

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Учебно-методического пособия для лабораторных работ

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2012

УДК 621.7(07)
ББК 34.5я73
Л642

Составители: Саначева Галина Сергеевна,
Степанова Татьяна Николаевна,
Гильманшина Татьяна Ренатовна

Л642 **Литейное** производство: учеб.-метод. пособие для лабораторных работ [Электронный ресурс] / сост.: Г. С. Саначева, Т. Н. Степанова, Т. Р. Гильманшина. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана

Представлены лабораторные работы по основам теории и технологии литейного производства: технологические процессы получения отливок в разовых литейных формах и специальными способами литья из различных металлов и сплавов; особенности плавки сплавов черных и цветных металлов и сплавов; процессы формирования отливок; рассматривается теплообмен между металлом и формой; формирование структуры отливок в зависимости от их конструкции и других факторов.

Предназначено для студентов специальности «Металловедение и термическая обработка металлов».

УДК 621.7(07)
ББК 34.5я73

© Сибирский
федеральный
университет, 2012

Учебное издание

Подготовлено к публикации редакционно-издательским
отделом БИК СФУ

Подписано в свет 24.10.12 г. Заказ 9891.
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391)206-21-49. E-mail rio@sfu-kras.ru
<http://rio.sfu-kras.ru>

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ.....	4
Лабораторная работа 2 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ ПО ПОСТОЯННЫМ МОДЕЛЯМ.....	15
Лабораторная работа 3 ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ	22
Лабораторная работа 4 ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ..... _Тос329844313	25
Лабораторная работа 5 ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ	28
Лабораторная работа 6 ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ И ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ ФОРМ	31
Лабораторная работа 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СВОБОДНОЙ И ЗАТРУДНЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ.....	34
Лабораторная работа 8 ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ СПЛАВА НА РАЗМЕР ЕГО ДЕНДРИТНОЙ ЯЧЕЙКИ.....	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	40

ВВЕДЕНИЕ

Литейное производство занимает ведущее положение в производстве заготовок деталей для всех отраслей современного машиностроения. При изготовлении машин на отливки приходится в среднем более 20 % их себестоимости и трудоемкости. Такое его значение объясняется целым рядом серьезных преимуществ перед другими способами получения заготовок, среди которых первым следует назвать возможность изготовления отливок практически любой конструктивной сложности; вторым – возможность получения отливок с минимальными припусками на механическую обработку, требуемую для получения готовой детали.

Эффективность литейного производства может характеризовать коэффициент использования металла (КИМ) – отношение масс детали и заготовки. К примеру, при литье по выплавляемым моделям значение КИМ составляет 0,90, а при горячей штамповке – 0,40.

Во многих случаях литье – единственно возможный способ получения заготовок сложной формы.

Отливки изготавливаются из самых различных литейных сплавов. При этом эти сплавы должны удовлетворять определенным требованиям в отношении необходимого уровня их литейных свойств. Существуют различные технологические процессы получения заготовок методом литья. Самым распространенным и универсальным является литье в разовые песчаные формы. Изготавливаются отливки и различными специальными способами литья. Все эти технологические процессы имеют определенные возможности и области применения.

Лабораторная работа 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы

Изучить свойства формовочных смесей.

Краткие теоретические сведения

Классификация формовочных и стержневых смесей: смеси классифицируются по признакам, характеризующим их назначение, физическое состояние, состав и свойства.

По назначению все смеси делятся на два вида: формовочные и стержневые. Формовочные смеси: делятся на единые, облицовочные и наполнительные.

Единую смесь применяют обычно для мелких отливок при машинной формовке. Она имеет свойства средние между свойствами облицовочных и наполнительных смесей. Облицовочную смесь применяют для облицовки рабочей поверхности формы. При изготовлении формы поверхность модели покрывают слоем этой смеси толщиной 20–40 мм, остальной объем опоки заполняют наполнительной смесью, которая представляет собой отработанную (бывшую в употреблении) смесь. Наполнительная смесь по прочности уступает облицовочным смесям, но имеет лучшую газопроницаемость.

Единая и облицовочная смеси должны иметь достаточную прочность, обеспечивающую сопротивление формы давлению металла при заливке. При применении облицовочной смеси значительно сокращается расход свежих формовочных материалов и добавок на тонну годных отливок. Однако применение облицовочной смеси усложняет технологию и механизацию изготовления формы.

Стержневые смеси: в отличие от форм литейные стержни, образуя в отливках внутренние простые и сложные по конфигурации полости, при заливке формы почти со всех сторон (кроме знаковых частей) омываются расплавом. Поскольку стержни испытывают более сильное, чем формы термодинамическое воздействие расплава, их изготавливают из смесей, обладающих повышенными газопроницаемостью, прочностью, огнеупорностью, податливостью и другими свойствами.

По природе огнеупорной основы смеси подразделяют на кремнеземистые, цирконовые и др. Наибольшее распространение получили кремнеземистые смеси, у которых в качестве огнеупорной основы используют кварцевые формовочные пески. Смесей с иной огнеупорной основой применяют, главным образом, в целях предупреждения пригарообразования на массивных стальных и чугунных отливках.

По роду заливаемого металла различают смеси для стального, чугунного и цветного литья. Смесей для стального литья изготавливают из наиболее кондиционных формовочных материалов, обеспечивающих высокую огнеупорность, газопроницаемость и другие высокие качественные показатели формам и стержням, т.к. температурное воздействие металла на форму в этом случае наиболее высокое (температура металла при заливке более 1500 °С). Смесей для чугунного литья изготавливают из менее кондиционных формовочных материалов, так как температура металла при заливке формы в этом случае ниже (1350–1400 °С). Смесей для цветного литья изготавливают из материалов, к которым не предъявляются высокие требования по огнеупорности и газопроницаемости, так как температура металла при заливке значительно ниже, чем при стальном или чугунном литье. Например, при разливе сплавов на основе меди температура металла не превышает 1200 °С, а сплавов на основе алюминия и магния – 780 °С.

По физическому состоянию формы перед заливкой различают смеси для формовки «по-сухому» и «по-сырому».

По физическому состоянию свежеприготовленные смеси, т.е. по состоянию до начала процесса отверждения, делятся на сыпучие, пластичные и жидкие.

Сыпучие смеси применяются при производстве оболочковых (корковых) форм, а также при изготовлении отливок по газифицированным моделям из пенополистирола. В исходном состоянии они не обладают связностью зерен песка, способны к самопроизвольному воспроизведению контура модели под действием собственной силы тяжести. Связующие пленки в смесях появляются при тепловой обработке за счет расплавления термореактивного порошкообразного связующего. Смесь упрочняется непосредственно на нагретой модельной плите в результате необратимых физико-химических процессов. После твердения форма теряет способность к пластическим деформациям, что ухудшает ее транспортабельность.

Сыпучие смеси при литье по газифицированным (выжигаемым расплавом) моделям не содержат связующего. Сохранение контуров полости формы обеспечивается вначале самой моделью, а при ее постепенном выжигании заливаемым расплавом – за счет давления газов, фильтрующихся через смесь из зазора между моделью и поступающим расплавом.

Образование формы при использовании жидких смесей происходит путем заливки смеси в опоку (на модель) или окунанием модельного блока в смесь. Упрочнение смесей с их переходом в твердое состояние осуществляется за счет протекания процессов удаления жидкой фазы (воды, спирта и др.) с образованием твердых пленок и химического отверждения связующего между зернами песка. Перевод смесей в жидкое состояние достигается введением в их состав пенообразователей. Пузырьки пены уменьшают силы трения между отдельными зернами огнеупорных наполнителей, в результате чего смесь приобретает способность течь. Применяются такие смеси для «наливной» формовки в опоках и в качестве керамических суспензий для форм при литье по выплавляемым моделям.

Пластичные смеси занимают промежуточное положение между сыпучими и жидкими. Они обладают хорошей формуемостью под действием внешней нагрузки при уплотнении.

Для придания пластичности в такие смеси вводят воду, жидкие и набухающие связующие материалы и специальные добавки, которые образуют на поверхности зерен огнеупорного материала-наполнителя клейкие пленки. Последние, выполняя функции плоскостей скольжения, облегчают процесс уплотнения смесей. Кроме того, они связывают частицы смеси, что способствует повышению ее прочности.

По способу отверждения форм и стержней разделяют смеси воздушно-теплового, горячего, химического твердения.

Требования к формовочным и стержневым смесям: на каждом этапе формовочная смесь должна удовлетворять многочисленным требованиям. Перед изготовлением формы или стержня смесь должна обладать: достаточ-

ной текучестью для осуществления принятого метода изготовления форм; способностью сохранять текучесть в течение времени, заданного технологическим процессом; хорошей уплотняемостью, отвечающей производственным возможностям формовочного оборудования; хорошей пластичностью для обеспечения размерной точности форм; способностью не прилипать к поверхностям модели или стержневого ящика; низкой стоимостью и недефицитностью входящих в нее компонентов.

После изготовления формы или стержня смесь должна: иметь достаточную исходную или сырую прочность для сохранения целостности формы или стержня при их изготовлении, транспортировке и сборке; при изготовлении отливок в сырых формах иметь сырую прочность, достаточную для обеспечения размерной и конфигурационной точности отливок; обладать поверхностной прочностью, обеспечивающей отсутствие поверхностных дефектов в отливках; иметь достаточную прочность после сушки или химического твердения при минимальном расходе связующего; обладать комплексом свойств, обеспечивающих непригораемость к отливкам или образование легкоудаляемого пригарного слоя; быть негигроскопичной; быстро упрочняться в исходном состоянии или в процессе сушки.

При формировании отливки в форме и охлаждении до выбивки смесь должна удовлетворять следующим требованиям: сохранять механические свойства в процессе прогрева на уровне, обеспечивающем прочность формы, до тех пор, пока не образуется достаточно прочная корка сплава в поверхностном слое отливки. Время разупрочнения смеси при ее нагреве должно превышать время образования достаточно толстой корки затвердевшего металла; не оказывать сопротивление усадке сплава и обладать высокой газопроницаемостью, обеспечивающей возможность организации направленного газового потока в стенке формы, исключающего образование газовых дефектов в отливках; в процессе охлаждения уменьшать свою прочность до значений, обеспечивающих минимальные энергозатраты на выбивку из форм и отливок; иметь теплофизические свойства, обеспечивающие заданный тепловой режим затвердевания и охлаждения отдельных элементов отливки, гарантирующие ее направленное затвердевание и формирование заданной кристаллической структуры.

Необходимо также, чтобы смесь была нетоксичной на всех этапах технологического процесса и сохраняла способность к повторному применению в течение как можно большего числа технологических циклов после регенерации.

Свойства смесей. Для того чтобы получить отливку, свободную от дефектов, формовочные и стержневые смеси должны удовлетворять комплексу определенных свойств.

Влажность характеризует процентное содержание влаги в смесях. Величина влажности определяет значение многих других свойств смеси и оказывает прямое влияние на качество получаемых отливок.

Величину влажности (W , %) определяют по изменению массы в процессе сушки навески смеси при 105–110 °С до постоянной массы и подсчитывают по формуле:

$$W = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

где M , M_1 – масса смеси до и после сушки, кг.

Содержание влаги в смесях определяется нормальным или ускоренным методом.

Схема прибора для ускоренного метода определения влажности (при 110–120 °С) приведена на рис. 1.1.

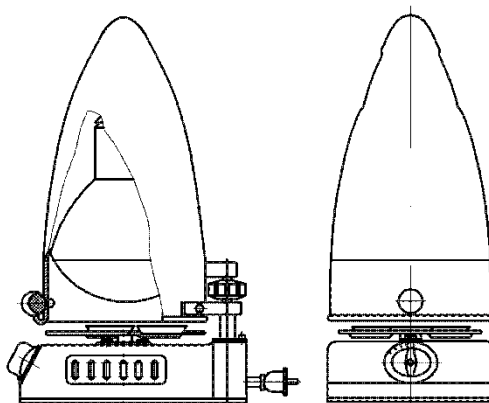


Рис. 1.1. Схема прибора для ускоренного определения влажности модели 062М

Методика определения влажности ускоренным методом заключается в следующем: чашки с навесками смеси массой 10 г каждая взвешивают с точностью до 0,1 г, помещают на стол прибора под лампу, по истечении времени сушки прибор выключают и высушивают смесь до постоянной массы. Влажность вычисляют по формуле 1.1.

Газопроницаемость является одним из важнейших свойств смеси и характеризует ее способность пропускать газы. Для определения газопроницаемости используется прибор модели 042М (рис. 1.2).

Определение газопроницаемости можно производить нормальным или ускоренным методом.

Ускоренный метод. При ускоренном методе определения газопроницаемости в воздухопровод прибора вставляют дополнительное сопротивление в виде ниппеля с калиброванными отверстиями диаметром 0,5 или 1,5 мм, которые поддерживают определенный минутный расход воздуха для каждого образца. Дополнительное сопротивление с отверстием 1,5 мм применяется при испытании смесей с газопроницаемостью более 49 ед., с отверстием 0,5 мм – при испытании смесей с газопроницаемостью менее 49 ед.

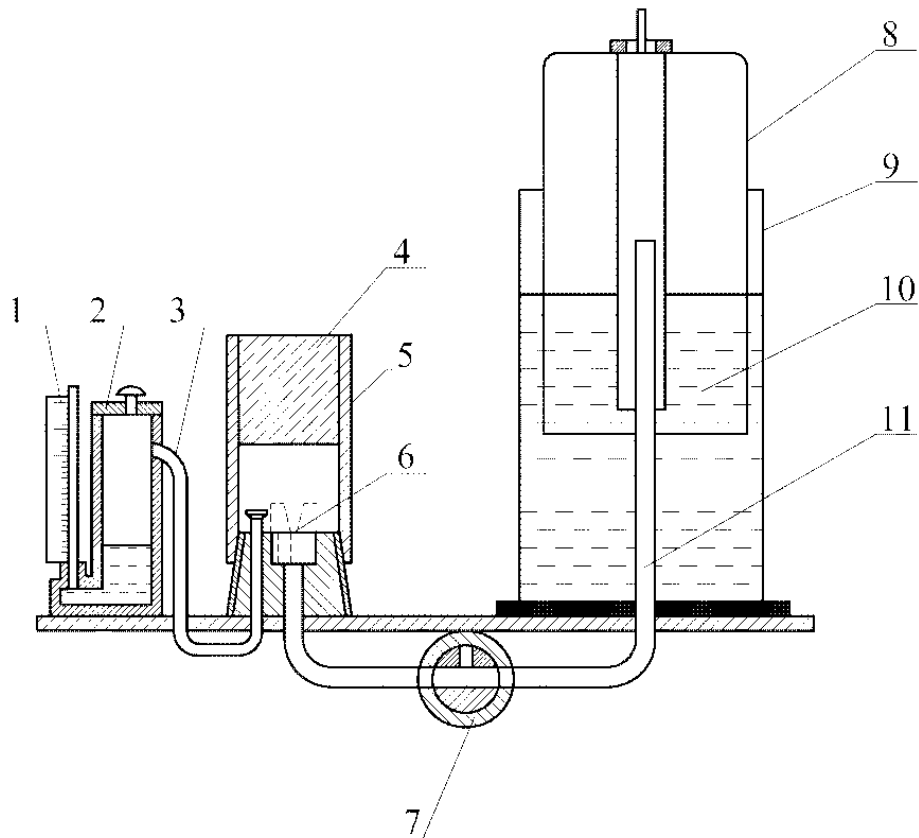


Рис. 1.2. Схема прибора модели 042 для определения газопроницаемости:
 1 – манометр; 2 – резервуар; 3 – трубка; 4 – образец смеси; 5 – гильза;
 6 – ниппель; 7 – трехходовой кран; 8 – калиброванный колпак (колокол);
 9 – бак; 10 – трубка колпака; 11 – трубка бака

Для проведения испытаний трехходовой воздушный кран 7 прибора ставят в положение «Открыто» и плавно поднимают колокол 8 до тех пор пока отметка x , имеющаяся на колоколе 8, не совпадет с верхней кромкой бака 9, после этого кран прибора переводят в положение «Закрыто». Гильзу, с изготовленным на копре образцом, устанавливают в чашке затвора. После этого кран ставят в положение «Испытание» и при опускании колокола фиксируют показания водяного манометра. Газопроницаемость определяется по табл. 1.1.

Прочность характеризует способность смеси сохранять заданную конфигурацию полости литейной формы в период ее изготовления и транспортирования, а также при заливке. Прочность смесей оценивают предельной величиной нагрузки, при которой разрушается уплотненный образец смеси. Различают прочность смесей во влажном, упрочненном, нагретом и прокаленном состояниях.

На рис. 1.3 приведена схема методов оценки прочности смеси во влажном состоянии. Наиболее часто прочность смеси во влажном состоянии оценивается при сжатии (рис. 1.3, а), реже при срезе (рис. 1.3, б), изгибе (рис. 1.3, в) и растяжения (рис. 1.3, е).

Таблица 1.1

Газопроницаемость смесей

Показания манометра		Диаметр калиброванного отверстия, мм		Показания манометра		Диаметр калиброванного отверстия, мм	
Па	см.вод.ст.	0,5	1,5	Па	см.вод.ст.	0,5	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8
98,0	1,0	–	950	490,0	5,0	14,7	138
107,8	1,1	–	850	499,8	5,1	14,3	134
117,6	1,2	–	780	599,6	5,2	13,8	128
127,4	1,3	–	710	599,4	5,3	13,4	126
137,2	1,4	–	650	529,2	5,4	13,0	122
147,0	1,5	–	610	539,0	5,5	12,6	119
156,8	1,6	–	550	548,8	5,6	12,2	115
166,6	1,1	–	525	558,6	5,7	11,8	112
176,4	1,8	–	492	568,4	5,8	11,4	108
186,2	1,9	–	467	578,2	5,9	11,0	105
196,0	2,0	49,0	440	588,0	6,0	10,7	102
205,8	2,1	47,0	417	597,8	6,1	10,3	99
215,6	2,2	44,0	398	667,6	6,2	10,0	96
225,4	2,3	42,0	373	617,4	6,3	9,7	93
235,2	2,4	40,0	358	627,2	6,4	9,4	90
245,0	2,5	38,0	341	636,0	6,5	9,0	88
254,8	2,6	36,0	326	646,8	6,6	8,8	85
264,6	2,7	34,0	313	656,6	6,7	8,5	82
274,4	2,8	33,0	300	666,4	6,8	8,2	80
284,2	2,9	31,0	287	676,2	6,9	7,9	77
294,0	3,0	30,0	275	686,0	7,0	7,7	75
303,8	3,1	29,0	264	695,8	7,1	7,5	73
313,6	3,2	28,0	253	705,6	7,2	7,3	70
323,4	3,3	27,0	243	715,4	7,3	7,0	67
333,2	3,4	25,8	235	725,2	7,4	6,1	65
343,0	3,5	24,2	226	735,0	7,5	6,5	63
352,8	3,6	23,4	219	744,8	7,6	6,3	61
362,6	3,7	22,7	212	754,6	7,7	6,0	59
372,4	3,8	21,8	205	764,4	7,8	5,8	56
382,2	3,9	21,0	198	774,2	7,9	5,6	54
392,0	4,0	20,0	196	784,0	8,0	5,3	52
401,8	4,1	19,5	185	793,8	8,1	5,1	50
411,6	4,2	19,0	178	303,6	8,2	4,9	–
421,4	4,3	18,5	173	813,4	8,3	4,7	–
431,2	4,4	17,8	167	823,2	8,4	4,4	–
441,0	4,5	17,3	164	843,8	8,6	4,0	–

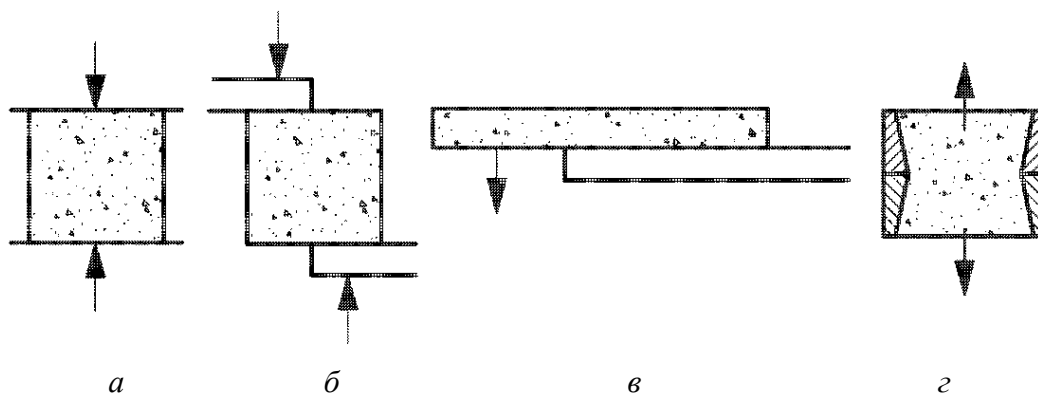


Рис. 1.3. Схема методов оценки прочности смесей во влажном состоянии:
a – при сжатии; *б* – при срезе; *в* – при изгибе; *г* – при растяжении

Прочность смеси в упрочненном состоянии, т.е. прочность, которую приобретает образец смеси после тепловой сушки или химического отверждения, также зависит от типа и количества связующих материалов, содержащихся в смеси, зернового состава формовочного песка, степени уплотнения, режимов ее упрочнения и ряда других факторов.

Прочность смесей в прокаленном состоянии характеризуется в основном способностью стержня, изготовленного из данной смеси, удаляться из полости отливки при ее извлечении из формы и очистке и зависит главным образом от природы связующего материала смеси и его количества, от интенсивности теплового воздействия сплава отливки на стержень и других факторов.

Для определения прочности на сжатие используется прибор модели 5071А (рис. 1.4).

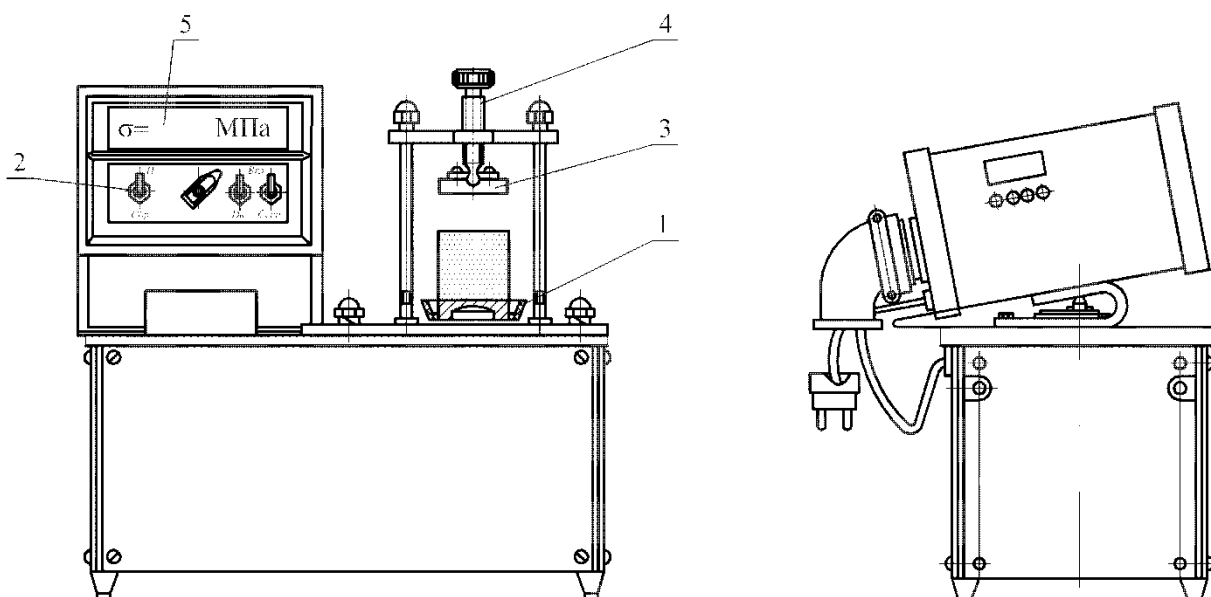


Рис. 1.4. Общий вид испытательной машины для определения прочности формовочных и стержневых смесей

Испытываемый образец устанавливают на тарелку 1, опускают с помощью упора 4 прижимной диск 3 до верхней поверхности образца и включают тумблер 2. В момент разрушения образца на табло 5 высвечивается значение прочности смеси. Испытание проводят на трех образцах, значение предел прочности принимают как среднее арифметическое значение трех определений. Если погрешность более 10 %, то испытание повторяют на вновь приготовленной смеси.

Поверхностная прочность (осыпаемость) – сопротивление поверхностного слоя формы или стержня истирающим усилиям.

Уплотняемость – это способность смеси уменьшать свой первоначальный объем под воздействием внешних сил.

Текучесть это способность смеси под воздействием внешних сил заполнять труднодоступные полости в модельной оснастке, обеспечивая равномерное уплотнение формы или стержня.

Прилипаемость – это способность смеси во влажном состоянии прилипать к поверхности модельной оснастки или транспортных средств (ленточных конвейеров).

Живучесть – это продолжительность сохранения смесью своих физико-механических свойств.

Податливость – это способность формы или стержня деформироваться под воздействием усадки отливок.

Огнеупорность характеризует способность смеси не оплавляться под действием высоких температур.

Выбиваемость характеризуется способностью стержней удаляться из внутренних полостей при выбивке и очистке отливок.

Долговечность характеризует способность смеси, после соответствующей подготовки, повторно использоваться для изготовления форм без введения добавок свежих формовочных материалов.

Приготовление смеси. Для приготовления смеси используют бегуны с вертикальными катками, схема которых показана на рис. 1.5.

Внутри неподвижной чаши расположен вертикальный вал, на котором шарнирно укреплены два вертикальных катка. При вращении вала катки движутся по окружностям, а под влиянием трения о формовочную смесь они получают также вращательное движение.

Для предупреждения дробления зерен песка в процессе перемешивания смеси между катками и дном чаши предусмотрен небольшой зазор. При вращении вертикального вала под воздействием специальных плужков, укрепленных на горизонтальных осях, формовочная смесь подгребается под катки. Выдача готовой смеси из бегунов осуществляется через люк, расположенный в дне чаши.

Приготовление образцов. Смесь выгружают из бегунов и приступают к изготовлению стандартных образцов на лабораторном копре, схема которого показана на рис. 1.6.

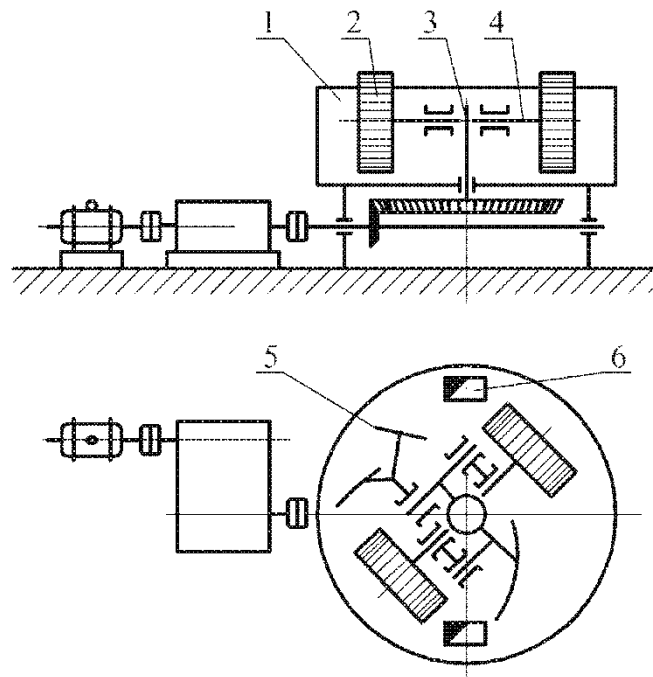


Рис. 1.5. Бегуны с вертикальными катками:
 1 – неподвижная чаша, 2 – катки, 3 – вертикальный вал, 4 – ось, 5 – плужки, 6 – люк

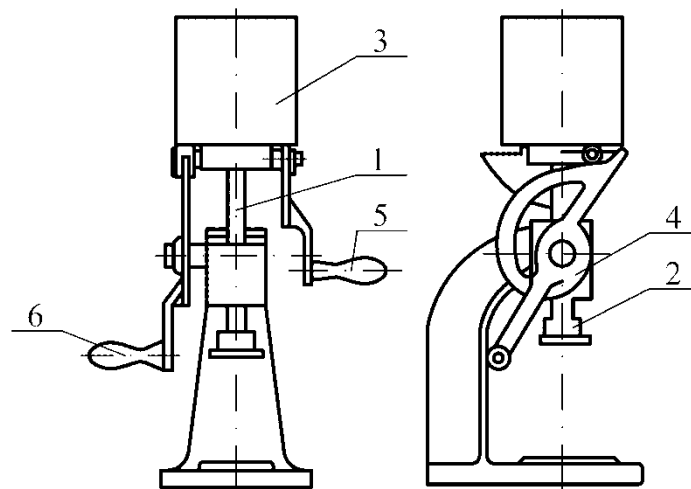


Рис. 1.6. Лабораторный копер

Металлическую гильзу устанавливают в поддон и в нее высыпают отмеренное количество (примерно 170 г) формовочной смеси, при этом следят за тем, чтобы поверхность насыпаемого слоя смеси была горизонтальной. Подъемником копра поднимают шток 1 и груз 3, на станину устанавливают поддон с гильзой, осторожно и плавно опускают боек 2, закрепленный на штоке 1, в гильзу до соприкосновения со смесью. После этого вращением рукоятки 5 и эксцентрика 4 уплотняют смесь тремя ударами груза 3 массой $6,35 \pm 0,015$ кг, падающего с высоты $50 \pm 0,25$ мм. Высота образца в гильзе по-

сле уплотнения должна быть $50 \pm 0,8$ мм. Эту высоту контролируют по трем горизонтальным рискам, нанесенным через $0,8 \cdot 10^{-3}$ м на стойке станины. Совпадение верхнего торца штока *l* со средней риской соответствует высоте образца $50 \cdot 10^{-3}$ м. Крайние риски указывают на допускаемые отклонения.

Материалы, оборудование, инструмент

Смешивающие бегуны; песчано-глинистая смесь; сито для просеивания смеси с ячейкой $(3-4) \cdot 10^{-3}$ м; разъемная и неразъемная гильзы; прибор для ускоренного определения влажности модели 062М, прибор для определения газопроницаемости модели 042, рычажный прибор для определения прочности во влажном состоянии.

Порядок проведения работ

Работа рассчитана на 2 часа.

Приготовить песчано-глинистую смесь. Определить влажность смеси, предел прочности во влажном состоянии, газопроницаемость, уплотняемость.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- формулировку цели работы;
- этапы выполнения технологии приготовления и контроля формовочных смесей;
- вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о классификации формовочных смесей.
2. Сформулируйте основные требования к формовочным и стержневым смесям.
3. Перечислите основные свойства смесей. Дайте их характеристику.
4. С какой целью контролируют влажность смесей?
5. В чем заключается ускоренный метод определения влажности смесей?
6. Для чего необходимо контролировать газопроницаемость смесей?
7. Расскажите методику определения прочности смесей.
8. Какие виды прочности знаете?
9. Какие требования предъявляются к образцам для исследования свойств смесей?
10. Расскажите о методике изготовления стандартных образцов. Какое оборудование и оснастка используется для этих целей?
11. Расскажите методику приготовления смесей.
12. Какое оборудование используется для приготовления смесей, принцип действия, схемы.

Лабораторная работа 2 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ ПО ПОСТОЯННЫМ МОДЕЛЯМ

Цель работы

Изучить технологию изготовления форм по разъемной и неразъемной моделям.

Краткие теоретические сведения

Литые заготовки являются наиболее дешевыми, имеющими минимальный припуск на механическую обработку. Эффективность литейного производства может характеризовать коэффициент использования металла (КИМ) – отношение масс детали и заготовки.

Ориентировочные значения КИМ различных заготовок соответствуют: литье в песчаные формы 0,70; литье под давлением 0,95; штамповка 0,40; ковка свободная 0,30.

Изготовление отливок в песчаных формах. Этот технологический процесс является наиболее распространенным и дешевым. Он состоит из нескольких этапов: изготовления моделей и стержневых ящиков, приготовления формовочных и стержневых смесей, изготовления форм и стержней, сборки форм, получения литейного сплава, заливки форм, выбивки отливок из форм, обрубки и очистки.

Песчано-глинистые формы могут изготавливаться сырыми или сухими. В последнем случае сушка форм представляет собой самостоятельную операцию и выполняется с применением специального сушильного оборудования. Для получения мелких тонкостенных отливок применяются обычно сырые формы, а для крупных – сухие.

Элементы песчаной литейной формы показаны на рис. 2.1.

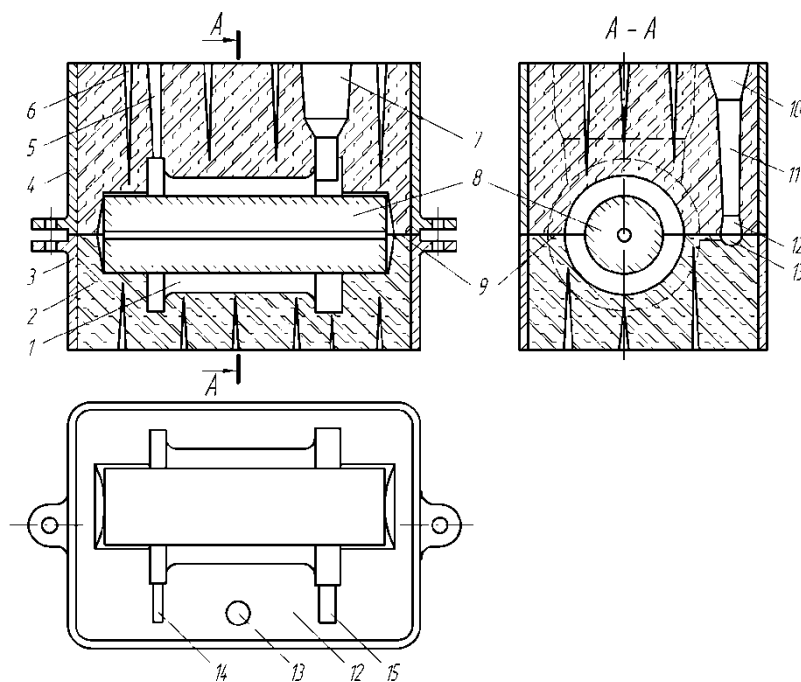


Рис. 2.1. Устройство литейной формы: 1 – рабочая полость формы, 2 – уплотненная формовочная смесь; 3, 4 – опоки; 5 – выпор; 6 – вентиляционные каналы; 7 – прибыль; 8 – стержневой ящик; 9 – поверхность разъема формы; 10 – литниковая воронка; 11 – стояк; 12 – шлакоуловитель; 13 – зумпф; 14, 15 – питатели, представляющие в совокупности литниковую систему

Для изготовления песчаной формы необходимо иметь модельный комплект и другую литейную оснастку. Модельный комплект должен включать в себя всю оснастку для получения полости формы. Он состоит из модели отливки, стержневого ящика, моделей элементов литниковой системы, прибыли и выпора. При необходимости модельный комплект должен включать также шаблоны для контроля размеров и конфигурации формы.

Модель служит для получения отпечатка в форме (рис. 2.1), стержневой ящик – для изготовления стержня 8, который устанавливается в форму с целью создания полости в отливке. Кроме того, в литейной форме имеются литниковая воронка 10, стояк 11, зумпф 13, шлакоуловитель 12 и питатели 14, 15, представляющие в совокупности литниковую систему. Литниковая система нужна для подвода жидкого металла из заливочного ковша к полости формы 1. Зумпф предохраняет нижнюю полуформу от размыва и попадания продуктов ее размыва в полость формы и в отливку. Шлакоуловитель необходим для предотвращения попадания шлака и других частиц в полость формы.

Прибылью 7 называют технологический прилив, предотвращающий образование усадочных раковин и пор в теле отливки. Через выпор 5 выходят воздух и газы, которые образуются в полости формы во время ее заливки расплавленным металлом. Газы возникают и в порах формовочной и стержневой смесей. Если их не удалять, то они могут попасть в отливку, образуя газовые раковины. Поэтому для лучшего удаления газов в верхней и нижней полуформах, а также в стержнях устраивают вентиляционные каналы 6, способствующие выходу газов.

Уплотнение формовочной смеси 2 в нижних и верхних полуформах, как правило, выполняют в опоках 3, 4, представляющих собой открытые с противоположных сторон металлические ящики. После изготовления полуформ низа и верха и стержней производят сборку форм и их заливку жидким металлом.

После затвердевания и охлаждения отливок до требуемой температуры их извлекают из формы путем разрушения последней на выбивных решетках.

Далее отливки подвергают обрубке (отделению литниковой системы, прибылей, заусенцев и др.) и очистке, затем, если необходимо – термообработке. Перед сдачей в механический цех все отливки проходят необходимый контроль

При изготовлении форм и стержней применяют различные приспособления, вспомогательные устройства, инструмент, объединяемые понятием технологическая оснастка.

Опоки – жесткие рамки, ограничивающие наружные очертания формы, обеспечивающие выполнение различных технологических и транспортных операций. Опоки предохраняют литейную форму от повреждений при формовке, сборке, транспортировании и заливке.

В зависимости от размеров опоки подразделяют на ручные и крановые. Ручные опоки имеют размеры в свету до 600×400 мм, их переносят один или двое рабочих. Опоки больших размеров перемещают подъемно-транспортными средствами.

По конфигурации различают прямоугольные, квадратные и круглые опоки. Для удобства транспортирования мелкие опоки имеют ручки, а средние и крупные – цапфы.

На рис. 2.2 показана крановая опока. Литые цапфы 1 служат для захвата опоки краном. Стенки опоки выполнены с наружными отбортовками 2 для увеличения жесткости, внутренняя отбортовка 3 в нижней и верхней частях опоки предупреждает выпадение смеси. Для удаления газов из формы и уменьшения массы опоки в ее стенках имеются отверстия 5. В верхней части опоки находятся ребра 4 (крестовины), создающие жесткость и одновременно удерживающие смесь. Соединение половин опок при формовке и сборке обеспечивается штырями 10, которые вставляют в отверстия специальных приливов 9. Для повышения точности сборки опок в приливы запрессованы стальные втулки 8, которые можно заменять при износе. Скобы 6 и специальные приливы 7 предупреждают подъем верхней половины опоки под действием расплава при заливке.

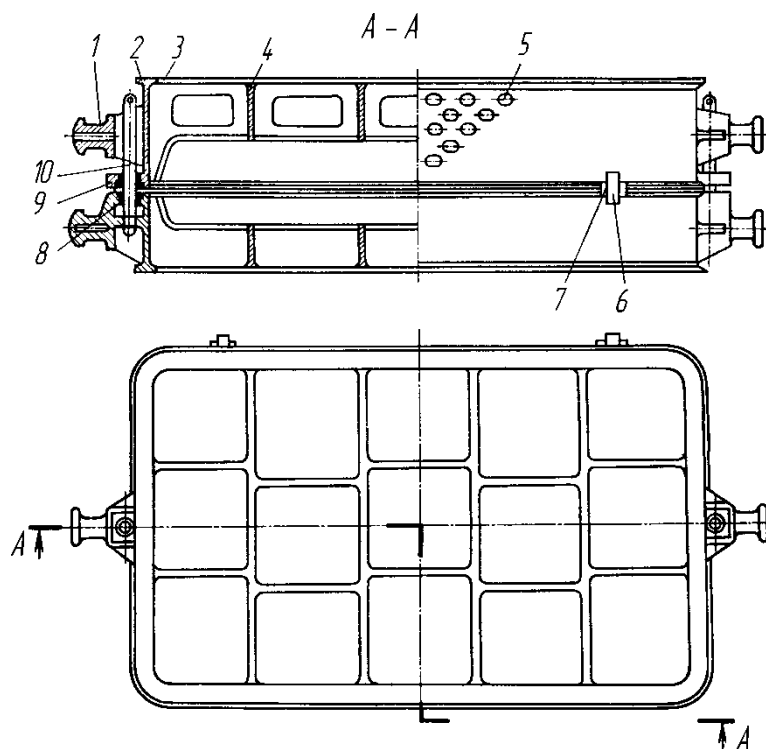


Рис. 2.2. Крановая опока: 1 – литые цапфы; 2 – наружные отбортовки; 3 – внутренняя отбортовка; 4 – ребра (крестовины); 5 – отверстия; 6 – скобы; 7 – приливы; 8 – стальные втулки; 9 – специальных приливов; 10 – штыри

Опоки изготавливают из чугуна, стали и алюминиевых сплавов.

Штыри – тщательно обработанные металлические стержни, необходимые для точного соединения частей форм, изготовленных в двух или нескольких опоках. При ручной формовке и сборке применяют одни и те же штыри, свободно вставляемые в приливы опок, или закрепляют штыри в верхней опоке, используя их и для сборки. При машинной формовке штыри жестко закрепляют на модельной плите. В этом случае для соединения опок при сборке форм применяют контрольные штыри (рис. 2.3).

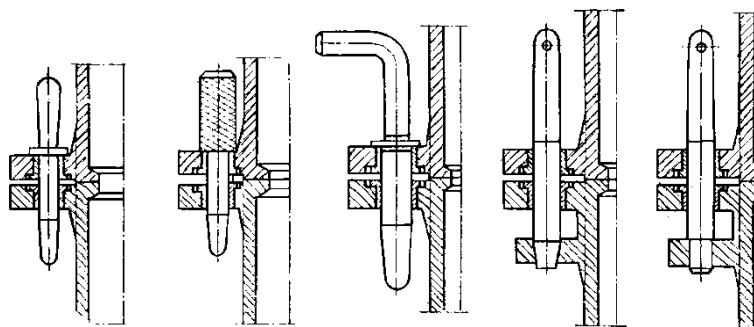


Рис. 2.3. Типы контрольных штырей

Подопочные плиты (щитки) – металлические или деревянные гладкие плиты, на которые устанавливают формы при транспортировании к месту заливки.

Стальные крючки применяют для укрепления выступающих или свисающих частей формы.

Деревянные колышки применяют для укрепления выступающих мест формы при сырой формовке или при изготовлении форм с поверхностной сушкой.

Каркасы – проволочные, литые или сварные рамки, предназначенные для армирования стержней.

Жеребейки – металлические подставки, различные по размерам, применяют для фиксации необходимого положения стержней в форме.

Холодильники (металлические), различные по форме и размерам, служат для охлаждения массивных частей отливок. Пульверизатор-пылесос применяют для окраски форм и стержней литейными красками, а также для отсасывания пыли и частиц смеси из собранной формы (рис. 2.4, в).

Кисти 14 (рис. 2.4, в) применяют для смачивания кромок формы водой при ручном удалении моделей, для окраски форм и стержней. Модели, плоскости разъема формы и другие ее части обметают с поверхности мягкими щетками-сметками.

Наиболее распространен способ изготовления форм по неразъемным и разъемным моделям в двух опоках, который может осуществляться как вручную, так и на машинах.

Формовка по постоянным моделям является наиболее распространенным вариантом изготовления литейных форм. При этом модель может быть разъемной, неразъемной или с отъемными частями.

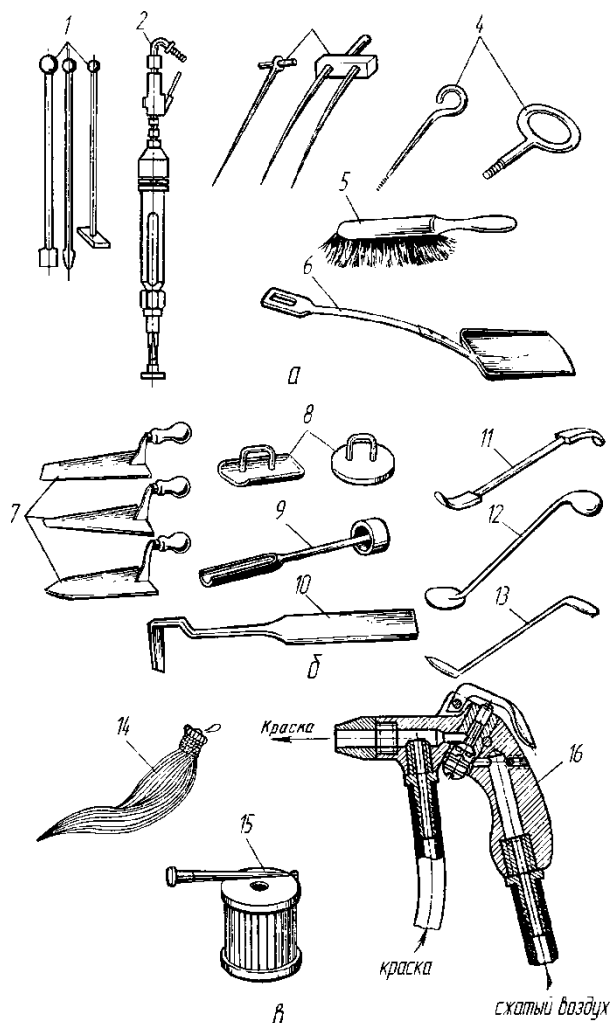


Рис. 2.4. Инструмент для изготовления (а), отделки (б) и окраски форм (в):

- 1 – ручные трамбовки; 2 – пневматическая трамбовка; 3 – иглы;
- 4 – подъемы; 5 – щетка; 6 – лопата; 7 – плоские гладилки; 8 – фасонные гладилки; 9 – торцовая гладилка; 10 – крючок; 11 – полозок; 12 – ложечка;
- 13 – ланцет; 14 – кисть пеньковая; 15 – пульверизатор для форм;
- 16 – пульверизатор для крупных форм

Разъемные модели применяют при ручной, машинной и автоматической формовке. Формовку по неразъемной постоянной модели обычно осуществляют вручную, применяя специальные приемы (с подрезкой, с фальшивой опокой и др.). При наличии у неразъемной модели плоской поверхности и возможности ее размещения в одной полуформе формовку ведут, как и по разъемной модели. В этом случае неразъемную модель можно рассматривать как одну половину разъемной модели.

На рис. 2.5 приведена последовательность выполнения технологических операций процесса изготовления песчаной формы по неразъемной модели.

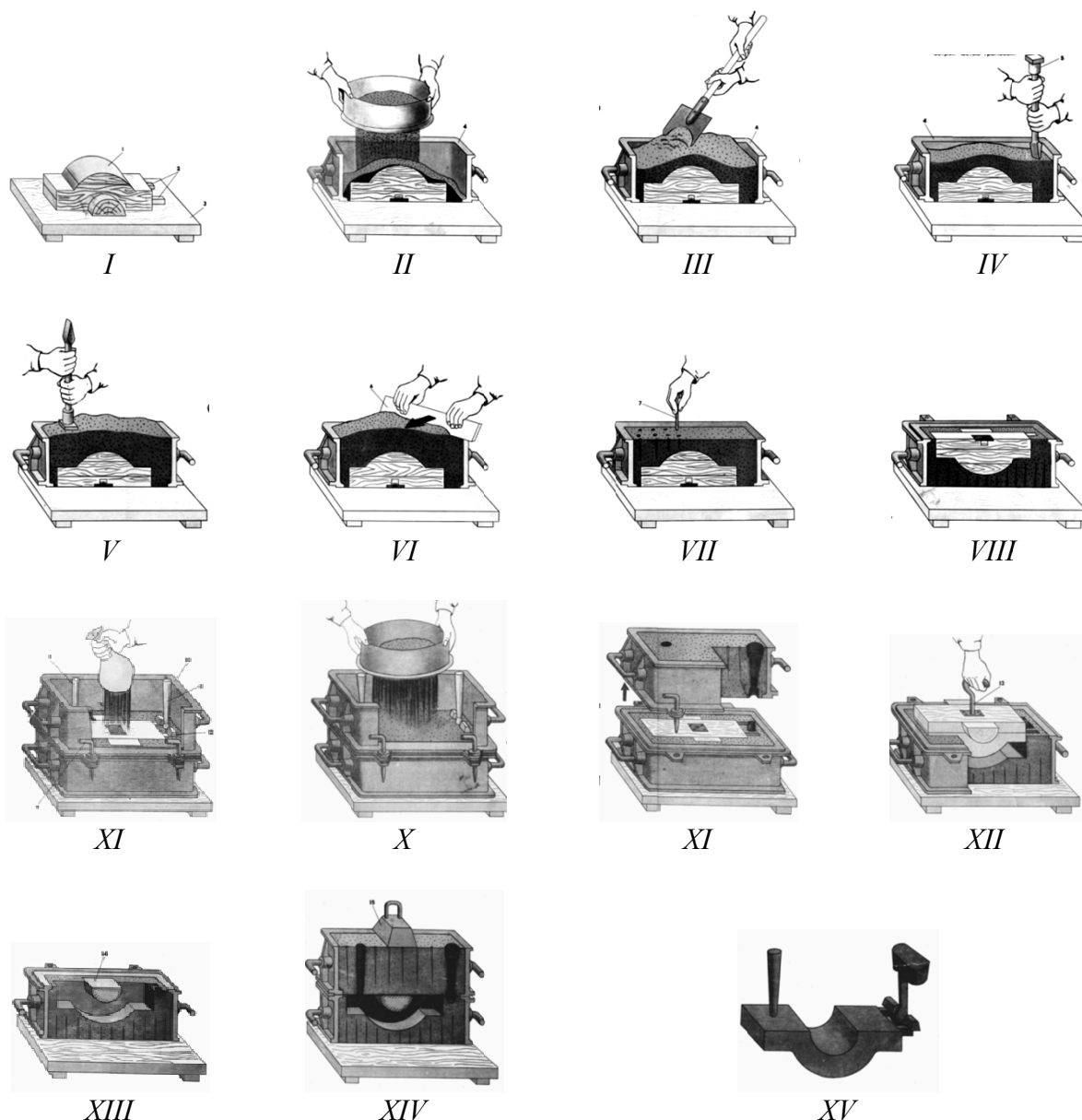


Рис. 2.5. Процесс изготовления нижней и верхней полуформы: *I* – установка модели на подмодельный щиток; *II* – установка нижней опоки и нанесение на модель через сито облицовочного слоя формовочной смеси; *III* – заполнение нижней опоки наполнительной формовочной смесью; *IV* – уплотнение формовочной смеси острой частью трамбовки; *V* – уплотнение верхней части формовочной смеси башмаком трамбовки; *VI* – срезание избытка формовочной смеси линейкой; *VII* – накалывание вентиляционных каналов; *VIII* – поворот нижней полуформы на 180° (ладом кверху); *IX* – установка верхней опоки по штырям, а также моделей питателя, стояка и выпора, нанесение на модель и поверхность разъема формы (лад) разделительного присыпочно материала (пудры); *X* – нанесение слоя облицовочной смеси верхней полуформы; *XI* – съем верхней полуформы после ее изготовления, прорезания литниковой чаши и извлечения моделей стояка и выпора; *XII* – извлечение модели из нижней полуформы; *XIII* – простановка стержня; *XIV* – подготовленная к заливке форма; *XV* – отливка с литниковой системой; *1* – модель отливки; *2* – модель питателей; *3* – подмодельный щиток; *4* – нижняя опока; *5* – трамбовка ручная формовочная; *6* – линейка; *7* – вентиляционная игла; *8* – штырь центрирующий; *9* – модель выпора; *10* – верхняя опока; *11* – модель стояка; *12* – модель питателя; *13* – подъемник; *14* – стержень; *15* – груз

Материалы, оборудование, инструмент

Набор моделей (разъемных, неразъемных, в том числе с отъемными частями), опоки, подмодельные и подопочные плиты, модели элементов литниковых систем; комплекты формовочных инструментов; твердомер мод. 071, плавильная печь, литейные ковши, набор плавильных инструментов, шихтовые материалы для выплавки алюминиевых сплавов, единая формовочная смесь или облицовочная и наполнительная смеси, Порядок

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 2 ч.

Подготовить модели отливок и элементов литниковой системы, опоки, подмодельные и подопочные плиты, формовочный инструмент и рабочее место. Подготовить формовочную смесь и разделительный состав. Из формовочной смеси изготовить полуформы по постоянным разъемным и неразъемным моделям и моделям с отъемными частями. Замерить твердость рабочих поверхностей полуформ. Собрать формы. Приготовить жидкий металл и залить его в формы. Выдержать отливки в форме. Выбить отливки из форм. Выбить стержни и очистить поверхность отливок.

Оценить качество поверхности отливок, выявить поверхностные дефекты.

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы; этапы выполнения технологии формовки по постоянным моделям. Оценку качества поверхности отливок с описанием дефектов и вероятных причин их образования. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы и оснастка используются при изготовлении форм?
2. Как классифицируют литейные модели?
3. Какие технологические операции необходимо выполнить при формовке?
4. В какой последовательности выполняют технологические операции при формовке по разъемной модели в опоках?
5. В чем отличие формовки по неразъемной и разъемной моделям?
6. Зачем подрезают часть смеси в полуформах при формовке по неразъемной модели?
7. Зачем изготавливают модели с объемными частями и как их извлекают из полуформ?
8. Какие дефекты образуются в отливках вследствие некачественной формовки?
9. Расскажите об устройстве формы.
10. Назовите основные элементы крановых опок.

Лабораторная работа 3

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Цель работы

Изучить способ литья по выплавляемым моделям.

Краткие теоретические сведения

Технологический процесс литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) – самый сложный из всех существующих способов литья. Он включает много переделов, различные материалы (твердые, жидкие, газообразные). В этом процессе используются кислоты, щелочи, ПАВы, органические растворители, масла и многие другие вещества. Одна часть технологических операций проводится последовательно, а другая – параллельно. Общая длительность процесса, начиная со стадии изготовления моделей и до отправления отливок в механообрабатывающие цехи, сократились до 10–12 ч.

К особенностям процесса можно отнести использование одноразовой удаляемой модели; модель не имеет разъема и знаковых частей для стержней; формовочной смесью является жидкоподвижная суспензия; связующий материал (в большинстве случаев) готовится в литейном цехе путем проведения химической реакции – гидролиза этилсиликата; оболочковая форма состоит из нескольких слоев и не имеет разъема; форма термостойка, имеет чистую гладкую поверхность и высокую точность; металл заливается в негазотворную газопроницаемую инертную раскаленную форму.

Преимуществами процесса ЛВМ являются повышенная точность геометрических и весовых параметров и низкая шероховатость поверхности отливок; минимальные припуски на механическую обработку, а иногда их отсутствие; получение отливок практически любой степени сложности из любых сплавов, любых габаритных размеров и массы; малые термические напряжения в отливках; получение отливок с заданной структурой, вплоть до монокристаллической.

Недостатки процесса: сложность технологического процесса из-за множества межоперационных переделов; проведение в литейном цехе несвойственных литейщикам операций (изготовление разовых моделей, реакция гидролиза); длительность, трудоемкость и энергоемкость процесса; высокая себестоимость процесса и повышенный брак отливок.

Процесс изготовления отливок методом ЛВМ применяется для изготовления заготовок, требующих большого объема механической обработки; заготовок из труднообрабатываемых сплавов; узлов деталей, скомпонованные из отдельных частей в зубопротезном и ювелирном производстве, а также для изготовления отливок художественного назначения.

Последовательность выполнения технологического процесса. Технология получения отливок литьем по выплавляемым моделям включает следующие этапы: изготовление разъемных пресс-форм; получение неразъем-

ных легкоплавких моделей в пресс-формах; изготовление неразъемной разовой формы по легкоплавким моделям; выплавление моделей из формы; обжиг формы; заливка формы металлом и выбивка готовых отливок.

Разъемные пресс-формы изготавливают из стали или алюминиевых сплавов. Полость пресс-формы точно повторяет конфигурацию и размеры будущей детали с учетом усадки модельного состава.

Неразъемные легкоплавкие модели получают запрессовкой в пресс-форму модельного состава, нагретого до тестообразного состояния. Для его изготовления широко используют легкоплавкие материалы: парафин, стеарин, воск, церезин, канифоль и др. Легкоплавкая модель в отличие от обычной является точной копией изготавливаемой детали: она неразъемна, имеет все внутренние полости, отверстия, резьбу и не имеет стержневых знаков.

На рис. 3.1 приведен чертеж отливаемой детали (рис. 3.1, *а*) и неразъемной модели (рис. 3.1, *б*), отличающейся от нее наличием питателя. Модели питателями «припаивают» к общему легкоплавкому стояку 2 и в результате получают блок моделей (рис. 3.1, *в*). Чтобы изготовить литейную форму, готовый блок моделей; окунают в огнеупорную смесь, представляющую собой суспензию маршалита (60–70 %) в гидролизованном этилсиликате (30–40 %). После окунаний на моделях, питателях и стояке остается тонкая огнеупорная пленка смеси 3 (рис. 3.1, *г*). Эта же смесь заполняет все полости и отверстия в моделях, образуя стержни. Для упрочнения огнеупорной пленки блок моделей посыпают мелким сухим кварцевым песком 4. Прилипая к сырой пленке, песок образует огнеупорный слой, который сушат либо на воздухе, либо помещая блок моделей в аммиачную камеру для ускоренной химической сушки. Когда слой высыхает, операции окунания, посыпания песком и сушки повторяют от 3 до 5 раз. После сушки последнего огнеупорного слоя получают форму в виде многослойной оболочки с заформованными легкоплавкими моделями. Форму помещают в сушильный шкаф и выдерживают при температуре более 100 °С или погружают в горячую воду. Модели и элементы литниковой системы (стояк и питатели) плавятся и вытекают из формы. Для выжигания остатков модельного состава из полости, а также для упрочнения оболочки полученную литейную форму в металлическом ящике 5 (рис. 3.1, *д*) засыпают металлической дробью и помещают в термическую печь, где обжигают при температуре 800–900 °С. Заливку металла производят в горячую форму, что дает возможность получать тонкостенные сложной конфигурации отливки. Выбивку отливок и отделение литников осуществляют на виброустановках.

Материалы, оборудование, инструмент

Пресс-формы для изготовления моделей отливок. Установка для приготовления модельного состава, шприц для запрессовки модельного состава, емкость с суспензией для формирования оболочки, сушильный шкаф, печь

для прокалики оболочек, опочная оснастка, пылевидный кварц, кварцевый песок, касторовое масло, инструмент для заливки форм.

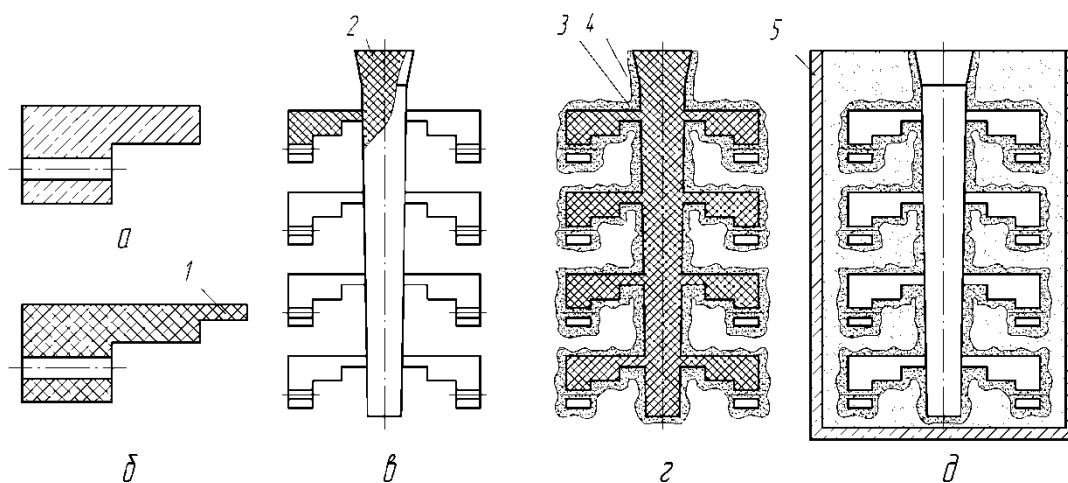


Рис. 3.1. Литье по выплавляемым моделям

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 4 часов.

Последовательность выполнения работы:

1. Изучить теоретические основы способа литья, последовательность выполнения операций изготовления и заливки форм.

2. Приготовить модельный состав ПС50-50 (50 % парафина и 50 % стеарина). Модельный состав нагреть в ванне с обогревателем до температуры 60–65 °С, выдержать 10–15 мин для осаждения примесей.

3. Изготовить модели отливок и литниковых систем, подготовив предварительно пресс-форму (очистить рабочую полость, смазать тонким слоем трансформаторного масла), запрессовкой шприцем модельной массы в пресс-форму. Через 1–2 мин модели удаляют из формы.

4. Собрать модели в блок моделей, предварительно их, обезжирив. Модели припаиваются к стояку нагретым лезвием ножа. Просветы между моделями на стояке делать не менее 10 мм, а верхняя точка модели должна быть ниже воронки на 15–20 мм. Собранные блоки просушить в течение 24 ч при температуре 20 °С.

5. Приготовить огнеупорную суспензию для формирования оболочки: замешать и дать выстояться (для удаления воздуха) огнеупорной суспензии состава 50–70 % (по весу) прокаленного и просеянного через сито пылевидного кварца и 30–40 % жидкого стекла.

6. Изготовить форму (оболочку). Для нанесения покрытия модельный блок погрузить в огнеупорную суспензию и обсыпает его в кипящем слое кварцевым песком. Эту операцию повторять до получения на модели оболочки требуемой толщины. Полученное огнеупорное покрытие отверждать в процессе сушки на воздухе.

7. Выплавить модель в кипящем 20 % водном растворе хлористого аммония в течение 5–10 мин.

8. Просушить оболочку. После выплавления модельного состава оболочку высушить в сушильном шкафу при температуре 180–200 °С в течение 15–20 мин.

9. Прокалить оболочку в печи при температуре 800–1 000 °С в течение 20–30 мин.

10. Заформовать оболочку, засыпав установленной в опоке оболочки сухим огнеупорным наполнителем (песок, отходы керамики). Залить оболочек сразу после формовки расплавленным расплавом.

11. Залитые формы охлаждать в течение 20–30 мин на воздухе, разрушать. Поверхность отливок очистить от остатков смеси в водном растворе едкого натрия, отрезают ножовкой литниковую систему, зачистить напильником остатки питателей.

12. Провести оценку качества полученных отливок.

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы, этапы выполнения технологии изготовления отливки, анализ качества отливки и рекомендации по его улучшению.

Контрольные вопросы

1. Какое развитие получил способ литья по выплавляемым моделям в литейном производстве?

2. Как устроены установки для выплавления моделей горячей водой, воздухом, паром? Дайте характеристику их работы и производительности

3. Какие требования предъявляются для отливок, изготавливаемых литьем по выплавляемым моделям?

4. Чем отличается литье по выплавляемым моделям от литья, получаемого в песчаные формы по качеству металла, точности размеров и чистоте поверхности?

5. Какие камеры применяются для сушки огнеупорного покрытия?

6. Какие требования предъявляются к материалам, используемым при литье по выплавляемым моделям?

Лабораторная работа 4

ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Цель работы

Изучить способ литья в оболочковые формы.

Краткие теоретические сведения

Процесс имеет несколько названий – Кронинг-процесс, литье в корковые формы, литье в формы-маски; согласно ГОСТ 18169 – процесс получе-

ния отливок в оболочковые формы из терморезистивных смесей. Из терморезистивных смесей изготавливают формы и стержни.

Материал для форм и стержней готовят смешиванием сухого огнеупорного песка, порошкообразной фенольной смолы и добавок.

Особенности процесса: оболочка формируется на нагретой модельной оснастке расплавлением терморезистивной смолы – связующего, что увеличивает точность и качество поверхности отливок; малая толщина оболочки обеспечивает ее высокую газопроницаемость.

Преимущества процесса: повышенная точность отливок и качество поверхности; уменьшение припусков и объема механической обработки; высокий коэффициент использования металла; возможность складирования форм из-за их малых габаритных размеров, значительной прочности и отсутствия гигроскопичности; уменьшение объема используемых формовочных материалов, по крайней мере, в два раза.

Недостатки процесса: повышенная трудоемкость изготовления оснастки; высокая стоимость стержневых материалов; сложность регенерации использованных смесей.

Области применения: изготовление отливок машиностроения широкой номенклатуры повышенной точности с хорошим качеством поверхности из любых марок сплавов.

Последовательность выполнения технологического процесса: технология изготовления оболочковой формы (рис. 4.1) начинается с нанесения пульверизатором на металлическую модельную плиту разделительного состава, облегчающего снятие оболочки. Затем модельную плиту нагревают в электрической печи до температуры 200–220 °С (рис. 4.1, а), устанавливают над бункером и закрепляют моделью вниз (рис. 4.1, б). Бункер переворачивают на 180 °С, и формовочная смесь падает на нагретую модельную плиту (рис. 4.1, в). При выдержке в течение 20–30 с смола плавится и обволакивая тонкой пленкой мелкие зерна песка. Образует оболочку толщиной 6–8 мм. Бункер возвращают в исходное положение, и непрореагировавшая формовочная смесь падает на его дно (рис. 4.1, г). Снятую с бункера модельную плиту с непрочной оболочкой отправляют в электрическую печь с температурой около 350 °С (рис. 4.1, д). Здесь смола в течение 90–180 с полимеризуется и необратимо твердеет, образуя прочную оболочковую полуформу. По такой же технологии изготавливают другую полуформу. Полученные полуформы склеивают и, если они небольшие, то форма устанавливается на песчаную постель и заливается металлом. Большие формы во избежание деформации при заливке заформовывают сухим песком или чугунной дробью. После заливки и охлаждения металла смола сгорает, и форма легко разрушается, что облегчает выбивку отливок и их очистку.

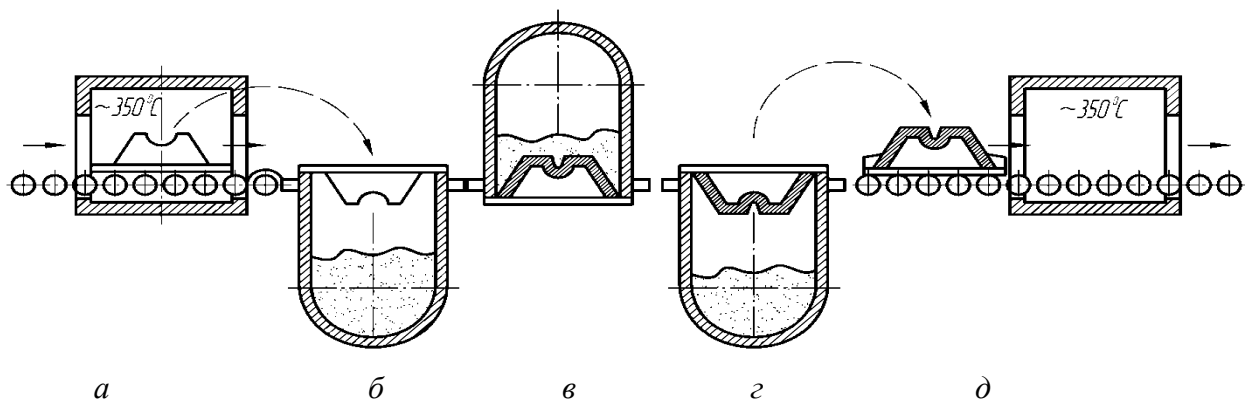


Рис. 4.1. Схема изготовления оболочковых форм

Финишные операции – отделение литниковой системы, заточка остатков литников и прибылей, термическая обработка – аналогична для отливок, полученных традиционным процессом.

Материалы, оборудование, инструмент

Модельная оснастка, установка для бункерного способа нанесения смеси, песчано-смоляная смесь, муфельная печь, силиконовая смазка, плавильная печь.

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 1 ч.

Последовательность выполнения работы:

1. Готовую песчано-смоляную смесь загрузить в бункер на 1/3 его объема.
2. Подготовить модельную плиту, нагрев ее до температуры 250–270 °С, нанести на ее поверхность разделительное покрытие (силиконовая смазка).
3. Прикрепить модельную плиту к бункеру и изготовить оболочку.
4. Изготовить вторую половину оболочковой формы.
5. Собрать форму, используя для скрепления оболочек струбцины.
6. Заформовать форму в опоку с опорным наполнителем.
7. Готовую форму залить расплавом.
8. Через 20–30 разрушить форму.
9. Поверхность отливок очистить от остатков смеси.
10. Произвести оценку качества полученной отливки.

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы, этапы выполнения технологии изготовления отливки, анализ качества отливки и рекомендации по его улучшению.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность литья в оболочковые формы?
2. Какие материалы применяют для изготовления оболочек?
3. Какие особые требования предъявляют к материалу моделей, точности и чистоте обработки и монтажу их на плите?
4. Каков процесс изготовления оболочковых форм, из каких операций он складывается и как производится вплоть до съема оболочки с модели?
5. Как можно характеризовать отливки из оболочковых форм по качеству металла, точности размеров и чистоте поверхности?
6. Как производится сборка и заливка оболочковых форм?

Лабораторная работа 5 ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Цель работы

Изучить способ литья в кокиль.

Краткие теоретические сведения

Литье в кокиль (КЛ) – процесс получения литых заготовок свободной (под действием сил тяжести) заливкой расплавленного металла в металлические формы-кокили.

Кокильное литье – один из старейших способов литья, уходящий в далекое прошлое.

В 1708 г. Петр I издал указ: «Сим указую с онога числа бомбы, гранаты и ядра всяких статей лить в железных, а не в глиняных формах, дабы избежать прысок и земли». Прысками в то время называли газовые раковины, а землей – песчаный засор.

КЛ является одним из самых распространенных среди специальных видов литья процессом. В настоящее время примерно половина всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, 15 % чугунных и 5 % стальных получают литьем в кокиль.

По конструкции кокили различают неразъемные вытряхные (рис. 5.1, *а*), разъемные с горизонтальным (рис. 5.1, *б*) и вертикальным (рис. 5.1, *в*) разъемами. Разъемные кокили состоят из двух половин *б*, центрирующихся направляющими штырями *10*. Чтобы избежать коробление, кокиль снабжают ребрами жесткости (рис. 5.1, *б*) либо делают коробчатой формы (рис. 5.1, *в*). На наружной стенке кокиля для его ускоренного охлаждения иногда отливают пальцы *8* (рис. 5.1, *в*). Полости и отверстия в отливках могут выполняться металлическими *9* (рис. 5.1, *в*) или песчаными *1* (рис. 5.1, *а*) стержнями. Так как металлические стержни неподатливы, то во избежание образования в отливке трещин их удаляют из формы до начала усадки металла. Металл заливают в литниковую чашу *3*, по стояку *4* и питателям *7*. Для выхода воздуха из

формы во время ее заливки, кроме выпоров *11* (рис. 5.1, *в*), в полости разъема по всей высоте кокиля прорезают щели глубиной 0,3–0,5 мм.

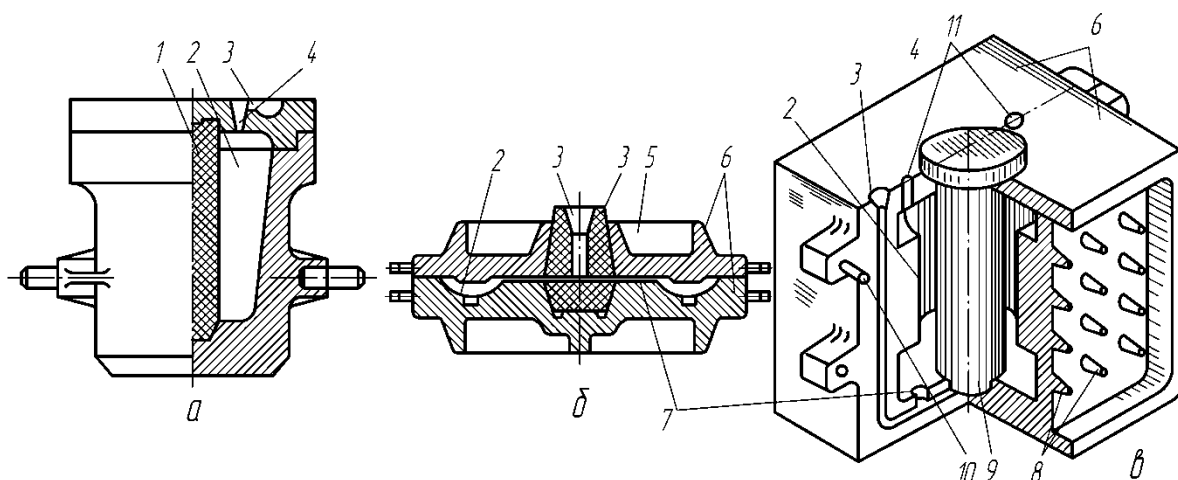


Рис. 5.1. Металлические формы (кокили): 1 – песчаные стержни; 2 – рабочая полость; 3 – литниковая чаша; 4 – стояк; 5 – технологические отверстия; 6 – кокиль, состоящий из двух половин; 7 – питатели; 8 – пальцы; 9 – металлические стержни; 10 – направляющие штыри; 11 – выпор

Одним из важнейших технологических параметров при литье в кокиль является тепловой режим.

При заливке расплава металл кокиля резко нагревается с появлением неоднородного температурного поля (высокая температура поверхности, соприкасающейся с металлом, и низкая – наружной поверхности). Возникает так называемый термический удар, вызывающий деформации, которые приводят к значительным напряжениям в металле кокиля. Эти деформации могут превышать деформацию, соответствующую пределу текучести материала, что приводит к разрушению кокиля.

Чрезмерный нагрев кокиля вреден, так как увеличивается химико-термическое взаимодействие с материалом кокиля (пригар, разгар), уменьшается производительность из-за увеличения времени охлаждения отливки, появляются усадочные дефекты в массивных частях отливки, и теряется одно из преимуществ кокильного литья – получение мелкокристаллической структуры в результате ускоренной кристаллизации.

Эффективным воздействием на тепловой режим кокиля является создание между кокилем и расплавом определенного термического сопротивления с помощью наносимых на поверхность полости кокиля облицовок и красок, т.е. огнеупорных покрытий.

Подбором температуры подогрева кокиля и его охлаждения можно получить отливки высокого качества, обеспечив направленную кристаллизацию залитого металла. Температура кокиля во время работы составляет 200–250 °С в зависимости от сложности отливки и типа сплава, причем нижняя часть

кокиля во всех случаях должна иметь температуру более низкую, чем верхняя.

Особенности процесса: быстрый теплоотвод заливаемого металла через теплопроводный металлический кокиль; отсутствие газопроницаемости кокиля; неподатливость кокиля.

Преимущества процесса: многократно используемая форма; повышение точности размеров, масс и качества поверхности отливок; сокращение расхода формовочных материалов; повышение, по сравнению с другими видами литья, механических свойств металла отливок; простота механизации и автоматизации процесса; снижение себестоимости отливок.

Недостатки процесса: сложность получения тонкостенных отливок и сложных полостей металлическими стержнями; значительные внутренние напряжения в отливках, приводящие к их деформации и к трещинам; сложность получения чугунных отливок без отбела; высокая стоимость кокиля и длительность его изготовления при наличии в отливках сложных внутренних полостей; повышенная чувствительность к отклонениям параметров.

Последовательность выполнения технологического процесса: процесс КЛ относительно прост, так как наличие многократно используемой металлической формы исключает громоздкие операции смесеприготовления, изготовление одноразовых песчано-глинистых форм. Технологические операции и порядок их проведения зависит от конкретных условий: конструкции отливки, вида сплавов, применяемого техпроцесса и т.д. Например, может отсутствовать операция изготовления разовых песчаных стержней, постоянное их окрашивание и др.

Кокиль перед заливкой металла очищают, подогревают до заданной температуры и наносят защитное покрытие. В полость кокиля устанавливают песчаные стержни, и кокиль собирают, затем заливают расплавленный металл. После затвердевания кокиль раскрывают, извлекают отливку и отделяют от нее литниковую систему. Как правило, кокильные отливки проходят термическую обработку для снятия внутренних напряжений, возникающих из-за неподатливости металлической формы и для исправления микроструктуры.

Материалы, оборудование, инструмент

Кокили различной конструкции, раздаточная печь с тиглем вместимостью 10–20 кг алюминиевого сплава, набор плавно-заливочного инструмента, меловая краска для окраски поверхности кокиля.

Порядок проведения работ

Работа рассчитана на 1 ч.

1. Ознакомиться с устройством кокилей. Особое внимание обратить на механизм разъема кокиля, принцип действия выталкивателей, устройство вентиляционных каналов.

2. Произвести контрольную сборку и разборку кокилей с целью установления правильности и надежности взаимодействия всех его частей.
3. Нагреть кокиль до 120 °С и покрасить рабочую поверхность кокиля.
4. Собрать нагретый кокиль и залить металлом с помощью мерной ложки, окрашенной меловой краской.
5. Извлечь отливку из кокиля, соблюдая необходимую последовательность операций.
6. Оценить качество отливки

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы, этапы выполнения технологии изготовления отливки, анализ качества отливки и рекомендации по его улучшению.

Контрольные вопросы

1. Какое развитие получило литье в кокиль в настоящее время, и какие преимущества оно имеет, по сравнению с литьем в песчаные формы?
2. Как изменяется качество литья при отливке в металлические формы?
3. Как осуществляется регулирование режима охлаждения отливок при литье в кокиль?
4. Какое значение имеет толщина стенок кокилей в технологии производства и обеспечении качества отливок?
5. В каких случаях применяются при кокильной отливке металлические и песчаные стержни и как в зависимости от этого меняются способы крепления их в кокилях?
6. Какими приемами обеспечивается нормальная эксплуатация кокилей и предупреждается их преждевременный износ и выход из строя?

Лабораторная работа 6

ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ И ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ ФОРМ

Цель работы

Научиться определять жидкотекучесть сплавов и заполняемость форм.

Краткие теоретические сведения

Жидкотекучесть – свойство металлов и сплавов, определяющее заполняемость ими форм и оказывающее большое влияние на качество металла во всем объеме отливок.

Жидкотекучесть зависит от большого числа тепловых, гидродинамических и физико-химических факторов. Жидкотекучесть, как литейное свойство металла, определяется тем, что условия остановки металлического потока связаны как со свойствами и состоянием металла (газонасы-

щенность, содержание неметаллических включений, поверхностное натяжение, вязкость, интервал затвердевания, теплоемкость и теплопроводность сплава и т.д.), так и со свойствами формы (шероховатость поверхности, теплоемкость, теплопроводность материала формы, влажность смеси и т.д.). Заполняемость также зависит и от факторов, связанных с условиями заливки (подвода жидкого металла к полости формы, гидростатического напора и т.д.).

Различают истинную, условно-истинную и практическую жидкотекучесть сплавов.

Истинная жидкотекучесть сплавов определяется при одинаковом перегреве их выше температуры нулевой жидкотекучести, при которой сплав теряет подвижность. Нулевая жидкотекучесть наступает при температуре, лежащей между ликвидус и солидус сплава, при определенном количестве твердой фазы. В практических условиях трудно определить температуру нулевой жидкотекучести, поэтому определяют не истинную, а условно-истинную жидкотекучесть сплавов при одинаковом перегреве их выше температуры ликвидуса.

Под практической понимают жидкотекучесть сплавов при постоянной температуре заливки. В этом случае перегрев выше температуры ликвидуса и нулевой жидкотекучести для различных сплавов неодинаков.

Жидкотекучесть сплавов определяется по технологическим пробам.

Мерой жидкотекучести во всех пробах является степень заполняемости полости формы сплавом. Все пробы можно поделить на две группы проб: постоянного сечения (спиральная, прутковая, U-образная); переменного сечения (шариковая, клиновья).

Самой простой пробой постоянного сечения является прутковая проба (рис. 6.1, а), представляющая собой прямой горизонтальный цилиндр диаметром 5 мм, заливаемый через коническую воронку высотой 150 мм.

Наиболее распространена спиральная проба (рис. 6.1, б).

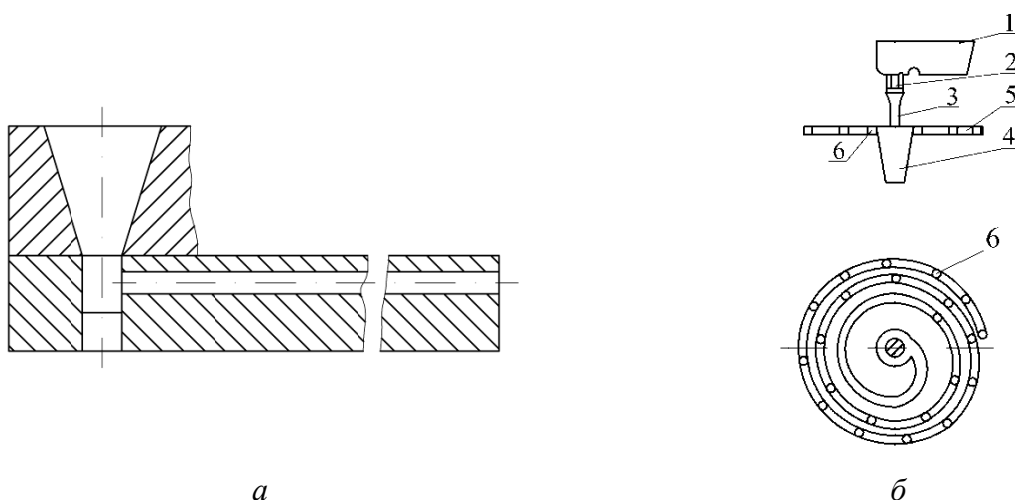


Рис. 6.1. Пробы для определения жидкотекучести: а – спиральная; б – прутковая (1 – чаша; 2 – фильтр; 3 – стояк; 4 – металлоприемник; 5 – спиральный канал; 6 – выступы)

Форму пробы устанавливают под заливку строго горизонтально, по уровню. Через литниковую систему металл поступает в металлоприемник и полость формы. Конструкция литниковой системы и металлоприемника обеспечивает поступление металла в полость формы и спирали с определенной постоянной скоростью, иногда, для достижения ещё большего постоянства скорости, стояк перекрывают пробкой и металл заливают в чашу до определенного уровня. Здесь же в чаше замеряют термопарой температуру сплава и после этого поднимают пробку. На модели спирали и соответственно в форме имеются отметки, расположенные через 50 мм. Это облегчает измерение длины спирали. Именно эта длина отливки, выраженная в миллиметрах, и является характеристикой жидкотекучести сплава в данных условиях.

Материалы, оборудование, инструмент

Индукционная печь; прутковые пробы; набор плавильного и формовочного инструмента; линейки, опочная оснастка; формовочная смесь.

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 2 ч.

1. Приготовить формовочную смесь
2. Изготовить по три формы спиральной и прутковой проб для каждой температуры перегрева.
3. Залить приготовленный металл в формы при заданных температурах перегрева с отклонением не более 10 °С.
4. Спустя 10 мин после заливки извлечь пробы из форм, охладить их на воздухе и измерить длину спиралей (по выступам) с точностью до 10 мм.
5. Результаты определения жидкотекучести обобщить и установить зависимость жидкотекучести от температуры заливки и состава сплава.

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы; этапы выполнения технологии изготовления проб, графики. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое жидкотекучесть?
2. Как можно практически использовать результаты определения жидкотекучести?
3. От чего зависит заполняемость формы?
4. Какие свойства литейной формы влияют на заполняемость формы?
5. Почему для прутковой пробы применяется заливочная чаша с порогом?
6. Как влияет «влажность» формовочной смеси на величину жидкотекучести?

7. Механизм влияния влажности формы на жидкотекучесть сплава.
8. Как увеличить жидкотекучесть расплава?

Лабораторная работа 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СВОБОДНОЙ И ЗАТРУДНЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ

Краткие теоретические сведения

При охлаждении металла, залитого в литейную форму, происходит уменьшение его объема. Этот процесс называют усадкой.

Количественным показателем изменений размеров отливок при охлаждении служит коэффициент усадки. Уменьшение объема жидкого сплава принято характеризовать коэффициентом объемной усадки – $\varepsilon_{об}$.

Усадка твердого сплава, находящегося в твердожидком состоянии, но уже получившего и сохраняющего определенные геометрические очертания, является причиной развития внутренних напряжений в отливке и образования в ней трещин. Усадку сплава в таком состоянии принято характеризовать коэффициентом линейной усадки – $\varepsilon_{лин}$.

Объемной усадкой отливки называют разницу между объемом полости формы V_{ϕ} и объемом отливки $V_{отл}$ после полного ее охлаждения:

$$\varepsilon_{л} = \frac{V_{\phi} - V_{о}}{V_{о}} \cdot 100 \% , \quad (7.1)$$

Разница между линейными размерами полости формы, l_{ϕ} заполненной жидким металлом, и размерами отливки $l_{отл}$ после охлаждения до 20 °С называется линейной усадкой

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_{\phi} - l_{о}}{l_{о}} \cdot 100 \% , \quad (7.2)$$

Объемная усадка проявляется в виде концентрированных раковин и пористости в тепловых узлах. Линейная усадка предопределяет различие линейных размеров модели и отливки.

По мере охлаждения температура затвердевшей корки или скелета кристаллов понижается, в результате этого происходит сокращение линейных размеров отливки. У многих сплавов наблюдается временное расширение, которое предшествует усадке. Это явление называют предусадочным расширением. Оно составляет 0,1–0,3 %. Его связывают с выделением газов, расширением кристаллического каркаса из-за разогрева отливки в момент отхода от стенок формы, капиллярным давлением жидкости в каналах между осями дендритов. У серых чугунов предусадочное расширение объясняется графитизацией в процессе кристаллизации.

Величина линейной усадки или расширения определяется изменением температуры, коэффициентом линейного расширения и коэффициентом термического сжатия.

Для сплавов, кристаллизующихся в интервале температур, начало линейной усадки соответствует образованию 75–95 % твердой фазы.

Различают линейную (свободную) и литейную (затрудненную) усадку.

Линейной (свободной) усадкой принято называть сокращение линейных размеров, определяемое только свойствами сплава, протекающее без торможения со стороны формы.

Литейной усадкой называют разницу между линейными размерами модели l_m и отливки l_o :

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_m - l_o}{l_o} \cdot 100 \% . \quad (7.3)$$

Литейная (затрудненная) усадка отличается от линейной (свободной), так как она зависит не только от свойств и состояния металла или сплава, но и от конструкции отливки, конструкции формы (выступающие части формы, стержня, элементы литниковой системы и др.).

Следует различать линейную усадку сплава и линейную усадку отливки.

Как правило, линейная усадка фасонных отливок равна или меньше линейной усадки сплава, а крупных массивных отливок (слитки и т.п.) больше линейной усадки сплава.

Линейная усадка сплавов относится к числу основных литейных свойств, определяющих возможность получения отливок заданных размеров и конфигурации. Усадку сплава обязательно учитывают при конструировании отливки и разработке технологии ее получения.

Линейную усадку сплавов определяют на образцах, имеющих вид прямых брусков или прутков, отливаемых в горизонтальном положении. Вначале измеряют линейный размер формы $l_{ф}$, затем заливают ее расплавом, отливку извлекают и после полного охлаждения до нормальной температуры измеряют ее размер $l_{отл}$ (рис. 7.1, а).

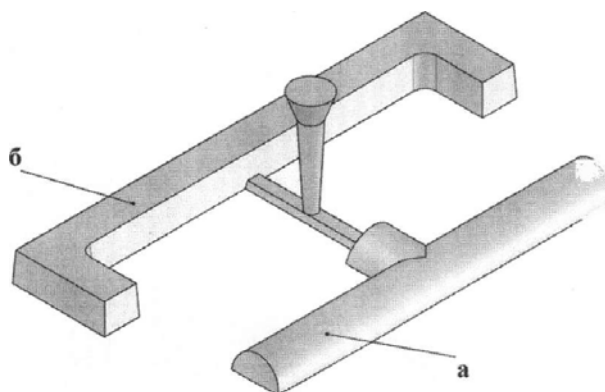


Рис. 7.1. Примеры отливок с различными видами усадки:
а – без торможения; б – с торможением

Для оценки литейной (затрудненной) усадки отливают специальные образцы с расширениями на концах (рис. 7.1, б).

Материалы, оборудование, инструмент

Индукционная печь; прутковые пробы; набор плавильного и формовочного инструмента; линейки, опочная оснастка; формовочная смесь.

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 2 ч.

1. Изготовить формы для определения линейной усадки. Залить формы расплавом.

2. Изготовить формы для получения образцов для определения свободной и затрудненной усадки. Предварительно замерить и записать расстояние между центрами отверстий на моделях.

3. Залить формы расплавом, охладить полученные образцы в форме до 50 °С и извлечь их из формы (приблизительно через 30 мин после заливки). Замерить расстояние между метками на полученных образцах и записать их.

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы; этапы выполнения технологии изготовления проб. Графики. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какова основная причина линейной усадки?
2. В чем различия между свободной и затрудненной линейной усадкой?
3. Что такое температура начала линейной усадки сплава?
4. Что такое предусадочное расширение?
5. Какие факторы влияют на величину литейной усадки?
6. Как определяется линейная и литейная усадка?
7. Как проявляется объемная усадка?
8. Какие литейные дефекты возникают в результате усадки?
9. Как влияет углерод на усадку чугуна и стали?

Лабораторная работа 8

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ СПЛАВА НА РАЗМЕР ЕГО ДЕНДРИТНОЙ ЯЧЕЙКИ

Краткие теоретические сведения

Свойства сплава в отливках зависят от его внутреннего строения, размеров, формы и взаимного расположения отдельных кристаллов. При переходе из жидкого состояния в твердое образуются усадочные раковины и по-

ристость, происходит выделение газов, протекают ликвационные процессы, формируется первичная структура, которая является окончательной в отливках из сплавов, не имеющих превращений в твердом состоянии. В сплавах, претерпевающих такие превращения, первичная литая структура оказывает большое влияние на окончательную структуру и свойства отливок.

Процесс кристаллизации определяется свойствами сплава (теплопроводность, теплоемкость), положением на диаграмме состояния, условиями заливки, различными воздействиями на кристаллизующийся сплав, условиями охлаждения. Все эти факторы определяют последовательный (по фронту) или объемный переход жидкой фазы в твердую.

Сплавы, затвердевающие при постоянной температуре или в узком температурном интервале, кристаллизуются последовательно. Твердая фаза нарастает от стенок формы к центру отливки по мере снижения температуры. Эти сплавы склонны к образованию обширной зоны столбчатых кристаллов в отливках. Сплавы же с широким интервалом кристаллизации затвердевают обычно объемно. В этом случае зарождение и рост кристаллов возможны во всей области, где сосуществуют твердая и жидкая фазы. Такие сплавы образуют равноосные кристаллы в отливках.

В период затвердевания отливки условия охлаждения ее различных зон меняются, поэтому структура этих зон может быть различной.

Мелкие, беспорядочно ориентированные кристаллы обеспечивают высокие эксплуатационные свойства отливок, равномерность этих свойств в различных сечениях. Только в некоторых специальных областях предпочтительным является применение отливок со столбчатой структурой (постоянные магниты). Поэтому состав сплавов и технологию их обработки выбирают преимущественно таким образом, чтобы получать в отливках мелкозернистую равноосную структуру.

Сплавы в отливках всегда кристаллизуются неравновесно из-за неполного диффузионного массопереноса в расплаве и почти полного отсутствия массопереноса в кристаллах. В этих условиях имеет место дендритная кристаллизация, когда кристаллы приобретают разветвленную форму, часто напоминающую ствол дерева с ветвями. На металлографическом шлифе, плоскость которого расположена произвольно по отношению к направлению, стволов и ветвей дендритов, случайные сечения этих стволов и ветвей выглядят как ячейки. Эти ячейки, называемые дендритными, выявляются на шлифах благодаря локальным различиям состава, т.е. дендритной ликвации. Если сплав представляет собой однородный твердый раствор, то ячейки занимают все поле шлифа. Если в сплаве имеется эвтектическая составляющая, дендритные ячейки разделены полями эвтектики. Увеличение скорости охлаждения при кристаллизации сплавов всегда вызывает измельчение дендритной ячейки. Это происходит в результате следующих обстоятельств.

Рост кристаллов сплавов при обычных скоростях охлаждения, не превышающих 10^4 °C/с, происходит за счет диффузионного массопереноса в

расплаве, который определяется площадью поверхности кристалла, коэффициентом диффузии в расплаве, градиентом концентрации компонентов в слое расплава около растущего кристалла. При увеличении скорости охлаждения должно происходить увеличение массы вещества, кристаллизующегося в единицу времени, соответственно возросшему количеству теплоты отводимой от расплава. Коэффициент диффузии постоянен для заданной температуры, поэтому необходимое для развития кристаллов увеличение массы вещества может быть достигнуто за счет роста площади поверхности кристаллов и увеличения градиента концентрации в слое расплава около кристалла.

Обе эти возможности реализуются при более частом расположении ветвей на стволах дендритов. В структуре эти изменения проявляются как измельчение дендритной ячейки. Расчеты по описанному механизму дают следующую зависимость размера дендритной ячейки d от скорости охлаждения v в интервале кристаллизации: $dv^{0,5-0,3} = A$. Коэффициент A зависит от концентрации легирующего компонента в сплаве, коэффициента распределения этого компонента, коэффициента диффузии. Действие указанной зависимости наблюдается в очень широком диапазоне скоростей охлаждения, примерно от 10^{-3} до 10^3 °C/с. При очень малых скоростях охлаждения диффузионный массоперенос перестает быть «узким местом» процесса. В этих условиях образуется плоский фронт кристаллизации и формально d стремится к бесконечности. При очень больших скоростях охлаждения изменяется сущность процесса: кристаллизация становится недендритной, затем начинается образование аморфного металла. Практически размер дендритной ячейки изменяется от 0,5–1 мм в массивных сечениях крупных отливок до 3–5 мкм в поверхностных слоях мелких отливок, получаемых в металлических формах.

Материалы, оборудование, инструмент

Плавильная печь с рабочей температурой до 900 °C, металлографический микроскоп, полировальные круги, термопары хромель-алюмелевые диаметром 0,3–0,5 мм, изложницы с поддоном для получения цилиндрических слитков диаметром 35–40, высотой до 150 мм, модели указанных размеров для изготовления песчаной формы, опоки, плавильный и формовочный инструмент, металлографические реактивы для травления алюминиевых сплавов на микроструктуру, спецодежда, рукавицы, прозрачные лицевые щитки.

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 3 ч.

1. Приготовить 1,5–2 кг алюминиевого сплава. Состав сплава задается преподавателем.
2. Изготовить песчаную форму по модели для получения отливки в виде цилиндра.
3. Собрать и подогреть металлическую изложницу до 80 °C.

4. Установить термопару с обнаженным горячим спаем в песчаной форме и изложнице. Спай должен находиться примерно в центре сечения на половине высоты полости формы.

5. Залить обе формы расплавом.

6. Тигель с оставшимся расплавом поместить обратно в отключенную печь, погрузить в расплав горячий спай термопары, подсоединенной к самопишущему потенциометру.

7. После достижения температуры (по показаниям приборов) 300-400 °С отсоединить термопары от приборов, извлечь отливки из форм и металл из тигля и дать им охладиться до нормальной температуры.

8. Вырезать куски диаграммной ленты с записью кривых охлаждения.

9. Разрезать отливки и металл из тигля по месту расположения горячего спая термопары, вырезать образцы около горячего спая размером 15×15×15 мм.

10. Зачистить на образцах площадку размером 10×10 мм, обработать ее напильниками и шлифовальной шкуркой, отполировать поверхность на полировальном круге.

11. Протравить шлиф до выявления дендритной структуры.

По кривым охлаждения, записанным на диаграммной ленте, определить с учетом скорости движения ленты скорости охлаждения сплава в интервале кристаллизации при литье в металлическую и песчаную формы и при кристаллизации металла в печи.

На микроскопе с помощью объект-микрометра и окуляра с сеткой определить средний размер дендритной ячейки в полученных образцах сплава по 30 измерениям.

Провести статистическую обработку результатов измерения дендритной ячейки. Рассчитать дисперсию и найти доверительный интервал при вероятности 0,95, оценить относительную погрешность измерений.

Требования к отчету

Отчет должен содержать формулировку цели работы; этапы выполнения технологии изготовления проб. Графики. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется дендритной ячейкой?
2. Как выявляют дендритные ячейки?
3. Как влияет скорость охлаждения при кристаллизации сплава на размер дендритной ячейки?
4. Влияет ли размер дендритной ячейки на механические и эксплуатационные свойства литого сплава?
5. Можно ли по размерам дендритных ячеек установить, откуда взяты образцы – из поверхностных слоев отливки или из центральной зоны сечения?

Библиографический список

1. Ефимов, В. А. Специальные способы литья : справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, Н. Бабич. – М : Машиностроение, 2005. – 436 с.
2. Шкленик, Я. И. Литье по выплавляемым моделям / Я. И. Шкленик, В. А. Озеров. – Изд. 3-е. – М. : Машиностроение, 2007. – 408 с.
3. Назаратин, В. В. Технология изготовления стальных отливок отечественного назначения / В. В. Назаратин. – М. : Машиностроение, 2006. – 234 с.
4. Болдин, А. Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия : справочник / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский [и др.]. – М. : Машиностроение, 2006. – 507 с.
5. Воронин, Ю. Ф. Атлас литейных дефектов «Черные сплавы» / Ю. Ф. Воронин, В. А. Камаев. – М. : Машиностроение, 2005. – 328 с.
6. Филиппенков, А. А. Стальные отливки / А. А. Филиппенков; УрО-РАН. – Екатеринбург, 2002. – 275 с.
7. Кечин, В. А. Проектирование и производство литых заготовок : учеб. пособие / В. А. Кечин, Г. Ф. Селихов, А. Н. Афонин; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2002. – 227 с.
8. Чуркин, Б. С. Технология литейного производства : учебник / Б. С. Чуркин, Э. Б. Гофман, С. Г. Мейзель, [и др.]; под ред. Б. С. Чуркина. – Екатеринбург : Украл. гос. проф.-пед. наука. – 2000. – 662 с.