

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ И ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ»

Составитель
В. А. КЕЧИН

Владимир 2007

УДК 621.74
ББК 34.61
М54

Рецензент
Доктор технических наук, профессор
Владимирского государственного университета
Е.В.Сидоров

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к лабораторным и практическим работам по дисциплине «Производство отливок из сплавов цветных металлов» / Владим. гос. ун-т ; сост. В. А. Кечин. – Владимир, 2007. – 76 с.

Служат руководством к проведению лабораторных и практических работ по дисциплине «Производство отливок из сплавов цветных металлов». Содержат общие сведения по сплавам на основе цветных металлов, технологии плавки и особенностям изготовления отливок из сплавов цветных металлов различными методами литья, краткие теоретические представления, перечень оборудования, инструментов и материалов, объем и порядок выполнения лабораторных работ, а также рекомендации по составлению отчетов и организации работ в период выполнения задания.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения при подготовке инженеров по специальности 150104 – литейное производство черных и цветных металлов, а также изучающих дисциплину «Литейные сплавы и плавка» специальности 150204 – машины и технология литейного производства.

Табл. 29. Ил. 4. Библиогр.: 13 назв.

УДК 621.74
ББК 34.61

ПРЕДИСЛОВИЕ

При подготовке методических указаний к лабораторным и практическим работам по дисциплине «Производство отливок из сплавов цветных металлов», написанных в соответствии с учебной программой курса, использован опыт преподавания на кафедрах, выпускающих инженеров указанной специальности, а также методические материалы, справочники и пособия, написанные ведущими преподавателями литейных кафедр российских вузов (МИСиС, ЮУрГУ, КГУЦм, САМГТУ и др.).

Из представленных 10 работ пять направлены на усвоение и закрепление лекционного материала, затрагивающего вопросы свойств и характеристик сплавов на основе цветных металлов, освоения различных методов расчета.

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основное внимание в лабораторных и практических работах по дисциплине «Производство отливок из сплавов цветных металлов» уделено развитию навыков самостоятельной работы студентов, значительная часть которой выполняется на уровне исследования.

Перед студентами ставится задача изучения особенностей плавки и литья, структуры и свойств основных литейных цветных и черных металлов и сплавов. Выделяются следующие вопросы:

- анализ свойств и характеристик сплава и компонентов шихты;
- расчет шихты для приготовления заданного сплава;
- разработка технологии приготовления сплава с заданными свойствами;
- особенности изготовления отливок из сплавов цветных металлов;
- изучение методов оценки свойств сплава;
- анализ качества отливок.

С целью более полного освоения курса в ходе работы предусмотрено использование ПЭВМ. Настоящие методические указания составлены таким образом, чтобы, ознакомившись с содержанием работы, изучив рекомендуемую литературу и воспользовавшись справочными данными, студент мог самостоятельно решать поставленные задачи.

Лабораторные и практические работы проводятся с подгруппой студентов. Подгруппа делится на бригады по 3 - 4 человека. При этом каждому студенту бригады выдается индивидуальная марка сплава для проведения анализа и выполнения инженерных расчетов.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Перед выполнением лабораторных работ необходимо изучить правила по технике безопасности и расписаться в специальном журнале.

2. Прежде чем приступить к выполнению, следует внимательно ознакомиться с содержанием задания и четко представлять цели и задачи предстоящей работы.

3. Приступить к выполнению задания разрешается только после собеседования с преподавателем. В случае неясности или неуверенности в правильности его выполнения необходимо прекратить работу для выяснения всех возникших вопросов.

4. При выполнении практической части необходимо учитывать следующие требования :

- перед загрузкой шихты для новой плавки тигель должен быть тщательно очищен от шлака и окисных пленок;

- загрузку шихты, подшихтовку, введение присадок, перемешивание расплавленного металла, снятие шлака, измерение температуры и взятие проб следует производить после снятия напряжения с нагревательных элементов;

- легирующие присадки и другие составляющие сплава необходимо вводить в расплавленный металл путем плавного опускания, предварительно подогреть их куски, а также строго соблюдать очередность ввода компонентов сплава;

- применяемые для рафинирования флюсы должны быть хорошо просушены, влажность их не должна превышать 2,5 % .

5. Категорически запрещается :

- загружать разогретую печь влажным и холодным металлом, выливать металл в холодные ковши, сырые формы;

- оставлять без надзора включенные приборы, печи;

- нажимать пусковые кнопки, вращать ручки, фиксаторы и т.п. незнакомых приборов и малоизученного оборудования.

6. В случае чрезмерного нагревания отдельных частей установки (трансформаторов, проводов и т.д.) следует немедленно выключить ток и сообщить о неисправности преподавателю.

7. После окончания работы студент должен привести рабочее место в порядок.

ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ И МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения лабораторных и практических работ необходимо следующее оборудование, инструмент и материалы: тигельная лабораторная печь типа СШОЛ и индукционная печь типа ИСТ-0,06 для плавки сплавов,

смешивающие бегуны для приготовления формовочных смесей, микроскоп, твердомер шариковый ТШ-2, станок для шлифования и полирования образцов, технические и аналитические весы, кокили для заливки технологических проб для определения жидкотекучести, усадки, твердости и плотности образцов сплавов, набор плавно-разливочного инструмента, исходные шихтовые материалы, химические реактивы для травления шлифов, фтористые и хлористые соли для рафинирования и модифицирования сплавов, спецодежда.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА И ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

До начала выполнения работы студент должен подготовиться к ней, пользуясь для этого программой и соответствующей литературой. Подготовленность студента к выполнению задания проверяется преподавателем до начала работы.

В процессе проведения лабораторных работ студенты должны:

- анализировать получаемые результаты, а также консультироваться по ним с преподавателем;

- заносить схемы, расчетные формулы и результаты исследований в тетрадь с тем, чтобы после окончания работы студент мог представить преподавателю материалы выполненного задания для предварительной проверки.

Отчет по лабораторным работам оформляется каждым студентом в тетради или на стандартных листах. За титульным листом следует задание, полученное студентом в начале выполнения практического занятия. Далее идет оглавление, в котором должны быть указаны разделы отчета и номера страниц. Содержание отчета должно соответствовать оглавлению данных методических указаний. В отчете необходимо привести список литературы, а в тексте ссылки на литературу.

На вводном занятии раскрываются цели и задачи лабораторных занятий, даются их общее содержание и характеристики основных разделов. Проводится формирование бригад (по 3 - 4 студента) и выдача задания на выполнение лабораторных работ. Определяется порядок выполнения работ, форма отчетности и сроки приема выполненного задания.

Проводится инструктаж по технике безопасности, который включает в себя ознакомление с оборудованием литейной лаборатории и требованиями по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.

Работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВА

Цель: изучение физических, химических и технологических свойств заданного сплава, определение типа диаграммы состояния и фазового состава сплава в зависимости от вида применяемой обработки.

Общие сведения

В современной технике известно большое количество сплавов, отличающихся друг от друга составом и физико-механическими свойствами. Основой большинства промышленных сплавов являются металлы, известные человечеству с давних времен: медь, железо, цинк, олово, свинец, золото, а также освоенные сравнительно недавно никель, титан, вольфрам, молибден, цирконий, хром и др. В состав сплавов входят также и неметаллы - углерод, кремний, фосфор, сера, кислород, бор и др. По основному элементу сплав получает свое название. Некоторые сплавы имеют специальные названия. Например, сплавы меди с цинком называют латунями, меди с оловом - бронзами, железа с углеродом и кремнием - сталью (до 2 % С) и чугуном (2,0...6,0 % С и 1,5...2,0 % Si).

Кроме основы, в состав сплавов входят легирующие элементы и примеси. Современный уровень развития металлургии не позволяет получать совершенно чистые металлы без примесей. По этой причине даже сверхчистые металлы следует рассматривать в ряде случаев как сплавы.

Химический состав сплава регламентируется ГОСТом или техническими условиями. Содержание основного компонента в сплаве колеблется обычно в широких пределах. В меньших пределах допускается колебание легирующих элементов. Что касается примесей, то, как правило, указывается верхний предел содержания их в сплаве, превышение которого выводит сплав в брак.

По технологическому назначению сплавы можно подразделить на несколько групп: рабочие сплавы; лигатуры; вторичные сплавы.

Большинство лигатур и рабочих сплавов производят путем непосредственного сплавления компонентов. В качестве шихтовых материалов используют первичные металлы, отходы, вторичные металлы и сплавы, лигатуры. Основное достоинство способа - высокая производительность и возможность получения сплавов с низкой загрязненностью металлическими примесями и

неметаллическими включениями со строго определенным химическим составом и необходимыми физико-химическими и механическими свойствами.

Особенно важное значение в современной технике имеют черные (чугуны и стали) и цветные сплавы на основе алюминия, меди и цинка. Основными особенностями этих сплавов являются высокая удельная прочность, пластичность и коррозионная стойкость.

Технология получения различных сплавов также имеет свои особенности, обусловленные не только физико-химическими свойствами сплава, но и условиями эксплуатации литых изделий.

Качество приготовленного сплава зависит от многих факторов, среди которых первостепенное значение имеет выбор:

- оптимального соотношения компонентов сплава;
- плавильного агрегата, вида энергии и материала футеровки печи;
- шихтовых и вспомогательных материалов;
- способов предотвращения возможного загрязнения расплава, рафинирования, дегазации и раскисления расплава.

Порядок выполнения

Работа рассчитана на 4 ч.

1. Получить у преподавателя задание.
2. Изучить химический состав сплава и представить в виде таблицы с указанием содержания легирующих и примесных элементов в заданном сплаве в соответствии со стандартом.
3. Ознакомиться с физико-химическими и механическими свойствами сплава и представить соответствующие сведения в виде таблицы.
4. Определить тип диаграммы состояния, к которой относится сплав. В этой части работы необходимо сделать рисунок диаграммы состояния, обозначить на ней области существования фаз и дать их характеристику.
5. Определить и изучить фазовый состав и природу сплава в литом, модифицированном и термообработанном состояниях.

Необходимо указать:

- 1) элементы-модификаторы, применяемые для обработки данного сплава, способ ввода и их влияние на структуру затвердевшего металла;
- 2) режимы термической обработки, применяемые для данного сплава.

Следует определить, какие фазы составляют структуру сплава в литом, модифицированном и термообработанном состояниях, а также провести сравнительный анализ фазового состава сплава до и после обработки, если таковая предусмотрена для данного сплава.

6. Изучить физические, механические и технологические свойства сплава. Данные представить в виде таблиц в сопоставлении со свойствами других сплавов изучаемой группы (2 - 3 сплава). Из технологических свойств наибольший интерес представляют литейные свойства : жидкотекучесть, усадка линейная и объемная, пористость, склонность к появлению горячих трещин, газонасыщенность.

При характеристике механических свойств следует указать способы литья и режимы обработки сплава.

7. Пользуясь справочными материалами, показать области применения заданного сплава.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. В соответствии с порядком выполнения работы описание свойств и характеристик заданного сплава.

Контрольные вопросы

1. Какие элементы Периодической системы называют металлами?
2. Какими специфическими свойствами обладают цветные металлы?
3. Как в природе распространены цветные металлы?
4. Какие цветные металлы и почему определяют ускоренное развитие промышленности? Автомобилестроение? Аэрокосмическую отрасль?
5. Укажите основные задачи литейщиков в области получения цветных сплавов.
6. Дайте определение понятия «сплав».
7. Как разделяют сплавы по технологическому назначению?
8. Какие требования предъявляют к сплавам?
9. Какие компоненты сплавов называются легирующими и примесными?
10. К какому типу относится диаграмма состояния исследуемого сплава?
11. Как меняется структура металла при термообработке и модифицировании?
12. С какой целью производится модифицирование сплава?
13. Какими конкретными свойствами обусловлена область применения исследуемого сплава?

Работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Цель: оценить правильность разработанной технологии приготовления заданного сплава и исследовать его основные свойства в соответствии с технологическим процессом плавки.

Общие сведения

Для оценки правильности разработанной технологии приготовления заданного сплава проводятся исследования следующих свойств и характеристик:

- фактической плотности γ_f , г/см³;
- расчетной пористости П, %;
- балла пористости Б;
- твердости НВ;
- предела прочности на разрыв σ , МПа;
- жидкотекучести λ , мм;
- усадки У, %;
- размера макро- и микрозерна d_z , мм.

Результаты исследований заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Номер п/п	Исследуемый параметр	Состояние расплава	
		исходное	после физико-химической обработки

Определение фактической плотности сплава

Определение фактической плотности сплава проводят методом гидростатического взвешивания. Для этого небольшую порцию сплава заливают в металлическую изложницу. После охлаждения от нижней части полученного слитка отрезают образец высотой 10 мм, который взвешивают на воздухе и

в жидкости (чаще всего в дистиллированной воде), и определяют фактическую плотность по формуле

$$\gamma_{\phi} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{в}} - m_{\text{ж}}} \gamma_{\text{ж}},$$

где $m_{\text{в}}, m_{\text{ж}}$ - масса образца на воздухе и в жидкости соответственно, г; $\gamma_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, г/см³.

Определение пористости сплава

Для определения расчетной пористости сплава используют формулу

$$\Pi = \frac{\gamma_{\text{т}} - \gamma_{\phi}}{\gamma_{\text{т}}} 100 \%,$$

где $\gamma_{\text{т}}, \gamma_{\phi}$ - теоретическая и фактическая плотности сплава соответственно, г/см³.

Определение балла пористости

Для определения балла пористости необходимо отлить образцы, разрезать их по вертикальной плоскости, зачистить поверхность напильником и приготовить микрошлиф, после чего протравить (состав используемого травителя зависит от марки сплава).

После этого подсчитать число газовых пор, приходящихся на 1 см площади шлифа (на трех - пяти участках), после чего оценить диаметр пор и с помощью шкалы пористости ВИАМ (табл. 2.2) определить балл пористости.

Таблица 2.2

Балл пористости	Количество пор на 1 см	Диаметр пор, мм	Доля пор данного размера, %
1	До 5	До 0,1	90
		» 0,2	10
2	» 10	» 0,1	80
		» 0,2	20
3	» 15	» 0,3	80
		» 0,5	20
4	» 20	» 0,5	70
		» 0,1	30
5	» 25	» 0,5	60
		» 1,0	30
		Свыше 1,0	10

Определение твердости и предела прочности на разрыв

Твердость определяют на приборе ТШ-2. Испытания проводят по 3 - 4 раза на каждом образце. Диаметр каждого отпечатка измеряют по двум направлениям и определяют среднее значение.

Численное значение твердости сплава находят по формуле, кгс/мм,

$$HV = \frac{4P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)},$$

где P - нагрузка, кгс; D - диаметр шарика, мм ; d - диаметр отпечатка, мм .

Если твердость определяется не по методу Бринелля, то полученные величины необходимо перевести в значения НВ (т.е. в значения, соответствующие методу Бринелля), пользуясь соответствующей литературой .

Известно, что между твердостью по Бринеллю и пределом прочности пластичных деформируемых металлов существует ориентировочная зависимость $\sigma = kHV$, где k - коэффициент пропорциональности, равный для различных сплавов соответственно:

алюминиевых.....	0,37;
медных.....	0,55;
цинковых.....	0,41;
стали.....	0,35.

Определение жидкотекучести

Различают, как известно, нулевую, истинную, условно-истинную и практическую жидкотекучесть.

Жидкотекучесть и формозаполняемость сплавов определяют по технологическим пробам. Мера жидкотекучести во всех пробах - степень заполнения сплавом полости формы по длине. Мера относительной формозаполняемости - F :

$$F = \frac{\lambda - l}{\lambda} 100 \% ,$$

где l - длина пробы в конце потока, на которой наблюдается сужение сечения, мм; λ - абсолютная формозаполняемость, т.е. длина пробы без сужения сечения, мм.

Пробы по конструкции можно подразделить на три группы:

- постоянного сечения (спиральная, прутковая, лабиринтная, U-образная, винтовая);

- переменного сечения (клиновья, шариковья);
- комбинированные.

Перед заливкой форму необходимо установить строго горизонтально по уровню.

1. Спиральные пробы применяются обычно для определения жидкотекучести Cu, Al, Zn и ряда других сплавов. Спиральная проба (спираль Кери) дает сравнимые результаты жидкотекучести цветных металлов и сплавов при постоянных условиях заливки, т.е. необходимо соблюдать постоянство температуры перегрева металла.

2. Проба Нехендзи - Купцова

Численное значение жидкотекучести определяют по формуле

$$\lambda = l_1 + l_2 + \pi R + S.$$

Определение усадки

Усадку линейную, литейную и объемную определяют по образцам. Линейную (свободную) усадку можно определять на приборах конструкции И.Ф. Большакова с встроенными индикаторами или методом А.А. Бочвара, когда в соприкосновение с залитым прямым образцом устанавливается индикатор, фиксирующий изменение размера образца.

В простейшем варианте усадка определяется по изменению размера образца. При этом линейная усадка - это разница между линейными размерами полости в форме и размером полученной отливки после полного охлаждения:

$$\epsilon_{л} = \frac{l_{п.ф} - l_{отл}}{l_{отл}} 100 \%,$$

где $\epsilon_{л}$ - линейная усадка, %; $l_{п.ф}$ - линейный размер полости формы, мм; $l_{отл}$ - линейный размер отливки, мм.

Литейной усадкой называют разницу между линейными размерами модели $l_{мод}$ и отливки $l_{отл}$:

$$\epsilon_{лит} = \frac{l_{мод} - l_{отл}}{l_{отл}} 100 \%.$$

Литейная усадка отличается от линейной тем, что она зависит не только от свойств и состава металла и сплава, но также и от конструкции отливки, конструкции формы и некоторых других факторов.

Объемная усадка - разница между объемом полости формы и объемом отливки после ее полного охлаждения:

$$\varepsilon_v = \frac{V_{п.ф} - V_{отл}}{V_{отл}} 100 \%,$$

где ε_v - объемная усадка, %; $V_{п.ф}$ - объем полости формы, см³; $V_{отл}$ - объем отливки, см³.

Для определения объемной усадки применяют разнообразные технологические пробы. Чаще всего это конусные пробы различных размеров. При определении объемной усадки необходимо учитывать, что она складывается из усадки в жидком состоянии, усадки в температурном интервале $t_l - t_c$ и усадки в твердом состоянии. Поэтому необходимо различать изменение объема сплава в отливке и изменение объема самой отливки. При этом чем больше температурный интервал кристаллизации сплава, тем больше склонность сплава к образованию рассеянной пористости, а у сплавов с узким интервалом кристаллизации, у чистых и сплавов эвтектического состава - склонность к образованию концентрированной усадочной раковины. В то же время картина затвердевания в значительной степени зависит от интенсивности охлаждения. Поэтому для получения сравнимых результатов необходимо четко оговаривать именно этот параметр.

При выполнении работы в формы заготовленных проб необходимо залить приготовленный сплав (с небольшим перегревом). После охлаждения выбить пробы из формы и погружением в мензурку с водой узнать объем отливки ($V_{отл}$). После этого по приведенному выше выражению найти объемную усадку.

Определение размеров макро- и микрозерна

Для определения размера макрозерна необходимо надпилить и сломать образцы, а для определения микрозерна изготовить шлифы и протравить их. Затем определить размеры макро- и микрозерна одним из известных способов.

1. Способ Джеффриса. Число зерен (не менее 50) подсчитывают на матовом стекле микроскопа в пределах площади, ограниченной окружностью $\varnothing 79,8$ мм. При увеличении в 100 раз это соответствует площади на шлифе 0,5 мм. Общее число зерен подсчитывают по формуле

$$n_{100} = n + 0,5n_1,$$

где n - число зерен внутри круга; n_{100} - число зерен, пересекающихся окружностью.

Число зерен, приходящихся на 1 мм поверхности шлифа, равно

$$N = 2n_{100} .$$

Среднее число зерен N_{cp} находят, подсчитывая их число для трех характерных участков микрошлифа. Среднюю площадь зерен F_{cp} и их диаметр d_{cp} вычисляют по формулам

$$F_{cp} = 1/N_{cp} ; \quad d_{cp} = 1/N_{cp} .$$

2. Способ секущих. Величину зерен характеризуют средним условным диаметром, который определяют по изображению на матовом стекле микроскопа. С этой целью произвольно проводят несколько прямых линий так, чтобы каждая пересекала не менее 10 зерен. После этого подсчитывают число зерен, пересекаемых каждой линией. Затем делят суммарную длину всех линий на число зерен и, учитывая выбранное увеличение, получают средний условный диаметр зерна

$$d_{cp,y} = (\Sigma l / \Sigma N) q ,$$

где Σl - суммарная протяженность секущих линий, мм ; ΣN - суммарное количество зерен, попавших в пересечение, включая и те зерна, которые полностью не пересечены у концов линий ; q - увеличение.

Порядок выполнения

Работа рассчитана на 8 ч.

1. Подготовить образцы для испытаний.
2. Определить фактическую плотность и рассчитать пористость сплава.
3. Определить балл пористости.
4. Измерить твердость и вычислить предел прочности на разрыв.
5. Изготовить и изучить шлиф, зарисовать микроструктуру исходного и обработанного сплава.
6. Исследовать жидкотекучесть и усадку.
7. Определить размеры макро- и микрозерна.

Студенты, обучающиеся по ускоренному курсу, выполняют в данной работе только пункты задания 1 - 3.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание исследуемых свойств.
3. Расчеты фактической плотности, пористости, предела прочности на разрыв в сравнении с табличными данными (см. работу № 1).

4. Рисунки структуры сплава до и после соответствующей физико-химической обработки.

5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено различие фактической и теоретической плотности сплава?

2. В чем заключается причина возникновения пористости отливок?

3. Что показывает величина балла пористости?

4. Чем отличается линейная усадка от литейной?

5. Какие примеси оказывают наибольшее влияние на изменение микроструктуры?

Работа № 3

ВЫБОР ШИХТОВЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ШИХТЫ

Цель: выбрать шихтовые материалы для приготовления сплава заданного состава и рассчитать шихту одним из известных методов.

Общие сведения

Качество используемых в промышленности сплавов зависит, в первую очередь, от их химического состава. Для некоторых сплавов даже небольшие изменения состава сопровождаются большими отклонениями в заданных свойствах. Поэтому вопросам выбора шихтовых материалов должно уделяться серьезное внимание.

Чтобы правильно решить вопрос о предельно допустимых содержаниях примесных элементов в сплаве, следует учитывать требования, предъявляемые к нему в процессе службы изделий из этого материала, а также успешное проведение соответствующей обработки при изготовлении отливок.

Используемые шихтовые материалы должны быть такими по составу, при котором обеспечивается получение готового сплава с количеством примесей, не превышающим допустимые пределы.

При составлении шихты для сплава должны быть учтены помимо чисто экономических показателей физические и химические свойства легирую-

ших компонентов и основного металла. Цинк, например, при нагреве его выше температуры плавления сильно испаряется и энергично окисляется. Плавка алюминиевых сплавов в шамотных тиглях, содержащих кремнезем, сопровождается восстановлением последнего и переходом кремния в сплав, а алюминий, перейдя в оксиды, шлакуется имеющимся кремнеземом. Поэтому плавка алюминия в шамотных тиглях без специальной обработки поверхности тигля недопустима.

Если не учитывать поведение составляющих шихты в процессе приготовления сплавов, то можно получить состав их, в большей или меньшей мере отличающийся от расчетного. Снижение угара при плавке может быть осуществлено за счет применения лигатур, которое обусловлено также необходимостью получать сплав заданного состава.

Это особенно важно в тех случаях, когда легирующая добавка вводится в малых количествах и когда колебания в составе некоторых компонентов ограничиваются узкими пределами. Во всех случаях для получения сплава заданного состава необходимо применять исходные материалы с известным химическим составом.

Угар металлов при плавке сплавов зависит от многих факторов: продолжительности плавки, типа применяемых плавильных агрегатов, тщательности предохранения сплава от печной атмосферы, температуры перегрева, состава шихтовых материалов и т.д.

Содержание каждого компонента сплава в шихте рассчитывается с учетом его угара в ходе плавки по формуле

$$C_{\text{иш}} = (C_{\text{ic}} - U_i) / (100 - U_i), \quad (3.1)$$

где C_{ic} - заданное содержание данного компонента в сплаве, % ; U_i - угар данного компонента при плавке, % .

При определении количества компонента сплава, вносимого с возвратом собственного производства, используют формулу

$$C_i = (K_{\text{всп}} C_{\text{ивсп}} - K_{yi}) / 100, \quad (3.2)$$

где $K_{\text{всп}}$ - количество возврата собственного производства, % ; $C_{\text{ивсп}}$ - содержание компонента сплава в возврате собственного производства, % ; K_{yi} - коэффициент усвоения компонента при плавке

$$K_{yi} = (100 - U_i) / 100. \quad (3.3)$$

Количество остальных компонентов шихты (кроме возврата собственного производства) определяют по формуле

$$K_j = (C_{\text{ic}} - C_i) 100 / (C_{ij} - K_{yi}), \quad (3.4)$$

где K_j - расчетное количество шихтового материала, % ; C_{ic} - заданное содержание данного компонента в сплаве, % ; C_i - количество компонента

сплава, уже внесенного в расплав, например, возвратом собственного производства, % ; C_{ij} - содержание данного компонента сплава в шихтовом материале, %.

Исходные данные при расчете:

- а) химический состав сплава по ГОСТу или ТУ;
- б) оптимальный или расчетный состав сплава;
- в) химический состав исходных шихтовых материалов;
- г) угар отдельных составляющих сплава в процессе его изготовления.

Расчет шихты ведут, как правило, на 100 кг сплава. Это значительно упрощает расчет. При расчете следует брать средний химический состав на данный сплав или оптимальный химический состав в пределах ГОСТа и ТУ, при котором сплав имеет наилучшие свойства.

Расчеты шихты могут проводиться арифметическим, аналитическим или графическим методами, в том числе с использованием ПЭВМ.

Порядок выполнения

Работа рассчитана на 8 ч.

1. Выбрать плавильный агрегат для получения заданного сплава. При выборе плавильного агрегата для плавки металлов и сплавов следует учитывать возможность получения наиболее качественного металла с минимальными потерями его составляющих. Выбор плавильного агрегата необходимо осуществлять, руководствуясь следующими критериями:

- масштаб производства;
- требования, предъявляемые к качеству выплавляемого сплава;
- экономичность приготовления сплава;
- технологические характеристики оборудования.

2. Определить тип огнеупорных материалов для изготовления футеровки плавильного агрегата или материал тигля и указать его состав и свойства, учитывая следующие требования:

- температуру плавления;
- жароупорность и стойкость против печной атмосферы;
- химическую стойкость в отношении расплавов и флюсов;
- коэффициент теплового линейного расширения;
- механическую прочность при нормальной и высокой температурах;

3. Установить процент величины угара элементов при получении сплава в зависимости от применяемого плавильного оборудования и шихтовых материалов (табл. 3.1, 3.2).

4. Составить баланс металла для выплавки данного сплава.

5. Определить набор марок и установить химический состав шихтовых материалов.

6. Ознакомиться с существующими методами расчета шихты.

7. Рассчитать шихту одним из существующих методов, включая проверку на содержание наиболее вредных примесей, например таких, как железо в силиумах. Контроль содержания других примесей осуществлять косвенно, путем учета суммарного количества примесей.

Таблица 3.1

Элемент	Сплавы			
	алюминиевые		магниевые	
	Тип плавильной печи			
	тигельная	отражательная	тигельная	отражательная
Li	до 10	до 15	до 15	до 20
Be	2-3	5-7	2-3	7-20
B	2-3	3-5	-	-
Na	2-3	3-5	2-4	4-6
Mg	2-3	3-5	1,0-1,5	1,5-2,0
Al	0,8-1,0	2-3	0,5-1,0	1,0-1,5
Si	1,0-1,5	2-5	0,2-1,0	2,0-3,0
K	1-2/2-3	3,0-55	2,0-3,0	3,5-5,0
Ti	1,0-1,5	2-5	1,5-5,0	2-5
V	0,5-1,0	1-2	2-4	2-5
Cr	0,5-1,0	1-2	-	-
Mn	1,0-1,5	1-2	0,2-1,0	2
Fe	0,5-1,0	2-5	до 1,0	до 1,5
Ni	0,5-1	0,5-1,0	до 1,0	до 1,5
Cu	0,5-1,0	1,0-1,2	1,0-1,5	1-2
Zn	0,5-2,0	2-3	0,5-2,0	2-3
Y	-	-	до 1	-
Zr	1-2	3-55	1-2	3-5
Mo	0,5-1,0	0,5-2,0	-	-
Cd	до 2	до 5	до 2	до 5
Sn	0,2-0,5	1,0-1,5	до 0,5	1,5-2,0
La	-	-	до 8	-
Ce	0,5-1,0	1-2	до 5	до 10
Мишметалл	1-3	3-5	до 5	до 10
Nd	-	-	5	-

Таблица 3.2

Элемент	Сплавы				
	титановые	медные		цинковые	
	Тип плавильной печи				
	тигельная	тигельная	отражательная	тигельная	отражательная
Be	-	2-3	3-5	-	-
Na	-	2-3	3-5	-	-
Mg	-	3-5	5-10	до 2	3-5
Al	2,0-2,5	1,0-1,5	2-3	0,5-1,0	2-3
Si	15-20	до 1	1-5	до 1,5	2-3
K	-	1,5-2,5	2-4	-	-
Ti	0,1-0,2	до 5	до 10	до 1,5	2-5
V	до 0,1	-	-	-	-
Cr	15-20	2-3	3-5	-	-
Mn	10-15	1,0-1,5	2-3	1-2	2-3
Fe	10-15	0,5-1,0	0,5-2,0	-	-
Ni	-	0,5-1,0	1,0-1,5	до 1	до 1,5
Cu	-	0,3-1,0	1,0-1,5	до 2,0	1,0-1,5
Zn	-	2-3	5-10	1,5-2,0	3-5
Zr	до 0,1	3-10	5-15	-	-
Mo	до 0,1	-	-	-	-
Cd	-	6-20	15-40	2-3	3-5
Sn	20-30	0,5-1,0	1,0-1,5	до 0,5	1,0-2,5

Арифметический метод расчета шихты

Данный метод расчета применяется при определении количества компонентов шихты с известным количеством возвратов и некоторых других шихтовых материалов. Расчетное содержание того или иного элемента в шихте определяется по формуле (3.1) или (3.2). Определив среднее содержание элемента в шихте, рассчитывают процентное содержание составляющих шихты.

Пример расчета шихты с применением лигатуры: задано приготовить 30000 кг сплава Д16. Средний химический состав сплава - 4,4 % Cu, 1,5 % Mg, 0,6 % Mn, 93,5 % Al.

Исходные данные:

- 1) алюминий чушковый марки А0;
- 2) двойная лигатура Al - Mg марки АМг10, содержащая 10 % Mg и 90 % Al;

- 3) двойная лигатура Al - Cu марки AM50, содержащая 50 % Cu и 50 % Al;
 4) тройная лигатура Al - Cu - Mn марки AMЦ 40-10, содержащая 40 % Cu, 10 % Mn, 50 % Al;
 5) плавка будет производиться в отражательной пламенной печи. Угар компонентов: 1,5 % Al, 2 % Cu, 1,5% Mn, 4 % Mg.

Методика расчета

1. Определяем состав металлической завалки:

- а) магнезия $(1,5 \cdot 100)/(100 - 4) = 1,562$ кг;
 б) меди $(4,4 \cdot 100)/(100 - 2) = 4,490$ кг;
 в) марганца $(0,6 \cdot 100)/(100 - 1,5) = 0,609$ кг;
 г) алюминия $(93,5 \cdot 100)/(100 - 1,5) = 94,924$ кг.

2. Определяем необходимое количество лигатур:

- а) тройной лигатуры Al - Cu - Mn. Расчет ведется по марганцу
 $(0,609 \cdot 100)/10 = 6,09$ кг.

С лигатурой вносят:

- марганца 0,609 кг;
 меди $(6,09 \cdot 4,0)/10 = 2,436$ кг;
 алюминия $6,09 - (0,609 + 2,436) = 3,045$ кг;

- б) двойной лигатуры Al - Cu. Расчет ведется по меди
 $[(4,490 - 2,436) \cdot 100] / 50 = 4,108$ кг.

С лигатурой вносят: 2,054 кг меди и 2,054 кг алюминия;

- в) двойной лигатуры Al - Mg. Расчет ведется по магнезию
 $(1,562 \cdot 100)/10 = 15,620$ кг.

С лигатурой вносят: магнезия 1,562 кг;

$$\text{алюминия } 15,62 - 1,562 = 14,058 \text{ кг};$$

г) определяем суммарное количество каждого компонента, вносимого лигатурами:

- меди $2,436 + 2,054 = 4,490$ кг;
 марганца 0,609 кг;
 магнезия 1,56 кг;
 алюминия $3,045 + 2,054 + 14,058 = 19,157$ кг.

3. Определяем количество алюминия, которое необходимо ввести в чистом виде:

$$94,924 - 19,057 = 75,867 \text{ кг.}$$

4. Определяем массу каждой составляющей шихты на одну плавку сплава (30 000 кг):

а) тройной лигатуры

$$(30000 \cdot 6,09)/100 = 1827 \text{ кг};$$

б) двойной лигатуры

$$(30000 \cdot 4,108)/100 = 1232 \text{ кг};$$

в) двойной лигатуры

$$(30000 \cdot 15,62)/100 = 4686 \text{ кг};$$

г) алюминия

$$(30000 \cdot 75,867)/100 = 22,760 \text{ кг}.$$

Таким образом, шихта будет состоять из следующих компонентов :

Алюминия марки А0	22760 кг
Тройной лигатуры АМЦ 40-10	1827 кг
Двойной лигатуры АМ 50	1232 кг
Двойной лигатуры АМг 10	4686 кг
Всего	30505 кг.

Графический метод расчета шихты

Графический расчет шихты применяется при сравнительно малом количестве шихтовых материалов. Для большого количества компонентов этот метод применяется лишь в качестве проверки по нескольким элементам. Метод достаточно прост и удобен, но вследствие сравнительно малой точности применим только для расчета шихт сплавов с большими перепадами верхних и нижних пределов содержания основных элементов. К графическим методам расчета шихт относятся :

- метод параллельных координат;
- метод построения треугольника;
- метод построения многоугольника.

Пример расчета шихты методом параллельных координат по одному элементу сплава шихты из двух компонентов. Требуется приготовить латунь Л70 в количестве 1500 кг из отходов латуней Л90 и Л63. Их химический состав : Л70 Cu = 69 - 72%, Zn = 28 - 31 %, для расчета принят оптимальный состав с Cu = 71%, Zn = 29 % ; Л90 - Cu = 88 % , Zn = 12 % ; Л63 - Cu = 62 %, Zn = 33 %. Плавка производится в канальной индукционной печи ИЛК - 1,6. Угар при компактной шихте Zn = 3,0 %, Cu = 0,3 %. С учетом угара в 100 кг сплава должно быть 71,21 кг меди; 29,9 кг цинка.

Построение графика параллельных координат (см. рисунок).

От точки прямой АВ опускается перпендикуляр А1, равный недостатку содержания цинка в отходах Л90 по сравнению со сплавом Л70 (17,9 кг) и от точки В перпендикуляр В2, равный избытку цинка в Л63 по сравнению с Л70

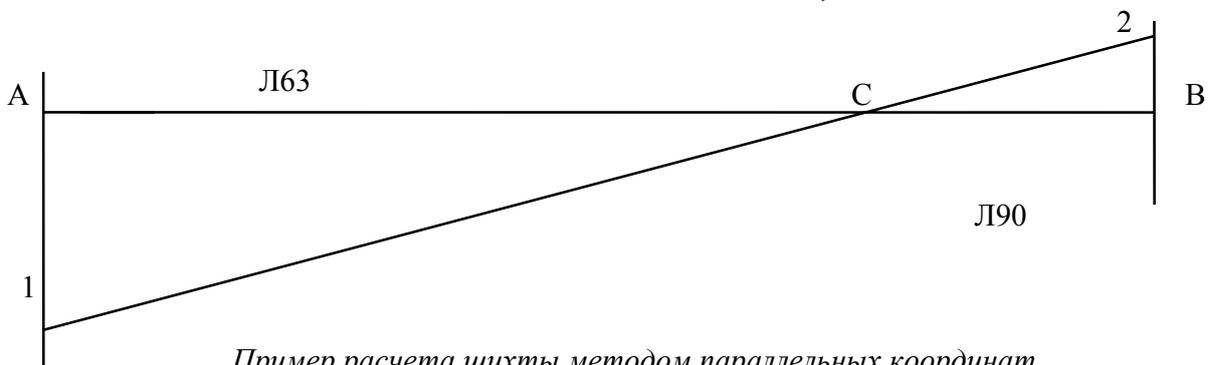
(3,1 кг). Точка С прямой 1 - 2 делит АВ на отрезки в масштабе : АС = 84 кг и СВ = 16 кг, соответствующие количеству латуни Л63 = 84 кг и Л90 = 16 кг в шихте.

Проверка на содержание:

$$Zn = (84 \cdot 33 + 16 \cdot 12) / 100 = 29,7 \text{ кг} - \text{это близко к заданному} .$$

Составляем шихтовую карту.

Шихтовые материалы :	Количество, кг:
1. Отходы Л63	1260,0
2. Отходы Л90	240,0
В с е г о	1500,0



Пример расчета шихты методом параллельных координат

Расчет шихты с применением ЭВМ

"Ручной" расчет шихты становится громоздким и утомительным, если число шихтовых материалов превышает семь-восемь. Кроме того, в таком расчете не участвует оценка стоимости шихтовых материалов. В связи с этим прибегают к расчету шихты на ЭВМ. Использование ЭВМ позволяет найти оптимальный набор шихтовых материалов по стоимости. Эта задача обычно решается методами линейного программирования. Балансовые соотношения по расчетным элементам и ограничения по количеству шихтовых материалов при линейном программировании могут быть заданы как в виде равенств, так и неравенств. При этом нижний и верхний пределы по содержанию элементов устанавливают, исходя из регламентируемого состава сплава с учетом отклонений, обусловленных колебанием содержания легирующих элементов.

Ограничения по числу компонентов шихты также задают в виде равенств или неравенств. Кроме того, в число расчетных уравнений включают целевую функцию, которая является математическим выражением общей стоимости шихты:

$$Ц = Ц_x/100 + Ц_y/100 + Ц_z/100 + Ц_l/100 \Rightarrow \min ,$$

где C - стоимость шихты для выплавки 1 т сплава, руб./т; $C_x \dots C_l$ - цены компонентов шихты, руб./т; $x \dots l$ - масса каждого шихтового материала, необходимая для выплавки 100 кг сплава.

Таким образом, расчет оптимального состава шихты заключается в нахождении минимального значения целевой функции C_{\min} при условиях-ограничениях, которые представляют собой систему балансовых соотношений по всем расчетным легирующим компонентам сплава и примесям, по видам шихтовых материалов (собственные возвраты, отходы со стороны, свежие и вторичные металлы и сплавы) и по общему количеству шихты.

Практически задача сводится к введению в ЭВМ целевой функции и системы балансовых соотношений в натуральной форме или в виде матрицы из коэффициентов целевой функции и балансовых соотношений и подаче команды на расчет.

Аналитический метод расчета шихты

Этот метод применяется при большом количестве компонентов шихты для сложных по составу сплавов.

Заключается он в составлении нескольких уравнений, которые решаются совместно. Количество уравнений должно быть равно числу неизвестных. В этом методе также наиболее удобно вести расчет на 100 кг сплава. Если количество каждого компонента в шихте обозначить, например, x , y , z и т.д., то в качестве первого уравнения может быть использована сумма этих составляющих, которая для долей должна быть равна единице, для процентов - 100 %, а при расчете на 100 кг сплава – 100 кг. В тех случаях, когда все возвраты (литники, брак, сплески и др.) полностью используются на переплав, сумма всех составляющих может быть приравнена к сумме выхода годного и угара. При этом удается сократить число расчетных уравнений и число неизвестных. Для упрочнения обычно расчет производится по основным элементам. В тех случаях, когда большое количество примесей, вносимых компонентами, может изменить химический состав сплава, рекомендуется предварительно производить расчет на неоднородность. Рассмотрим пример аналитического расчета шихты сплава из возвратов и отходов.

Предлагается рассчитать шихту для получения сплава Бр05Ц5С5 из возвратов Бр05Ц5С5 и отходов Бр010Ц2, БррС30 и латуни ЛЦ32.

Плавка производится в индукционной тигельной печи при некомпактной шихте. Угар элементов Sn - 1 %; Zn - 4 %; Pb - 1,5 %; Cu - 1 %. Содержание элементов в сплаве для расчета принято среднее: Sn - 5 %; Zn - 5 %; Pb - 5 %; Cu - 85 %.

В 100 кг сплава должно содержаться 5 кг олова, 5 кг цинка, 5 кг свинца и 85 кг меди. Количество этих элементов должно быть увеличено с учетом уга-ра при плавке: Sn - 5,05 кг; Zn - 5,2 кг; Pb - 5,08 кг; Cu - 85,85 кг. Химиче-ский состав исходных шихтовых материалов и принятые обозначения приве-дены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Наименование материала	Обозначение	Элементы, %			
		Sn	Zn	Pb	Cu
Бр05Ц5С5	X_1	4,0	4,0	6,0	86,0
Бр010Ц2	X_2	10,0	2,5	-	87,5
БрС30	X_3	-	-	30,0	70,0
ЛЦ32	X_4	-	30,0	-	70,0

Принято, что сумма исходных шихтовых материалов должна составить 100 кг.

Следующие уравнения составляются балансом по элементам:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 101,18 \quad (3.5)$$

Баланс по олову

$$X_1 \frac{4}{100} + X_2 \frac{10}{100} = 5,05 \quad (3.6)$$

Баланс по цинку

$$X_1 \frac{4}{100} + X_2 \frac{2,5}{100} + X_4 \frac{30}{100} = 5,2 \quad (3.7)$$

Баланс по свинцу

$$X_1 \frac{6}{100} + X_3 \frac{30}{100} = 5,08 \quad (3.8)$$

При решении системы уравнений определяются неизвестные:

$$X_1 = 64,67 \text{ кг}; X_2 = 24,63 \text{ кг}; X_3 = 3,99 \text{ кг}; X_4 = 8,97 \text{ кг}.$$

Производится проверка по уравнению (3.5) и др.:

$$64,67 + 24,63 + 3,99 + 8,97 = 101,18.$$

Проверка по олову

$$\frac{64,67 \cdot 4}{100} + \frac{24,63 \cdot 10}{100} = 5,05.$$

Проверка по цинку

$$\frac{64,67 \cdot 4}{100} + \frac{24,63 \cdot 2,5}{100} + \frac{6,64 \cdot 30}{100} = 5,195.$$

Проверка по свинцу

$$\frac{64,67 \cdot 6}{100} + \frac{3,99 \cdot 30}{100} = 5,085.$$

Составляется шихтовая карта для получения сплава Бр05Ц5С5 в печи ИЛТ-1.2.

Шихтовые материалы:	Количество, кг:
1. Возврат Бр05Ц5С5	776,04
2. Отходы Бр010Ц2	295,56
3. Отходы БрС30	47,88
4. Отходы ЛЦ32	107,64
Всего	1227,12

Расчет шихты на ПЭВМ. Требуется рассчитать шихту для получения сплава марки АЛ4-1 в индукционной тигельной печи (шихта - компактная). Химический состав сплава и шихтовых материалов, а также необходимые для составления матрицы данные приведены в табл. 3.4., 3.5.

Для сплава АЛ4-1 основными контролируруемыми примесями являются Fe, Cu и Zn. Содержание основных и примесных элементов в лигатурах Al - Mg - Mn, Al - Mn, Al - Mg и Al - Ti определяется исходя из содержания этих элементов в лигатурах, а также химического состава первичных металлов, используемых для приготовления лигатур (см. табл. 3.5) и определяется по формуле $\mathcal{E}_{\text{лиг}} = (\sum x_i y_i) / 100 \%$, где $\mathcal{E}_{\text{лиг}}$ - фактическое содержание элемента в лигатуре, %; x_i - содержание элемента в первичном металле, %; y_i - регламентированное содержание элемента в лигатуре, %.

Матрица для поиска оптимального состава шихты с использованием симплексного метода представлена в табл. 3.6.

Расчет шихты ведут, используя программу SHIXTA. Сначала задают размеры матрицы m и n (в данном примере $m = n = 11$), затем вводят верхний и нижний пределы содержания основы сплава и легирующих элементов, предельно допустимые содержания примесных элементов и саму матрицу.

После выполнения расчета получены следующие значения переменных X_i :

$$\begin{array}{lll} X_1 = 0,15178; & X_5 = 0; & X_9 = 0,02456; \\ X_2 = 0; & X_6 = 0,00091; & X_{10} = 0; \\ X_3 = 0,65504; & X_7 = 0,01546; & X_{11} = 0. \\ X_4 = 0,17766; & X_8 = 0; & \end{array}$$

Таблица 3.4

Показатели	Содержание элементов, %											Обо- значе- ние	Цена, руб./т*
	основных					примесных							
	Mg	Si	Mn	Ti	Al	Fe	Cu	Zn	Σ				
Хим. состав сплава, %	0,17-0,30	8,0-10,5	0,2-0,5	0,08-0,15	88,55-91,55	0,30	0,1000	0,30	0,30	0,60	-	-	
Угар элементов, %	3	1,5	1,5	1,5	1	-	-	-	-	-	-	-	
Хим.состав сплава с учетом угара, %	0,175-0,309	8,122-10,660	0,203-0,508	0,081-0,152	89,444-92,475	0,30	0,100	0,30	0,30	0,60	-	-	
Алюминий марки А85	-	0,060	-	0,010	99,850	0,08	0,010	0,08	0,02	0,15	X ₁	985	
Алюминий марки А5	-	0,300	-	0,030	99,500	0,30	0,020	0,30	0,06	0,50	X ₂	780	
Силумин марки СИЛО	-	13,000	0,050	0,050	89,520	0,20	0,030	0,20	0,08	0,48	X ₃	905	
Силумин марки СИЛ1	-	12,000	0,050	0,150	86,640	0,50	0,030	0,50	0,08	1,36	X ₄	805	
Магний марки Мг90	99,900	0,010	0,040	-	0,020	0,04	0,005	0,04	-	0,10	X ₅	1130	
Титановая губка марки ТГ100	-	0,020	-	99,690	-	0,07	-	0,07	-	0,31	X ₆	2640	
Лигатура А1-Mg-Mn	19,980	0,072	9,658	0,014	69,864	0,55	0,011	0,55	-	0,51	X ₇	1048	
Лигатура А1-Mg	9,990	0,091	0,004	0,018	89,822	0,11	0,009	0,11	-	0,19	X ₈	1010	
Лигатура А1-Mn	-	0,090	9,650	0,018	89,820	0,34	0,012	0,34	-	0,53	X ₉	996	
Лигатура А1-Ti	-	0,096	-	5,004	94,810	0,12	0,009	0,12	-	0,21	X ₁₀	1080	
Сплав АК2	0,200	9,500	0,200	-	87,700	0,80	1,000	0,80	0,50	2,40	X ₁₁	750	

* Цены на 1 января 1991 года.

Таблица 3.5

Марка металла, лигатуры	Содержание элементов, %											Цена, руб./т*
	основных						примесных					
	Mg	Si	Mn	Ti	Al	Fe	Cu	Zn	Σ			
Алюминий марки А8	-	0,100	-	0,020	99,800	0,12	0,010	-	0,20	895		
Магний марки Мг90	99,90	0,010	0,040	-	0,020	0,04	0,005	-	0,10	1130		
Марганец Мр1	-	-	96,50	-	-	2,30	0,030	-	3,50	1000		
Титановая губка марки ТГ100	-	0,020	-	99,69	-	0,07	-	-	0,31	2640		
Лигатура Al-Mg-Mn (70-20-10)	19,98	0,072	9,658	0,014	69,864	0,55	0,011	-	0,51	1048		
Лигатура Al-Mg (90-10)	9,99	0,091	0,004	0,018	89,822	0,11	0,009	-	0,19	1010		
Лигатура Al-Mg-Mn (70-20-10)	-	0,090	9,650	0,018	89,820	0,34	0,012	-	0,53	996		
Лигатура Al-Ti (95-5)	-	0,096	-	5,004	94,810	0,12	0,009	-	0,21	1080		

* Цены на 1 января 1991 года

Таблица 3.6

m/n	Э _н	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	Э _в
1	0,175	0	0	0	0	99,90	0	19,980	9,990	0	0	0,2	0,309
2	8,122	0,06	0,30	13,00	12,00	0,010	0,02	0,072	0,091	0,090	0,096	9,5	10,660
3	0,203	0	0	0,05	0,50	0,040	0	9,658	0,004	9,650	0	0,2	0,508
4	0,081	0,01	0,03	0,05	0,15	0	99,69	0,014	0,018	0,018	0,004	0	0,152
5	89,444	99,85	99,50	89,52	86,64	0,020	0	69,894	89,822	89,820	94,810	87,7	92,475
6	-	0,08	0,30	0,20	0,50	0,040	0,07	0,550	0,110	0,340	0,120	0,8	0,300
7	-	0,01	0,02	0,03	0,03	0,005	0	0,011	0,009	0,012	0,009	1,0	0,100
8	-	0,02	0,06	0,08	0,08	0	0	0	0	0	0	0,5	0,300
9	-	0,15	0,50	0,48	1,36	0,100	0,39	0,510	0,190	0,530	0,210	2,4	0,600
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,047
11	-	985	780	905	805	1130	2640	1048	1010	996	1080	750	-

Примечание. Э_н - нижний предел содержания элементов;Э_в - верхний предел содержания элементов.

Т.е. шихта для получения сплава АЛ4-1 состоит из 6 компонентов, взятых в количестве, кг:

Алюминий марки А85	15,178
Силумин марки СИЛ00	65,504
Силумин марки СИЛ1	17,766
Титановая губка марки ТГ100	0,091
Лигатура Al - Mg - Mn	1,546
Лигатура Al - Mn	2,456
Итого	102,541

Стоимость компонентов шихты для приготовления сплава АЛ4-1 составляет 928,41 руб./т.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание существующих методов расчета шихты.
3. Обоснование выбора типа плавильного агрегата.
4. Расчеты шихты различными методами.
5. Сопоставить расчет на ПЭВМ с аналитическим методом расчета.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета шихты применяются на практике?
2. С какой целью выполняется расчет шихты?
3. Чем обусловлен выбор исходных шихтовых материалов?
4. Каким образом тип плавильного агрегата оказывает влияние на результаты расчета?
5. С какой целью учитывается тип огнеупорных материалов, применяемых при изготовлении футеровки плавильного агрегата?
6. Каковы преимущества и недостатки различных методов расчета шихты?
7. Для чего выполняется проверка химического состава шихты по примесным элементам?
8. Чем обусловлено применение расчета шихты на ЭВМ?
9. По каким параметрам выполняется оптимизация?
10. При каких условиях расчет на ЭВМ не может быть выполнен корректно?

Работа № 4

ПЛАВКА И РАФИНИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель: изучение технологии плавки алюминиевых сплавов и различные способы рафинирования.

Общие сведения

Для большинства алюминиевых литейных сплавов основные этапы технологии приготовления включают пуск печи, составление шихты из расчета оптимального состава, загрузку и расплавление ее. Шихта загружается в определенном порядке: алюминий, силумины, лигатуры, магний.

Для сплавов типа АЛ8 технология изготовления имеет ряд особенностей и осуществляется двумя способами:

А) с добавками бериллия (0,02 - 0,07 %) и титана (0,02 - 0,07 %), с применением рафинирующего флюса (60 % карналлита + 40 % фтористого кальция) в количестве 2 % от массы шихты;

Б) без добавок бериллия и титана, под защитным флюсом - карналлитом (56 % хлористого магния и 44 % хлористого калия).

Плавка по способу «А» ведется в следующем порядке:

1. Загрузка чушкового алюминия и лигатур, содержащих бериллий и титан.
2. Засыпка рафинирующего флюса по расплавлению первой порции шихты на поверхности ванны.
3. Загрузка крупных отходов сплава АЛ8. Введение чушкового магния по расплавлению шихты под слой флюса.
4. Интенсивное замешивание кусков флюса в поверхностный слой жидкого сплава до появления зеркальной поверхности и несмачивания кусков флюса расплавом.
5. Разливка сплава по формам.

По способу «Б» шихта плавится в следующем порядке:

1. Расплавление чушкового алюминия.
2. Засыпка поверхности расплава флюсом карналлитом слоем 5 - 10 мм.
3. Загрузка крупных отходов сплава АЛ8.
4. Введение кускового магния клещами при температуре сплава 690 - 700 °С.
5. Осторожное перемешивание сплава.
6. Разливка сплава по формам при температуре 660 - 670 °С.

В данной работе алюминиевые сплавы готовятся в шамотно-графитовом тигле электропечи сопротивления.

Порядок выполнения

Работа рассчитана на 8 ч.

1. Равномерно прогреть тигель до 900 °С. Взвесить шихтовые материалы в соответствии с расчетом для одной из заданных марок сплавов, указанных в табл. 4.1. Для всех сплавов кроме АЛ8 загрузить шихту в следующем порядке:

- 1) чушковые металлы;
- 2) крупные отходы;
- 3) тугоплавкие лигатуры;
- 4) возврат.

2. По расплавлению шихты добавить легкоплавкие металлические присадки. Крупную шихту укладывать аккуратно во избежание повреждения тигля. При введении в жидкий сплав присадок легкоплавких металлов соблюдать меры предосторожности, исключая выплески и разбрызгивание жидкого металла. Замерить температуру расплава термомпарой погружения.

Плавку шихты для сплава АЛ8 провести с учетом особенностей, указанных во вводной части данной работы. В плавке использовать лигатуру Al-Ti и Al-Be. Для легирования можно использовать фторберрилат натрия (Na_2BeF_4), количество которого должно быть равно 0,6 % массы металла. При этом конечное содержание бериллия в расплаве составит 0,003 - 0,005 %.

3. Установить степень газонасыщенности и загрязненности исходного расплава, для чего залить расплав в формы-изложницы.

4. Травление структурной пробы ведут в растворе Келлера (20 мл HNO_3 + 20 мл HCl + 5 мл HF + 55 мл H_2O) или в растворе (20 - 30 %) CuCl_2 + (70 - 80 %) H_2O . Затем пробы осветляют концентрированной азотной кислотой.

При определении газовой пористости следует пользоваться методикой, представленной в ГОСТ 1583-93. Контроль пористости проводить визуально, невооруженным глазом. Можно пользоваться оптическими приборами с увеличением до 10 раз. Степень пористости определить по табличным данным в работе № 2.

Провести излом структурной пробы и визуально (можно с помощью лупы) оценить степень загрязненности сплава (посчитать на площади шлифа число локальных выделений неметаллических включений). Определить литейные свойства.

5. Провести дегазацию расплава одним из способов, указанных в табл. 4.2 (по согласованию с преподавателем). Навеску дегазера вводить на 2/3 глубины расплава при 720 - 740 °С с помощью «колокольчика». Выдержать расплав в течение 7 - 10 мин и удалить с его поверхности шлак. Залить повторно пробы и провести их испытания.

Таблица 4.1

Сплав	Основные компоненты, % (Al - остальное)										Примесей, не более, %									
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Zn	Ti	Mg	Si	Mn	Cu	Sn	Pb	Ni	Zr	Zn				
АЛ2	-	10,0-13,0	-	-	-	-	-	0,1	-	0,5	0,6	-	-	-	-	0,3				
АЛ4	0,17-0,3	8,0-10,5	0,2-0,5	-	-	-	-	0,1 Be	-	-	0,3	0,01	0,05	0,15Ti	-	0,3				
АЛ5	0,35-0,6	4,5-5,5	-	1,0-1,5	-	-	-	0,1 Be	-	-	-	0,01	-	0,15Ti	-	0,3				
АЛ7	-	-	-	4,0-5,0	-	-	-	0,03	1,2	0,5	-	0,01	0,01	0,2Ti	-	0,2				
АЛ8	9,5-11,5	-	-	-	-	-	-	0,07 Be	0,3	0,1	0,3	-	-	0,07Ti	0,2	0,1				
АЛ9	0,2-0,4	6,0-8,0	-	-	-	-	-	0,1 Be	-	0,1	0,2	0,05	0,05	0,15Ti	-	0,3				
АЛ10	0,1-0,3	6,0-8,0	-	-	-	7,0-12,0	-	0,1 Be	-	0,5	0,2	0,05	0,05	0,15Ti	-	0,3				
АЛ22	10,5-13,0	0,8-1,2	-	0,03-0,07 Be	-	-	0,05-0,15	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1				
АЛ24	1,5-2,0	-	0,2-0,5	-	-	23,5-4,5	0,1-0,2	0,1 Be	0,3	-	0,2	-	-	-	0,1	-				

Таблица 4.2

Номер дегазера	Состав, %	Дегазирующая присадка	Количество, % от массы шихты
1	MnCl ₂ , 100	Хлористый марганец	0,3 - 0,4
2	ZnCl ₂ , 100	Хлористый цинк	0,3 - 0,4
3	C ₂ Cl ₆ , 100	Гексахлорэтан	0,2 - 0,3
4	(S, до 85) + (Na ₂ CO ₃ , до 75) + + (спец. добавки, до 50)	Таблетка дегазирующая	0,05 - 0,2

6. Провести рафинирование расплава одним из способов, указанных в табл. 4.3 (по согласованию с преподавателем). Флюс засыпать на поверхность расплава и интенсивно замешать в его объем. Температура рафинирования 720 - 740 °С. Выдержать расплав 7 - 10 мин и удалить с его поверхности шлак. Залить еще раз пробы и провести их испытание.

Таблица 4.3

Номер флюса	Состав, %	Рафинирующая присадка	Количество, % от массы шихты
1	KCl, 47 + NaCl, 30 + Na ₃ AlF ₆ , 23	Тройной	0,5 - 1
2	KCl, 10 + NaCl, 50 + Na ₃ AlF ₆ , 10 + NaF, 30	Универсальный	1 - 1,5
3	(Na ₃ AlF ₆ , до 50) + (NaCl, до 50) + (KCl, до 50) + (спец. доб., до 50)	Покровно-рафинирующий	0,1 - 1
4	Зерна из шамота, магнезита, графита и др. материалов	Зернистый фильтр	-
5	ПКФ	Пенокерамический фильтр	-

7. Результаты изучения дегазеров, рафинирующих флюсов и других представить в табл. 4.4, а результаты изучения технологических проб представить в табл. 4.5 и в виде рисунков и эскизов.

Таблица 4.4

Реагент для дегазации, рафинирования	Вид реагента (цвет, состояние)	Запах реагента	Механизм действия реагента

Таблица 4.5

Вид обработки	Литейные свойства			Число пор, шт, на 1 см ² шлифа размером, мм			Балл пористости	Число НМВ на 1 см ² , шт.
	λ, мм	Е _т , %	V _{ус.} , %	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1		

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет шихты для приготовления заданного сплава. Характеристики шихты и сплава.
3. Краткое описание технологии плавки. Характеристики дегазеров, аффинирующих реагентов. Особенности параметров дегазации и рафинирования.
4. Основные методики оценки газосодержания и загрязненности неметаллическими включениями.
5. Результаты исследований.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Чем и почему загрязнены алюминиевые расплавы?
2. Что такое дегазация расплавов? Механизм дегазации.
3. Какими способами осуществляют дегазацию расплавов?
4. Что такое рафинирование расплавов? Механизм рафинирования.
5. Какими способами осуществляют рафинирование расплавов?
6. Какой расход реагентов на тонну расплава?
7. Какой из способов дегазации (рафинирования) наиболее эффективен?
8. При каких температурах (и почему) проводят очистку расплавов?
9. Как влияет степень чистоты расплавов на литейные свойства?
10. Объяснить методику определения балла пористости.
11. В чем особенности и преимущества способов фильтрации?

Работа № 5

ПЛАВКА И МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНОВ

Цель: приготовление силумина; изучение различных способов модифицирования и методов оценки их эффективности.

Общие сведения

Силумины (сплавы алюминия с кремнием - групп 1 и 2, ГОСТ 1583-93) относятся к наиболее распространенным алюминиевым сплавам из-за хорошего сочетания технологических и эксплуатационных свойств.

Однако при литье силуминов в формы с невысокой скоростью охлаждения (песчаные и керамические формы, толстостенные отливки в кокиль) в структуре формируются грубые выделения кристаллов кремния в эвтектике, что не

обеспечивает необходимый уровень механических свойств. Грубая форма кремния придает сплаву низкие пластические свойства, его разрушение идет по хрупкой фазе кремния при низком относительном удлинении 1 - 3 %.

Поэтому силумины, содержащие более 6 % кремния (АК12, АК9ч, АК7 и др.), в целях измельчения выделений эвтектического кремния подвергают модифицированию введением в расплав поверхностно-активных элементов.

Для модифицирования макроструктуры и дендритов алюминия в расплавы вводят элементы, образующие с компонентами сплава (основой сплава) тугоплавкие, преимущественно инерметаллидные соединения типа $TiAl_3$, $ZrAl_3$, TiV и др.

В результате модифицирования эвтектики поверхностно-активными элементами пластинчатая форма кристаллов кремния переходит в компактно-дисперсную. Помимо влияния модификатора, дисперсность кремния в эвтектике определяется скоростью охлаждения сплава.

В производственных условиях для модифицирования микроструктуры силуминов используют различные модификаторы, приведенные в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Но- мер моди- фика- тора	Состав модификатора	Кол-во модифи- катора, %	Расчетное коли- чество модифи- цирующего эле- мента, %	Темпе- ратура моди- фициро- вания, °С
1	Лигатура 95Al+5Ti	1-1,5	0,02-0,05Ti	720-750
2	Металлический натрий-100	0,05-0,10	0,05-0,10Na	750-780
3	Флюс-67NaF, 33NaCl	1-2	0,05-0,10Na	780-810
4	Флюс-62,5NaCl, 25NaF, 12,5KCl	1-2	0,05-0,10Na	730-750
5	Флюс-50NaCl, 30NaF, 10KCl, 10Na ₃ AlF ₆	0,5-1	0,05-0,10Na	720-750
6	Лигатура 90Al+10Sr	0,6-0,8	0,06-0,08Sr	750-780

Порядок выполнения

Работа рассчитана на 8 ч.

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, изучить инструкцию по технике безопасности.

2. По заданию преподавателя провести расчет шихты для приготовления силумина (типа АК12, АК9ч, АК7). Оптимальное содержание компонентов, % (по массе).

3. Провести загрузку шихты в подготовительный тигель и расплавление шихтовых материалов в заданной последовательности: чушковый силумин; чушковый алюминий; отходы собственного производства; лигатуры; чушко-

вый магний. Зафиксировать время плавки. Контролировать температуру металла в печи (700 - 730 °С). Магний вводить в подогретом состоянии с помощью «колокольчика» или шумовки. После расплавления магния произвести тщательное перемешивание. При введении магния необходимо следить за тем, чтобы он не всплывал на поверхность.

4. После ввода всех компонентов выдержать расплав 5 - 10 мин, провести рафинирование (работа № 4) и тщательно снять с поверхности оксидные пленки.

5. При 710 - 720 °С залить из тигля пробы в песчаную и металлическую формы и зафиксировать секундомером время охлаждения с момента заливки до полного затвердевания.

6. С учетом оставшегося расплава рассчитать количество модификатора (флюса, лигатуры) и подготовить его для введения в расплав.

7. Нагреть расплав до 730 - 740 °С и провести модифицирование по указанию преподавателя (засыпка флюса, выдержка, замешивание, выдержка).

8. При 710 - 720 °С залить пробу Нехендзи - Купцова, пробы в песчаную и металлическую форм, зафиксировать в них время охлаждения расплава.

9. Надпилить и сломать образцы. Описать вид поверхности излома проб, залитых в песчаную и металлическую формы (до и после модифицирования).

10. Определить литейные свойства исходного и модифицированного силумина.

11. Изготовить (по возможности микрошлифы) и протравить их 0,5%-ным раствором плавиковой кислоты. На микроскопе при увеличении 200 методом случайных секущих определить длину кристаллов кремния и расстояние между частицами кремния в эвтектике. Зарисовать микроструктуру сплавов до и после модифицирования.

12. Зарисовать макроструктуру отливок до и после модифицирования с указанием размеров макрозерен.

Результаты изучения технологических проб и полученные данные представить в виде эскизов и табл. 5.2. Привести известные значения механических свойств до и после модифицирования.

Таблица 5.2

Сплав	Вид модификатора	Кол-во модификатора, % от массы шихты	Скорость охлаждения, °С/с	Вид структуры (размеры зерен)		Литейные свойства		
				макро-	микро-	λ , мм	E_t , %	V_{yc} , %

Содержание отчета

1. Расчет шихты для приготовления силуминов.
2. Краткое описание теории и технологии модифицирования силуминов.
3. Описание условий проведения экспериментов (составы сплавов, лигатур, флюсов, температурные режимы плавки и модифицирования расплава).
4. Таблицы, рисунки структур (макро-, микро-) сплава до и после модифицирования.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое модифицирование? Цели модифицирования.
2. В чем состоит механизм (суть) действия модификаторов разного типа? Флюс. Лигатура.
3. Какие и почему применяют модификаторы для модифицирования силуминов?
4. Назовите составы модифицирующих лигатур и флюсов.
5. Какое количество модифицирующих флюсов и при каких температурах вводят в расплав для модифицирования?
6. Назовите параметры модифицирования лигатурами и флюсами.
7. Какова продолжительность сохранения эффекта модифицирования разными модификаторами?
8. Как оценивают эффект модифицирования по состоянию микроструктуры?
9. Опишите микроструктуру немодифицированного и модифицированного силумина.
10. Какие свойства силумина улучшаются в результате модифицирования?

Работа № 6

ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Общие сведения

Это технологический процесс изготовления отливок, связанных с заливкой под действием гравитационных сил жидкого сплава в форму, изготовленную из металла.

Высокая прочность материала кокиля позволяет выполнять рабочие полости формы с более точными стабильными размерами и соответственно получать отливки из черных и цветных металлов массой до 5000 кг по классам точности 4...6 ГОСТ 26645-85 с минимальной толщиной стенки 3 мм и шероховатостью поверхности $R_z = 20 \dots 160$ мкм.

Литье в кокиль повышает механические свойства, плотность и герметичность отливок, снижает расход металла на прибыли, улучшает санитарно-гигиенические условия труда.

Классификация кокилей приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Классификационный признак		Тип кокиля	Изготовление отливки
Плоскость разъема	Горизонтальная	Вытряхной (неразъемный)	Массивные, простой конфигурации. Сложные, требующие нескольких плоскостей разъема и изготавливаемые в песчаных стержнях
		С одним горизонтальным разъемом	Небольшой высоты
		С несколькими горизонтальными разъемами	Сложной конфигурации, с выступами на внешней поверхности при значительной высоте
		С криволинейным разъемом	Сложной конфигурации
		С «книжным» разъемом	Имеющие форму тел вращения
	Вертикальная	С вертикальными разъемами	Сложной конфигурации, требующие применения нескольких отъемных частей
		С вертикальными и горизонтальными разъемами	Сложной конфигурации
Состояние рабочей поверхности	Без покрытий	Простые массивные при мелкосерийном производстве	
	С тонкослойным периодически наносимым покрытием	Основной номенклатуры	
	С постоянным теплозащитным покрытием (плазменным, анодированным)	Из сплавов с высокой температурой плавления	
	С разовым облицовочным покрытием	Из сплавов, склонных к большой усадке и трещинообразованию при массовом производстве	
Применяемые стержни	С металлическими стержнями	Простой конфигурации с внутренними полостями	
	С песчаными стержнями	Тонкостенные с внутренними полостями сложной конфигурации	

Для изготовления кокилей чаще всего используют серый чугун с ферритоперлитной структурой без включений свободного цемента. Стержни могут быть металлическими (стальными, чугунными), а также выполняться из песчаных смесей. Это определяется возможностью их извлечения из полости отливки.

В табл. 6.2 и 6.3 приведены рекомендуемые рабочие температуры кокилей и температуры заливки ряда алюминиевых и магниевых сплавов. Температура заливки оловянных бронз 1080...1200 °С.

Таблица 6.2

Сплавы	Толщина стенки отливки, мм	Температура кокиля, °С	
		начальная	конечная
Алюминиевые	До 6	150...250	300...470
	Свыше 6	120...250	200...350
Магниевые	До 6	200...250	350...450
	Свыше 6	200...250	250...300
Медные: - латуни - бронзы	Любая	До 100	150...250 50...150

Таблица 6.3

Сплав	Температура заливки, °С	Сплав	Температура заливки, °С
AK12(АЛ2)	720...800	МЛ3	700...800
AK9ч(АЛ4)	700...820	МЛ4	780...800
AK5M(АЛ5)	720...780	МЛ5	710...800
AK7ч(АЛ9)	700...800	МЛ6	700...800
AK7Ц9(АЛ11)	700...750	МЛ8	720...780
AMr5K(АЛ13)	700...750	МЛ9	710...800
AM5(АЛ19)	700...750	МЛ10	710...800
Amr10(АЛ27)	700...750	МЛ12	720...780

Минимально допустимые толщины стенок отливок из разных сплавов приведены в табл. 6.4.

С уменьшением толщины стенки отливки рабочая температура кокиля повышается.

С целью предотвращения приваривания заливаемого металла к рабочей поверхности кокиля, уменьшения на него тепловой нагрузки, а также регулирования скорости охлаждения расплава и отливки используют специальные огнеупорные краски, которые наносятся на кокиль с помощью кисти или пульверизатора.

Литье в кокиль легко поддается комплексной механизации и автоматизации. Основным технологическим оборудованием при литье в кокиль являются однопозиционные, двухпозиционные (челночные) кокильные машины и многопозиционные карусели.

Таблица 6.4

Материал отливки	Параметр стенки отливки	
	Площадь поверхности, см ²	Минимальная толщина, мм
Алюминиевые сплавы	100...250	2,2...4,0
	250...900	2,5...4,5
	Свыше 900	3,5...5,5
Магниеые сплавы	До 30	3
Бронзы и латуни	До 30	4...6

Методика расчета технологических параметров литья легких сплавов

Толщины стенок кокиля δ_k в зависимости от толщины стенки отливки δ_o выбирают по графикам (ГОСТ 16237-70 и 21093-75), представленным на рисунке.

Толщину стенок малотеплонагруженных кокилей определяют по графической зависимости (*a*) по ГОСТ 16237-70. Для кокилей из стали и высокопрочного чугуна толщину стенки кокиля принимают ближе к нижней границе заштрихованной области, для кокилей из серого чугуна - ближе к верхней границе.

Для высокотеплонагруженных кокилей при определении их стенки используют графическую зависимость (*б*) ГОСТ 21093-75.

Минимально допустимую линейную скорость V_{\min} подъема металла определяют по формуле, мм/с,

$$V_{\min} = \left(\frac{h_o}{1,28\delta_o + 5,9} \right)^{1,25}, \quad (6.1)$$

где h_o - высота отливки, мм; δ_o - толщина стенки отливки, мм.

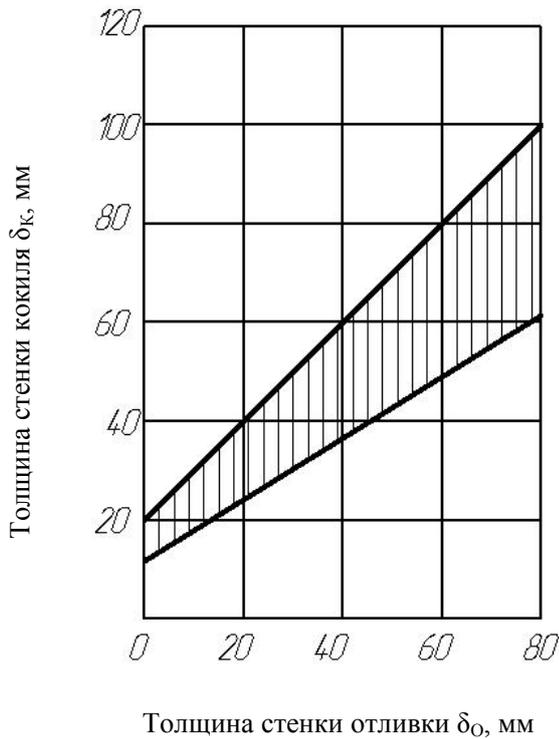
По значениям V_{\min} определяется минимально допустимое время заливки τ_3 кокиля металлом, с,

$$\tau_3 = \frac{h_o}{V_{\min}}. \quad (6.2)$$

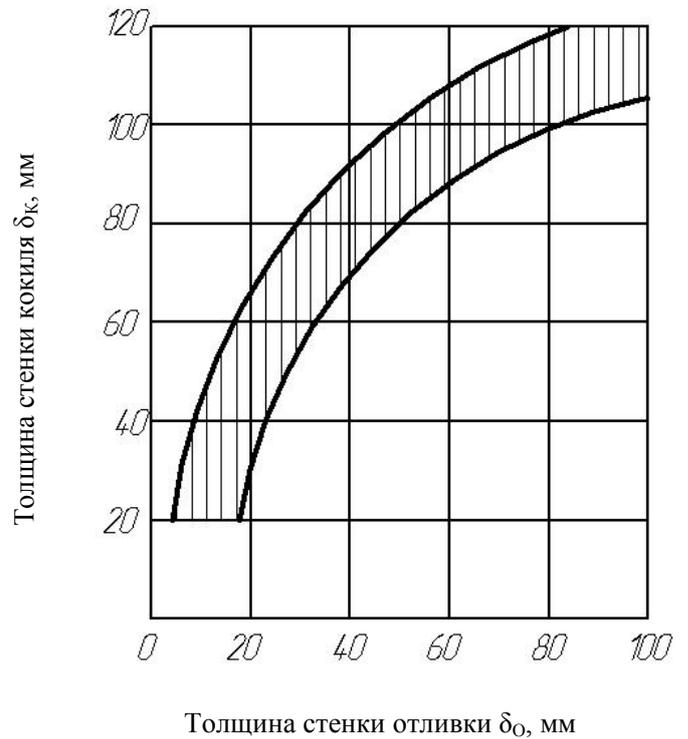
Тогда объемная скорость заливки, см³/с,

$$Q = \frac{m_o}{\rho \tau_3}, \quad (6.3)$$

где ρ - плотность жидкого металла, г/см³; m_o - масса отливки с прибылями, г.



а)



б)

Диаграммы для выбора толщины стенки кокиля:
 а - по ГОСТ 16237-70 для малотеплонагруженных кокилей;
 б - по ГОСТ 21093-75 для высокотеплонагруженных кокилей

Площадь сечения стояка определяют по формулам, см²:

- для алюминиевых сплавов

$$F_C = \frac{m_o}{\mu \tau_3 0,1 \sqrt{H_p}}, \quad (6.4)$$

- для магниевых сплавов

$$F_C = \frac{m_o}{\mu \tau_3 0,07 \sqrt{H_p}}, \quad (6.5)$$

где m_o - масса отливок с прибылями, кг; μ - коэффициент расхода, равный 0,65...0,75 для алюминиевых сплавов и 0,7...0,8 - для магниевых; H_p - расчетный гидравлический напор расплава, см.

Напор H_p находят по формуле

$$H_p = H_{CT} - \frac{h^2}{2h_o}, \quad (6.6)$$

где H_{CT} - высота стояка от уровня металла в чаше или в воронке стояка до питателя, см; h - высота части отливки от питателя до ее самой высокой точки, см; h_o - общая высота отливки, см.

При заливке сверху, когда $h = 0$, то $H_p = H_{CT}$; при сифонной заливке (снизу), когда $h = h_o$, $H_p = H_{CT} - h_o/2$; при подводе металла во разьему формы, когда $h = 0,5h_o$, $H_p = H_{CT} - h_o/8$.

При литье в кокиль алюминиевых и магниевых сплавов применяют расширяющиеся литниковые системы, в которых узким сечением является стояк. Соотношение площадей поперечного сечения элементов литниковой системы (стояка - F_{CT} , коллектора (литникового хода, шлакоуловителя) - F_K , питателя - $F_{П}$) для алюминиевых и магниевых отливок даны в табл. 6.5. Расплав к отливке может подводиться через несколько питателей.

Таблица 6.5

Масса отливок, кг		$F_{CT} : F_K : F_{П}$
алюминиевых	магниевых	
До 5	До 3,5	1:2:2, 1:2:3
5...10	3,5...7	1:2:2, 1:2:3, 1:2:4, 1:3:3
10...20	7...14	1:2:3, 1:2:4, 1:3:3, 1:3:4
20...40	14...28	1:2:4, 1:3:3, 1:3:4, 1:4:4
40...70	28...50	1:2:4, 1:3:4, 1:4:4, 1:4:5
70...150	50...100	1:3:4, 1:3:5, 1:4:4, 1:4:5
Свыше 150	Свыше 100	1:4:4, 1:4:5, 1:4:6 и др.

Выбрав по данным табл. 6.5 соотношения F_{CT} , F_K и $F_{П}$, можно определить площади их сечений.

Предельную толщину питателя $h_{П}$ находят по формуле

$$h_{П} \leq \frac{Q^2}{F_K^2 g}, \quad (6.7)$$

где g - ускорение свободного падения, $см/с^2$.

Толщину коллектора определяют из соотношения, см,

$$h_K = 3,25 h_{П}. \quad (6.8)$$

Такое соотношение h_K и $h_{П}$ обеспечивает эффективное шлакозадержание в коллекторе.

Следует отметить, что расчет элементов литниково-питающей системы при литье медных сплавов производится по методике, принятой для чугунного литья. Основные разновидности литниковых систем для литья в кокиль приведены в табл. 6.6.

Приближенно время затвердевания стенки отливки τ определяют по уравнению, с,

$$\tau = R_O^2 / K^2, \quad (6.9)$$

где R_O - приведенная толщина стенки отливки, мм; K - коэффициент затвердевания сплава, $мм/с^{1/2}$.

При литье в чугунные и стальные кокили для алюминиевых сплавов $K = 1,2 \dots 1,32$; для магниевых - $K = 1,5 \dots 1,62$; для цинковых - $K = 1,07 \dots 1,13$ и для титановых - $K = 1,2 \text{ мм/с}^{1/2}$.

Таблица 6.6

Отличительный признак	Разновидности системы
Место подвода расплава к рабочей полости формы	Верхняя, боковая, нижняя (сифонная), ярусная
Конфигурация стояка	С прямым, наклонным и прогнутым стояками
Форма поперечного сечения стояка	С круглым, овальным и многогранным стояками
Форма поперечного сечения питателя	С круглым, овальным, трапециевидным, щелевым и сигментным питателями
Наличие фильтровальной сетки	С фильтровальной сеткой и без сетки
Изменяемость во времени гидравлических характеристик	С постоянными (стационарная) и переменными (нестационарная) гидравлическими характеристиками

Приведенную толщину стенки отливки находят по выражению, мм,

$$R_0 = \delta_0 \frac{b}{2(\delta_0 + b)}, \quad (6.10)$$

где δ_0 - средняя толщина стенки отливки в выбранном сечении, мм; b - длина стенки отливки в форме в выбранном сечении, мм.

Варианты контрольных заданий

В соответствии с вариантами заданий, представленными в табл. 6.7, рассчитать минимально допустимую скорость подъема металла в форме V_{\min} , время заливки формы металлом τ_3 , площадь сечения стояка F_C , коллектора (шлаковика) F_K , питателя F_{Π} , толщину питателя h_{Π} и толщину коллектора h_K . Найти усредненную толщину стенки кокиля. Указать рабочую температуру кокиля T_K и температуру заливки сплава T_3 . Определить время затвердевания отливки τ .

Пример выполнения задания (вариант «Пример»).

По формуле (6.1) находим минимально допустимую линейную скорость подъема металла в форме:

$$V_{\min} = \left(\frac{300}{1,28 \cdot 11 + 5,9} \right)^{1,25} = 29,6 \text{ мм/с} = 2,96 \text{ см/с}.$$

Время заливки формы определяем по формуле (6.2):

$$\tau_3 = 300/29,6 = 10,1 \text{ с.}$$

Объемная скорость заливки по выражению (6.3) будет составлять

$$Q = \frac{12,3}{2,35 \cdot 10^3 \cdot 10,1} = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} = 520 \text{ см}^3/\text{с.}$$

Площадь указанного сечения (сечение стояка) рассчитываем по уравнению (6.4):

$$F_C = \frac{12,3}{0,7 \cdot 10,1 \cdot 0,1 \sqrt{H_P}} = \frac{17,4}{\sqrt{H_P}} \text{ см}^2.$$

Здесь по выражению (6.6) $H_P = H_{CT} - h_O/8 = 20 - 30/8 = 16,25 \text{ см.}$

$$\text{Отсюда } F_C = \frac{17,4}{\sqrt{16,25}} = 4,32 \text{ см}^2.$$

$$\text{Диаметр стояка } D_C = \sqrt{\frac{4F_C}{\pi}} = 2,35 \text{ см.}$$

Из табл. 6.5 находим F_K и F_{II} по соотношению $F_C : F_K : F_{II} = 1 : 3 : 3$. Следовательно,

$$F_K = F_C = 12,96 \text{ см}^2 (\sim 13 \text{ см}^2);$$

$$F_{II} = 3F_C = 12,96 \text{ см}^2 (\sim 13 \text{ см}^2).$$

По формуле (6.7) находим предельно допустимую толщину питателя

$$h_{II} \leq \frac{520^2}{13^2 \cdot 981} = 1,6 \text{ см.}$$

Принимаем толщину питателя $h_{II} = 1,0 \text{ см}$, соизмеримую с толщиной стенки.

По уравнению (6.8) устанавливаем толщину коллектора

$$h_K = 3,25 \cdot 1,0 = 3,25 \text{ см.}$$

По данным рис. 6.1 определяем толщину стенки малотеплонагруженного кокиля из серого чугуна. Принимаем толщину стенки кокиля $\delta_K = 25 \text{ мм}$.

Из данных табл. 6.2 и 6.3 находим рабочую температуру кокиля, равную $T_K = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, и температуру заливки сплава $T_3 = 750 \text{ }^\circ\text{C}$.

Определяем по формуле (6.9) приведенную толщину отливки

$$R_O = \frac{11 \cdot 250}{2(11 + 250)} = 5,27 \text{ мм.}$$

По формуле (6.9) рассчитываем приближенное время затвердевания стенки отливки

$$\tau = 5,27^2 / 1,25^2 = 17,8 \text{ с.}$$

Таблица 6.7

Номер варианта	Вид сплава	Масса отливки с прибыльями (m_0), кг	Средняя толщина стенки отливки (δ_0), мм	Длина стенки отливки (b), мм	Общая высота отливки (h_0), мм	Высота отливки от уровня питателя (h), мм	Высота стояка ($H_{ст}$), мм	Вид подвода питателя	Вид кокиля: теплонагруженный (+), нетеплонагруженный (-)
Пример	Алюминиевый АК12(АЛ2)	12,3	11,0	250	300	150	200	По разьему	(-)
3.1	АК9ч(АЛ4)	11,7	9,3	208	260	250	300	Снизу	(-)
3.2	АК5М(АЛ5)	7,3	8,1	178	200	185	250	Снизу	(-)
3.3	АК7ч(АЛ9)	15,4	14,0	221	280	266	320	Снизу	(+)
3.4	АК7Ц9(АЛ11)	10,5	6,2	205	240	90	150	По разьему	(-)
3.5	АМг5К(АЛ13)	8,6	8,7	156	170	70	120	По разьему	(+)
3.6	АМ5 (АЛ19)	13,7	7,3	270	350	350	390	Снизу	(-)
3.7	АМг10(АЛ27)	6,0	5,2	96	125	70	100	По разьему	(-)
3.8	АК9ч(АЛ4)	16,0	9,7	342	440	420	460	Снизу	(+)
3.9	АК5М(АЛ5)	4,9	4,5	148	165	75	110	По разьему	(-)
3.10	АК7ч(АЛ9)	35,6	19,6	436	520	500	560	Снизу	(+)
3.11	АК7Ц9(АЛ11)	9,8	5,9	205	320	170	200	По разьему	(-)
3.12	АМг5К(АЛ13)	2,7	3,0	140	155	150	190	Снизу	(-)

3.13	AM5 (AJI19)	26,3	15,3	264	380	350	430	Снизу	(+)
3.14	AMr10(AJI27)	5,4	5,0	150	160	85	120	По разъему	(-)
3.15	AK9ч(AJI4)	22,4	12,5	292	350	320	400	Снизу	(+)
3.16	MJI3	15,5	10,5	276	330	325	375	Снизу	(+)
3.17	MJI4	3,8	5,2	123	150	80	135	По разъему	(-)
3.18	MJI5	11,2	8,8	372	410	390	460	Снизу	(-)
3.19	MJI6	9,5	7,5	198	290	290	340	Снизу	(-)
3.20	MJI8	18,2	12,7	406	445	270	320	По разъему	(+)
3.21	MJI9	5,1	5,5	210	265	260	300	Снизу	(-)
3.22	MJI10	6,4	4,9	173	190	185	235	Снизу	(-)
3.23	MJI12	2,6	3,1	130	136	55	100	По разъему	(-)
3.24	MJI3	5,9	4,7	180	210	210	250	Снизу	(-)
3.25	MJI4	3,9	3,8	152	160	90	130	По Разъему	(-)
3.26	MJI5	2,8	3,3	109	125	75	125	По разъему	(-)
3.27	MJI6	14,3	9,6	305	340	310	385	Снизу	(+)
3.28	MJI8	8,1	5,9	254	285	140	185	По Разъему	(-)
3.29	MJI9	7,3	4,4	209	238	230	275	Снизу	(-)
3.30	MJI10	3,1	3,5	101	125	45	90	По разъему	(-)
3.31	MJI12	8,6	5,00	287	310	310	350	Снизу	(+)

Работа № 7

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Общие сведения

При данном способе литья металлическая пресс-форма заполняется расплавом под действием внешних сил, создаваемых прессующим поршнем, и затвердевание отливки протекает под избыточным давлением. Данные особенности позволяют получать качественные отливки, которые отличает низкая шероховатость поверхности и высокая размерная точность, т.е. максимальное приближение к готовой детали.

Литьем под давлением изготавливают отливки для различных отраслей промышленности из цинковых, алюминиевых, магниевых, медных, свинцовых сплавов массой от нескольких граммов до 30 кг по классам точности 1...3 ГОСТ 26645-85 и с минимальной толщиной стенки 0,5 мм.

Процесс реализуется на машинах с холодными горизонтальной или вертикальной камерами прессования, а также на машинах с горячей камерой прессования. Наибольшее применение находят машины с горизонтальной холодной камерой прессования как более простые и надежные, отличающиеся высокой производительностью (табл. 7.1).

Качество отливок определяется технологическими параметрами, которые зависят от типа отливки, вида сплава, марки используемых машин. К важнейшим параметрам технологического процесса относятся:

- скорость впуска металла в пресс-форму;
- продолжительность заполнения пресс-форм металлом;
- усилие и скорость прессования;
- усилие запирающего пресс-формы;
- минимально-допустимый диаметр камеры прессования;
- площадь питателей и вентиляционных каналов в пресс-форме;
- температурные режимы литья.

Таблица 7.1

Параметр	Марки машин				
	71A106	711A07	711B08	711B09	711A10
Масса* дозы алюминиевого сплава, кг	1,2	2,1	3,6	6,0	10,0
Рабочий объем каме- ры прессования, м ³	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,53 \cdot 10^{-3}$	$2,55 \cdot 10^{-3}$	$4,26 \cdot 10^{-3}$
Усиление запира- ния пресс-формы, кН	1100	1600	2500	4000	6300
Наибольшее усилие прессования, кН	130	200	300	450	670
Давление прессова- ния, МПа:					
- наибольшее	180	197	189	189	200
- наименьшее	40	40	42	42	32
Усилие выталкива- ния отливки, кН	90	112	150	240	280
Диаметр камеры прессования, м:					
- наибольший	$70 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$95 \cdot 10^{-3}$	$95 \cdot 10^{-3}$	$110 \cdot 10^{-3}$
- наименьший	$30 \cdot 10^{-3}$	$36 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$
Наибольшая ско- рость прессования, м/с	5	5	5	7	6

* Масса заливаемого металла включает его расход на отливку, промывники, пита-
тель, литниковый ход и пресс-остаток.

Рекомендуемые температурные режимы при литье под давлением приве-
дены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Сплавы	Температура, °С,			
	сплава при заливке	пресс-формы при толщине стенок отливки, мм		
		1,2...1,5	2...3	5...8
Алюминиевые с кремнием	600...700	250...275	180...200	120...160
Алюминиевые с магнием	650...720	260...285	200...220	140...180
Магниевые	660...770	260...285	200...220	140...180
Медные	950...1060	325...350	399...325	250...275
Цинковые	420...500	200...220	175...200	120...150

Рекомендуемые минимальные давления прессования (МПа) представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Сплавы	Отливки с толщиной стенки							
	до 3 мм				свыше 3 мм			
	Простые	Коробчатые	Сложные	Особо сложные	Простые	Коробчатые	Сложные	Особо сложные
Алюминиевые	35	40	45	50	60	60	65	80
Магниевые	40	45	55	60	70	75	80	100
Медные	45	50	65	70	80	85	95	130
Цинковые	30	35	40	45	55	55	60	75

Методика расчета технологических параметров литья

Площадь поперечного сечения питателя f_{Π} для одной отливки определяют по формуле, m^2 ,

$$f_{\Pi} = \frac{1,12(m_0 + m_{\text{ПР}})}{\rho K_1 K_2 K_3 K_4}, \quad (7.1)$$

где m_0 - масса отливки, кг; $m_{\text{ПР}}$ - масса промывников, кг; ρ - плотность сплава, $кг/м^3$; K_1, K_2, K_3, K_4 - технологические коэффициенты.

Для расчетов по формуле (7.1) используют технологические коэффициенты, характеризующие тип отливки - K_1 , давление в камере прессования машины - K_2 , вид сплава - K_3 , толщину стенки отливки - K_4 , которые имеют следующие значения:

Тип отливки:	Значения K_1 :
Тонкостенная простой конфигурации	0,75
Коробчатого сечения	1,0
Сложной конфигурации	1,5
Особо сложной конфигурации с тонкими ребрами	2,0

Давление в камере прессования, МПа: (см. табл. 7.3)	Значения K_2 :
До 20	2,50
21...40	2,00
41...60	1,75
61...80	1,50
81...100	1,25
Более 100	1,00

Вид сплавов:	Значения K_3 :
Алюминиевые	0,90
Магниевые	0,85
Медные	0,75
Цинковые	1,00
Свинцово-оловянные	1,10

Средняя толщина стенки отливки, мм:	Значения K_4 :
До 1,0	0,50
1,1...2,0	0,75
2,1...4,0	1,00
4,1...6,0	1,15
6,1...9,0	1,30
Свыше 9,0	1,50

Необходимо также выдерживать определенное соотношение толщин питателя $\delta_{\text{П}}$, прямоугольного сечения и стенки отливки $\delta_{\text{О}}$.

Для алюминиевых и магниевых сплавов $\delta_{\text{П}} : \delta_{\text{О}} \geq 0,8 \dots 0,4$; а для цинковых и медных $\delta_{\text{П}} : \delta_{\text{О}} \geq 0,9 \dots 0,5$.

Масса промывников составляет 15...25 % от массы отливки.

Площадь литникового хода $f_{\text{Л}}$, соединяющего камеру прессования с питателем, находится по формуле

$$f_{\text{Л}} = (1,2 \dots 1,5) \Sigma f_{\text{П}}. \quad (7.2)$$

Толщина щели $h_{\text{Щ}}$, соединяющей отливку с промывником, определяется по выражению

$$h_{\text{Щ}} = 0,7 \delta_{\text{П}}. \quad (7.3)$$

Толщина промывника h устанавливается соотношением

$$h = (1,5 \dots 2,0) \delta_{\text{О}}. \quad (7.4)$$

Скорость впуска $V_{\text{ВП}}$ металла через питатель в полость пресс-формы определяется выражением, м/с,

$$V_{\text{ВП}} = 15 K_1 K_2. \quad (7.5)$$

Продолжительность заполнения τ_3 полости пресс-формы металлом находится по формуле, с,

$$\tau_3 = 0,06 K_3 K_4. \quad (7.6)$$

Через скорость впуска определяется средняя скорость прессования $V_{\text{ПР}}$, т.е. скорость движения поршня в камере прессования, и она рассчитывается по формуле, м/с,

$$V_{\text{ПР}} = \frac{4V_{\text{ВП}} \Sigma f_{\text{П}}}{\pi D_{\text{ПР}}^2}, \quad (7.7)$$

где Σf_{Π} - суммарное значение площади сечения питателей, м²; $D_{\text{ПР}}$ - диаметр камеры прессования, м.

Минимальный допустимый диаметр камеры прессования находится из выражения, м,

$$D_{\text{ПР}}^{\text{min}} \geq 1,13 \sqrt{\frac{n N_{\text{ПР}} \Sigma F_{\text{O}}}{N_{\text{ЗАП}}}}, \quad (7.8)$$

где $N_{\text{ПР}}$ - усилие прессования по паспорту машины, кН; $N_{\text{ЗАП}}$ - усилие запира-ния пресс-формы по паспорту машины, кН (значения $N_{\text{ПР}}$ и $N_{\text{ЗАП}}$ для разных марок машин приведены в табл. 7.1); ΣF_{O} - площадь проекции отливки, про-мывников, литниковой системы, пресс-остатка на плоскость разъема пресс-формы, м²; n - динамический коэффициент, зависящий от скорости прессова-ния и равный в среднем 1,2...1,5.

Для получения плотных отливок давление в камере прессования должно быть не меньше величин, приведенных в табл. 7.3.

Максимально возможное давление прессования зависит от усилия запи-рания пресс-формы и диаметра камеры прессования.

Раскрытие пресс-формы при прессовании исключается, если усилие за-пира-ния $N_{\text{ЗАП}}$ превышает усилие раскрытия, кН,

$$N_{\text{ЗАП}} \geq P_{\text{ПР}} F_{\text{O}}, \quad (7.9)$$

где $P_{\text{ПР}}$ - рабочее давление прессования, кПа.

Обычно $N_{\text{ЗАП}}$ превышает усилие раскрытия ($P_{\text{ПР}} \Sigma F_{\text{O}}$) на 10...20 %.

При заполнении полости пресс-формы металлом воздух и газы удаляют-ся из нее через специальные вентиляционные каналы. Их площадь сечения $F_{\text{В}}$ определяют из уравнения, м²,

$$F_{\text{В}} = \frac{V_{\text{ВП}}}{250} f_{\Pi}. \quad (7.10)$$

Допустимая глубина вентиляционных каналов прямоугольного сечения для алюминиевых сплавов 0,1...0,12, магниевых - 0,1...0,15, медных - 0,15...0,2, цинковых - 0,08...0,12 мм.

Варианты контрольных заданий

В соответствии с вариантами заданий, представленными в табл. 7.4, рас-считать площадь сечения питателя f_{Π} , литникового хода $f_{\text{Л}}$, скорость впуска $V_{\text{ВП}}$ расплава металла в форму и время ее заполнения τ_3 , скорость прессования $V_{\text{ПР}}$, минимально допустимый диаметр камеры прессования $D_{\text{ПР}}^{\text{min}}$, усилие рас-крытия пресс-формы $P_{\text{ПР}} F_{\text{O}}$, площадь сечения вентиляционных каналов $F_{\text{В}}$, толщины промывника h и соединительной щели $h_{\text{Щ}}$ между отливкой и про-мывником. Указать температуру заливки металла T_3 и рабочую температуру пресс-формы $T_{\text{Ф}}$.

Пример выполнения задания (вариант «Пример»).

В табл. 7.1 выбираем машину марки 71А106 с емкостью камеры прессования $0,50 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, которая воспринимает указанную в задании дозу расплава магниевого сплава в количестве 0,8 кг, так как $0,8 \text{ кг} : 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

По табл. 7.3 определяем допустимое минимальное давление прессования 45 МПа, необходимое для получения заданной коробчатой конфигурации из магниевого сплава со средней толщиной стенки 2,5 мм ($2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$). Принимаем рабочее давление прессования 45 МПа. Машина такое давление обеспечивает с усилием запираания пресс-формы в 1100 кН и с усилием прессования 130 кН.

По уравнению 7.8 находим минимально допустимый диаметр прессования машины: $D_{\text{ПР}}^{\text{min}} \geq 1,13 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 130 \cdot 0,02}{1100}} = 0,06 \text{ м (60 мм)}$.

Принимаем диаметр камеры прессования 0,06 м.

По формулам (7.5) и (7.6) определяем скорость впуска расплава в рабочую полость пресс-формы и время ее заполнения. Технологические коэффициенты для выбранной отливки соответственно равны $K_1 = 1$, $K_2 = 1,75$ при $P_{\text{ПР}} = 45 \text{ МПа}$, $K_3 = 0,85$ и $K_4 = 1,0$.

$$V_{\text{ВП}} = 15 \cdot 1,75 = 26,25 \text{ м/с};$$
$$\tau_3 = 0,06 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 0,051 \text{ с}.$$

Находим площадь сечения питателя по формуле (7.1):

$$f_{\text{П}} = \frac{1,12(0,3 + 0,06)}{1,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,75 \cdot 0,85 \cdot 1} = 1,693 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ (1,693 см}^2\text{)}.$$

Принимаем $f_{\text{П}} = 1,7 \text{ см}^2 (1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2)$.

Определяем оптимальную толщину питателя

$$\delta_{\text{П}} = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ мм (} 2 \cdot 10^{-3} \text{ м)}$$

Площадь сечения общего литникового хода для двух отливок находим из выражения (7.2): $f_{\text{Л}} = 1,3 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 4,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Толщину щели промывника устанавливаем по формуле (7.3):

$$h_{\text{Щ}} = 0,7 \cdot 2 = 1,4 \text{ мм (} 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м)}$$

Толщину промывника находим из соотношения (7.4):

$$h = 1,8 \cdot 2,5 = 4,5 \text{ мм (} 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м)}$$

По выражению (7.7) определяем скорость прессования:

$$V_{\text{ПР}} = \frac{4 \cdot 26,25 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,06^2} = 3,16 \text{ м/с}.$$

Таблица 7.4

Номер варианта	Вид сплава	Масса отливки (m_0), кг	Масса промывников ($m_{пр}$), кг	Тип отливки	Количество отливок в пресс-форме, шт.	Масса заливаемого металла, кг	Площадь проекции отливок, ЛПС, промывников, пресс-остатка (ΣF_0), м ²	Средняя толщина стенки отливки (δ_0), мм
Пример	Магниевый	0,30	0,060	Коробчатый	2	0,80	0,020	2,5
4.1	Алюминиевый	5,30	0,900	Особо сложный	1	6,80	0,051	12,0
4.2	«	0,15	0,030	Простой	6	1,15	0,025	2,2
4.3	«	3,25	0,650	Сложный	1	4,50	0,043	10,0
4.4	«	0,25	0,050	Сложный	4	1,40	0,022	3,5
4.5	«	0,75	0,150	Особо сложный	3	3,10	0,027	4,1
4.6	«	0,50	0,120	Коробчатый	4	2,70	0,045	2,3
4.7	«	4,80	0,720	Сложный	1	6,20	0,047	8,0
4.8	«	0,20	0,040	Коробчатый	5	1,45	0,021	2,5
4.9	«	3,50	0,600	Особо сложный	1	4,70	0,039	9,5
4.10	«	0,66	0,040	Простой	4	3,13	0,042	1,8
4.11	Магниевый	0,26	0,050	Особо сложный	4	1,60	0,028	3,25
4.12	«	0,16	0,025	Сложный	5	1,10	0,018	1,8
4.13	«	0,10	-	Простой	6	0,77	0,015	1,2

4.14	«	0,50	0,070	Коробчатый	3	1,95	0,038	2,3
4.15	«	0,21	0,040	Особо сложный	4	1,20	0,024	2,1
4.16	Цинковый	0,38	0,060	Сложный	2	1,01	0,020	3,6
4.17	«	1,85	0,400	Сложный	1	2,65	0,041	4,1
4.18	«	0,06	-	Простой	16	0,96	0,015	1,2
4.19	«	0,25	0,050	Сложный	4	1,40	0,013	0,9
4.20	«	0,3	0,120	Сложный	4	3,49	0,023	1,6
4.21	«	0,86	0,170	Коробчатый	3	3,56	0,026	3,1
4.22	«	1,13	0,230	Сложный	4	6,35	0,039	4,1
4.23	«	0,56	0,084	Особо сложный	4	3,01	0,021	0,7
4.24	«	0,43	0,070	Коробчатый	5	2,89	0,028	2,7
4.25	«	0,79	0,170	Особо сложный	3	3,50	0,033	2,3
4.26	«	0,12	0,025	Сложный	4	0,70	0,015	2,5
4.27	«	0,17	0,035	Особо сложный	4	0,98	0,014	2,1
4.28	«	0,10	-	Коробчатый	12	1,48	0,019	3,2
4.29	«	0,25	0,050	Простой	3	1,13	0,012	3,5
4.30	«	0,13	0,021	Сложный	4	0,65	0,010	2,0

Проверяем возможность раскрытия пресс-формы в процессе запрессовки металла в пресс-форму по выражению (7.9)

$$4500 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,02 \text{ м}^2 \leq 1100 \text{ кН.}$$

Условие нераскрытия пресс-формы при запрессовке металла соблюдается. Площадь сечения вентиляционных каналов находим по уравнению (7.10):

$$F_B = \frac{26,25}{250} \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Принимаем $F_B = 0,18 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ($0,18 \text{ см}^2$).

По данным табл. 7.2 устанавливаем температуры заливки металла T_3 и пресс-формы T_ϕ . Принимаем $T_3 = 690 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_\phi = 210 \text{ }^\circ\text{C}$.

Работа № 8

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

Общие положения

Сущность центробежного литья состоит в том, что при заливке металла и его затвердевании форма с металлом находится во вращении и испытывает действие центробежных сил. Центробежные силы, воздействующие на металл, способствуют улучшению заполнения форм, что дает возможность получать отливки из сплавов даже с плохой текучестью. При этом отпадает необходимость в развитых литниково-питающих системах, а при получении отливок типа тел вращения литниково-питающая система может вообще отсутствовать, так как подача металла в этом случае осуществляется непосредственно в форму. При центробежном способе вследствие разности плотностей жидкого и твердого металла создаются условия для направленного затвердевания отливок, что обеспечивает повышение плотности и механических свойств литых заготовок.

Однако центробежный способ имеет и недостатки: трудность получения качественных отливок из сплавов, склонных к ликвации, низкая точность диаметра их свободной (внутренней) поверхности.

В настоящее время центробежным способом изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, золота, серебра, магния, алюминия, меди, цинка. Это тела вращения, а также фасонные детали, зуботехнические, художественные, ювелирные и биметаллические изделия.

Для центробежного литья тел вращения используют простые металлические формы (изложницы), а фасонных отливок – кокили, керамические формооболочки, объемные формы из керамических, гипсовых, песчано-смоляных и других смесей, изготовленные по разовым удаляемым или постоянным моделям.

Центробежная сила, которая действует на точку при вращении, H ,

$$F_{Ц} = mr'\omega^2, \quad (8.1)$$

где m - масса расплава, кг; r' - расстояние от центра вращения до рассматриваемой точки, м; ω - угловая скорость вращения, c^{-1} .

Угловая скорость вращения, $мин^{-1}$,

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, c^{-1}; \text{ или } \omega = 2\pi n, \quad (8.2)$$

где n - число оборотов формы, $мин^{-1}$ (об/мин).

Скорость вращения электродвигателей привода центробежных машин по существующим ГОСТам дается в размерности $мин^{-1}$.

Ускорение определяется по формуле $м/с^2$,

$$a = \omega^2 r'. \quad (8.3)$$

Линейная скорость движения точки по окружности, $м/с$,

$$\omega_{л} \omega r'. \quad (8.4)$$

Степень воздействия на металл центробежных сил характеризуется гравитационным коэффициентом

$$K = \frac{\omega^2 r'}{g} = 1,1 \cdot 10^{-3} n^2 r', \quad (8.5)$$

где g - ускорение свободного падения, $м/с^2$.

При вращении формы за счет K плотность металла $\rho_{Ц}$ изменяется по выражению

$$\rho_{Ц} = \rho K = \rho \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} n^2 r', \text{ кг/м}^3, \quad (8.6)$$

где ρ - исходная плотность жидкого расплава, $кг/м^3$.

Рекомендуется $K = 60 \dots 65$ для горизонтальной оси вращения, $K = 90 \dots 100$ - для вертикальной оси вращения.

При заливке формы приводятся во вращение специальными центробежными машинами с вертикальной, горизонтальной или наклонной осями вращения. Отливки тел вращения малой протяженности (отношение высоты к диаметру $\leq 1,5$) и фасонные получают обычно на машинах с вертикальной осью, а отливки тел вращения средней и большой протяженности – с горизонтальной или наклонной осями.

Положение оси вращения определяет механизм образования и форму свободной поверхности. Горизонтальная ось вращения образует свободную поверхность в форме окружности, центр которой совмещен с центром вращения. При вертикальной и наклонной осях свободная поверхность имеет форму параболоида вращения, ось которого также совпадает с осью вращения. Поэтому в последнем случае в отливках будет наблюдаться разностенность по высоте.

Методика расчета технических параметров центробежного литья

Литье отливок типа тел вращения

В данном случае производится расчет следующих параметров процесса:

- скорость вращения формы;
- давление, развиваемое металлом;
- силу, действующую на инородное включение в металле;
- толщину футеровки формы.

Скорость вращения формы определяет качество и физико-механические свойства отливок. При заниженной скорости вращения наблюдаются искажения свободной поверхности и явление «дождевания» металла. При завышенной скорости вращения сильно возрастает давление жидкого металла, что приводит к образованию трещин, усилению пригара, усилению ликвации компонентов сплава, наблюдаются натеки на наружной поверхности.

Минимально допустимые обороты формы при горизонтальной оси вращения, предотвращающие процесс «дождевания» металла, определяются по формуле, мин^{-1} ,

$$n_{\text{кр}} = 9,6 \sqrt{\frac{2g}{r} \left(7 - \frac{r^2}{R^2} \right)}, \quad (8.7)$$

где g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; r - радиус свободной поверхности отливки, м ; R - радиус наружной поверхности отливки, м .

Оптимальное число оборотов при горизонтальной оси вращения для отливок общего назначения при отношении $\frac{R}{r} \leq 3$, мин^{-1} ,

$$n_r = \frac{17460}{\sqrt{\rho r}}. \quad (8.8)$$

Формула (8.8) выведена из условия обеспечения минимальной величины эффективной плотности, необходимой для получения качественной отливки порядка $(300 \dots 400)10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Для толстостенных отливок $\left(\frac{R}{r}\right) > 3$ определяющим фактором скорости вращения является давление, развиваемое металлом. В этом случае оптимальное число оборотов при горизонтальной оси вращения, мин^{-1} ,

$$n_r = 42,3 \sqrt{\frac{P}{g\rho(R^2 - r^2)}}, \quad (8.9)$$

где P - давление, развиваемое металлом на наружной поверхности отливки, Па.

Предельное давление составляет 0,6 МПа, оптимальное давление 0,4...0,6 МПа (400...600 кПа).

Число оборотов формы при вертикальной оси вращения, мин^{-1} ,

$$n_B = 42,3 \sqrt{\frac{h}{t(2r_1 - t)}}, \quad (8.10)$$

где h - высота отливки, м; t - задаваемая разностенность, т.е. разность толщин стенки отливки в нижнем и верхнем сечениях, м; r_1 - радиус свободной поверхности отливки в ее верхнем сечении, м.

Величина разностенность зависит от высоты отливки и обычно лежит в пределах $(0,01 \dots 0,02)h$.

Давление, развиваемое металлом на наружной поверхности отливки, Па,

$$P = \rho \frac{\omega^2}{2} (R^2 - r^2) = 5,47 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 \rho (R^2 - r^2), \quad (8.11)$$

где n - скорость вращения, мин^{-1} .

Сила, действующая на инородное неметаллическое включение в металле, Н,

$$F_B = \frac{\omega^2 r_B}{g} V_B (\rho_B - \rho) = 1,1 \cdot 10^{-3} n^2 r_B V_B (\rho_B - \rho), \quad (8.12)$$

где n - скорость вращения, мин^{-1} ; r_B - расстояние от центра вращения до включения, м; V_B - объем включения, м^3 , для шаровидного включения диаметром d объем равен $V_B = \pi d^3/6$; ρ_B - плотность включения, м^3 .

Если $F_B < 0$, частица (включение) движется к центру вращения, что способствует удалению из металла газовых, шлаковых включений, частиц футеровки и т.д.

Для защиты от действия жидкого металла на рабочую поверхность изложницы наносят огнеупорную футеровку определенной толщины, м,

$$T = 0,075 \sqrt{(R - r)}. \quad (8.13)$$

Литье фасонных отливок

При разработке технологии центробежного литья фасонных отливок особое внимание уделяется выбору и расчету литниково-питающей системы. Это очень важно учитывать при точном литье ювелирных и художественных изделий, поскольку определяющим параметром является не только качество отливок, но и выход годного металла.

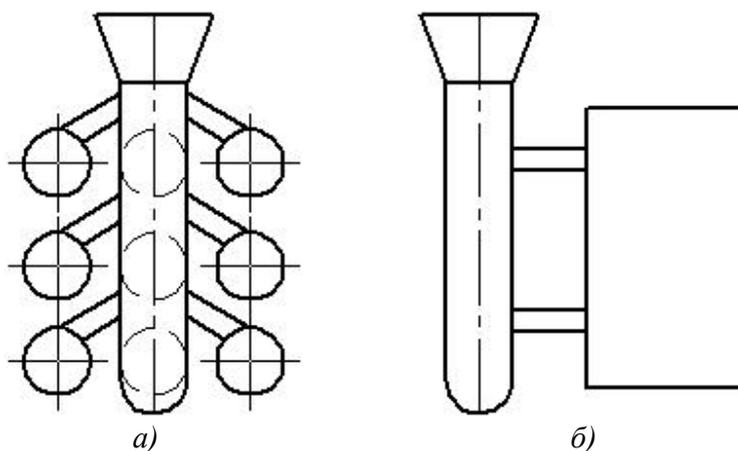
Чаще всего литниковые системы конструктивно состоят из приемной воронки стояка и питателей, причем стояк выполняет роль прибыли во время затвердевания отливок. Наиболее распространенные типы литниково-питающих систем в центробежном литье фасонных отливок:

1. Разветвленная с центральным стояком (см. рисунок *а*). Заполнение металлом полостей формы происходит практически одновременно с заполнением стояка. Рекомендуется для мелких отливок массой до 0,5 кг с их общей массой на стояке до 2 кг. Отношение площади стояка к суммарной площади питателей в узком сечении (ярусе) составляет

$$F_{\text{СТ}} : \Sigma F_{\text{П}} = 1:(2...4). \quad (8.14)$$

2. Литниковая система с рассредоточенным подводом металла (подвод металла сифоном или через ярус питателей) (см. рисунок *б*). Заполнение полостей формы расплавом происходит после заполнения стояка. Рекомендуется для объемных тонкостенных отливок с массой более 1 кг, когда в форме располагается 1...2 отливки. Отношение площади стояка к суммарной площади питателей одной отливки составляет

$$F_{\text{СТ}} : \Sigma F_{\text{П}} = 1:(1,5...2). \quad (8.15)$$



Типы литниково-питающих систем:

а – разветвленная, б – с рассредоточенным подводом металла

В настоящее время принимают два основных метода расчета литниково-питающих систем: по модулям охлаждения и диаметрам вписанных сфер.

Однако для массивного узла отливок сложной конфигурации (ювелирные, художественные) определение модуля охлаждения затруднено. В этом случае можно использовать метод расчета, основанный на применении закономерностей гидравлики с учетом действия центробежных сил. Он заключается в следующем:

1. Определяется угловая скорость вращения формы по формуле (8.2). Для обеспечения эффективной плотности металла $(200...300) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ число оборотов принимается 200...300 об/мин.

2. Находится величина центробежного ускорения по формуле (8.3), где r' - расстояние от центра вращения до рассматриваемого сечения.

3. Вычисляется время заливки. Для литниковых систем 1-го типа эта величина равна времени заполнения стояка, с,

$$\tau_{\text{СТ}} = \sqrt{\frac{2h_{\text{СТ}}}{a}}, \quad (8.16)$$

где $h_{\text{СТ}}$ - высота стояка, м.

Для литниковых систем 2-го типа определяется время заполнения полости формы, с,

$$\tau_{\text{Ф}} = (8...12)\tau_{\text{СТ}}. \quad (8.17)$$

4. Находится средняя скорость движения металла при заливке. Для 1-го типа определяемой величиной является скорость в стояке ($V_{\text{СТ}}$), для 2-го типа - в форме ($V_{\text{Ф}}$), м/с,

$$V_{\text{СТ}} = \frac{a\tau_{\text{СТ}}}{2}, \quad (8.18)$$

$$V_{\text{Ф}} = \frac{V_{\text{СТ}}}{K}, \text{ м/с} \quad (8.19)$$

где K - коэффициент, равный 1,5...2,0.

5. Вычисляется объем металла, вытекающего из литниковой системы в единицу времени в полость формы, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q = \frac{m}{\rho\tau}, \quad (8.20)$$

где m - масса отливок, расположенных на одном ярусе (1-й тип), или всех заливаемых отливок (2-й тип), кг; τ - время заливки, с ($\tau = \tau_{\text{СТ}}$ - для 1-го типа, $\tau = \tau_{\text{Ф}}$ - для 2-го типа литниковых систем).

6. Определяется площадь одного питателя ($F_{\text{П}}$) по формулам, м^2 ,

$$\sum F_{\text{П}} = \frac{Q}{V_{\mu}}, \quad (8.21)$$

$$F_{\Pi} = \frac{\sum F_{\Pi}}{X}, \quad (8.22)$$

где $\sum F_{\Pi}$ - суммарная площадь питателей на одном ярусе (1-й тип) или всех питателей (2-й тип); V - средняя скорость движения металла в форме, м/с, рассчитанная по формулам (8.18) или (8.19) в соответствии с типом литниковых систем; μ - коэффициент расхода, равный 1,3...1,7 для 1-го типа; 0,7...0,9 для 2-го типа; X - число питателей на одном ярусе или всех питателей в зависимости от вида литниковой системы.

7. Находится площадь сечения стояка из соотношений (8.14) или (8.15).

Варианты контрольных заданий

В соответствии с вариантами заданий, представленными в табл. 8.1, выбрать тип центробежной машины, рассчитать оптимальное число оборотов n , давление P в металле, определить центробежную плотность металла $\rho_{ц}$, силу действия металла на включение $F_{в}$, толщину футеровки T изложницы.

Пример выполнения задания (вариант «Пример» в табл. 8.1).

Для выбора типа центробежной машины определяем отношение высоты к наружному диаметру

$$\frac{0,35}{0,2} = 1,75 > 1,5.$$

Следовательно, выбираем центробежную машину с горизонтальной осью вращения.

Минимально допустимое число оборотов определяем по формуле (8.7):

$$n_{кр} = 9,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{0,09} \left(7 - \frac{0,09^2}{0,1^2} \right)} = 352,65 \text{ мин}^{-1}.$$

Оптимальное число оборотов вычисляем по формуле (8.8):

$$n_{\Gamma} = \frac{17460}{\sqrt{6860 \cdot 0,09}} = 702,68 \approx 703 \text{ мин}^{-1}.$$

Давление, развиваемое металлом, находим по формуле (8.11):

$$P = 5,47 \cdot 10^{-3} \cdot 703^2 \cdot 6860 \cdot (0,1^2 - 0,09^2) = 35235 \text{ Па}.$$

Плотность металла по формуле (8.6) будет достигать

$$\rho_{ц} = 6860 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 703^2 \cdot 0,1 = 372,93 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Силу, действующую на включение в металле, определяем по формуле (8.12):

$$V_{в} = \frac{1}{6} \pi d^3 = \frac{1}{6} \pi (0,3 \cdot 10^{-3})^3 = 14,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3.$$

$$F_{в} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 703^2 \cdot 0,095 \cdot 14,1 \cdot 10^{-12} (2650 - 6860) = - 3,07 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

Таблица 8.1

Номер варианта	Геометрические размеры отливка, $\times 10^3$ м			Заливаемый сплав	Расстояние от центра вращения до включения, м	Плотность включения, кг/м ³	Диаметр включения, $\times 10^3$ м
	диаметр		высота (длина)				
	наружный	внутренний					
Пример	200	180	350	Чугун	0,095	2650	0,30
5.1	600	180	1000	Бронза оловянная	0,200	2100	0,20
5.2	1100	900	800	Латунь	0,470	2810	0,40
5.3	220	200	400	Магниевый	0,105	2300	0,35
5.4	1000	400	3000	Бронза безоловянная	0,300	2420	0,25
5.5	1000	750	500	Цинковый	0,390	2310	0,40
5.6	530	500	450	Алюминиевый	0,260	2400	0,30
5.7	740	240	1500	Латунь	0,250	2270	0,25
5.8	300	280	300	Алюминиевый	0,145	2415	0,35
5.9	420	400	900	Бронза оловянная	0,205	2300	0,20
5.10	650	200	1100	Бронза безоловянная	0,280	2315	0,40
5.11	1100	1050	400	Алюминиевый	0,540	2150	0,30
5.12	140	120	250	Латунь	0,065	2790	0,25
5.13	620	160	1200	Цинковый	0,210	2520	0,20
5.14	750	700	500	Магниевый	0,360	2190	0,40
5.15	660	620	1800	Бронза безоловянная	0,320	2630	0,25
5.16	1240	400	5000	Алюминиевый	0,450	2370	0,30
5.17	200	130	50	Бронза оловянная	0,070	2030	0,20
5.18	320	300	800	Цинковый	0,155	2400	0,35
5.19	350	100	600	Латунь	0,100	2550	0,40
5.20	920	720	400	Бронза безоловянная	0,370	3000	0,25
5.21	220	200	400	Бронза оловянная	0,105	2700	0,30
5.22	700	200	13400	Цинковый	0,250	2410	0,40
5.23	120	110	100	Магниевый	0,057	2990	0,35
5.24	370	340	600	Латунь	0,180	2440	0,20
5.25	1500	400	5000	Алюминиевый	0,500	2600	0,40
5.26	1750	1600	1000	Цинковый	0,850	2760	0,30
5.27	340	320	600	Бронза оловянная	0,165	2800	0,25
5.28	840	260	1500	Бронза безоловянная	0,200	2750	0,35
5.29	1940	1800	2000	Латунь	0,950	2920	0,20
5.30	440	400	900	Магниевый	0,210	2480	0,40

Так как $F_B < 0$, частица движется к центру вращения, что способствует ее удалению из металла.

Толщину футеровки изложницы вычисляем по формуле (8.13):

$$T = 0,0075\sqrt{0,1 - 0,09} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

В соответствии с вариантами заданий, представленными в табл. 8.2, рассчитать размеры элементов литниковой системы.

Пример выполнения задания (вариант «Пример» в табл. 8.2).

Масса одной отливки составляет 0,125 кг, поэтому выбираем разветвленную литниковую систему с центральным стояком (1-й тип).

Таблица 8.2

Номер варианта	Масса одной отливки, кг	Заливаемый сплав	Количество отливок на одном ярусе, шт.	Количество питателей на одну отливку, шт.	Высота стояка, м	Расстояние от оси вращения до стояка, м
Пример	0,125	ЗлСрМ585-80	4	1	0,15	0,15
5.31	2,00	Бронза оловянная	2	1	0,20	0,20
5.32	0,20	Бронза безоловянная	3	1	0,20	0,15
5.33	5,00	Латунь	1	2	0,25	0,25
5.34	0,25	Титановый	4	1	0,17	0,20
5.35	1,50	Бронза безоловянная	2	1	0,22	0,15
5.36	0,10	Бронза оловянная	5	1	0,20	0,20
5.37	1,75	Титановый	2	2	0,15	0,25
5.38	0,05	Латунь	8	1	0,12	0,20
5.39	8,00	Бронза оловянная	1	3	0,30	0,30
5.40	0,12	Бронза оловянная	6	1	0,18	0,15
5.41	6,00	Латунь	1	2	0,20	0,25
5.42	0,40	Титановый	4	1	0,22	0,15
5.43	1,25	Бронза оловянная	4	2	0,25	0,20
5.44	0,15	Латунь	6	1	0,19	0,15
5.45	3,00	Титановый	2	3	0,24	0,20

Определяем угловую скорость вращения формы по формуле (8.8), выбираем $n = 300 \text{ мин}^{-1}$:

$$\omega = \frac{\pi \cdot 300}{30} = 31,4 \text{ с}^{-1}.$$

Находим величину центробежного ускорения по формуле (8.3), учитывая, что для усредненного расчета r' принимается равным сумме расстояния от оси вращения до стояка и высоты стояка:

$$a = 31,4^2 \cdot (0,15 + 0,15) = 295,8 \text{ м/с}^2.$$

Вычисляем время заливки по формуле (8.16):

$$\tau_{\text{СТ}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,15}{295,8}} = 0,03 \text{ с}.$$

Находим среднюю скорость движения металла при заливке по формуле (8.18):

$$V_{\text{СТ}} = \frac{295,8 \cdot 0,03}{2} = 4,44 \text{ м/с}.$$

Определяем объем металла, вытекающего из литниковой системы в единицу времени в полость формы, по формуле (8.20) (плотность сплава ЗлСрМ585-80 при температуре заливки составляет 12000 кг/м^3):

$$Q = \frac{4 \cdot 0,125}{12000 \cdot 0,03} = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вычисляем суммарную площадь питателей по формуле (8.22):

$$F_{\text{СТ}} = \frac{2,09 \cdot 10^{-4}}{2 \dots 4} (1,045 \dots 0,523) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 1,045 \dots 0,523 \text{ см}^2.$$

Диаметр стояка

$$D_{\text{СТ}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{СТ}}}{\pi}} = (11,5 \dots 8,2) \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 12 \dots 8 \text{ мм}.$$

Работа № 9

ЛИТЬЕ СЛИТКОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ИЗЛОЖНИЦЫ

Цель: изучить основные методы получения слитков в горизонтальные изложницы.

Исследовать структуру слитков и дефекты, образующиеся при литье, установить причины возникновения дефектов и разработать способы их устранения.

Общие сведения

Слиток – это отливка простейшей формы (цилиндр, полый цилиндр, параллелепипед, призма), предназначенная, главным образом, для обработки давлением – прокаткой, прессованием, ковкой.

В настоящее время слитки получают главным образом двумя способами: литьем в горизонтальные и вертикальные изложницы (наполнительное литье) и в кристаллизаторе (непрерывное литье). Оба способа имеют ряд разновидностей. При литье в изложницы фронт кристаллизации непрерывно перемещается по сечению и длине слитка, в то время как сам слиток остается неподвижным. При непрерывном литье, наоборот, слиток перемещается с определенной скоростью, а фронт кристаллизации остается неподвижным по отношению к кристаллизатору.

Слиток кроме заданного химического состава должен иметь высокую плотность, требуемую структуру, чистую без неслитин и неметаллических включений поверхность. Кристаллическая структура слитков должна иметь тонкое строение и равномерное распределение вторичных фаз в твердом растворе. Такое строение облегчает пластическое деформирование металла. Очень крупное макрозерно в слитках нежелательно, так как при этом может возникнуть анизотропность свойств у деформированных полуфабрикатов и увеличение брака по трещинам.

Обычно структура слитка состоит из трех зон, отличающихся размером и формой кристаллов. Поверхностный слой слитка состоит из мелких кристаллов (размером менее 2 мм). Следующая зона - крупных столбчатых кристаллов, вытянутых в направлении отвода тепла. Длина столбчатых кристаллов может быть несколько сантиметров. В центральной части слитка располагается зона крупных равноосных кристаллов.

Для слитков, подвергающихся обработке давлением, столбчатая структура нежелательна. Такая структура чаще наблюдается в сплавах с узким интервалом кристаллизации. Уменьшить склонность сплава к образованию столбчатой структуры можно снижением температуры литья, перемешиванием расплава, модифицированием, уменьшением скорости охлаждения и др.

При нарушении режимов литья, а также в случае, когда режим литья недостаточно отработан, возникают различные по природе дефекты слитков.

К поверхностным дефектам относятся продольные и поперечные трещины, надрывы, неслитины, наплывы и прорывы расплава, засор и шлаковые включения.

Порядок выполнения

Работа рассчитана на 8 ч.

1. Студенты получают индивидуальные задания(варианты заданий см. ниже) и приступают к подготовке необходимых материалов и оборудования для работы.

2. Нагреть изложницу в сушильном шкафу до температуры 100 - 120 °С. После этого кистью нанести тонкий слой смазки (если это указано в задании). Собрать изложницу. Установить на изложницу воронку с требуемым отверстием. В отверстие вставить стопор.

3. Приготовить в печи сплав заданной марки. Нагреть до нужной температуры литья (алюминий и его сплавы - 680 - 780 °С; цинк и его сплавы - 440 - 520 °С).

4. Прогреть разливочную ложку над расплавленным металлом в тигле печи. Отобрать определенную порцию металла и произвести заливку в воронку.

5. Убрать стопор и включить секундомер. После истечения металла из воронки секундомер остановить. Определить время заполнения изложницы.

6. После охлаждения в течение 5 мин раскрыть изложницу и вынуть слиток. (Работать клещами и в рукавицах!)

7. Охладить готовый слиток в баке с водой и осмотреть поверхность слитка.

8. Установить имеющиеся на слитке дефекты и причины их возникновения. Результаты внешнего осмотра завести в рабочую тетрадь.

9. Механической пилой вырезать из слитка темплет для исследования макро- и микроструктуры.

Произвести подготовку темплета для исследования структуры.

Оценить визуально или с помощью микроскопа структуру слитка (размер зерна и структурных зерен). Зарисовать ее в рабочую тетрадь.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание технологии подготовки горизонтальной и вертикальной изложницы.
3. Краткое описание технологии приготовления сплава.
4. Описание методики заполнения горизонтальной и вертикальной изложницы жидким металлом.
5. Эскизы изложницы. Воронки и микроструктуры.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Методы получения слитков.
2. Основные требования, предъявляемые к структуре слитка и его поверхности.
3. Назначение смазки. Классификация смазок для изложницы и кристаллизатора.
4. Основные дефекты, возникающие в слитках при литье в горизонтальные и вертикальные изложницы.
5. Мероприятия по устранению дефектов в слитках.
6. Факторы, определяющие скорость литья.
7. Методы регулирования скорости литья слитков в горизонтальные и вертикальные изложницы.
8. Влияние материала изложницы на структуру и свойства слитка.
9. Влияние массы изложницы, толщины ее стенок.
10. Влияние температуры, технологии и режимов литья слитка.

Варианты заданий

1. Сплав: алюминиевый, цинковый.
2. Тип смазки: сухая, жирная, без смазки.
3. Температура литья:
 - алюминиевые сплавы - 680, 700, 720, 740, 760, 780 °С;
 - цинковые сплавы - 440, 460, 480, 500, 520 °С.
4. Способ литья слитков: в горизонтальные и вертикальные изложницы (разъемные и неразъемные).
5. Диаметр стопорного отверстия.

Работа № 10

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Цель: закрепление знаний, полученных по курсу технологии плавки и литья цветных сплавов, путем практической разработки полного технологического процесса изготовления отливок литьем в песчаные формы.

Проектирование технологического процесса изготовления отливок

Исходными документами для разработки технологического процесса являются чертеж детали и технические условия на ее изготовление. В техниче-

ских условиях содержатся требования, предъявляемые к отливке по качеству сплава, точности размеров, указываются условия испытания и приемки отливок. Технологический процесс разрабатывается применительно к производственным возможностям литейного цеха с учетом имеющегося оборудования.

При выборе положения отливки в форме следует стремиться располагать обрабатываемые поверхности внизу; массивные тепловые узлы отливок - вверху (при условии обеспечения направленного затвердевания); стержни и холодильники - в нижней полуформе; отливки типа цилиндров, втулок и т.п. - вертикально.

Количество стержней должно быть минимально необходимым; вместо стержней в нижней полуформе целесообразно выполнять болваны при условии, если их высота не превышает толщину.

Модели и стержневые ящики следует стремиться делать неразъемными, так как разъемы уменьшают их прочность, снижают размерную точность и чистоту поверхности отливок. Если разъем необходим, то его положение выбирают, исходя из следующего:

1. Поверхность разъема должна быть плоской и не пересекать вертикальные стенки; если это невозможно, то разъем следует делать по знаковым частям.
2. Базовые поверхности необходимо стремиться располагать в нижней полуформе и оформлять одним стержнем.
3. Суммарная высота опок при выбранной поверхности разъема должна быть минимальной.

При разработке чертежа отливки наименьшая толщина ее стенки может быть принята по диаграмме (см. рисунок).

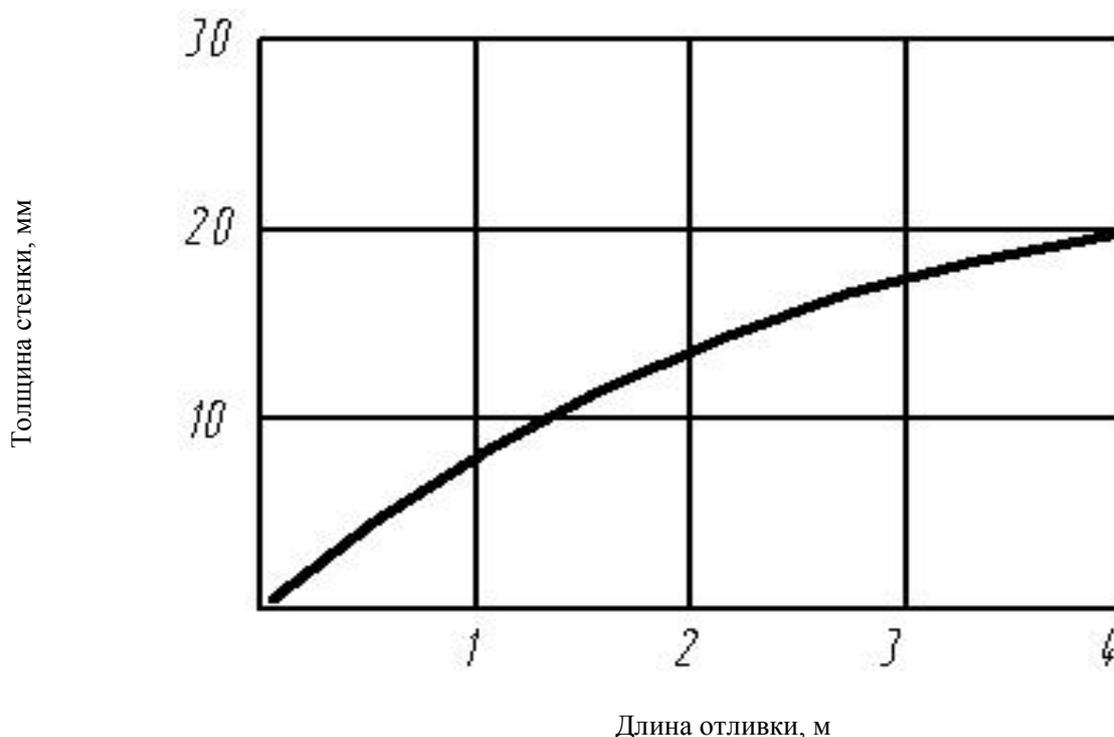
Радиусы закруглений внутренних углов (галтелей) выбирают равными $1/3$ среднего арифметического значения толщин двух сопрягающих стенок, образующих угол, и округляют до ближайшего числа стандартного ряда радиусов (в № 1; 2; 3; 5; 8; 10).

При литье в сырые формы в отливках из цветных сплавов могут не выполняться отверстия диаметром менее 30 мм и кольцевые выточки глубиной до 10 мм.

Величина припусков на механическую обработку устанавливается в зависимости от размеров и класса точности изготовления отливок. Для отливок массой до 800 кг, изготавливаемых в условиях мелко-серийного производства путем ручной формовки по деревянным моделям, припуски на обработку назначаются по третьему классу точности и принимаются для верхних поверхностей в пределах от 2 до 7 мм, для боковых и нижних поверхностей - от 1 до 5 мм.

Величины формовочных уклонов назначаются в соответствии с ГОСТ 3212-57 сверх припусков на механическую обработку, а на необрабатываемых

поверхностях они выполняются путем уменьшения, увеличения или одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки в зависимости от характера сопряжения ее с другими деталями. При изменении высоты модели до 800 мм уклоны для деревянных моделей можно принимать в пределах от 3° до 0°30' (1 - 5 мм).



Выбор толщины стенок литых деталей из цветных сплавов

Отливки в наибольшей мере соответствуют размерам чертежа в тех случаях, когда при изготовлении модели правильно учитывается линейная усадка (см. таблицу).

При изготовлении моделей принимаются модельные усадочные метры (линейки), которые больше нормального метра на величину усадки.

Материал отливки	Усадка, %	
	затрудненная	свободная
Оловянные бронзы	0,8-1,2	1,3-1,6
Безоловянные бронзы	1,6-1,8	2,0-2,2
Простые латуни	1,5-1,7	1,8-2,0
Сложные латуни	1,6-2,0	1,7-2,3
Алюминиевые сплавы	0,8-1,0	1,0-1,2
Магниеые сплавы	1,0-1,5	1,2-1,7

Существенную роль в получении качественных форм играет правильное определение границ стержней и стержневых знаков. Уклоны и соотношения размеров знаковых частей моделей и стержневых ящиков принимаются в соответствии с ГОСТ 3606-57. Для деревянных моделей можно принять уклоны нижних знаков равными 1:10 ($5^{\circ}42'37''$), для верхних знаков - 1:5 ($11^{\circ}18'36''$).

Длина знаков горизонтальных стержней диаметром до 200 мм и длиной до 500 мм колеблется в пределах от 15 до 80 мм; высота нижних знаков вертикальных стержней тех же размеров колеблется в пределах от 20 до 60 мм. Максимальная высота верхних знаков принимается примерно на 40 % меньше высоты нижних знаков. Длина знаков консольных стержней должна быть не менее 125 % от свисающей части стержня.

Размещение и количество прибылей на отливки определяются положением ее в форме, расположением термических углов отливки, направлением кристаллизации металла и радиусом действия прибылей. В лабораторной работе коэффициент запаса при расчете прибылей принимается в пределах 3 - 6, соотношение между высотой и диаметром прибылей можно принимать в пределах 1 - 2, а относительную протяженность прибылей в пределах 30-50 %.

Ответственной частью проектирования технологии литейного производства является конструирование литниковых систем. Правильно сконструированная литниковая система должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать плавное заполнение формы металлом и достаточное питание отливки в процессе ее затвердевания.
2. Способствовать получению отливки с точными размерами, без поверхностных дефектов.
3. Способствовать направленному затвердеванию отливки.
4. Быть экономичной и легко удаляемой.

При неправильном подводе металла в хорошо изготовленные формы можно получить дефектные отливки.

Расчет площади малого сечения литниковой системы ведется по известной формуле, полученной на основании уравнения Бернулли. Плотность алюминиевых сплавов в жидком состоянии при расчетах принимается равной $2,6 \text{ г/см}^3$, магниевых - $1,8 \text{ г/см}^3$, цинковых - $6,6 \text{ г/см}^3$, медно-никелевых - $8,6 \text{ г/см}^3$, бронз - $7,6 \text{ г/см}^3$, латуней - $8,5 \text{ г/см}^3$. Поправочный коэффициент S для медных сплавов при толщине отливки до 60 мм и более принимается в пределах от 0,65 до 1,2; для алюминиевых сплавов - в пределах 1,8 - 3,3; для магниевых - 2,0 - 3,6. Коэффициент расхода металла μ принимается в пределах 0,2 - 0,9. Соотношение элементов литниковой системы $\Sigma F_{\text{СТ}} : \Sigma F_{\text{ШЛ}} : \Sigma F_{\text{ПИ}}$ можно принять для медных сплавов 1 : 1,1 : 1,2; для алюминиевых и магниевых - 1 : 2 : 3.

На чертеже собранной формы должны быть указаны стержни, холодильники, жеребейки, очертания литниковой системы, прибылей и выпоров, зазоры между формой и стержнями.

Определение зазоров, необходимое для расчета размеров знаков модели, осуществляется в соответствии с ГОСТ 3606-57.

Графические обозначения элементов литейной формы выполняются в соответствии с ГОСТ 2423-73.

Величины зазоров между формой и знаками стержня зависят от вида формовки, высоты знаков, размеров и положения стержня в форме и др. В лабораторной работе зазоры на две стороны вертикальных стержней диаметром 25 - 150 мм можно упрощенно принять в пределах $0,35 \pm 0,1$ до $1 \pm 0,2$ мм, для горизонтальных стержней - в пределах от $0,3 \pm 0,1$ до $0,8 \pm 0,2$ мм. Боковые зазоры в верхней полуформе должны расширяться в сторону разъема. Определение зазора является одной из наиболее ответственных и трудных задач технолога.

Технологию литейной формы необходимо разработать применительно к опокам с размерами в свету (мм) : 400 x 300, 500 x 600, 800 x 700 и высотой 150, 200, 250, 300, 350 или 450 с центрирующими и спаривающими штырями. Типы и размеры опок должны соответствовать ГОСТ 14973-69 и ГОСТ 15023-69.

Расстояние от модели до стенок и ребер опок для отливок массой до 500 кг должно быть 30 - 80 мм; от модели до верха формы - 35 - 100 мм; от модели до низа формы - 40 - 125 мм; от полости формы до шпон - не менее 20 мм; между моделями в верхней полуформе не менее 0,5; между моделями в нижней полуформе не менее 0,3 от высоты моделей в полуформах. Расстояние между отливкой и шлакоуловителем можно принять в пределах 20 - 60 мм.

Для изготовления форм можно применить единую рабочую формовочную смесь, в состав которой входит 85 - 95 % оборотной и 5 - 15 % освежающей смесей. В состав освежающей смеси для алюминиевых сплавов входит песок ПО1А - 70 - 80 % и песок КО16А - 30 - 20 %; для магниевых и алюминомегагниевых сплавов - песок ПО1А - 0 30 - 60 %, песок КО25Б - 70 - 40 % и защитная присадка ВМ - 5 - 7 %; для медных сплавов - песок ПО1А - 80 % и песок КО1Ф - 20 %.

В качестве стержневой смеси для алюминиевых и медных сплавов можно принять смесь состава: песок КО1А, КО25А - 94 %; глина огнеупорная КШ/2Т₂ - 4 %; органические связующие - 2 %. В состав стержневой смеси для магниевых и алюминомегагниевых сплавов вводится борная кислота - 0,30 % и сера - 0,5 %.

Физико-механические свойства формовочных смесей находятся в пределах: влажность - 4,5 - 5,5 %; газопроницаемость - 30 - 90 см/мин; прочность «по-сырому» - 0,3 - 0,9 кгс/см².

Сырая прочность стержневых смесей из-за пониженного содержания в них глины несколько ниже сырой прочности формовочных смесей.

В формах и стержнях должны быть выполнены вентиляционные каналы.

Сушка стержней осуществляется при температуре около 200 °С в течение 2 - 5 часов. После сушки прочность и газопроницаемость стержней резко возрастают.

Перед заливкой формы крепятся скобами, болтами или нагружаются грузом. Ориентировочно масса груза должна в три раза превосходить массу металла в форме.

Время ожидания форм заливки не должно превышать 5 ч.

Плавка медных сплавов осуществляется, главным образом, в печи ДМК-0,5; для плавки алюминиевых сплавов можно использовать печь САТ 0,25А; для плавки магниевых сплавов - печь ИГТ 0,35.

Температура заливки цветных сплавов может быть выбрана в зависимости от характера литья в пределах, °С:

силумины	680 - 730;
алюминиевые сплавы (кроме силуминов)	720 - 780;
магниевые сплавы	690 - 780;
оловянные и фосфористые бронзы	1000 - 1150;
алюминиевые бронзы	1100 - 1200;
латуни	980 - 1100.

Выбивку отливок из медных сплавов рекомендуется осуществлять при температуре не выше 400 °С, алюминиевых - не выше 350 °С, магниевых - не выше 150 °С.

После выбивки производится удаление прибылей и литников, обрубка, очистка и термообработка отливок.

Для алюминиевого сплава АЛ2 применяется искусственное старение (низкотемпературный отпуск) при температуре 175 ± 5 °С в течение 2 - 4 ч или отжиг при температуре 300 ± 10 °С в течение 2 - 4 ч с последующим охлаждением на воздухе; для сплава АЛ4 - закалка в воду (20 - 100 °С) после нагрева отливок до 535 ± 5 °С и выдержки 2 - 6 ч и последующее после закалки старение при температуре 175 ± 5 °С в течение 5 - 17 ч; для большинства других многокомпонентных алюминиевых сплавов - закалка с 430 - 440 °С с последующим старением при 175 - 200 °С.

Для магниевого сплава МЛ5 применяется закалка на воздухе с температурой порядка 400 °С, и последующее старение при температуре около 190 °С; для сплава МЛ6 - термообработка по режиму: нагрев до 360 °С, выдержка 3 ч (1-я ступень), нагрев до 420 °С, выдержка 25 ч (2-я ступень), охлаждение на воздухе, нагрев до 190 °С, выдержка 8 ч и снова охлаждение на воздухе. Отливки из магниевых сплавов проходят термообработку в печах с защитной атмосферой, содержащей сернистый газ.

Бронза БрАЖ9-4 подвергается закалке в воду с температуры 650 °С с целью повышения пластичности металла; бронза БрАЖНМц - закалке с 850 - 900 °С и последующему отпуску при температуре 400 - 500 °С, большинство остальных медных сплавов подвергаются отжигу при температуре порядка 650 °С в течение около 6 ч.

Никелевые жаропрочные сплавы подвергаются закалке (1000 - 1100 °С) и старению (700 - 750 °С).

Порядок выполнения и оформления работы

Работа рассчитана на 24 – 28 ч.

1. Выбрать для заданной детали положение отливки в форме, назначить поверхность разъема и разработать чертеж отливки.
2. На чертеже отливки показать стержни.
3. Рассчитать и нанести на чертеж отливки прибыли.
4. Сконструировать, рассчитать и нанести на чертеж литниковую систему.
5. Разработать эскиз формы в сборе с указанием зазоров между формой и стержнями.
6. По приведенному образцу описать процесс изготовления отливки в виде карты основных технологических указаний с приложением размеченного чертежа отливки и эскиза формы в сборе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Курдюмов, А. В.* Производство отливок из сплавов цветных металлов / А.В. Курдюмов [и др.]. – М. : МИСиС, 1996. – 504 с. – ISBN 5-87623-019-7.
2. *Колачев, Б. А.* Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – М. :МИСиС, 2001. – 416 с.
3. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Литейные сплавы и плавка» / В. А. Кечин, С. В. Скитович. – Владимир : ВлГУ, 2000. – 36 с.
4. *Гаврилин, И. В.* Получение литейных силуминов с использованием пылевидного кремния и металлоотходов / И. В. Гаврилин, В. А. Кечин, В. И. Колтышев. – Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2003. – 149 с. – ISBN 5-89368-456-7.
5. Цветное литье : справочник / под ред. Н. М. Галдина. – М. : Машиностроение, 1989. – 528 с. – ISBN 5-217-00396-0.
6. Лабораторный практикум по материаловедению / под ред. А. В. Костина, В. А. Кечина. – Владимир : ВлГУ, 1999. – 84 с. – ISBN 5-89368-109-6.
7. Лабораторные работы по технологии литейного производства / под ред. А. В. Курдюмова. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
8. *Кечин, В. А.* Теория и технология литых протекторных материалов : монография / В. А. Кечин. – Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2004. – 181 с. – ISBN 5-89368-537-7.
9. *Кечин, В. А.* Цинковые сплавы / В. А. Кечин, Е. Я. Люблинский. – М. : Металлургия, 1986. – 247 с.
10. *Гуляев, Б. Б.* Синтез сплавов / Б. Б. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 264 с.
11. *Вяткин, И. П.* Рафинирование и литье первичного магния / И. П. Вяткин, В. А. Кечин, С. В. Мушков. – М. : Металлургия, 1974. – 192 с.
12. *Пикунов, М. В.* Кристаллизация сплавов и направленное затвердевание отливок / М. В. Пикунов, И. В. Беляев, Е. В. Сидоров. – Владимир : ВлГУ, 2002. – 214 с. – ISBN 5-89368-272-6.
13. *Никитин, В. И.* Наследственность в литых сплавах / В. И. Никитин. – М. : Машиностроение, 2005. – 476 с. – ISBN 5-94275-234-6.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Общие организационные положения.....	3
Техника безопасности при выполнении лабораторных и практических работ.....	4
Оборудование, инструмент и материалы	4
Требования к оформлению отчета и правила проведения лабораторных работ.....	5
Работа № 1. Изучение свойств и характеристик сплава	6
Работа № 2. Определение литейных свойств сплава и контроль качества отливок	9
Работа № 3. Выбор шихтовых и вспомогательных материалов. Изучение методов расчета шихты.....	15
Работа № 4. Плавка и рафинирование алюминиевых сплавов.....	29
Работа № 5. Плавка и модифицирование силуминов.....	33
Работа № 6. Литье в кокиль	36
Работа № 7. Литье под давлением.....	46
Работа № 8. Центробежное литье.....	54
Работа № 9. Литье слитков в горизонтальные и вертикальные изложницы	63
Работа № 10. Разработка технологического процесса изготовления отливок из сплавов цветных металлов.....	66
Библиографический список	73

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ
И ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ»

Составитель
КЕЧИН Владимир Андреевич

Подписано в печать 29.03.07.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 4,42. Тираж 100 экз.

Заказ
Издательство

Владимирского государственного университета
600000, Владимир, ул. Горького, 87.