав аустенита (как структурно свободного, так и ледебуритного) достигает точки S , и он превращается в перлит. Таким образом, структура доэвтектического чугуна состоит

из перлита, вторичного цементита и ледебурита (состоящего из перлита и цементита).

Эвтектический чугун в результате первичной кристаллизации затвердевает при температуре точки S в ледебурит (смесь аустенита и цементита). При достижении температуры ломаной PSK аустенитная составляющая ледебурита превращается в перлит. Ниже этой температуры сплав имеет структуру ледебурита, состоящего из перлита и цементита. Заэвтектический чугун начинает кристаллизацию ниже линии CD с образованием в жидком растворе кристаллов первичного цементита. При этом состав жидкости изменяется по линии CD в сторону точки S . При температуре участка ECF состав жидкости достигает точки S , и она кристаллизуется в ледебурит. Следовательно, структура затвердевшего заэвтектического чугуна ниже участка ECF состоит из ледебурита и первичного цементита. Такая структура сохраняется до комнатной температуры, но при достижении сплавом температуры PSK аустенит ледебурита превращается в перлит.

Для того чтобы по диаграмме состояния определить, какие фазы присутствуют при том или ином составе сплава и каково соотношение этих фаз, используются правило фаз и правило отрезков.

Правило фаз. Для твердофазных диаграмм в том случае, когда вкладом парциальных давлений компонентов в общее давление над системой можно пренебречь, правило фаз принимает следующий вид:

$$C = K - \Phi + 1,$$

где C – число степеней свободы;

K – число компонентов системы;

Φ – число фаз системы.

Правило отрезков. Для того чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию – коноду. Отрезки коноды между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз. Правило отрезков в двойных диаграммах состояния можно применить только в двухфазных областях.

В качестве примера применения правила отрезков и правила фаз рассмотрим сплавы с содержанием углерода 0,4 и 5,0 % (рис. 2.2).

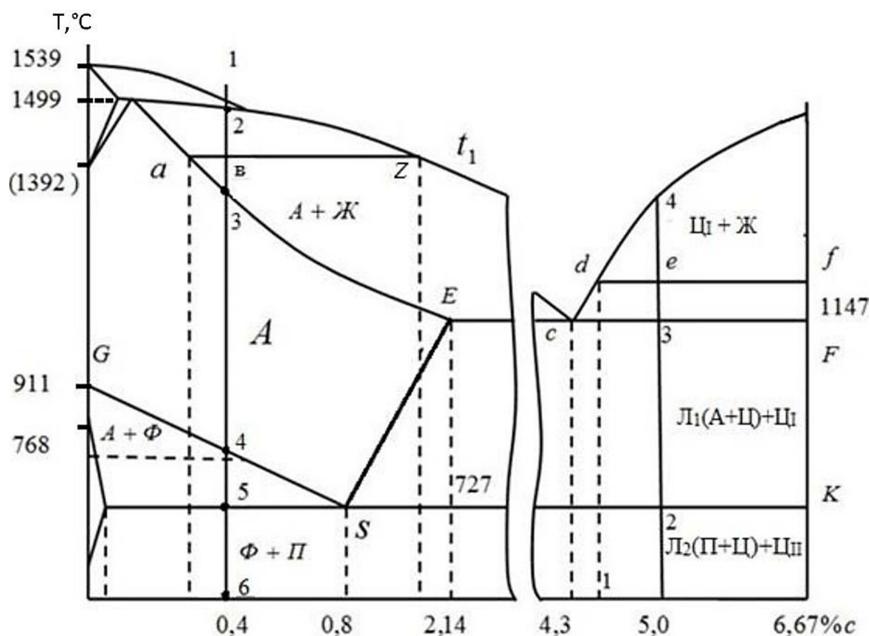


Рис. 2.2. Применение правила отрезков на диаграмме Fe–Fe₃C.

Для этого через точку *в*, соответствующую произвольно выбранной температуре в интервале между точками 2 и 3, проведем отрезок *az* (сплав с 0,4 % C). Тогда количество всего сплава будет соответствовать отрезку *az*, масса аустенита – отрезку *vz*, а масса жидкого раствора – отрезку *av*. Состав аустенита (содержание углерода в аустените) определится проекцией точки *a* на ось абсцисс, а жидкого раствора – проекцией точки 2 на ту же ось.

Отрезок *df* между точками 3 и 4 (сплав с 5,0 % C) соответствует массе всего сплава, отрезок *de* характеризует массу цементита первичного Ц_I, а *ef* – жидкого раствора. При повышении точки *в*, т. е. при нагревании сплава, отрезок *de* – укорачивается, что соответствует уменьшению количества цементита, растворяющегося в процессе нагревания. Состав жидкой фазы определяется проекцией точки *d* на ось концентраций, состав цементита постоянный – 6,67 % C.

Применение правила фаз рассмотрим в двух точках сплава I с 0,4 % C: в области аустенита между точками 3 и 4 и в точке *б*

в момент перлитного превращения. Как известно, для двухкомпонентных систем, рассматриваемых при постоянном давлении, правило фаз выражается соотношением

$$C = 3 - \Phi,$$

где C – число степеней свободы системы, т. е. количество независимых факторов равновесия, которые можно изменять, сохраняя систему в том же состоянии, т. е. с тем же количеством фаз;

Φ – число фаз.

Для того чтобы определить C , достаточно подсчитать число фаз в данной точке или области. Поскольку между точками 3 и 4 число фаз равно единице (чистый аустенит), то $C = 2$, т. е. можно изменить два фактора равновесия (например, температуру и концентрацию), не изменяя числа фаз.

В точке 6 три фазы (аустенит, феррит и цементит в составе перлита), поэтому система в этой точке не имеет степеней свободы, она невариантна, т. е. нельзя изменить ни один из факторов равновесия, не изменяя числа фаз.

Фазовые превращения при нагревании рассмотрим на примере сплава II: эвтектическом чугуна, содержащем 5,0 % C. В точке 2 происходит превращение ледебурита второго в первый. Сущность этого превращения состоит в переходе перлита в аустенит. Между точками 2 и 3 происходит науглероживание аустенита, входящего в состав ледебурита до содержания в нем 2,14 % C. В точке 3 происходит расплавление ледебурита (эвтектика). Между точками 3 и 4 происходит растворение первичного цементита. Выше точки 4 сплав состоит из однородного жидкого раствора.

На рис. 2.3 представлены термические кривые сплава с 0,4 % C при охлаждении (а) и сплава с 5,0 % C при нагревании (б). Обозначение точек такое же, как и на рис. 2.2. Между точками сделана краткая запись фазовых превращений.

Для выбора температурных режимов термической обработки следует знать, что ломаной *PSK* диаграммы Fe–Fe₃C представляет собой совокупность критических точек A_{c1} (A_{c1}); линия *GS* – A_{c3} (A_{c3}); линия *SE* – $A_{cт}$.

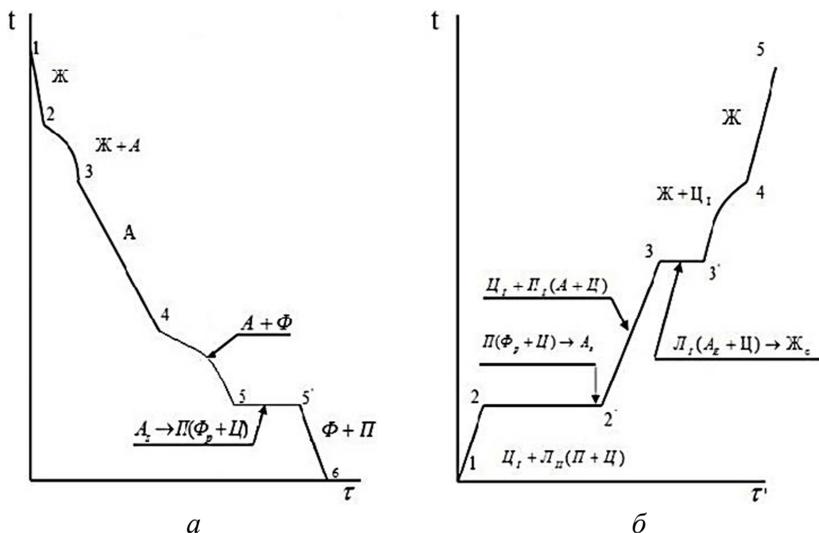


Рис. 2.3. Термические кривые сплава с 0,4 % С при охлаждении (а) и сплава с 5,0 % С при нагревании (б)

Порядок выполнения работы

1. Вычертить диаграмму Fe–Fe₃C.
2. Указать на диаграмме для каждой ее точки характерную температуру и концентрацию углерода.
3. Указать на диаграмме фазы и структурные составляющие.
4. Показать вертикальными линиями два сплава, назначенные преподавателем.
5. Обозначить цифрами точки пересечения сплавами линий диаграммы и провести анализ превращений этих сплавов при охлаждении и нагревании.
6. Построить термические кривые для указанных сплавов.
7. Выбрать для одного из сплавов температуру в двухфазной области и определить концентрацию углерода в фазах и количество каждой фазы, в процентах от количества сплава.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.

3. Диаграмма Fe–Fe₃C с указанием исследуемых сплавов, фаз и структурных составляющих, а также температур и концентраций углерода основных точек.
4. Название и определения фаз, входящих в систему Fe–Fe₃C.
5. Анализ превращений при охлаждении и нагревании заданных сплавов.
6. Термические кривые сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Какой диаграммой пользуются при изучении сталей и чугунов?
2. Что называется сталью?
3. Что называется чугуном?
4. Перечислите равновесные фазы диаграммы «железо–цементит».
5. Перечислите неравновесные фазы.
6. Что такое перлит?
7. Что такое феррит?
8. Что такое аустенит?
9. Что такое цементит?
10. Где на диаграмме «железо–цементит» располагается фаза «графит»?
11. Какой состав эвтектики диаграммы «железо–цементит»?
12. Какая температура ломаной *PSK*? Что происходит при переходе через эту линию?

Практическая работа № 3

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ, СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, ДИАГРАММА «АЛЮМИНИЙ–КРЕМНИЙ»

Цель работы: изучение диаграммы состояний сплавов Al–Si; приобретение навыков практического использования диаграммы Al–Si для анализа фазового состава алюминиевых сплавов.

Общие сведения

В отличие от сплавов на основе железа, которые называются черными, все остальные металлические сплавы называются *цветными*. Важнейшими из них, с точки зрения объемов производства и использования в современном мире, являются сплавы алюминия и кремния – *силумины*. Основные компоненты (алюминий и кремний) сплавов системы Al–Si очень сильно отличаются по своим свойствам.

Алюминий (Al) – химический элемент третьей группы периодической системы Д. И. Менделеева; атомный номер – 13; радиус атома – 0,143 нм; атомная масса – 26,98154. Ионы алюминия при кристаллизации занимают углы и центры граней куба, и элементарная кристаллическая решетка алюминия представляет собой куб с центрированными гранями (ГЦК-решетка). Число атомов в такой решетке равно 14. Координационное число (число ближайших атомов, с которыми контактирует каждый атом решетки) – 12. Размер ребра элементарного куба (период) кристаллической решетки алюминия чистотой 99,97 % составляет $0,4046 \pm 0,0004$ нм. Расстояние между двумя ближайшими ионами алюминия в элементарной ячейке составляет 0,286 нм. Аллотропических превращений у алюминия нет.

По распространенности в земной коре алюминий занимает 1-е место среди металлов и 3-е место среди элементов, уступая только кислороду и кремнию. Однако из-за высокой химической активности в природе алюминий в свободном виде не встречается. Температура плавления чистого алюминия – 660 °С, плотность при нормальных условиях – $2,7 \text{ г/см}^3$, при нагревании плотность алюминия, как и других металлов, снижается до $2,55 \text{ г/см}^3$, а при расплавлении происходит скачкообразное падение плотности до $2,34 \text{ г/см}^3$. Алюминий обладает высокой электропроводностью и занимает по этому пока-

зателю четвертое место среди металлов после Ag, Cu и Au. Удельная электрическая проводимость γ алюминия чистотой 99,99 % (А99) при 20 °С составляет 37,9 МСм/м (МегаСимменс на метр). Большое влияние на величину γ оказывает количество и природа элементов, присутствующих в алюминии в качестве примесей. Практически все элементы снижают электропроводность алюминия. По степени влияния (по убыванию) их можно расположить в следующий ряд: Cr, Mn, Ti, Mg, Cu, Zn, Si, Fe, Ni.

Кремний (Si) – химический элемент четвертой группы периодической системы Д. И. Менделеева; атомный номер – 14; радиус атома – 0,134 нм; атомная масса – 28,08. Кристаллическая решетка кремния – кубическая гранецентрированная с периодом 0,54304 нм, но координационное число, в отличие от алюминия, – 4. Плотность кремния в кристаллическом состоянии составляет 2,33 г/см³.

Температура плавления по различным данным составляет 1415–1430 °С, кипения – 3249 °С. При плавлении плотность кремния, в отличие от алюминия, возрастает, а его объем уменьшается. Так, плотность кремния при $T_{пл}$ составляет 2,51 г/см³. Ковалентный тип связи при плавлении меняется на металлический, что вызывает увеличение тепло- и электропроводности.

Сплавы алюминия с кремнием относятся к сплавам эвтектического типа с ограниченной растворимостью в твердом состоянии (диаграмма состояния III рода). Оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно – в твердом, не образуют химических соединений. Как видно из равновесной диаграммы состояния системы Al–Si (рис. 3.1), максимальная растворимость кремния в алюминии при температуре 577 °С составляет 1,65 % (по массе). Данная температура называется *эвтектической*.

Полностью эвтектическая структура формируется при содержании кремния, по современным данным, 12,4 % (по массе) при эвтектической температуре. Термин «эвтектика» происходит от греческого слова “eutectos”, что означает – легко плавящийся. *Эвтектикой* в сплавах называется тонкая смесь кристаллов, одновременно закристаллизовавшихся из расплавов при температуре меньшей, чем температура плавления чистых компонентов.

По диаграмме состояния сплавы обычно классифицируют по содержанию кремния относительно эвтектической концентрации: до-

эвтектические (< 12,4 %), эвтектические (12,4 %) и заэвтектические (> 12,4 %).

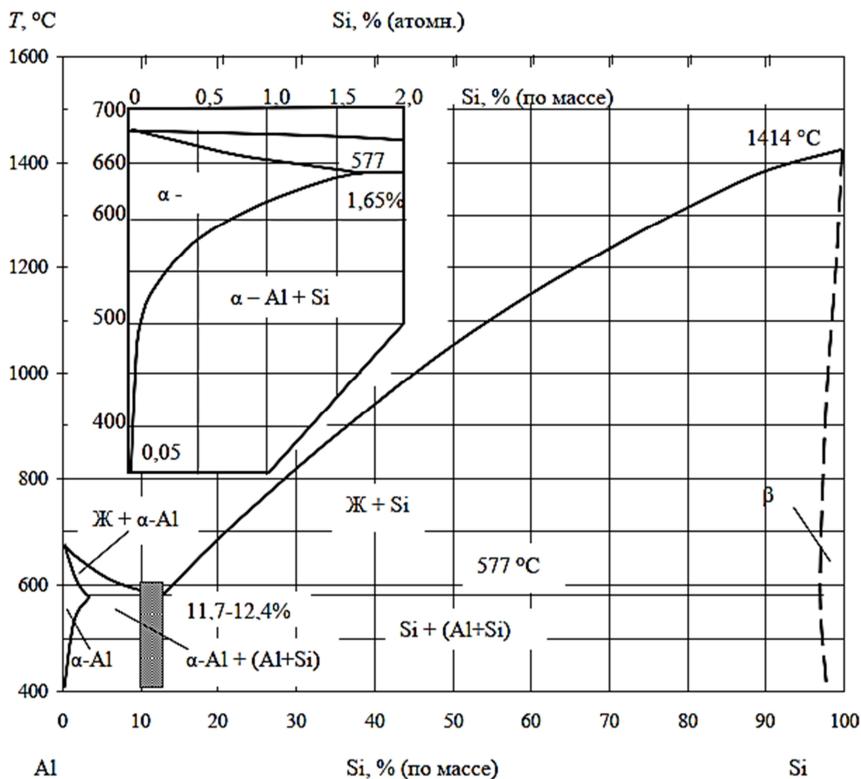


Рис. 3.1. Диаграмма состояния «алюминий–кремний»

Доэвтектические сплавы часто условно делят на малокремнистые (< 6–7 %) и высококремнистые (> 7–8 %). Увеличение содержания кремния до эвтектической концентрации приводит к снижению температуры ликвидуса и, соответственно, к уменьшению интервала кристаллизации, что благоприятно сказывается на литейных свойствах. После эвтектической точки линия ликвидуса имеет более крутое восхождение с увеличением интервала кристаллизации. В доэвтектической области структура бинарных сплавов характеризуется дендритами твердого раствора на основе алюминия (α -Al) и эвтектикой (Al + Si). С повышением содержания кремния увеличивается

доля эвтектической составляющей, и в эвтектической точке структура бинарного силумина при равновесной кристаллизации будет состоять из 100 % эвтектики. В заэвтектической области диаграммы в структуре бинарного силумина появляются кристаллы первичного кремния (Si_{II}) и эвтектика ($Al + Si$). Схематичные изображения структур немодифицированных бинарных сплавов системы $Al-Si$, в зависимости от содержания кремния, представлены на рис. 3.2.

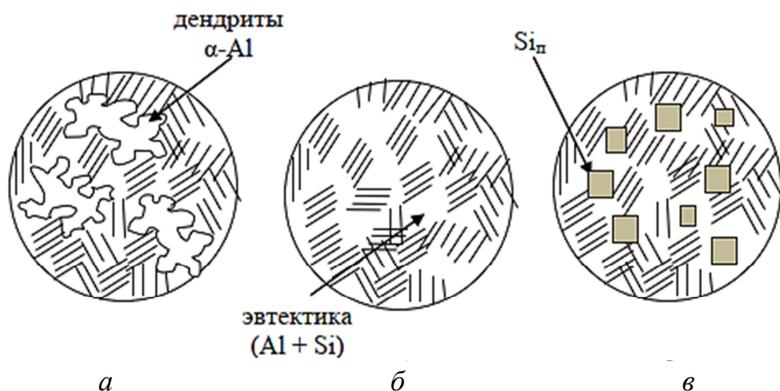


Рис. 3.2. Схематичное изображение структурных составляющих бинарных сплавов системы $Al-Si$:
a – доэвтектический; *б* – эвтектический; *в* – заэвтектический

На рис. 3.3 схематично показаны кривые охлаждения немодифицированных бинарных силуминов, в зависимости от содержания кремния. При охлаждении доэвтектического силумина (рис. 3.3, *a*) наблюдается два минимума. Первый минимум возникает вследствие переохлаждения $\Delta T\alpha$ при первичной кристаллизации алюминиевого твердого раствора (дендриты $\alpha-Al$), второй – при эвтектической кристаллизации (переохлаждение $\Delta T\alpha + \beta$). Величина T_L (температура ликвидуса) зависит от содержания кремния в заэвтектическом силумине.

С уменьшением интервала кристаллизации (приближение состава к эвтектической точке) величина температуры ликвидуса будет снижаться. Кристаллизация эвтектики в доэвтектических силуминах протекает при температуре на 1–2 °С ниже равновесной температуры солидуса T_S . Таким образом, кристаллизация доэвтектических силуминов протекает в интервале температур.

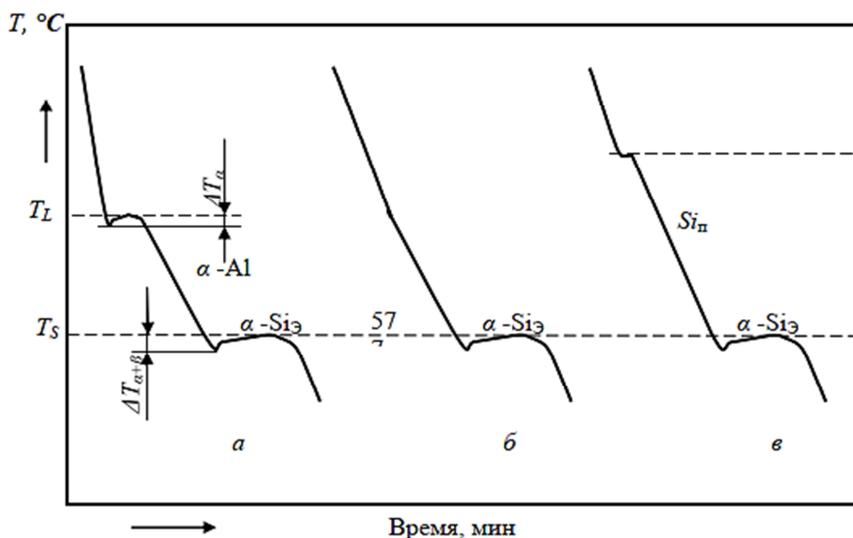


Рис. 3.3. Кривые охлаждения немодифицированных бинарных силуминов, в зависимости от положения на диаграмме состояния: *а* – доэвтектический; *б* – эвтектический; *в* – заэвтектический

Сплав эвтектического состава (рис. 3.3, *б*) кристаллизуется при строго постоянной температуре 577 °С (температура солидуса T_S).

Первичная кристаллизация заэвтектических сплавов (рис. 3.3, *в*) сопровождается малозаметным тепловым эффектом, вызванным формированием в структуре кристаллов первичного кремния. Величина температуры ликвидуса T_L при этом будет зависеть от содержания кремния. С увеличением концентрации кремния (удаление от эвтектической точки вправо по диаграмме состояния) значение T_L будет увеличиваться. Эвтектическая кристаллизация в заэвтектических силуминах также протекает при строго постоянной температуре 577 °С.

Порядок выполнения работы

1. Начертить диаграмму Al–Si.
2. Указать на диаграмме для каждой ее точки характерную температуру и концентрацию кремния.
3. Указать на диаграмме фазы и структурные составляющие.

4. Показать вертикальными линиями два сплава, назначенные преподавателем.
5. Обозначить цифрами точки пересечения сплавами линий диаграммы и провести анализ превращений этих сплавов при охлаждении и нагревании.
6. Построить термические кривые для указанных сплавов.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма состояния Al–Si с указанием исследуемых сплавов, фаз и структурных составляющих, а также температур и концентрации кремния.
4. Термические кривые сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое эвтектический сплав?
2. Назовите содержание Si в эвтектическом сплаве.
3. Какая температура плавления чистого Al?
4. При какой температуре происходит кристаллизация сплава эвтектического состава?

Практическая работа № 4

НАПОЛНИТЕЛИ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ. КВАРЦЕВЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ ПЕСКИ

Цель работы: ознакомление студентов с основными стандартными методами исследования формовочных песков.

Общие сведения

Для приготовления формовочных и стержневых смесей применяют различные материалы. К основным материалам относят *наполнители* и *связующие*. Зерна наполнителя образуют каркас смеси. Они покрыты пленкой связующего, которая обеспечивает связь между зернами наполнителя и придает смеси пластичность и прочность.

Остальные материалы называют вспомогательными. К ним относят материалы, добавляемые в смесь для обеспечения разнообразных технологических свойств: малой прилипаемости смеси к поверхностям стержневых ящиков, малой пригораемости смеси к поверхности отливки, хорошей выбиваемости, податливости и т. д. К вспомогательным материалам относят также отвердители холоднотвердеющих смесей на синтетических смолах.

Требования к наполнителям формовочных и стержневых смесей

Формовочная смесь, образуя часть литейной формы, испытывает в процессе затвердевания в ней отливки сложные термические, механические и физико-химические воздействия. Наполнители, образующие каркас смеси, должны удовлетворять следующим требованиям:

- высокая огнеупорность, т. к. температура плавления наполнителя должна быть выше температуры плавления заливаемого в форму сплава;
- химическая инертность по отношению к жидкому сплаву и компонентам смеси;
- термостойкость, малая склонность к растрескиванию при нагреве и охлаждении;
- минимальная газотворность;
- отсутствие токсичности;
- возможность многократного использования;
- минимальная гигроскопичность;

- недефицитность;
- низкая себестоимость;
- низкое содержание вредных примесей.

В качестве наполнителей формовочных и стержневых смесей чаще всего применяют кварцевые пески. В тех случаях, когда к стержневой смеси предъявляются специальные требования, используют магнезит, хромомagneзит, хромистый железняк, циркон, оливин, дистен–силлиманит, муллит, шамот, корунд, графит и др.

Формовочные пески

Основной составляющей формовочных и стержневых смесей являются формовочные пески.

Основой формовочного песка является диоксид кремния (SiO_2). В зависимости от массовой доли глинистой составляющей, под которой понимают частицы глинистых материалов, обломки зерен кварца и других минералов размером менее 22 мкм, формовочные пески подразделяют на кварцевые (К), тощие (Т), жирные (Ж) (ГОСТ 2138-91).

Кварцевые и тощие формовочные пески подразделяют на группы, в зависимости от массовой доли глинистой составляющей, содержания диоксида кремния, коэффициента однородности и среднего размера зерен, а *жирные* – от предела прочности при сжатии во влажном состоянии и среднего размера зерна.

В кварцевых песках доля глинистой составляющей не должна превышать 2 %. Группы кварцевых песков приведены в табл. 4.1–4.4.

Таблица 4.1

Группа песков, в зависимости от массовой доли глинистой составляющей

Группа	Массовая доля глинистой составляющей, %, не более
1	0,2
2	0,5
3	1,0
4	1,5
5	2,0

Таблица 4.2

Группа песков, в зависимости от массовой доли диоксида кремния

Группа	Массовая доля диоксида кремния, %, не менее
К ₁	99,0
К ₂	98,0
К ₃	97,0
К ₄	95,0
К ₅	93,0

Таблица 4.3

Группа песков, в зависимости от коэффициента однородности

Группа	Коэффициент однородности, %
O ₁	свыше 80,0
O ₂	от 70,0 до 80,0
O ₃	от 60,0 до 70,0
O ₄	от 50,0 до 60,0
O ₅	до 50,0

Таблица 4.4

Группа песков, в зависимости от среднего размера зерна

Группа	Средний размер зерна, мм
01	до 0,14
016	от 0,14 до 0,18
02	от 0,19 до 0,23
025	от 0,24 до 0,28
03	свыше 0,28

В тощих песках содержание глинистой составляющей колеблется от 2,0 до 12,0 %.

Жирные пески содержат от 12,0 до 50,0 % глинистой составляющей.

При маркировке кварцевых и тощих формовочных песков используют обозначение групп: на первом месте располагается группа массовой доли глинистой составляющей, на втором – группа массовой доли диоксида кремния, на третьем – группа коэффициента неоднородности, на четвертом – группа среднего размера зерна.

Пример: 3K₂O₃016 – кварцевый формовочный песок с массовой долей глинистой составляющей от 0,5 до 1,0 %, массовой долей диоксида кремния не менее 98 %, коэффициентом однородности от 60 до 70 % и средним размером зерна от 0,14 до 0,18 мм.

В работе будут рассмотрены некоторые методы испытаний формовочных песков.

Определение массовой доли глинистой составляющей – ГОСТ 29234.1.

Определение коэффициентов однородности и среднего размера зерна – ГОСТ 29234.3.

Определение глинистых частиц

Приборы и материалы: шкаф сушильный, весы лабораторные, аппарат для определения глинистых частиц, трубка U-образная, мешалка лабораторная, сосуд стеклянный емкостью 1 дм³, палочка деревянная или стеклянная Ø 4–6 мм, печь муфельная $T = 1000$ °С,

чаша кварцевая, эксикатор, песок кварцевый, пирофосфат натрия 10 г/дм^3 , вода техническая.

Порядок выполнения работы

От исследуемого песка отобрать две навески массой по 50 г каждая. Одну навеску помещают в кварцевую чашку, высушивают при температуре $105\text{--}110 \text{ }^\circ\text{C}$ и переносят в эксикатор для охлаждения. Вторая навеска высыпается в сосуд аппарата, в который заливается вода в объеме 475 см^3 и пирофосфата натрия – 25 см^3 . Сосуд закрывается пробкой, устанавливается на лабораторную мешалку и взбалтывается в течение часа. После этого сосуд снимают с мешалки и содержимое переносят в стакан аппарата для автоматического отделения глинистых частиц, выполняя указания инструкции к аппарату.

Если аппарат отсутствует, то в сосуд доливают воду до 150 мм от дна, перемешивают палочкой и дают отстояться в течение 10 минут, затем сливают воду с помощью U-образной трубки. Операцию отмучивания повторяют два раза. При образовании хлопьев в верхнем слое сосуда их удаляют в слив с помощью U-образной трубки. В третий раз доливают воду до того же уровня. Содержимое перемешивают палочкой и дают отстояться в течение 5 мин. Затем воду сливают. Эта операция повторяется до тех пор, пока вода в сосуде после 5-минутного отстаивания не станет прозрачной. Остаток содержимого сосуда переносят количественно в кварцевую чашку и после 5-минутного отстаивания сливают воду. Осадок высушивают при температуре $105\text{--}110 \text{ }^\circ\text{C}$ и помещают в эксикатор для охлаждения.

Затем охлажденные обе навески помещают в муфельную печь и прокаливают при температуре $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 часа, после чего охлаждают и взвешивают.

Массу первой навески в процентах определяют по формуле

$$x_1 = \frac{[m - (m_1 - m_2)]100}{m},$$

где m – масса навески песка, г;

m_1 – масса чаши с навеской песка до прокаливания, г;

m_2 – масса чаши с навеской после прокаливания, г.

Массу остаточную второй навески в процентах вычисляют по формуле

$$x_2 = \frac{m_1 \cdot 100}{m},$$

где m – масса навески песка, г;

m_1 – масса чаши с навеской песка после прокаливании, г.

Массовая доля глинистой составляющей в процентах определяется по формуле

$$x = x_1 - x_2,$$

где x_1 – остаточная масса в процентах первой навески;

x_2 – остаточная масса в процентах второй навески.

Ускоренный метод можно применять при определении массовой доли глинистых частиц в тощих песках. От исследуемого песка берется навеска массой 20 г и помещается в сосуд для кипячения, наливается вода в количестве 300 см³, содержимое кипятится в течение 5 мин. Затем в сосуд доливается вода еще 200 см³ и взбалтывается на мешалке в течение 10 мин. После взбалтывания в сосуд доливают воду до объема 1000 см³, содержимое перемешивают палочкой и дают отстояться в течение 10 мин. По истечении времени U-образной трубкой сливают воду. Отмучивание повторяют. В третий раз сосуд доливают водой и содержимое перемешивают палочкой, дают отстояться 5 минут. Снова сливают воду. Операцию повторяют до тех пор, пока вода в сосуде после 5-минутного отстаивания не станет прозрачной.

Осадок из сосуда количественно переносят в кварцевую чашу, после отстаивания сливают воду и высушивают при температуре 105–110 °С. При наличии органических примесей производят прокалику осадка при температуре 1000 °С в течение 1 часа. Охлажденный песок взвешивают.

Массовую долю глинистых частиц определяют по формуле

$$x = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m – масса навески песка, г;

m_1 – масса чаши с навеской песка после отмучивания, г.

Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности

Приборы и материалы: прибор для определения гранулометрического состава, комплект сит, весы лабораторные, кисть мягкая, песок кварцевый.

Порядок выполнения работы

Навеску песка после отделения от нее массовой доли глинистых частиц помещают на верхнее сито комплекта, который собран в порядке уменьшения стороны ячейки сита.

Рассев песка ведут в течение 15 мин, после чего прибор включают и производят разборку комплекта сит. С каждого сита остаток песка переносят на глянецовую бумагу, при этом тщательно с помощью кисти очистить сито и взвешивают.

Массовую долю остатка песка на ситах в процентах определяют по формуле

$$x = \frac{m_1}{m} 100,$$

где m – масса исходной навески песка на сите, г;

m_1 – масса остатка песка, г.

Полученные результаты заносятся в табл. 4.5 для определения среднего размера зерна и коэффициента однородности.

Таблица 4.5

Пример таблицы с результатами отсева песка

Размер сторон ячейки сита в свету, мм	Остаток на сите, г	Остаток на сите, %	Частицы, размером меньше сторон ячейки сита, %
1	2	3	4
2,50	0	0	100
1,60	0	0	100
1,00	0,1	0,2	98,8
0,63	0,4	0,8	99,0
0,40	1,80	3,7	95,3

1	2	3	4
0,315	4,60	9,5	85,8
0,20	18,75	38,5	47,3
0,16	8,90	18,3	29,0
0,10	11,60	23,8	5,2
0,063	2,35	4,8	0,4
0,050	0,15	0,3	0,1
Тазик	0,05	0,1	0
Всего:	48,70	100,00	–
$D_{cp} = 0,206$	$4/3 D_{cp} = 0,275$	$2/3 D_{cp} = 0,137$	$O = 55$

По полученным данным строят интегральную кривую распределения частиц по размерам (рис. 4.1), для чего по оси абсцисс откладывают в логарифмическом масштабе размер сторон ячеек сетки в свету, а по оси ординат в линейном масштабе – количество частиц, меньшее данного размера, в процентах.

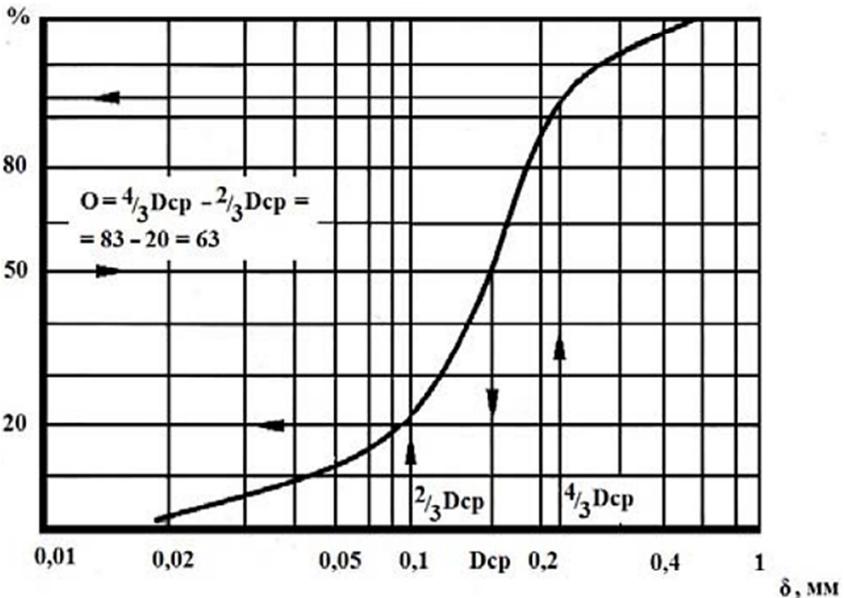


Рис. 4.1. Интегральная кривая

Средний размер зерна $D_{ср}$ соответствует размеру сторон ячеек, через который проходит 50 % песчаной основы.

Для определения коэффициента однородности O по интегральной кривой находят процентное содержание частиц размером меньше $4/3D_{ср}$ и $2/3D_{ср}$. Коэффициент однородности равен разности этих значений.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Характеристика формовочных песков.
4. Описание определения глинистой составляющей.
5. Описание определения среднего размера песка.
6. Результаты полученных исследований.
7. Выводы по каждому разделу работы.

Вопросы для самопроверки

1. Какими показателями характеризуются формовочные глины?
2. Какие показатели характеризуют марку песка?
3. Расшифровать марку песка, предложенную преподавателем.
4. Рассказать порядок определения глинистой составляющей.
5. Как производится определение среднего размера песка?
6. Чем характеризуется форма зерен песка?
7. Как строится интегральная кривая?
8. Какие бывают формовочные пески? Чем они отличаются друг от друга?

Практическое занятие № 5

СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ. ГЛИНЫ БЕНТОНИТОВЫЕ

Цель работы: экспериментальное определение основных характеристик формовочных глин.

Приборы и материалы: приборы для определения прочности на сжатие во влажном и сухом состоянии, прочности на разрыв в зоне конденсации влаги; копер лабораторный; весы лабораторные с пределом взвешивания 500 г с погрешностью ± 100 мг; смеситель лабораторный; сушильная печь, муфельная печь; эксикатор; фарфоровая испарительная чаша; песок кварцевый марок (1–2)K_{1–2}O_{1–3}02, бентонитовый порошок, огнеупорная глина, вода с pH = 6,0–7,0.

Общие сведения

Основными связующими материалами в песчано-глинистых смесях (ПГС) являются формовочные глины, способные образовывать с водой пластичный материал, который вместе с зернами наполнителя придает формовочным смесям необходимые свойства, и в первую очередь, прочностные.

Прочность ПГС зависит от следующих параметров формовочной глины: минералогического и химического состава, вида и количества примесей, дисперсности частиц, коллоидальности, а также количества и состава присоединенных катионов.

В зависимости от минерального состава формовочные глины разделяют на три вида: бентонитовые, каолиновые и полиминеральные (табл. 5.1).

Наибольшее применение в смесях ПГС нашли бентонитовые глины, основным минералом которых является монтмориллонит, имеющий химическую формулу $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ и пакетное строение (рис. 5.1, з). Отличительной особенностью монтмориллонита является его способность к набуханию в воде с увеличением своего объема в 10–12 раз. Это связано с расстоянием между пакетами, которое равно $21 \cdot 10^{-4}$ м. Каждый пакет состоит из трех слоев.

Атомы кремния и алюминия, расположенные в центрах тетраэдров и октаэдров, могут замещаться атомами других металлов меньшей валентности с образованием у частиц монтмориллонита отрицательного заряда. Наличие этих зарядов приводит к адсорбции катионов на поверхности частиц монтмориллонита, способных замещаться другими катионами. Это явление называется *катионообменом*.

В монтмориллонитовых глинах способностью к катионообмену обладают не только внешние, но и внутрислоевые поверхности пакетов. Гидратация указанных поверхностей, а также диссоциация и гидратация обменных катионов являются причинами связывания воды бентонитами.

Суммарное содержание катионов на поверхности частиц монтмориллонита называется *емкостью обменных катионов*. Поскольку эта величина весьма мала, ее выражают в особых единицах – миллиграмм-эквивалентах (мг-экв.) – в расчете 100 г сухого материала.

Если в обменном комплексе преобладают одновалентные катионы щелочных металлов Na^+ и K^+ , то такой бентонит называется *натриевым*. Если же в обменном комплексе преобладают двухвалентные катионы щелочно-земельных металлов Ca^+ и Mg^+ , то такой бентонит называется *кальциевым*. По связующим свойствам лучшим из них является натриевый бентонит.

Натриевый бентонит обладает хорошими связующими свойствами и обеспечивает высокую сырую, сухую и горячую прочности формовочной смеси. Это позволяет вводить в смесь меньшее количество связующего и воды, а следовательно, и уменьшить газотворную способность смеси. В свою очередь, пониженная газотворность смесей на основе натриевого бентонита дает возможность использовать в их составе пески с более мелким размером зерна, что положительно сказывается на чистоте поверхности отливок.

Наряду с высокими связующими свойствами натриевый бентонит обладает способностью сильно набухать в присутствии воды. Это свойство обуславливает пониженную текучесть и затрудненную выбиваемость смесей. Кроме того, максимальное использование прочностных свойств натриевого бентонита требует более длительного перемешивания формовочной смеси, чем при использовании других типов связующего.

Марка бентонитовых глин включает в себя буквенное обозначение прочности при сжатии во влажном состоянии:

П – прочная;
 С – среднепрочная;
 М – малопрочная.

Цифровое обозначение – предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги:

1 – высокосвязующая;
 2 – связующая;
 3 – среднесвязующая;
 4 – малосвязующая.

Буквенное обозначение с индексом – термическая устойчивость:

T₁ – высокоустойчивая;
 T₂ – среднеустойчивая;
 T₃ – низкоустойчивая (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Физико-механические показатели глин

Марка	Предел прочности при сжатии, Па (кгс/см ²), не менее	Предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги, Па (кгс/см ²), не менее	Термическая устойчивость, единицы, не менее
1	2	3	4
П1Т ₁	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,275·10 ⁴ (0,028)	0,6
П1Т ₂	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,275·10 ⁴ (0,028)	0,3
П1Т ₃	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,275·10 ⁴ (0,028)	–
П2Т ₁	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,196·10 ⁴ (0,020)	0,6
П2Т ₂	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,196·10 ⁴ (0,020)	0,3
П2Т ₃	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,196·10 ⁴ (0,020)	–
П3Т ₁	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,147·10 ⁴ (0,015)	0,6
П3Т ₂	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,147·10 ⁴ (0,015)	0,3
П3Т ₃	8,826·10 ⁴ (0,9)	0,147·10 ⁴ (0,015)	–
П4Т ₁	8,826·10 ⁴ (0,9)	–	0,6
П4Т ₂	8,826·10 ⁴ (0,9)	–	0,3
П4Т ₃	8,826·10 ⁴ (0,9)	–	–
С1Т ₁	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,275·10 ⁴ (0,028)	0,6
С1Т ₂	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,275·10 ⁴ (0,028)	0,3
С1Т ₃	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,275·10 ⁴ (0,028)	–

1	2	3	4
C2T ₁	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,196·10 ⁴ (0,020)	0,6
C2T ₂	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,196·10 ⁴ (0,020)	0,3
C2T ₃	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,196·10 ⁴ (0,020)	–
C3T ₁	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,147·10 ⁴ (0,015)	0,6
C3T ₂	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,147·10 ⁴ (0,015)	0,3
C3T ₃	6,865·10 ⁴ (0,7)	0,147·10 ⁴ (0,015)	–
C4T ₁	6,865·10 ⁴ (0,7)	–	0,6
C4T ₂	6,865·10 ⁴ (0,7)	–	0,3
C4T ₃	6,865·10 ⁴ (0,7)	–	–
M1T ₁	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,275·10 ⁴ (0,028)	0,6
M1T ₂	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,275·10 ⁴ (0,028)	0,3
M1T ₃	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,275·10 ⁴ (0,028)	–
M2T ₁	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,196·10 ⁴ (0,020)	0,6
M2T ₂	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,196·10 ⁴ (0,020)	0,3
M2T ₃	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,196·10 ⁴ (0,020)	–
M3T ₁	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,147·10 ⁴ (0,015)	0,6
M3T ₂	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,147·10 ⁴ (0,015)	0,3
M3T ₃	4,903·10 ⁴ (0,5)	0,147·10 ⁴ (0,015)	–
M4T ₁	4,903·10 ⁴ (0,5)	–	0,6
M4T ₂	4,903·10 ⁴ (0,5)	–	0,3
M4T ₃	4,903·10 ⁴ (0,5)	–	–

Порядок выполнения работы

Приготовить 2 кг смеси, состоящей из 95 частей песка и 5 частей бентонитовой глины (перемешивать ее в течение 2 мин в лабораторном катковом смесителе). Затем добавить 50 см³ воды и перемешать увлажненную смесь в течение 20 мин.

Из приготовленной смеси изготовить три образца в цилиндрической гильзе Ø 50×50 мм, на лабораторном копре трехкратным ударом груза испытать на приборе для определения прочности и определить среднеарифметическое значение трех испытаний.

В специальной металлической гильзе с отрывным кольцом на лабораторном копре изготовить 3 образца Ø 50×50 мм и испытать их на

приборе для определения прочности при разрыве в зоне конденсации влаги, определить среднеарифметическое значение трех испытаний.

Определить термическую устойчивость бентонита, для чего навеску глины массой 200 г поместить в выпарительную чашу, которую установить в предварительно нагретую до температуры 550 °С муфельную печь и прокалить в течение 1 часа. После прокаливания чашу с глиной поместить в эксикатор и выдержать до комнатной температуры.

Приготовить два состава смесей по 2 кг с исходной и прокаленной глиной, после чего изготовить сырые образцы и испытать их прочность при сжатии.

Рассчитать термическую устойчивость по формуле

$$T = \frac{\sigma_1}{\sigma_2},$$

где σ_1 – предел прочности при сжатии во влажном состоянии (с прокаленной глиной), МПа;

σ_2 – предел прочности при сжатии во влажном состоянии (с исходной глиной), МПа.

Из результатов испытаний определить марку бентонитовой глины по табл. 5.2.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткая теоретическая часть.
4. Методика проведения работы.
5. Результаты работы.
6. Выводы по работе.

Вопросы для самопроверки

1. Разновидности формовочных глин.
2. Как маркируются глины?
3. Механизм формирования вяжущих свойств формовочных глин.
4. Методика определения марки глины.

Практическая работа № 6

ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ СМЕСИ, ИХ ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Цель работы: экспериментальное определение зависимости основных технологических свойств песчано-глинистой формовочной смеси от ее влагосодержания.

Приборы и материалы: лабораторные бегуны, лабораторный копёр, прибор для определения влажности, прибор для определения прочности, прибор для определения газопроницаемости, твердомер для сырых образцов, гильза с вкладышем для изготовления ступенчатого стандартного образца, прибор для определения осыпаемости, кварцевый песок, глина бентонитовая, весы лабораторные с пределом взвешивания 1 кг и погрешностью ± 500 мг.

Общие сведения

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих получение качественных отливок, является приготовление стабильной формовочной смеси, имеющей требуемый уровень физико-механических и технологических свойств. Добиться этого можно только при условии правильного выбора исходных компонентов смеси и оптимального их соотношения, рационального использования эффективных методов подготовки и приготовления смеси, высокого уровня автоматизации и непрерывного оперативного контроля качества смеси на всех этапах ее подготовки и приготовления.

Более 70 % отливок в литейном производстве изготавливаются с применением песчано-глинистых формовочных смесей (ПГС). Свойства этих смесей практически полностью определяются характеристиками и соотношением трех основных компонентов: наполнителя (как правило, кварцевого песка), формовочной глины (бентонитовой или коалинитовой) и воды. Влажность ПГС при заданном составе является параметром, определяющим важнейшие физико-механические и технологические свойства смеси (прочность, осыпаемость, газопроницаемость, текучесть, уплотняемость, формуе-

мость и др.). При этом каждый состав формовочной смеси имеет свой оптимальный диапазон влагосодержания, обеспечивающий наилучшее сочетание свойств смеси: максимальную прочность, низкую осыпаемость, высокую газопроницаемость при хорошей уплотняемости и удовлетворительной текучести.

Прочность при сжатии во влажном состоянии является одной из основных характеристик песчано-глинистых смесей, применяемых для изготовления сырых форм. На прочность во влажном состоянии наиболее существенно влияют минералогический состав глин, дисперсность глинистых частиц, емкость и состав обменного комплекса. Прочность ПГС во влажном состоянии обусловлена физическими и физико-химическими сплавами взаимодействия материала зерновой основы, глины и воды. Основой прочности смеси являются водородные связи, однако в формировании прочности принимают участие также силы поверхностного натяжения воды, капиллярные силы и силы межмолекулярного взаимодействия. Водородные связи возникают между атомами водорода и атомами наиболее электроотрицательных элементов, в частности, кислорода. При наличии мощных водородных связей физические силы взаимодействия обычно отходят на второй план. Водородные связи возникают непосредственно между гидроксильрованными слоями частиц наполнителя, а также между ними и слоями атомов базальных поверхностей глинистых частиц.

В процессе перемешивания и уплотнения смеси происходит разрыв одних водородных связей и образование других. Аналогично может быть представлено взаимодействие зерен диоксида кремния с монтмориллотитом или другим глинистым минералом. В сырых формах в смеси находятся свободные молекулы воды. Чем больше слоев таких молекул, тем меньше прочность смеси во влажном состоянии. Поэтому при приготовлении смесей для сырых форм важным является оптимальное соотношение глины и воды, неодинаковое для глин разной минералогической природы и различного гранулометрического состава. Это соотношение для каждой новой партии глин следует определять опытным путем. На рис. 6.1 приведены зависимости физико-механических свойств ПГС от ее влажности.

Как видно из рис. 6.1 (кривая 1), недостаток влаги обуславливает неэффективное использование глины, что не позволяет получить максимальную прочность смеси при данном глиносодержании.

Увеличение содержания воды до 4 % позволяет полностью активировать водородные связи, возникающие между слоями частиц наполнителя и слоями базальных поверхностей глинистых частиц. Дальнейшее увеличение влажности (свыше 4 %) приводит к снижению прочности смеси из-за образования избытка слоев свободных молекул воды, которые снижают прочность водородных связей. Аналогичный эффект наблюдается и при изучении текучести ПГС (рис. 6.1, кривая 4).

Газопроницаемость формовочных смесей при увеличении их влажности снижается (рис. 6.1, кривая 3).

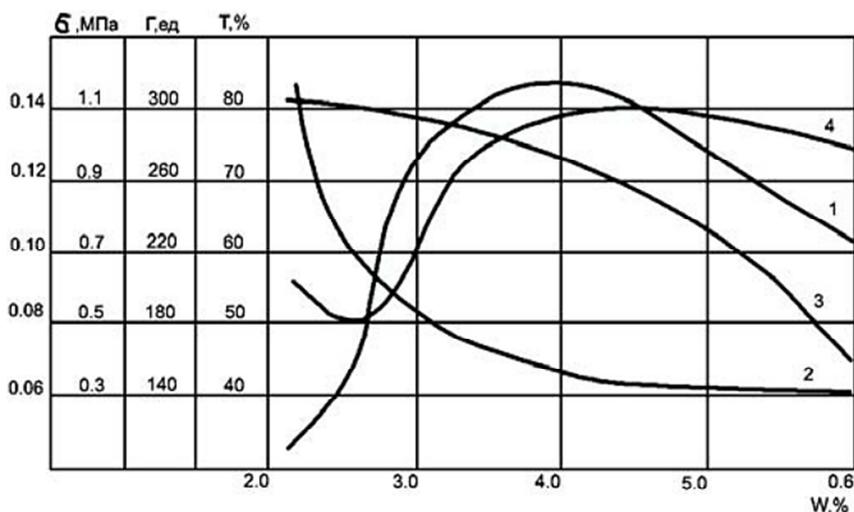


Рис. 6.1. Зависимость физико-механических свойств ПГС от ее влажности:

1 – текучесть; 2 – прочность смеси на сжатие в сыром состоянии;

3 – газопроницаемость; 4 – текучесть

Порядок выполнения работы

Приготовить 2 кг смеси, состоящей из 95 частей кварцевого песка и 5 частей бентонитовой глины (перемешивать ее в течение 2 мин в лабораторном катковом смесителе). Затем добавить 110 мл воды и перемешивать увлажненную смесь в течение 20 мин.

Определить влажность полученной смеси, для чего подготовить навеску смеси $50 \pm 0,1$ г в специальной чаше и установить ее в прибор

для определения влажности. Температура в приборе находится в пределах 105–110 °С. По истечении 30 мин чашку с навеской вынимают, охлаждают и взвешивают, затем опять помещают в прибор и высушивают в течение 15 мин до постоянной массы.

Влажность смеси определяют формулой

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100 \%,$$

Одновременно сушат три образца.

Из смеси изготовить шесть образцов в цилиндрической гильзе $\varnothing 50$ и высотой 50 ± 1 мм, на лабораторном копре трехкратным ударом груза, и, не извлекая образцы из глины, испытать их на газопроницаемость. После этого, извлечь образцы из гильзы и три образца испытать на прочность при сжатии в сыром состоянии и три образца на осыпаемость.

Для определения текучести пластичных смесей используется метод, основанный на определении соотношения твердости уплотненной смеси в точках *A* и *B* (рис. 6.2).

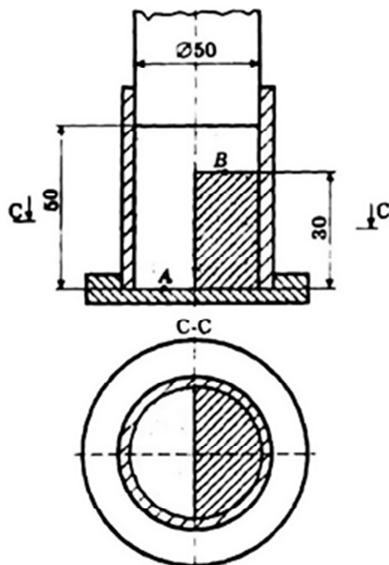


Рис. 6.2. Схема определения текучести смеси при статическом уплотнении

Также из смеси изготовить три ступенчатых образца в цилиндрической гильзе с вкладышем, на лабораторном копре трехкратным ударом груза. Установить гильзу на выталкиватель и твердомером замерить твердость на верхней площадке в точке *A*. Затем выдавить образец из гильзы на величину вкладыша, извлечь его и замерить твердость в точке *B*. Рассчитать среднеарифметическое значение твердости в точках *A* и *B*.

Рассчитать значение текучести смеси по формуле

$$T = \frac{H_A}{H_B} 100 \%,$$

где H_A, H_B – твердость образца в точках *A* и *B*, соответственно.

По результатам работы полученные данные свести в таблицу.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткая теоретическая часть.
4. Методика проведения работы.
5. Результаты работы.
6. Выводы по работе.

Вопросы для самопроверки

1. Что входит в состав ПГС?
2. Перечислите основные физико-механические свойства формовочных смесей.
3. Как определяется влажность смесей?
4. Как определяется текучесть формовочной смеси?

Практическая работа № 7

ЛИТЕЙНАЯ ФОРМА. ТРЕБОВАНИЯ К ЛИТЕЙНЫМ ФОРМАМ, ИХ РАЗНОВИДНОСТИ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. РАСЧЕТ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ

Цель работы: ознакомление студентов с основными типами литниково-питающих систем. Приобретение навыков расчета ЛПС для конкретных отливок.

Общие сведения

Для производства отливок необходимы литейная форма и жидкий сплав. *Литейная форма* – это система элементов, образующих рабочую полость, в которую заливается жидкий металл. Литейные формы могут быть разового и многократного использования. Выбор литейной формы зависит от характера производства, рода заливаемого сплава и требований, предъявляемых к отливке. Наибольшее распространение получили разовые формы вследствие возможности изготовления в них отливок любой конфигурации и размера, сравнительно невысокой стоимости оснастки и формовочных материалов, простоты изготовления формы.

Литейная форма активно и разносторонне влияет на качество отливки на протяжении всего технологического цикла ее изготовления.

Анализ протекающих в форме процессов показывает, что литейная форма должна:

- обеспечивать требуемую конфигурацию и заданную точность размеров отливки;
- воспринимать тепловое воздействие и значительные силовые нагрузки со стороны залитого расплава и формирующейся отливки;
- создавать условия, предупреждающие образование в отливках пороков;
- обеспечивать требуемую степень чистоты поверхности отливки при отсутствии в ней пригара.

Кроме того, литейная форма является регулятором процесса формирования отливки, средством воздействия на механические и другие свойства литья. В связи с этим в ее функции входит:

- а) обеспечение затвердевания расплава с оптимальной скоростью;
- б) создание условий для направленной кристаллизации отливки, обеспечивающей минимальное развитие неоднородности структуры отливки;
- в) создание условий для направленного затвердевания во всех сечениях с целью предупреждения образования усадочных раковин в массивных узлах отливки;
- г) регулирование скорости охлаждения отдельных узлов отливки с неоднородной толщиной стенок для предупреждения образования остаточных напряжений, коробления и трещин;
- д) интенсифицирование процесса охлаждения отливок с целью сокращения цикла их производства.

Классификация литейных форм

Литейные формы делятся на разовые и постоянные.

Вследствие простоты изготовления разовые формы широко применяются в литейном производстве. Применительно к функциям литейные разовые формы для получения отливок высокого качества должны удовлетворять следующим требованиям:

- сохранять заданные размеры и конфигурацию после удаления модели, сборки и заливки расплавленным сплавом;
- обеспечивать выход газов, образующихся при заливке расплава;
- обладать достаточной податливостью;
- легко разрушаться после охлаждения отливки.

Указанные требования обеспечиваются выбором исходных материалов и состава формовочной смеси, а также способом ее уплотнения (упрочнения) при изготовлении форм. При выборе способа формовки учитываются габаритные размеры и толщина стенок формы, состав смеси и требуемая степень ее уплотнения. Целесообразно использовать классификацию литейных форм с учетом признаков, обуславливающих ее свойства (строение, материал и толщина стенки, упрочнение, конструктивные особенности). Строение стенок формы характеризуется числом и составом слоев формовочных смесей, а также их толщиной. Песчано-глинистая форма может состоять из двух слоев:

- а) внутреннего – облицовочного, выполняющего рабочие функции, начиная от момента заливки сплава до выбивки его из отливки;

б) внешнего – наполнительного, который поддерживает рабочий слой смеси в период упругих (до затвердевания сплава) и пластических (после затвердевания сплава) деформаций, определяющих и фиксирующих его положение в форме.

Взаимосвязь между облицовочным и наполнительным слоями может быть:

а) без явно выраженной границы, что имеет место в формах, изготовленных из единой смеси;

б) с явно выраженной границей, если форма изготавливается из облицовочной и наполнительной смеси;

в) наполнительный слой формовочной смеси отсутствует, а его функции выполняет металлическая опока или заменяющее ее приспособление;

г) наполнительный слой смеси или заменяющая его опока отсутствует, если рабочий слой смеси имеет достаточно высокую прочность.

Литниково-питающая система

Литниковой системой называют совокупность элементов литейной формы в виде каналов и полостей, предназначенных для ламинарного подвода расплава к полости литейной формы, ее полного заполнения и питания отливки в процессе затвердевания.

Требования к литниковым системам

Литниковые системы служат для заполнения форм расплавленным металлом, а прибыли – для питания отливок в процессе их кристаллизации. Прибыль конструктивно часто связана с литниковой системой, в этом случае элементы литниковых систем могут быть разделены на подводящие и питающие.

Размеры подводящих элементов литниковой системы определяются гидродинамическими факторами, а питающих элементов и прибыли – тепловыми факторами, геометрией отливки, ее массой, литейными свойствами сплава, а также требованиями, предъявляемыми к отливке.

В общем случае литниковая система должна отвечать следующим основным требованиям:

– обеспечивать заполнение формы расплавленным металлом в расчетный период времени с малой линейной скоростью (с целью пред-

отвращения размыва формы и интенсивного перемешивания металла, вызывающих образование засора, окисных плен, газовых включений);

– препятствовать инъекции воздуха и газов из стенок формы потоком металла;

– задерживать шлак и другие неметаллические частицы;

– способствовать созданию необходимого теплового режима металла и формы с целью получения годных отливок (плотных, без трещин, с минимальными внутренними напряжениями, с чистой поверхностью без пригара, ужимин, раковин);

– не затруднять усадку затвердевающей отливки;

– быть удобной при формовке, занимать мало места в форме и обеспечивать высокий выход годного;

– легко отделяться от отливки и не вызывать больших затрат на обрубку и зачистку.

В зависимости от вида сплава, конструкции отливки и условий ее службы отдельные требования могут приобретать доминирующее значение или, наоборот, становиться второстепенными. Так, при производстве отливок из магниевых и высокопрочных алюминиевых сплавов, алюминиевых бронз, высокопрочных латуней и других сплавов с высокой реакционной способностью по отношению к кислороду требования минимального пленообразования в самой литниковой системе и ввода металла в полость формы с малой скоростью относятся к главным. Эти же требования приобретают второстепенный характер при литье серого чугуна или оловянистой бронзы, так как они не образуют плен. При литье стали главное внимание обращается на борьбу с усадочными дефектами, причем при разливке из стопорного ковша задача задержания шлака в литниковой системе вообще не ставится. Учет специфики производства отливок в ряде случаев может помочь созданию простых литниковых систем и одновременно увеличению выхода годного.

Выбор места подвода металла является одной из главных задач. Подвод металла в тонкое место отливки имеет целью выровнять скорость охлаждения тонкой и толстой частей отливки, что способствует уменьшению напряжений, а при отсутствии прибылей – и усадочных раковин.

Подвод металла в толстое место отливки позволяет создать последовательное (направленное) затвердевание для более успешного действия прибыли. Напряжения устраняются при этом медленным

охлаждением отливки в форме или последующим отжигом. Для борьбы с напряжениями надо стремиться также к равномерному подводу металла по периферии отливки. К рассредоточенному подводу металла прибегают также с целью уменьшения нагрева плоских частей формы, образующих тонкие стенки отливки, что способствует уменьшению брака по ужиминам и раковинам.

Методика расчета типовых литниковых систем

Литниково-питающие системы (ЛПС) служат для обеспечения заполнения литейных форм металлом с оптимальной скоростью, исключая образование в отливке недоливов и неметаллических включений, и компенсирующей объемную усадку в период затвердевания отливки с получением в ней металла заданной плотности. ЛПС должна также удовлетворять требованиям технологичности при изготовлении моделей, форм и отливок. При этом необходимо стремиться к созданию по возможности компактных ЛПС. Излишнее их развитие ведет к перерасходу металла, завышению затрат труда, низкой эффективности использования оборудования и площадей.

К типовым литниковым системам относятся: горизонтальные, боковые, сифонные, верхние и дождевые. Для их расчета используют упрощенные методы, основанные на следующих допущениях:

- расплав рассматривается как идеальная жидкость с постоянной вязкостью, охлаждение расплава и нагрев формы при ее заполнении не учитываются;
- движение расплава рассматривается как установившееся движение тяжелой жидкости по закрытым и открытым каналам.

При конструировании литниковых систем необходимо придерживаться ряда правил, направленных на выполнение предъявляемых к ним требований:

- протяженность каналов литниковой системы должна быть минимальной и жидкий металл необходимо подводить к полости формы кратчайшим путем;
- поток металла, подводимый в полость формы, должен быть направлен вдоль стенки отливки или касательно к ней;
- подвод металла должен обеспечивать одностороннее движение металла в форме;
- нежелательно размещать элементы литниковой системы вблизи знаковых частей стержней, холодильников, а также жеребеков;

– подвод металла осуществляют в наиболее массивную часть отливки, если толщина ее стенок различается незначительно и, наоборот, металл подводят к тонким стенкам, если их толщины существенно различаются.

Конкретная литая деталь представляет собой оригинальную конструкцию, что приводит к необходимости создания самостоятельной ЛПС для каждой отливки. Вместе с тем литые детали имеют много общего в размерах стенок, узлов, их сочленений, благодаря чему открываются возможности для типизации конструкций ЛПС и выработки общих методов их расчета.

Расчет в общем случае сводится к определению площади наименьшего сечения литниковой системы (стояка или питателя) с последующим определением (по соотношениям) площадей сечения остальных элементов системы.

Для сужающихся литниковых систем площадь наименьшего сечения F_n находят по формуле Озанна-Диттерта:

$$F_n = \frac{G}{\rho \tau \mu \sqrt{2gH_p}},$$

где G – масса отливки (всех отливок в форме) с литниковой системой, кг;

ρ – плотность заливаемого расплава, кг/м³;

τ – продолжительность заливки формы, с;

μ – коэффициент расхода расплава, учитывающий потери на трение, повороты в литниковой системе;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_p – расчетный статический напор, м.

Для определения массы отливки с литниковой системой на чертеж детали наносятся литейно-модельные указания:

- плоскость разъема;
- положение отливки в форме;
- припуски на механическую обработку;
- уклоны;
- галтели;
- конфигурация стержней;
- стержневые знаки;
- зазоры между формой и стержнем.

Определяются заливаемые отверстия, технологические приливы, расположение прибылей, питающих бобышек и др. На основании литейно-модельных указаний определяются габаритные размеры моделей, разрабатывается эскиз расположения моделей на подмодельной плите и конструкция литниковой системы, по которым определяются длины питателей и шлакоуловителей. Выбираются номинальные размеры опок в свету.

Номинальные размеры опок в свету зависят от конструкции литниковой системы, габарита моделей, необходимых минимальных толщин слоя формовочной смеси между моделями и стенками опок, между моделями, между моделью и шлакоуловителем, которые зависят от массы отливки.

Полученные данные позволяют определить минимальные размеры опок, которые окончательно уточняют по ГОСТ 2133-75. На практике рассматривается несколько типоразмеров опок и выбирается размер опоки, в которой содержится минимальное количество формовочной смеси, затраченной на единицу массы получаемых отливок.

Продолжительность заливки формы τ определяют по формулам, полученным в результате обобщения опыта работы различных литейных цехов. Для сложных по конфигурации тонкостенных отливок массой до 500 кг время заливки рекомендуется определять по формуле

$$\tau = S\sqrt{G},$$

где S – коэффициент, зависящий от толщины стенки отливки; при толщине стенок 2,5–3,5; 3,5–8,0; 8–15 мм этот коэффициент, соответственно, равен 1,66; 1,85; 2,2.

Для средних и крупных отливок

$$\tau = S\sqrt[3]{G\delta},$$

где δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм; при δ равной 10–20; 20–40; 40 мм и более коэффициент S , соответственно, равен 1,0; 1,35; 1,50; 1,70.

Расчетный статический напор H_p зависит от типа литниковой системы, положения отливки в форме, способа заливки и других факторов и определяется из соотношения

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C},$$

где H_0 – высота стояка от уровня металла в литниковой воронке или чаше до места подвода металла в форму, м;

P – расстояние от верхней точки отливки до уровня подвода расплава в форму, м;

C – высота отливки в форму, с.

Для сифонной литниковой системы (рис. 7.1, а), когда $P = C$, $H_p = H_0 - C/2$. При подводе металла сверху (рис. 7.1, б) $P = 0$, $H_p = H_0$. В случае симметричного расположения отливки относительно плоскости разъема и подвода металла в ней (рис. 7.1, в) $P = C/2$, $H_p = H_0 - C/8$.

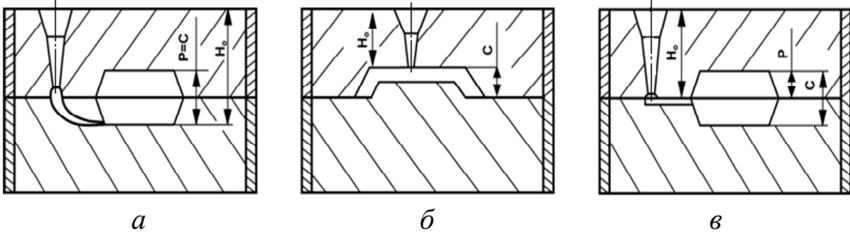


Рис. 7.1. К расчету статического напора различных конструкций литниковых систем:
а – сифонная; б – верхняя; в – боковая

Значение коэффициента расхода литниковой системы μ определяют по справочным таблицам. Для чугуна при заливке в сырую форму применяют $\mu = 0,35-0,50$; в сухую – $0,41-0,60$; для стали, соответственно, $0,25-0,42$ и $0,30-0,50$.

Площади сечений других элементов литниковой системы для отливок из серого чугуна рассчитывают из соотношения

$$F_{\Pi} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4,$$

где $F_{\text{шл}}$ – площадь сечения шлакоуловителя;

$F_{\text{ст}}$ – площадь сечения стояка в самом узком месте.

Для тонкостенных чугунных отливок пользуются соотношением

$$F_{\Pi} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,06 : 1,11.$$

При определении площадей сечения литниковой системы для стальных простых толстостенных отливок пользуются соотношением

$$F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,05 : 1,1,$$

для сложных тонкостенных – соотношением

$$F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,2.$$

При выборе конструкции литниковой системы для отливок из цветных сплавов (алюминиевых, магниевых, медных) особое внимание уделяют спокойному заполнению формы расплавом. С этой целью применяют расширяющиеся литниковые системы, в которых наименьшим сечением служит стояк $F_{\text{ст}}$ и формула Озанна–Диттерта примет следующий вид:

$$F_{\text{ст}} = \frac{G}{\rho \tau \mu \sqrt{2gH_{\text{п}}}}.$$

При расчетах площадей остальных каналов литниковой системы используются следующими соотношениями:

– для литья алюминиевых и магниевых сплавов

$$F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 4 : 2 : 1 \quad (6 : 3 : 1);$$

– для медных сплавов

$$F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 2 : 2 : 1 \quad (4 : 4 : 1).$$

Зная площади сечений основных элементов литниковой системы, можно определить остальные их размеры.

Питатели и шлакоуловители имеют, как правило, трапецидальное поперечное сечение, площадь которого определяется по формуле

$$F_{\text{п(шл)}} = \frac{a+b}{2} h_{\text{п(шл)}},$$

где a – большее основание трапеции, м;

b – меньшее основание трапеции, м;

$h_{\text{п(шл)}}$ – высота питателя (шлакоуловителя), м.

Размеры питателей при расчете зависят от места присоединения его к отливке. В случае присоединения питателя к прибыли отливки принимаются следующие соотношения его размеров $b \approx h_{\text{п}} \approx 0,7-0,8a$. Подставив их в формулу расчета $F_{\text{п}}$, получим размер большого основания

$$a = \sqrt{F_{\text{п}}/0,72}.$$

В случае присоединения питателя непосредственно к отливке высота его должна быть на 3–5 мм меньше толщины стенки, к которой он присоединен.

Длина питателя выбирается в зависимости от конструкции литниковой системы, массы отливки, минимально допустимой толщины слоя смеси между моделью и шлакоуловителем и берется по возможности минимальной.

В случае подвода расплава к отливке несколькими питателями рассчитанная площадь сечения питателя $F_{\text{п}}$ является суммарной.

Для определения размеров сечения шлакоуловителя применяются такие же соотношения, как и для питателей, присоединенных к прибыли отливки.

Поскольку для освобождения от неметаллических включений расплав должен пройти внутри шлакоуловителя определенное расстояние, его длину до питателя определяют по формуле

$$l_{\text{шл}} = 1,2h_{\text{шл}} \frac{V_{\text{шл}}}{V_{\text{в}}},$$

где $h_{\text{шл}}$ – высота сечения шлакоуловителя, м;

$V_{\text{шл}}$ – скорость сплава в шлакоуловителе, м/с;

$V_{\text{в}}$ – скорость всплытия частицы, м/с.

Скорость всплытия частиц определяется из формулы

$$V_{\text{в}} = 2 \sqrt{\frac{d_{\text{шл}}}{3} \frac{\rho_{\text{Ме}} - \rho_{\text{шл}}}{\rho_{\text{Ме}}} g},$$

где $d_{\text{шл}}$ – диаметр частицы ($\sim 0,002$ м);

$\rho_{\text{Ме}}$, $\rho_{\text{шл}}$ – плотность, соответственно, расплава и неметаллической частицы (~ 4500 кг/м³), кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с.

Скорость расплава в шлакоуловителе рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{шл}} = \frac{G_{\text{ж}}}{\tau \rho_{\text{Ме}} F_{\text{шл}}},$$

где $G_{\text{ж}}$ – масса жидкого металла в форме, кг;

τ – продолжительность заливки, с;

$F_{\text{шл}}$ – площадь поперечного сечения шлакоуловителя, м².

Если через шлакоуловитель расплав подводится к нескольким отливкам, то площадь его поперечного сечения $F_{\text{шл}}$ умножается на количество отливок. При большой длине шлакоуловителя его делают ступенчатым, уменьшая его площадь после прохождения очередного питателя.

Диаметр стояка в самом узком месте определяют из выражения

$$d_{\text{ст}} = 2\sqrt{F_{\text{ст}} \frac{n}{\pi}},$$

где n – количество отливок в форме, шт.

По найденному значению $d_{\text{ст}}$ определяют верхний диаметр стояка $d_{\text{ст.в}}$. Для расширяющегося стояка

$$d_{\text{ст}} = d_{\text{ст.в}},$$

а для сужающегося (ручная формовка)

$$d_{\text{ст.в}} = d_{\text{ст}} + 2h_{\text{укл}},$$

где $h_{\text{укл}}$ – основание уклона, определяемого по ГОСТ 3212-92.

Порядок выполнения работы

По предложенным преподавателем отливке, сплаву и технологии изготовления отливки произвести расчет литниково-питающей системы.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Описание предложенной преподавателем к расчету отливки.
4. Обоснование выбора типа литниково-питающей системы.
5. Расчет ЛПС.
6. Выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение литниково-питающей системы.
2. Типы ЛПС.
3. Какой тип ЛПС применяется для литья алюминиевых сплавов?
4. Назначение элементов ЛПС.

Практическое занятие № 8

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ВРУЧНУЮ. МЕТОДЫ РУЧНОЙ ФОРМОВКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ОСНАСТКА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы: ознакомление студентов с основными приемами ручной формовки; приобретение навыков ручного изготовления форм.

Общие сведения

Формовка – это технологический процесс изготовления литейных форм, в основном определяющий качество будущей отливки. В зависимости от типа производства, а также сложности отливки, существует экономическая и техническая целесообразность использования ручных, машинных или автоматизированных методов формовки. Как правило, в условиях единичного и мелкосерийного производства применяют различные виды ручной формовки, отличающейся большим многообразием методов и приемов, позволяющих получать различные по сложности, массе и размерам отливки. Различают следующие разновидности ручной формовки: в опоках, в почве, комбинированная, сочетающая элементы формовки в опоках и в почве.

Основные элементы литейной формы

Опоки – жесткие (прямоугольные, круглые или фасонные) рамки (рис. 8.1), ограничивающие наружные очертания формы и обеспечивающие выполнение различных технологических и транспортных операций. В зависимости от массы опоки подразделяют на три категории:

- 1 – ручные опоки массой без смеси до 30 кг;
- 2 – опоки массой до 60 кг с устройствами для ручного и кранового подъема;
- 3 – крановые опоки массой более 60 кг.

Опоки обычно изготавливают либо в литом (из чугуна, стали или вторичных алюминиевых сплавов), либо в сварном (из литых стальных нормализованных элементов или из стандартного проката), либо в сборном (из чугуна и стали) вариантах.

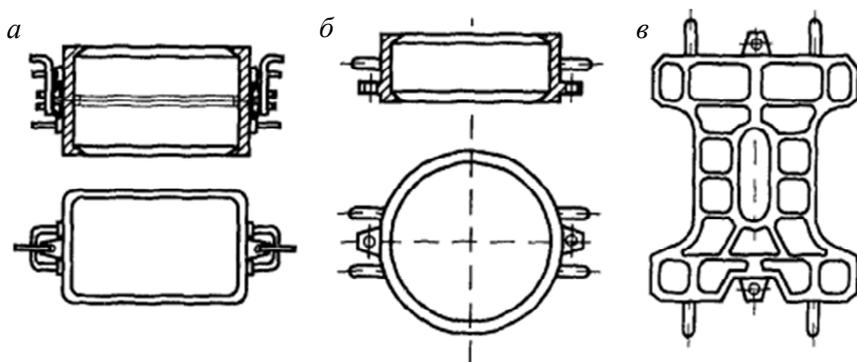


Рис. 8.1. Опоки:
а – прямоугольная; *б* – круглая; *в* – фасонная

Парные опоки должны плотно, без зазоров, прилегать друг к другу, для чего плоскости их разъема (лад опоки) необходимо механически обрабатывать и не допускать наличия на нем остатков формочной смеси, металла.

Элементы центрирования опок включают в себя штыри и втулки, изготавливаемые, как правило, из сталей марок Ст. 40–45, тщательно обработанные и закаленные до твердости НВС 40–45. При этом втулки, в зависимости от выполняемых функций, подразделяются на центрирующие, имеющие круглые отверстия, и направляющие с прямоугольным или эллиптическим отверстием.

При ручной формовке и сборке обычно применяют одни и те же штыри, свободно вставляемые в приливы опок, или закрепляют штыри в верхней или нижней опоках.

Подопочные плиты (щитки) металлические или деревянные гладкие плиты, на которые устанавливаются транспортируемые к месту заливки собранные формы.

Жеребейки – металлические подставки, различные по размерам и конфигурации, применяющиеся для фиксации необходимого положения стержней в форме. При изготовлении чугуновых и стальных отливок применяют жеребейки, изготовленные из мягкой стали и подвергнутые лужению для предотвращения ржавчины. При изготовлении же бронзовых отливок применяют медные жеребейки, а алюминиевых отливок – алюминиевые. После заливки формы жеребейки свариваются со сплавом и остаются в теле отливки.

Холодильники – металлические приспособления, устанавливаемые при формовке на модель или после формовки в полость литейной формы, служащие для ускорения процесса охлаждения массивных частей отливки и ее более равномерной кристаллизации. Существует большое разнообразие холодильников по конфигурации и размерам, по функциональному назначению и расположению в форме, разделяющихся на две группы: наружные и внутренние. Внутренние холодильники перед установкой в форму рекомендуется лудить (или пескоструить) с целью лучшего сваривания с заливаемым расплавом, а наружные – окрашивать и сушить для предотвращения сваривания с телом отливки.

Применяемый инструмент

При изготовлении форм и стержней, их отделке и ремонте применяют разнообразный инструмент (рис. 8.2), наиболее полный набор которого используется в процессах ручной формовки. Так, уплотнение смеси осуществляется ручными трамбовками (рис. 8.2, *а*), а в случае уплотнения крупногабаритных форм используются пневматические трамбовки (рис. 8.2, *к*).

Как правило, трамбовки имеют клиновидный и плоский башмаки, выполненные либо из чугуна СЧ20, либо из резины повышенной твердости. Для просеивания облицовочной смеси при нанесении ее на модель применяют прямоугольные или круглые (диаметром 400–500 мм) сита (рис. 8.2, *з*) с металлической сеткой, имеющей ячейки размером 2–4 мм. Подача наполнительной смеси в опоку осуществляется либо лопатами (в случае формовки опок небольших размеров, рис. 8.2, *ж*), либо совками.

В качестве вентиляционных газоотводных каналов в формах и стержнях используются стальные иглы – душники диаметром 3–5 мм, которые бывают прямыми и изогнутыми (рис. 8.2, *л*).

Перед извлечением из уплотненной полуформы модель расталкивают осторожными ударами по ней металлическим или деревянным (киянка) молотком. Для извлечения модели из полуформы применяют крючки-подъемы (рис. 8.2, *е*) с заостренным концом или резьбой на конце (в этом случае в верхней части модели также выполняется резьба).

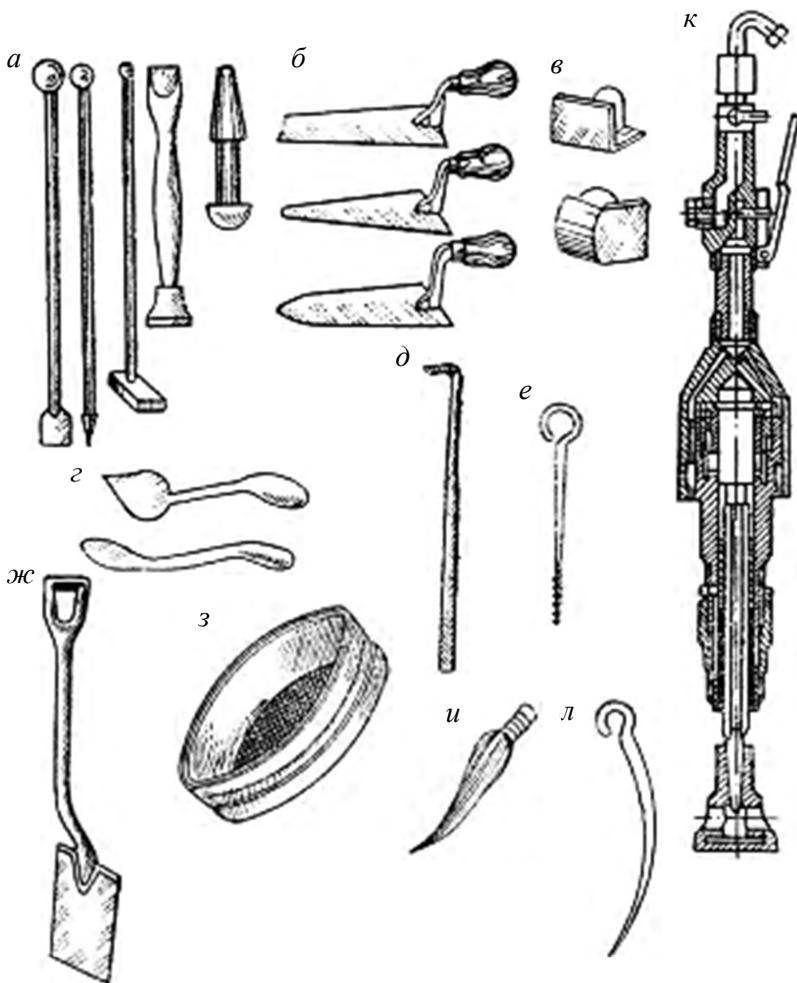


Рис. 8.2. Формовочный инструмент и приспособления:
а – ручные трамбовки; *б* – плоские гладилки; *в* – фасонные гладилки; *г* – ланцеты;
д – крючок; *е* – крючок-подъем; *ж* – лопата; *з* – сито; *и* – кисть-помазок;
к – пневматические трамбовки; *л* – душник

Отделку и ремонт полуформы осуществляют с помощью гладилок различной конфигурации, ланцетов и крючков, которые изготавливают, как правило, из инструментальной стали, а рабочие поверхности подвергают шлифовке и полировке. Плоские гладилки

(рис. 8.2, б) применяют для выглаживания прямолинейных поверхностей формы, для чего их лезвия выполняют прямоугольными, закругленными или заостренными. Фасонные гладилки (рис. 8.2, в) используют в основном для отделки углов, галтелей, закруглений. Ланцеты (рис. 8.2, з) и крючки (рис. 8.2, д) служат для отделки и исправления узких труднодоступных мест полуформы; кроме того, крючки применяют для удаления остатков формовочной смеси из углубленных мест.

Кисть-помазок (рис. 8.2, и), изготовленная из пеньки или льна, необходима для смачивания формы по контуру модели перед ее извлечением, а также для обработки поврежденных мест формы перед их исправлением.

Порядок выполнения работы

Формовка в двух опоках по разъемной модели (рис. 8.3), как и любой другой вид формовки, начинается с подготовки к этой операции модельно-опочной оснастки. Модель необходимо осмотреть, очистить от пыли и приставшей смеси, проверить наличие и правильность изготовления съемных частей модели, элементов литниковой системы. Все обнаруженные повреждения необходимо ликвидировать до начала формовки. После этого приступить к формовке нижней полуформы, для чего модель низа 2 вместе с моделью питателя 3 устанавливают на модельную плиту 1 (рис. 8.3, а), которая должна быть прочной и тщательно простроганной. До начала формовки очищают обе опоки от остатков формовочной смеси и всплесков металла, проверяют чистоту отверстий для установки центрирующих и направляющих штырей. Категорически запрещается использование опок, имеющих различные дефекты: трещины в стенках и цапфах, искажение геометрии лада и т. д.

Нижнюю опоку 4 установить на модельную плиту (рис. 8.3, б) таким образом, чтобы проушины для штырей 12 (рис. 8.3, з) были ближе к плоскости разъема. Модель низа 2 протереть жидким противадгезионным покрытием (например, 50 % мазута и 50 % керосина) или припылить модельной пудрой (например, ликоподием или тальком), чтобы предохранить модель от прилипания формовочной смеси. Затем через сито 5 просеять облицовочную смесь, толщина слоя которой на модели для мелких и средних сырых форм должна составлять

10–30 мм, а для крупных форм, подвергаемых поверхностной подсушке, – 30–50 мм. Облицовочную смесь вручную обжать вокруг модели так, чтобы полностью закрыть все поднутрения и выступы.

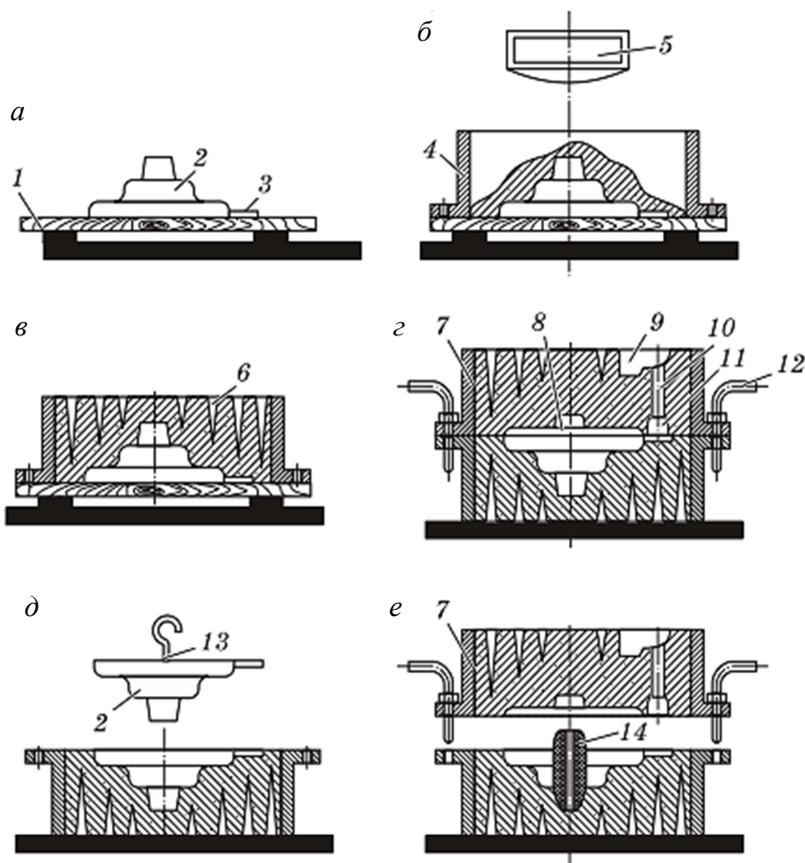


Рис. 8.3. Последовательность операций при формовке в двух опоках по разъемной модели:

- 1 – модельная плита; 2 – модель низа; 3 – модель питателя; 4 – нижняя опока; 5 – сито; 6 – наколы; 7 – верхняя опока; 8 – модель верха; 9 – модель чаши; 10 – модель стояка; 11 – модель шлакоуловителя; 12 – штырь; 13 – подъем; 14 – стержень

Постепенно слоями толщиной по 50–100 мм заполнить нижнюю опоку наполнительной смесью (рис. 8.3, в) и уплотнить ее клино-

видным концом трамбовки (не допуская ударов по модели), особенно тщательно вокруг модели и над ней, в углах и у стенок опоки. При послойном наполнении опоки равномерное уплотнение смеси осуществляют вначале клиновидным, а затем плоским концом трамбовки. Следует иметь в виду, что недопустимо переуплотнение смеси, так как в этих местах резко уменьшается газопроницаемость формы и возможно образование газовых дефектов в отливке. После того, как вся опока будет заполнена на 30–50 мм выше верхнего уровня (контрлада), смесь необходимо окончательно уплотнить плоским концом трамбовки, а излишек ее срезать линейкой или лопатой вровень с кромкой опоки. После удаления излишка смеси иглой-душником диаметром 3–5 мм наколоть вентиляционные каналы, которые не должны доходить до поверхности модели на 10–20 мм во избежание повреждения модели.

После этого полуформу вместе с модельной плитой повернуть на 180° (рис. 8.3, *з*), снять плиту, установить модель верха 8, модели шлакоуловителя 11, стояка 10 и чаши 9. Для предотвращения прилипания формовочной смеси верхней полуформы к нижней на плоскость разъема нанести мелкий сухой кварцевый песок. Остатки его сдууть с модели сжатым воздухом, после чего нанести на нее противадгезионное покрытие.

Затем по штырям 12 на нижнюю полуформу установить верхнюю опоку 7, наполнить ее облицовочной и наполнительной смесью, которые необходимо уплотнить по описанной выше технологии изготовления нижней полуформы.

После уплотнения и удаления излишков смеси в верхней опоке, а также изготовления вентиляционных каналов ударами деревянным молотком по подъему расшевелить модели чаши и стояка и извлечь их из формы. Затем раскрыть форму, поворачивая верхнюю полуформу на 180°, и установить ее рядом с нижней. После этого извлечь модели из полуформ и произвести отделку формы. Для этого кисточкой удалить разделительный песок, а в модель вернуть или забить подъем 13 (рис. 8.3, *д*). Перед извлечением модель растолкать ударами молотка по подъему 13 (при этом осторожно поднимать модель из формы, сохраняя вертикальное положение подъема и модели). Таким же образом извлекают модели питателей и шлакоуловителя.

После аккуратного извлечения моделей приступить к отделке формы, т. е. к исправлению повреждений.

После отделки в нижнюю полуформу установить стержень *14* (рис. 8.3, *e*) и с помощью штырей *12* уложить верхнюю полуформу *7* на нижнюю *4*, а их скрепление осуществить с помощью скоб, струбцин либо путем установки на верхнюю поверхность формы заранее рассчитанного груза.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Описание основных элементов формы.
4. Краткое описание последовательности операций изготовления формы.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите дефекты поверхности отливок.
2. Продемонстрируйте последовательность операций изготовления формы на разъемной модели.
3. Перечислите основной инструмент, применяемый при ручной формовке.

Практическая работа № 9

ЛИТЕЙНЫЕ СТЕРЖНИ, ТРЕБОВАНИЯ К НИМ, ИХ РАЗНОВИДНОСТИ И СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомление студентов с основными типами литейных стержней, их разновидностями и способами изготовления; приобретение навыков ручного изготовления стержней.

Общие сведения

Для оформления внутренних полостей, наружных углублений и выступов отливки применяют стержни. В большинстве отливок стержень полностью, кроме знаков, фиксирующих положение стержней в форме, заливается сплавом, в результате чего он подвергается механическим нагрузкам и воздействию высокой температуры. Поэтому требования к качеству стержней выше, нежели к качеству формы, образующей наружные поверхности отливки.

Стержни классифицируют по степени сложности, а также по массе, объему и способу упрочнения. В зависимости от степени сложности стержни делят на пять классов.

К *классу I* (рис. 9.1, *а*) относятся наиболее сложные, ажурные тонкостенные стержни, соприкасающиеся с расплавом большой площадью и образующие в отливках узкие полости. Эти стержни должны иметь высокую сухую прочность, огнеупорность, газопроницаемость, малую газотворность. Они должны легко разрушаться и извлекаться из полости отливки. Стержни этого класса чаще всего применяются для образования в отливке необрабатываемых внутренних полостей.

В *класс II* (рис. 9.1, *б*) входят центровые стержни сложной и средней конфигурации с наличием тонких частей в виде отдельных выступов, переходов с достаточно развитыми знаковыми частями. Они образуют в отливке обрабатываемые и необрабатываемые поверхности и должны иметь высокую сухую прочность.

К *классу III* (рис. 9.1, *в*) принадлежат стержни, образующие внутренние и наружные поверхности отливок средней и несложной формы. Такие стержни должны иметь высокую сырую прочность.

Они используются для получения необрабатываемых ответственных поверхностей.

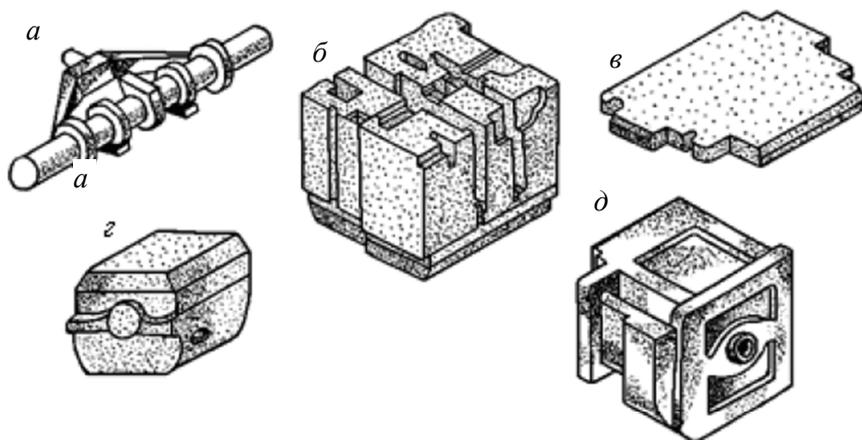


Рис. 9.1. Примеры стержней различных классов сложности:
а – I класса; б – II класса; в – III класса; г – IV класса; д – V класса

Класс IV (рис. 9.1, г) составляют стержни среднего объема, имеющие несложную форму и стержневые знаки относительно большого сечения. Их применяют для получения как внутренних, так и внешних обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей, к шероховатости которых не предъявляют повышенных требований.

К *классу V* (рис. 9.1, д) относятся массивные крупногабаритные стержни. Их применяют для получения внутренних и наружных поверхностей.

Эти стержни должны обладать высокой податливостью, иногда они выполняются пустотелыми.

Каждой группе стержней соответствуют определенные габаритные размеры стержневых ящиков:

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

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

Центровые стержни предназначены для оформления в отливках внутренних полостей, углублений и отверстий.

Наружные стержни оформляют на отливках впадины, бобышки, приливы и т. п., т. е. наружные поверхности отливок. Такие стержни упрощают модели и облегчают изготовление форм.

Литниковые стержни служат для оформления в форме элементов литниковых систем, литниковых и выпорных чаш, стоячков, фильтровальных сеток, прибылей и т. п.

Подкладочные стержни предназначены для упрочнения формы в местах, испытывающих большое давление со стороны стержней, а также большое гидростатическое давление металла. Такие стержни служат также для упрочнения мест, подвергающихся длительному воздействию струи жидкого металла, заполняющего форму.

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

По конструктивным особенностям различают неразъемные, сборные, оболочковые стержни.

Неразъемные стержни изготавливают в одном ящике и устанавливают в форму без дополнительных устройств.

Сборные стержни получают путем соединения различными способами нескольких отдельно изготовленных стержней.

Оболочковые стержни имеют внутренние открытые полости. Толщина стенок стержня составляет 6–12 мм.

Примеры различных типов стержней приведены на рис. 9.2.

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

1) стержни, отверждаемые вне оснастки, как правило, с помощью тепловой сушки;

2) стержни, отверждаемые непосредственно в оснастке за счет химического или физико-химического упрочнения.

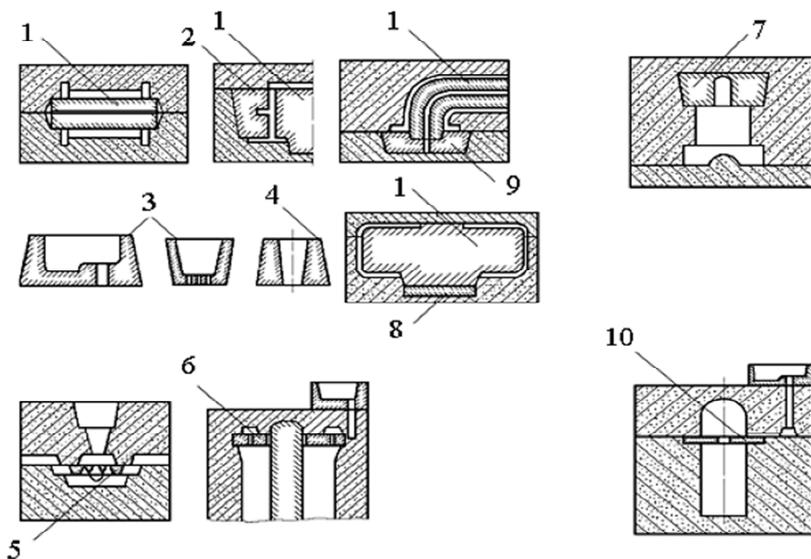


Рис. 9.2. Типы стержней:

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

Конструкция стержней должна обеспечивать минимальные отклонения размеров отверстий, полостей и других частей отливки, устанавливаемые стандартом. Изготовление стержня ручным или машинным способом должно быть минимально трудоемким. Необходимым условием является простота стержневого ящика (отсутствие съемных частей, впадин и выступов). При изготовлении стержней на машинах наличие выступов и впадин требует дополнительного уплотнения под выступающими частями и в верхней части впадин.

В процессе изготовления мелких и средних стержней допускается только одна кантовка при извлечении их из стержневого ящика. Для более крупных стержней следует предусматривать возможность установки на сушильную плиту в положение установки в форму. Наиболее целесообразна конструкция тяжелого стержня, изготовляемого вручную и перемещаемого краном, при которой отпадает операция кантовки. Если невозможно избежать кантовки, стержневой

ящик снабжается специальными приспособлениями для этой операции: цапфами, скобами и др.

При невозможности установить основной стержень 1 (рис. 9.3, а) для удобства сборки вводится вспомогательный стержень 2.

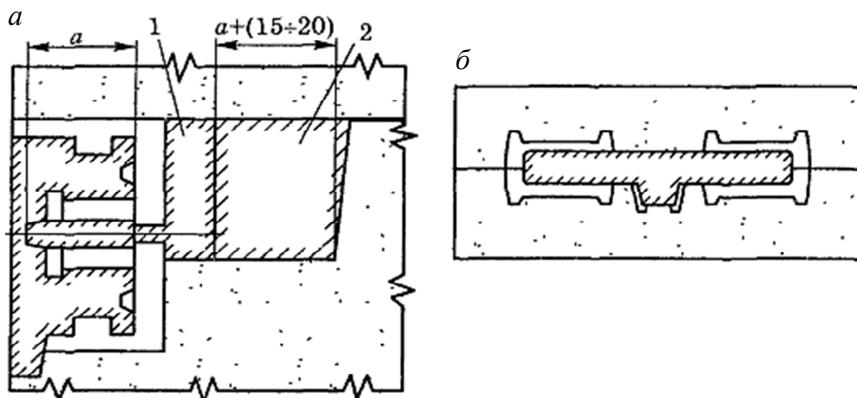


Рис. 9.3. Конструкции стержней, обеспечивающие удобство их установки в форму: а – с вспомогательным стержнем; б – общий стержень на две отливки

Прочность стержня – одно из основных требований к его конструкции. Следует по возможности избегать тонких перемычек между массивными частями стержней, приводящих к поломкам в тонкой части. В таком случае стержень рационально разделять на две и более частей, что приводит к упрощению процесса и снижению трудоемкости, несмотря на дополнительные операции по сборке и склейке частей. Разделение крупного стержня также необходимо, когда габариты стержневого ящика не вписываются в габариты столов эксплуатируемых машин. И наоборот, два стержня объединяют в один, когда применение жеребеек для устойчивости стержня нежелательно (рис. 9.3, б).

Каждый стержень, кроме основной части, оформляющей отверстия, полости и другие элементы отливки, должен иметь дополнительные части – знаки, служащие для фиксации устойчивого положения стержня в форме, а также вывода газов, выделяющихся из стержня при заливке формы расплавом. По расположению в форме различают горизонтальные и вертикальные стержни.

Правильность установки и надежность крепления стержней в форме обеспечиваются размерами знаков и устройством фиксаторов. Знаки должны быть таких размеров, чтобы выдерживать нагрузку от массы стержня, давления расплава на верхнюю платформу и стержень. Размеры знака стержня определяют исходя из наименьшей поверхности, при которой давление на участок формы, сопряженный со знаком стержня, не превышает 50–75 % прочности формовочной смеси на сжатие. Площадь поверхности знака в нижней полуформе зависит от массы стержня и прочности формовочной смеси.

Высоту нижних стержневых знаков выбирают по справочным данным, в зависимости от длины или высоты стержня H и его диаметра D , а для стержней прямоугольного сечения – от величины $\frac{A+B}{2}$ (A и B – линейные размеры сторон прямоугольника в сечении). Высоту верхних стержневых знаков вертикальных стержней принимают равной 0,5 от высоты нижнего знака. Знаки должны быть таких размеров, чтобы предотвратить смыкание поверхности знаковых частей форм под влиянием массы стержня и нагрузок, возникающих при заливке формы расплавом. В целом размеры стержневых знаков стандартизированы, их определяют, как уже указывалось, в зависимости от габаритных размеров стержня по ГОСТ 3212-92. В соответствии с этим же ГОСТом стандартизированы зазоры между поверхностями знаковых частей форм и стержней, радиусы окружения кромок, размеры канавок противообжимных поясков, обжимных колец и полуколец, а также фиксаторов.

Вертикальные знаки выполняют у стержней, ось которых в форме расположена вертикально, а горизонтальные знаки характерны для стержней, ось которых находится в основном в горизонтальной плоскости разъема формы.

Вертикальные знаки обычно выполняют коническими, с углом наклона до 10° для знаков, расположенных в нижней полуформе, и $6\text{--}15^\circ$ для знаков, расположенных в верхней полуформе.

Для предупреждения всплывания и переноса стержней малого диаметра, имеющих только нижний знак, его делают с развитой нижней опорной поверхностью, а иногда выполняют с размерами несколько большими, чем знак формы. Это создаст заклинивание знака стержня в сырой форме. У вертикальных стержней малых сечений

опорный конусный нижний знак часто выполняют удлиненным. В некоторых случаях знаки стержней делают с обратным уклоном (конусностью). Такие, как правило, мелкие стержни накладывают на модель или вкладывают в соответствующее гнездо перед заполнением опок смесью и заформовывают вместе с моделью. При извлечении модели такие стержни, благодаря обратной конусности их знаков, остаются в форме.

Крупные стержни с большими сечениями устанавливают в форму на нижнюю поверхность, в которой, как правило, имеются выходные отверстия вентиляционных каналов. В данном случае важно предусмотреть такие зазоры между знаками стержня и формы, чтобы предотвратить попадание жидкого металла в вентиляционные каналы.

Иногда для повышения размерной точности отливок применяют металлические знаки, которые устанавливают, соответственно, в стержневой ящик и на модель перед уплотнением стержня и формы.

При определении размеров знаков следует учитывать, что их увеличение вызывает не только излишний расход стержневой смеси, но и ведет к повышению расхода материала на модельные комплекты, а также к увеличению размеров форм и опок.

Вентиляционная система стержней необходима для обеспечения вывода газов из стержня в период заливки формы, кристаллизации и остывания отливки. Для достижения этой цели в теле стержня выполняют специальные вентиляционные каналы, которые пронизывают все тело стержня и имеют направленный вывод газов в знаковые части. В зависимости от конструкции стержня вентиляционные каналы выполняют различными способами.

Например, в стержнях небольших размеров простой конфигурации газоотводные каналы оформляют иглой 1 (рис. 9.4, а). Этот способ целесообразно применять в том случае, когда стержневой ящик набивают смесью со стороны стержневого знака или если стержень разъемный и набивку осуществляют со стороны плоскости разъема. При этом вентиляционные каналы не должны доходить на 10–20 мм до рабочей поверхности стержня. В крупносерийном и массовом производстве вентиляционные каналы в стержнях выполняют с помощью шомполов 2 (рис. 9.4, б), вставляемых в отверстия стенки ящика. Перед извлечением стержня из ящика шомпол из него вынимают. Если канал выходит на рабочую поверхность стержня, то

выход канала тщательно заделывают стержневой смесью или вспомогательным стержнем.

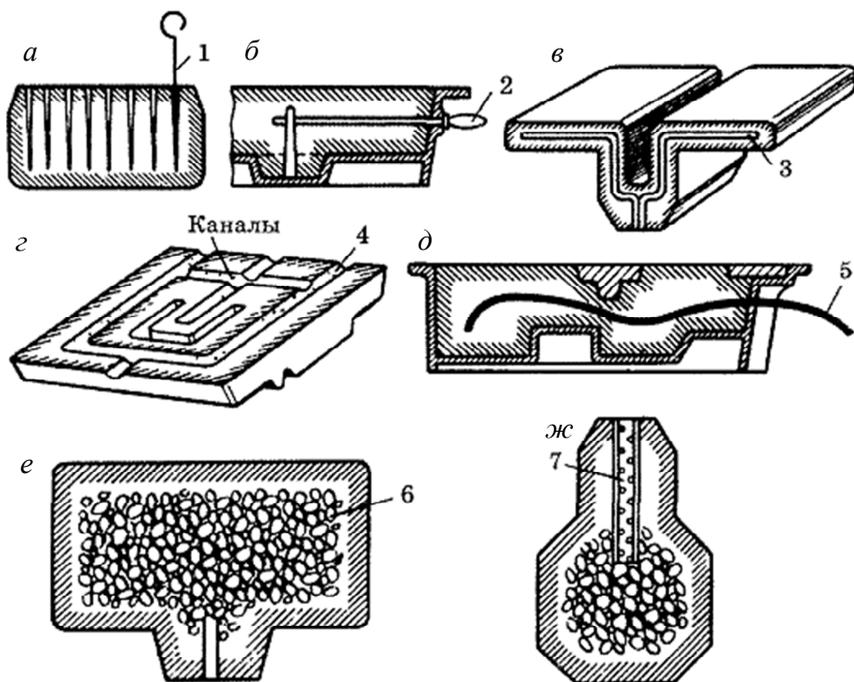


Рис. 9.4. Способы выполнения вентиляционных каналов:
 1 – игла; 2 – шомпол; 3 – восковой фитиль или капроновая трубка;
 4 – вентиляционные каналы; 5 – веревочный или резиновый жгут;
 6 – пористый материал; 7 – перфорированный трубчатый каркас

В стержнях сложной конфигурации, когда образование вентиляционного канала иглой или шомполом невозможно, в процессе изготовления в стержень заформовывают восковые (парафиновые) фитили или капроновые трубки 3 диаметром 4–9 мм (рис. 9.4, в), концы которых выводят в знаковую часть стержня. При сушке фитиль расплавляется и остаются каналы для выхода газов. Можно применять также веревочный или резиновый жгуты 5 диаметром 3–5 мм (рис. 9.4, д), которые после изготовления стержня выдергивают.

В том случае, когда стержень состоит из двух отдельно изготовленных половин, вентиляционные каналы 4 (рис. 9.4, з) прорезают по плоскости разъема и выводят их в знаковые части.

Крупные массивные стержни выполняют полыми, полость заполняют мелкой гарью, коксом, смесью опилок с песком, шлаком и другими пористыми материалами 6 (рис. 9.4, е, ж). После окончания процесса уплотнения стержня его знаковую часть соединяют с заполненной пористым материалом полостью каналами или перфорированным трубчатым каркасом 7 с высверленными отверстиями, который, кроме вентиляционных функций, служит и арматурой стержня.

Технология изготовления стержней

Отверждение стержней обеспечивается непосредственно в оснастке в основном за счет химического или физико-химического упрочнения материалов, входящих в состав стержневых смесей. Это процессы, основанные на использовании самоотверждающих смесей или смесей, твердеющих при продувке газом-отвердителем в ненагреваемой оснастке, а также процессы, основанные на использовании стержневых смесей, затвердевающих под воздействием теплоты нагреваемой оснастки.

Каждый технологический процесс имеет свою оптимальную область применения, поэтому выбор оптимального технологического процесса изготовления стержней представляет собой сложную задачу и связан с глубоким техническим и экономическим анализом большого числа факторов.

Технологические процессы, основанные на отверждении стержней в оснастке

Данные процессы обеспечивают отверждение стержней непосредственно в стержневых ящиках. Отверждение может проводиться или в предварительно нагретой до необходимой температуры оснастке, или в холодной оснастке, имеющей температуру окружающей среды.

Процессы изготовления стержней в нагреваемой оснастке подразделяют на процессы изготовления стержней из влажных и сухих (обычно песчано-смоляных), жидких и плакированных смесей. Плакированные стержневые смеси используют для формовки оболочковых стержней.

Технологические процессы изготовления стержней в холодной оснастке делят на две группы. К первой группе относят процессы с использованием самотвердеющих смесей, а ко второй – процессы, основанные на отверждении смесей в оснастке при их продувке. Процессы с использованием самотвердеющих смесей подразделяют на процессы изготовления стержней из сыпучих смесей с нормальной и повышенной скоростями самозатвердевания и на процессы изготовления стержней из ЖСС. Отверждение смесей за счет продувки может осуществляться углекислым газом, газообразным катализатором и сжатым воздухом (подогретым или с нормальной температурой).

Процессы изготовления стержней включают в себя различные технологические, транспортные и вспомогательные операции, часть которых характерна для всех технологических процессов, а часть специфична для отдельных из них.

Изготовление стержней в нагреваемой оснастке

Технологические процессы изготовления стержней, обеспечивающие их отверждение в нагреваемой оснастке, имеют следующие основные разновидности: изготовление стержней из влажных песчано-смоляных смесей и из сухих терморепактивных смесей.

Технологические процессы производства стержней с отверждением в нагреваемой оснастке имеют ряд существенных преимуществ, по сравнению с технологическими процессами изготовления стержней с отверждением тепловой сушкой:

- сокращение в десятки раз цикла изготовления стержней;
- отсутствие операции сушки стержней;
- уменьшение капиталовложений в оборудование (не используются сушилка, транспортеры, погрузчики) и резкое сокращение производственной площади;
- снижение затрат на сушильные плиты и арматуру;
- сокращение до минимума трудоемкости отделочных операций;
- возможность полной автоматизации процесса изготовления стержней и увеличение производительности труда;
- резкое улучшение качества стержней и увеличение их размерной точности.

Наряду с указанными преимуществами эти технологические процессы имеют и недостатки: усложняется конструкция стержневых

ящиков, увеличивается их стоимость, возникает необходимость устройства более мощной местной и общеобменной вентиляционных систем в связи с выделением в атмосферу цеха при отверждении стержней токсичных веществ.

Исходными материалами для приготовления смесей являются наполнители, связующие, катализаторы и различные специальные добавки для улучшения технологических свойств смесей.

Рецептуру стержневых смесей выбирают с учетом особенностей стержней, их массы, сложности конфигурации и масштабов производства, а также конструкции стержневого оборудования, характеристики отливок, условий поставки исходных материалов и других факторов.

Изготовление стержней из жидкостекольных смесей, отверждаемых продувкой углекислым газом

Технология изготовления стержней, отверждаемых продувкой углекислым газом (CO_2 -процесс), была, по сути, первым процессом, позволившим эффективно решить задачу отверждения стержней (и форм) при нормальной температуре непосредственно в оснастке.

Упрочнение стержней при CO_2 -процессе происходит за счет разложения жидкого стекла под действием продуваемого углекислого газа, в результате чего образуется гель (студенистое вещество) кремниевой кислоты, цементирующий зерна песка. При этом влага не испаряется, а химически связывается с продуктами разложения жидкого стекла. Длительность процесса химического твердения зависит от размеров и массы стержня, состава смеси и составляет обычно при давлении продувки 0,15–0,20 МПа от 15–20 сек (для мелких стержней) до 3 мин (для крупных стержней).

Ограничения в распространении CO_2 -процесса связаны с присущими ему недостатками, основным из которых является затрудненная выбиваемость стержней. Кроме того, стержни, изготовленные по CO_2 -процессу, имеют повышенные хрупкость и гигроскопичность (при хранении в течение нескольких суток), склонны к разупрочнению и осыпаемости. На чугунных отливках, изготовленных с применением таких стержней, в ряде случаев возникает трудноудаляемый пригар. Улучшенные варианты этого процесса, разрабатываемые в настоящее время, позволяют уменьшить недостатки.

Изготовление стержней из холоднотвердеющих смесей

Использование новых типов связующих материалов (синтетических смол) привело к разработке новых технологических процессов изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей. Эти процессы основаны на отверждении синтетических смоляных связующих в присутствии катализаторов при нормальной температуре. Холоднотвердеющие смеси состоят из наполнителя (кварцевый песок), синтетического связующего, катализатора отверждения и различных улучшающих смесь добавок. Приготовление смесей осуществляется последовательным перемешиванием песка, связующего, катализатора отверждения и добавок. Подача, дозировка и загрузка в смеситель исходных составляющих смеси, а также выпуск готовой смеси легко механизуются и автоматизируются с помощью применения специального оборудования.

Заполнение стержневого ящика смесью и ее уплотнение производят засыпкой с последующим уплотнением вручную, встряхиванием, вибрацией или пескодувным способом. Отверждение стержней в ящиках осуществляется выдержкой их на воздухе или продувкой сжатым воздухом, подогретым или нормальной температуры, также может быть добавлен активный катализатор. Остальные технологические операции (извлечение стержня, отделку, окраску, сборку и др.) выполняют практически так же, как и при других процессах изготовления стержней.

Технологические процессы изготовления стержней из ХТС подразделяют на три группы.

К *первой группе* относят процессы изготовления стержней из песчано-смоляных самотвердеющих смесей. Продолжительность твердения стержней в ящиках составляет 5–60 мин. Эта группа процессов широко распространена при изготовлении мелких, средних и крупных стержней в литейных цехах с единичным, мелкосерийным и серийным характером производства стальных и чугуновых отливок, а также отливок из цветных сплавов.

Две другие группы технологических процессов применяют при массовом и крупносерийном производстве отливок. Для одной из этих групп характерно резкое возрастание скорости отверждения смеси в ящиках (до 0,5–3 мин) за счет использования высокорекрационных связующих материалов и катализаторов отверждения. Другая группа технологических процессов основана на применении песчано-

смоляных смесей с длительной живучестью. Высокая скорость затвердевания достигается за счет продувки смеси в ящике газообразным или жидким (в виде паровоздушной смеси) катализатором.

Основной особенностью стержневых смесей, отверждаемых без применения нагрева или другого внешнего воздействия, например, продувки газообразным катализатором, является обратная взаимосвязь между скоростью отверждения и живучестью. Это выдвигает определенные требования к процессу смесеприготовления. Во-первых, процесс приготовления смеси должен быть кратковременным (3–30 с), во-вторых, смесь должна использоваться немедленно после приготовления.

Для приготовления холоднотвердеющих песчано-смоляных смесей наиболее широко применяют смесители непрерывного действия, обеспечивающие достаточно высокое качество перемешивания компонентов смеси. Максимальные значения прочности смеси, как правило, достигаются при продолжительности перемешивания до 0,5 мин, в смесителях непрерывного действия, и до 1 мин, в смесителях периодического действия.

Технология изготовления стержней из ХТС значительно отличается от традиционной технологии изготовления стержней с тепловой сушкой. Она предъявляет следующие основные требования к подготовке стержневой оснастки:

- в зависимости от условий и серийности производства для изготовления стержней могут использоваться деревянные, пластмассовые или металлические стержневые ящики;

- при температуре в цехе ниже 18 °С металлические стержневые ящики необходимо перед началом работы подогревать до температуры 30–35 °С для ускорения затвердевания и предотвращения прилипаемости стержневой смеси к поверхности;

- при изготовлении стержней на пескодувных машинах следует применять в основном металлические стержневые ящики;

- в связи с тем, что стержни извлекают из оснастки в отвержденном состоянии, при проектировании и изготовлении стержневых ящиков необходимо обеспечивать высокое качество их рабочих поверхностей, увеличивать в 1,5–2 раза формовочные уклоны, а также предусматривать механизированное извлечение стержней системой толкателей.

Массивные стержни рекомендуется изготавливать с полостями, выполняемыми с помощью вставок из древесины, пенополистирола или металлических тонкостенных жестких коробов. Конструкция вкладышей должна учитывать удобство заполнения стержневого ящика смесью. Толщина стенок стержня обычно находится в пределах 50–150 мм, в зависимости от его размеров и нагрузки при заливке.

Стержневую смесь готовят в смесителях непрерывного или периодического действия различной производительности, в зависимости от массы стержней и схемы организации работ на стержневом участке. Смесями, приготовленными в смесителе периодического действия, заполняют стержневой ящик за один или несколько замесов. Перерыв между очередными порциями не должен превышать времени живучести смеси. Смеси, приготовленные в смесителе непрерывного действия, подают в стержневой ящик непрерывно.

Уплотнение смеси в стержневом ящике производят вибрацией, встряхиванием, ручной или пневматической трамбовкой, пескоструйным способом. После заполнения стержневого ящика и уплотнения удаляют с его поверхности лишнюю смесь и выполняют вентиляционные каналы.

Продолжительность затвердевания смеси зависит от ее состава, температуры, исходных материалов и окружающей среды. Заданные свойства смеси обеспечиваются при температуре песка 18–30 °С, однако в реальных условиях литейных цехов температуру трудно выдержать в таких узких пределах. Поэтому применяют устройства для подогрева исходных составляющих и для каждого конкретного случая устанавливают зависимость между температурой песка и количеством вводимого в смесь катализатора. Изменением количества катализатора обеспечивают независимость живучести, которая, в свою очередь, связана с необходимой выдержкой стержней в ящиках. Соотношение между живучестью смеси и минимально необходимым временем выдержки стержней в ящиках составляет от 1:2,5 до 1:5.

При неполном отверждении стержни обладают повышенной прилипательностью к стенкам стержневого ящика, поэтому не следует допускать их преждевременное извлечение. Не допускается также выдержка стержня в ящике до полного его отверждения, так как в этом случае стержень трудно извлечь из стержневого ящика без повреждений. Дальнейшее твердение стержня происходит на воздухе. Извлечение стержня из стержневого ящика на поточно-механизи-

рованных и автоматизированных линиях производится поворотной-вытяжной машиной, а на плацу цеха – ручную или подъемно-транспортными средствами.

Порядок выполнения работы

В лабораторном лопастном смесителе приготовить стержневую смесь следующего состава:

- песок формовочный – 3 кг;
- смола фенол-формальдегидная – 45 г;
- отвердитель – 23 г.

Песок засыпать в смеситель и перемешивать в течение 1 минуты, после этого добавить в смеситель отвердитель и перемешивать еще 1 минуту. Остановить смеситель и равномерно распределить смолу по поверхности песка. Включить смеситель и выполнить перемешивание смеси в течение 1–1,5 минуты.

Выгрузить смесь из смесителя и заполнить ей полость стержневого ящика. Произвести уплотнение смеси ручной трамбовкой.

Отверждение смеси происходит в течение 30 минут. После истечения этого времени аккуратно извлечь стержень из полости ящика.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Описание назначения стержня, предложенного для изготовления.
4. Описание процесса изготовления стержня.
5. Выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение стержней.
2. Типы стержней.
3. Классы стержней.
4. Типы стержневых смесей, применяемые для изготовления отливок.
5. Способы изготовления стержней.
6. Назначение вентиляционных каналов в стержнях.

Список литературы

1. Гуляев, А. П. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Metallurgy, 1986. – 544 с.
2. Диаграмма состояний сплавов Fe-Fe₃C : методические указания к лабораторной работе и практическим занятиям по материаловедению / сост. А. В. Гропянов, Н. Н. Ситов, М. Н. Жукова; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. – 18 с.
3. Волочко, А. Т. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий / А. Т. Волочко, М. А. Садоха. – Минск : Беларуская навука, 2011. – 387 с.
4. Жуковский, С. С. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси : учебное пособие для вузов / С. С. Жуковский [и др.]. – Брянск : БГТУ, 2002. – 470 с.
5. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, В. Н. Эктова – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 416 с.
6. Скворцов, В. А. Технология литейного производства : учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Теория и технология литейного производства» для студентов специальности 1-36 02 01 «Теория и технология литейного производства» / В. А. Скворцов, С. Л. Ровин, Ф. И. Рудницкий. – Минск : БНТУ, 2020. – 74 с.
7. Категоренко, Ю. И. Технология литейного производства [Электронный ресурс] : учебник / Ю. И. Категоренко [и др.]; под ред. Ю. И. Категоренко, В. М. Миляева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2018. – 684 с. – Режим доступа : <http://elar.rsvpu.ru/handle/978-5-8050-0641-9>. – Дата доступа : 03.02.2023.

Содержание

Введение	3
Практическая работа № 1. Художественное литье. Основные технологические операции изготовления отливок по выплавляемым моделям.....	4
Практическая работа № 2. Черные сплавы: чугуны и стали. Диаграмма состояния «железо–углерод»	9
Практическая работа № 3. Цветные металлы, сплавы на основе алюминия, диаграмма «алюминий–кремний»	21
Практическая работа № 4. Наполнители формовочных и стержневых смесей. Кварцевые формовочные пески	27
Практическое занятие № 5. Связующие материалы для формовочных и стержневых смесей. Глины бентонитовые	35
Практическая работа № 6. Песчано-глинистые формовочные смеси, их основные физико-механические и технологические свойства.	41
Практическая работа № 7. Литейная форма. Требования к литейным формам, их разновидности и основные элементы. Расчет литниково-питающих систем.	46
Практическое занятие № 8. Изготовление литейных форм вручную. Методы ручной формовки, применяемый инструмент, оснастка и вспомогательные материалы.	58
Практическая работа № 9. Литейные стержни, требования к ним, их разновидности и способы изготовления.	66
Список литературы.....	81

Учебное издание

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности

1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»

В 2 частях

Часть 1

МЕТАЛЛЫ И ИХ СПЛАВЫ. ОСНОВНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СМЕСИ И ЛИТЕЙНЫЕ ФОРМЫ

Составители:

РОВИН Сергей Леонидович
КОРЕНЮГИН Сергей Владимирович

Редактор *Е. И. Бенищевич*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 12.04.2023. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,82. Уч.-изд. л. 3,56. Тираж 100. Заказ 65.

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.