

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

Р. Заббаров

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА 2006

УДК 621.74:629.7(075.8)

ББК 461

3 121

Рецензенты: *С.А. Привалов, М.Г. Лосев*

Заббаров Р.

3 121 Технология металлов и основы металлургического производства: учеб. пособие / *Р. Заббаров*; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2006, 119 с. : ил.

ISBN 5-7883-0187-4

В учебном пособии приведены теоретические сведения и методики выполнения лабораторно-практических работ по курсам «Технология конструкционных материалов» и «Основы производства и обработки металлов».

Предназначено для студентов очного, очно-заочного отделений факультетов ОМД СГАУ и ТФ СГАУ. Подготовлено на кафедре «Технология металлов и авиаматериаловедение».

ISBN 5-7883-0187-4

© Заббаров Р., 2006

© Самарский государственный
аэрокосмический университет,
2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ».....	4
Лабораторная работа №1. Изучение способов получения порошков металлов и их соединений.....	4
Лабораторная работа №2. Определение физико-технологиче- ских свойств порошков	10
Лабораторная работа №3. Определение удельной поверхно- сти металлических порошков методом секущих.....	17
Лабораторная работа №4. Моделирование основных процес- сов обработки давлением	25
Лабораторная работа №5. Литье в разовые песчаные формы. Формовка в двух опоках по разъемной и неразъемной моде- лям.....	35
Лабораторная работа №6. Разработка некоторых этапов тех- нологии изготовления разовых песчаных форм.....	39
Лабораторная работа №7. Специальные способы литья. Литье в кокиль и керамические формы	55
Лабораторная работа №8. Литье по выплавляемым моделям. Литье лопаток ГТД	65
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ПРОИЗ- ВОДСТВА И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ».....	72
Лабораторная работа №1. Влияние содержания углерода на механические свойства углеродистых сталей.....	72
Лабораторная работа №2. Изучение литой структуры метал- лов и сплавов.....	85
Лабораторная работа №3. Рафинирование и модифицирова- ние алюминиевых сплавов.	91
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ПРОИЗ- ВОДСТВА И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ».....	97
Занятие №1. Шихта металлургического производства. Методы расчета шихты.....	97
Занятие №2. Решение задач по расчету шихты.	100
Занятие №3. Алюминиевые и магниевые литейные сплавы...	112
Занятие №4. Титановые и никелевые жаропрочные сплавы...	118

Лабораторные работы по курсу «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: освоение основных способов производства порошков, изучение форм, структуры и размеров частиц в зависимости от способа их получения.

Теоретические сведения

Порошковая металлургия – область техники, производящая изделия и заготовки из порошков металлов и их соединений.

Классическая технология порошковой металлургии включает следующие основные стадии:

- получение порошков;
- формование порошков;
- спекание заготовок и изделий из порошков.

Все способы получения порошков можно условно разделить на две группы:

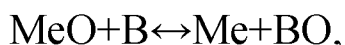
- физико-химические;
- механические.

Физико-химические способы

Характеризуются универсальностью. При этом происходит изменение химического состава шихты. Наибольшее распространение получили следующие методы.

Восстановление окислов металлов

Метод основан на протекании реакции:



где В – восстановитель.

Протекание этой реакции определяется термодинамическими соображениями, например, изменением величины свободной энергии:

$$\Delta F = -RT \ln K_p.$$

Реакция пойдет слева направо, если ΔF величина отрицательная. Важнейшими параметрами процесса являются температура и природа восстановителя и оксида. Наиболее широкое применение этот метод получил для порошков следующих металлов:

1) порошки железа. Шихтой являются руда, прокатная окалина, отходы производства. Восстановителями служат C, CO, водород, конвертированный природный газ ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$) и диссоциированный аммиак ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2$);

2) порошки титана получают восстановлением окиси титана магнием, натрием, кальцием, гидридом кальция (CaH_2);

3) порошки тугоплавких металлов, например вольфрама и молибдена, получают восстановлением WO_3 и MoO_3 водородом или углеродом;

4) порошки меди, никеля, кобальта. Восстановители – водород и диссоциированный аммиак.

Электролиз

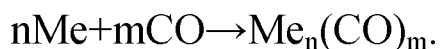
Сводится к разложению водных растворов или расплавленных солей металлов при пропускании постоянного электрического тока. Этот метод позволяет получать не только порошки чистых металлов, но и легированные порошки. Например: Fe–Cr, Fe–Ni, Fe–Ni–Cr и др.

Электролизом водных растворов получают порошки Fe, Cu, Ni, Cr и др. Электролизом расплавленных сред получают порошки Th, Ta, Be, Mg, Al.

Термическая диссоциация карбониллов

Карбонилы – это соединения некоторых металлов с группой CO. Например: $\text{Ni}(\text{CO})_4$, $\text{Fe}(\text{CO})_5$.

Метод основан на протекании следующей реакции:



Процесс, складывается из двух стадий. На 1-й стадии при соответствующих температурах шихта обрабатывается CO и реакция идет слева направо с выделением карбонила. На 2-й стадии карбонил подвергают термической диссоциации и реакция идет справа налево с выделением дисперсных порошков.

СВС-процесс

Это самораспространяющийся высокотемпературный синтез с целью получения тугоплавких соединений металлов. Процесс основан на бескислородном горении. Исходными материалами служат тугоплавкие материалы Ti, Zr, Nb, Hf и т.д. (топливо), а окислителем – неметаллы с Si, N и др. Этим методом получают тугоплавкие соединения карбиды, нитриды, карбонитриды, силициды, бориды и др. Процесс ведут в специальных контейнерах, называемых бомбами.

Простейшая схема бомбы (рис. 1):

- 1 – крышка;
- 2 – корпус;
- 3 – смотровые окна;
- 4 – образец;
- 5 – фронт горения;
- 6 – воспламенительное устройство.

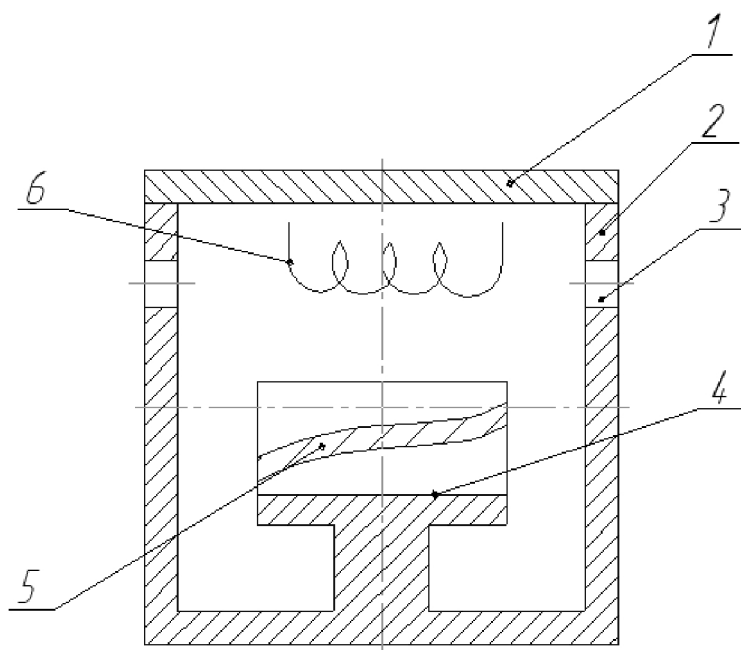


Рис. 1

Роль воспламенительного устройства могут играть электрическая спираль или поджигающие смеси. Образец получают прессованием или свободной засыпкой реагента в форму (стакан). Применяют образцы двух типов:

1) реагенты смешивают, например, $Ti+C$, а процесс ведут в вакууме или в среде аргона;

2) образцом служит один реагент, а процесс ведут в атмосфере другого реагента.

Кроме указанных применяют много различных других способов, например, методы интеркристаллитной коррозии, конденсации и др.

Механические способы получения порошков

Менее универсальны. Они могут применяться как самостоятельные, так и дополнительные операции. При получении порошков этими способами, как правило, не происходит изменения исходного химического состава. Все эти способы можно условно разделить на две группы:

1) *Механическое измельчение* осуществляется методами механической обработки (точение, фрезерование, строгание, сверление и др.), а также дроблением и измельчением. Дробление ведут в щековых, конусных и валковых дробилках. Измельчение осуществляют в мельницах (шаровые, стержневые, галечные, центробежные, вихревые, молотковые и др.).

2) *Диспергирование*. При этом происходит разделение струи металлов или твердой заготовки. При диспергировании струи металла применяют, как правило, газообразные энергоносители. Наибольшее применение получил метод распыления струи металла газом (воздух, азот, водяной пар, аргон и др.).

Принципиальная схема процесса представлена на рис.2.

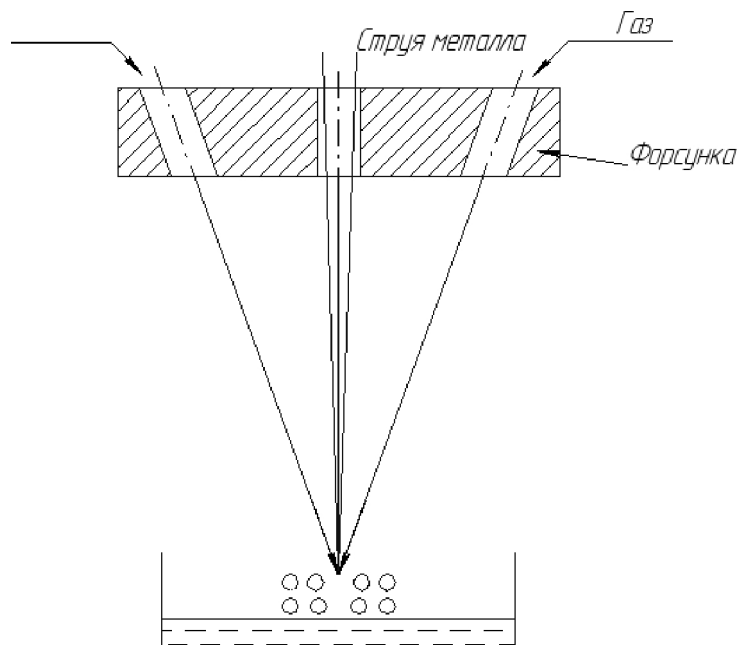


Рис. 2

Разновидностью этого процесса является грануляция. И при этом струя металла сливается в воду, на пути «металл-вода» струя разбивается на сетке или конвейерной ленте.

Разбивание струи металла может также производиться лопатками быстровращающейся турбины или через стенки перфорированного стакана (рис. 3).

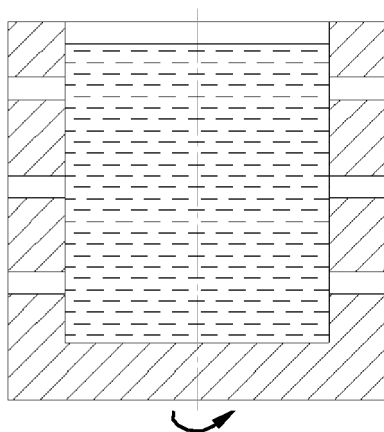


Рис. 3. Перфорированный стакан

Диспергирование твердого металла производится в вакууме электронным лучом или плазмой.

Форма частиц порошков

Форма частиц зависит от способов получения и их режимов. Ниже приведены наиболее распространенные формы частиц порошков.

Методы получения	Форма частиц
Карбонильный, распыление	Сферическая
Восстановление окислов	Губчатая
Электролиз	Дендритная
Измельчение в мельницах: а) шаровых и вибрационных б) вихревых в) в бегунах	Осколочная Дендритная Чешуйчатая

Контрольные вопросы

1. Классическая технология порошковой металлургии.
2. Физико-химические способы получения порошков.

3. Механические способы получения порошков.
4. СВС-процесс.
5. Распыление и грануляция.
6. От чего зависит форма и размер частиц порошка?
7. Типовые формы частиц порошка.

Практическая часть работы

1. Изучение способов получения порошков.
2. Изучение форм частиц порошков различного происхождения (восстановленного, распыленного, электролитического, карбонильного).

Материальное оснащение включает методическую разработку, микрошлифы частиц порошков, оптический микроскоп.

Содержание отчета

1. Краткое описание основных способов получения порошков.
2. Описание форм порошков различного происхождения.

Библиографический список

1. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1972. 528 с.
2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Под ред. Б.С. Митина. М.: Металлургия, 1987. 792 с.

Лабораторная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ

Цель работы: освоение методики определения и изучение некоторых физических и технологических свойств металлических порошков.

Теоретические сведения

Свойства и структура порошков во многом определяют качество порошковых изделий. В свою очередь, свойства металлических порошков определяются методами их изготовления.

Металлические порошки характеризуются химическими, физическими и технологическими свойствами. Химический состав определяется содержанием основного компонента, легирующих элементов и примесей. Под физическими свойствами следует понимать размер и форму частиц порошка, микротвёрдость, удельную поверхность, пикнометрическую плотность, состояние кристаллической решетки. Технологические свойства порошков определяются насыпной массой, сыпучестью, прессуемостью, спекаемостью.

1. Распределение частиц по фракциям (гранулометрический состав) определяется условиями получения порошков. Размер частиц и их распределение по фракциям оказывают большое влияние на процессы прессования и спекания порошковых тел, следовательно, и на качество заготовок и изделий из порошков.

Так как различные порошки характеризуются широким диапазоном размеров частиц, то для определения гранулометрического состава применяют несколько методов: рассеив порошка на стандартных ситах, измерение размера частиц в оптическом и электронном микроскопах, седиментация и др. Наиболее широкое применение в практике порошковой металлургии получил метод рассева на ситах или *ситовой анализ*. Ситовой анализ сводится к рассеву порошка через ряд сит, из которых каждое установленное ниже имеет меньший размер ячеек, чем установленное выше. Рассев проводится на стандартных ситах. Длительность рассева составляет обычно 15–20 минут, навеска порошка – 100 г. По окончании рассева порошки на каждом сите и в поддоне взвешиваются. Процесс рассева осуществляется в специальных вибровстряхивателях (рис.1).

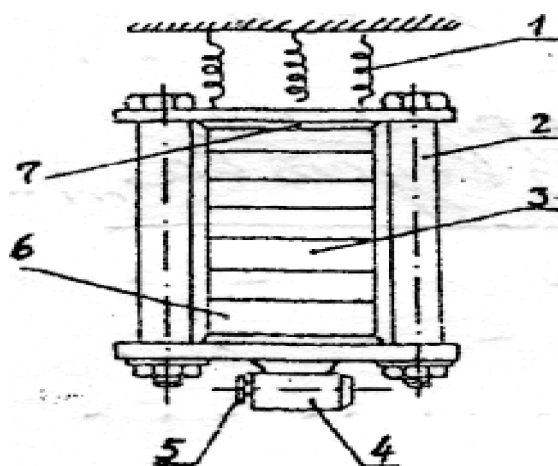


Рис.1. Схема вибровстряхивателя: 1 – пружинная подвеска; 2 –стягивающие болты; 3 – набор стандартных сит; 4 – электро-двигатель; 5 – эксцентрик; 6 – поддон; 7 – крышка

В отечественной практике для определения гранулометрического состава применяется стандартная шкала сеток с квадратными ячейками (табл.1).

Таблица 1

Перечень сит для отсева порошков

Номер сетки	Номинальный размер стороны ячейки	Номинальный диаметр проволоки, мм	Примерное число, меш *
08	0,800	0,300	20
05	0,500	0,220	30
045	0,450	0,180	40
0315	0,315	0,140	50
025	0,250	0,130	60
018	0,180	0,130	80
016	0,160	0,120	100
0125	0,125	0,090	120
01	0,100	0,070	140
0080	0,080	0,055	180
0063	0,063	0,045	225
0056	0,056	0,040	275
004	0,040	0,030	325

Примечание.*меш – число отверстий на один линейный дюйм сита

Ситовой анализ – основной метод определения гранулометрического состава в порошковой металлургии. Главный недостаток мето-

да сводится к тому, что минимальный размер отверстия в ситах не меньше 40 мкм, т. е. тонкие порошки не поддаются ситовому анализу. Кроме того, форма частиц вносит ошибки в результаты ситового анализа. Так, иглообразные частицы проходят через сито с отверстием меньше их длины, а дискообразные могут оставаться на сите с размером ячейки больше их поперечника. При длительном встряхивании частицы могут схватываться или разрушаться.

2. Насыпная масса – масса единицы объёма свободно насыпанного порошка. Насыпная масса зависит от плотности укладки частиц порошка и определяется формой частиц, размером и гранулометрическим составом.

Насыпная масса – важное технологическое свойство порошка. Насыпная масса порошка определяет конструкцию пресс-формы и практику прессования (дозировку шихты). Обычно объём порошка до прессования в 2–3 и более раз превышает объём спрессованного изделия.

При конструировании пресс-форм необходимо рассчитать объём полости, в который должен поместиться порошок. В основе этого расчёта и лежат данные по насыпной массе. Расчёт навески порошка для прессования определяется по формуле

$$Q = V\gamma_k\tau K_1 K_2$$

где V – объём готового изделия; γ_k – плотность компактного (беспористого) материала; $\tau = \gamma_k / \gamma_n$ – относительная плотность, %; K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие потери порошка при прессовании и спекании; γ_n – насыпная масса порошка.

Насыпная масса определяется с помощью особого прибора – волюмометра. Порошок засыпают сверху через воронку. Под прибором устанавливают мерный стакан. Избыток порошка в стакане убирается пластиной и проба взвешивается. Насыпную массу определяют несколько раз и рассчитывают среднее значение (рис. 2).

При прессовании изделий применяют порошки с различной насыпной массой. При изготовлении конструкционных изделий целесообразнее применять порошки с большой насыпной массой, так как прессуемость их лучше. Из порошков с малой насыпной массой можно получать изделия высокой пористости (например, антифрикционные материалы).

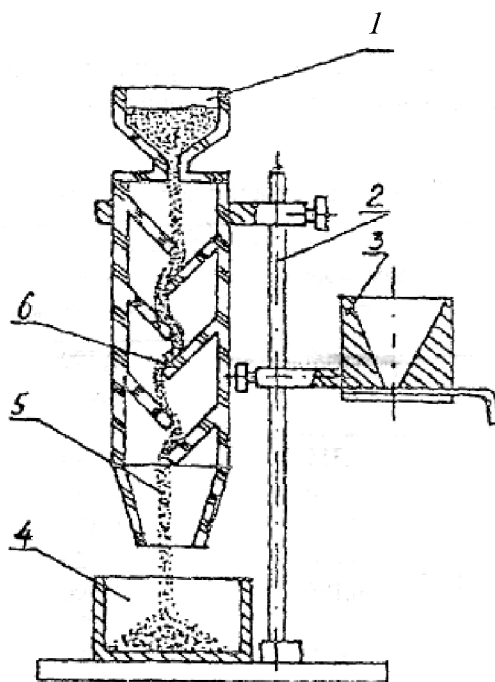


Рис.2. Схема волюмометра: 1 – воронка для порошка; 2 – стойка;
3 – прибор для определения сыпучести порошков; 5 – порошок;
6 –перегородка

3. Сыпучесть характеризуется способностью порошка "сыпаться" (вытекать) из отверстий. На сыпучесть влияют такие факторы, как форма и размеры частиц, состояние их поверхности, коэффициент трения. Разветвлённая поверхность порошковых частиц, наличие адсорбированной влаги ухудшают сыпучесть порошка.

Сыпучесть порошка имеет важное технологическое значение. При прессовании на пресс-автоматах производительность последних зависит от скорости заполнения полости форм. Кроме того, плохая сыпучесть порошка ведёт к получению изделий, неоднородных по плотности.

Сыпучесть можно изменять. Например, применением обкатки можно повысить сыпучесть порошков. Изменяя технологические режимы получения порошков, можно изменить и сыпучесть.

Сыпучесть порошков определяют на специальном приборе, совмещённом с волюмометром. Порцию порошка 50–100 г засыпают в конусную воронку с углом $6 \pm 0^\circ$. Диаметр отверстия обычно равен 4 мм. Отверстие закрывается специальной заслонкой, которая после заполнения воронки порошком открывается и одновременно включается секундомер. Таким образом, фиксируется время вытекания

известной порции порошка. Сыпучесть (см. рис. 2) определяется отношением навески порошка (в граммах) ко времени вытекания порошка (в секундах).

Контрольные вопросы

1. Понятия о физических и технологических свойствах металлических порошков.
2. Распределение частиц по фракциям (гранулометрический состав). Методы определения.
3. Ситовой анализ. Преимущества и недостатки этого метода.
4. Насыпная масса и её определение.
5. Сыпучесть и её определение.
6. Влияние свойств порошков на прессуемость и спекаемость.

Практическая часть работы

1. Изучение методов определения размера частиц, насыпной массы и сыпучести порошков.

2. Овладение практикой определения некоторых физических и технологических свойств порошков различного происхождения.

3. Приобретение навыков исследовательской работы. Это достигается изучением одних и тех же свойств порошков различного происхождения (медный электролитический, железный восстановленный, стальной марки X18H15 распылённый), например:

а) влияние метода получения порошков на их гранулометрический состав;

б) влияние метода получения порошков на их технологические свойства и др.

В различных подгруппах студенты изучают свойства различных порошков (материал порошка, метод их получения).

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку, приборы.

Содержание отчёта

1. Краткое определение изучаемых свойств порошков – гранулометрического состава, насыпной массы и сыпучести.

2. Краткое описание методики определения свойств.
3. Схемы вибровстряхивателя и волюмометра с прибором для определения сыпучести порошков.
4. По результатам экспериментальной части работы составляют сводные табл. 2 и 3.

Таблица 2

Гранулометрический состав порошков

Марка порошка	Содержание фракций, %						
	+0,16	-0,16 +0,125	-0,125 +0,008	-0,08 +0,063	-0,063 +0,056	-0,056 +0,04	-0,04 (поддон)

Таблица 3

Насыпная масса и сыпучесть порошков

Марка порошка	Насыпная масса, кг/м ³	Сыпучесть, кг/с

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными определениями и методикой исследования.
2. Ознакомиться с аппаратурой для определения свойств порошка.
3. Определить гранулометрический состав порошков: железного восстановленного, стального марки X18H15 распылённого или других. Для этого навеска каждого порошка 100 г помещается в набор сит и встряхивается в течение 15-20 минут. После отсева определя-

ется на весах масса порошка на каждом сите и поддоне. Результаты ситового анализа выражаются в процентах содержания количества каждой фракции по отношению к общей навеске (100 г).

Фракция порошка, прошедшая, например, через сито 008, но оставшаяся на сите 0063, обозначается как $\begin{smallmatrix} -0,08 \\ +0,063 \end{smallmatrix}$ мм. Результаты ситового анализа заносятся в табл. 2.

4. Дать объяснение полученным результатам (влияние метода получения порошка на гранулометрический состав).

5. Определить насыпную массу и сыпучесть медного электролитического, железного восстановленного и стального распылённого порошков по вышеописанной методике. Результаты заносятся в табл. 3.

6. Дать объяснение полученным результатам.

Библиографический список

1. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1972. 528с.

2. Порошковая металлургия и напылённые покрытия / Под ред. Б.С. Митина. М.: Металлургия, 1987. 792 с.

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ СЕКУЩИХ

Цель работы: освоение методики определения удельной поверхности металлических порошков.

Теоретические сведения

Удельная поверхность является важной физической характеристикой порошковых материалов. Её величина служит универсальным показателем дисперсности (гранулометрического состава) порошка, пригодным для использования при любой форме частиц (дисковой, игольчатой и т. п.). По удельной поверхности можно оценить работу, затраченную на превращение компактного, беспористого тела в порошок. Вместе с тем её величина характеризует содержание газов, адсорбированных порошком, и его коррозионную стойкость.

Удельная поверхность в значительной степени определяет прессуемость и спекаемость порошков. *Прессуемость* – это способность сыпучих тел формироваться под действием давления прессования в довольно плотные и прочные (неосыпающиеся по кромкам) брикеты. Хорошей прессуемостью обладают порошки с небольшой удельной поверхностью. Объекты, имеющие высокую удельную поверхность, прессуются хуже, ибо существенная часть работы прессования затрачивается на преодоление сил трения между частицами.

Под *спекаемостью* понимают способность порошков образовывать при нагревании прочные и плотные образцы или заготовки деталей. Все сыпучие объекты характеризуются повышенной свободной энергией, избыток которой по сравнению с беспористым материалом при одних и тех же показателях температуры и давления равен произведению величины удельной поверхности порошка на поверхностное натяжение материала частиц. Так как при спекании порошков или спрессованных из них брикетов образуются более плотные (чем в исходном состоянии) заготовки, то свободная энергия сыпучих тел в ходе процесса понижается, а часть высвобожденной энергии расходуется на уплотнение. Поэтому лучшей спекаемостью обладают порошки с высокой удельной поверхностью.

Удельная поверхность – это общая поверхность частиц порошка, отнесённая к единице объёма или веса: S_v , мм²/мм³ или S_G , мм²/г. Для оценки величины удельной поверхности разработано довольно много способов. Наиболее широкое применение в исследовательской и производственной практике нашли физические методы, которые можно разделить на две группы – *адсорбционные* и *фильтрационные*. Адсорбционные методы заключаются в поглощении поверхностью тела различных адсорбентов из газовой или жидкой фаз. Способы, основанные на получении и анализе изотерм полимолекулярной адсорбции газов, носят название метода БЭТ – по имени исследователей Брунауэра, Эммега и Теллера, разработавших эту методику. К достоинствам метода БЭТ относятся достаточная представительность пробы используемого объекта и возможность оценки удельной поверхности тонких порошков (с размером частиц порядка 0,1 мкм), например металлических карбонильных.

К другим методам первой группы относятся способы, основанные на адсорбции ионов из различных растворов. В качестве адсорбентов здесь возможно применение радиоактивных изотопов, что позволяет в принципе повысить точность оценки удельной поверхности. Однако допускаемое в расчётах предположение о распределении адсорбента в виде мономолекулярного слоя на поверхности частиц приводит к существенной ошибке. Такое предположение теоретически недостаточно обосновано, т. к. энергетическое состояние выступов и впадин на поверхности порошинок различно, в связи с чем и их локальная адсорбционная способность не будет одинаковой. Указанный недостаток – допущение о равномерном распределении адсорбента на поверхности объекта – присущ также методу БЭТ.

В основе фильтрационных методов лежит установленное соотношение между сопротивлением перетекания газа и жидкости через пористое тело и его удельной поверхностью. Наиболее распространённой является фильтрация газа при атмосферном давлении (метод Товарова) и в условиях разрежения (метод Дерягина). По сравнению с адсорбционными, фильтрационные способы менее сложны и трудоёмки, однако их результаты зависят от пористости исследуемых проб порошка, а также формы и размера частиц.

Наряду с перечисленными физическими методами существуют и другие, например, электролитический метод, в котором величина удельной поверхности связана с перенапряжением водорода на катод-

де. Основной недостаток физических методов заключается в том, что они являются косвенными, т. е. удельная поверхность определяется по зависимостям, установленным с недостаточной степенью точности.

Метод случайных секущих относится к стереометрической металлографии и является прямым методом определения удельной поверхности. Его достоинствами являются отсутствие специальных установок, возможность учёта внутренних пор частиц, а также то, что оценка удельной поверхности может проводиться вместе с другими металлографическими исследованиями (например, форма, размер и структура частиц порошка).

Определение величины удельной поверхности порошковых тел методом случайных секущих состоит в следующем. Приготовленный из порошка со связующим материалом микрошлиф просматривается под металлографическим микроскопом. Плоскость шлифа, рассекая частицы, позволяет наблюдать на сетке любое число случайных сечений. Некоторые из них могут проходить и через внутренние поры. Поверхность частиц, находящихся в поле зрения микроскопа, определяется количеством точек пересечения взаимно перпендикулярных линий окулярной сетки (случайных секущих) с периметрами сечения этих частиц. Их объём, необходимый для получения величины удельной поверхности, рассчитывается по числу точек пересечения секущих, так называемых узловых точек, приходящихся на сечение тех же частиц. Таким образом, определение поверхности и объема частиц производится для одних и тех же полей зрения.

Точность и надёжность полученного результата зависят от общего числа подсчитанных точек и соотношения размера порошинки с ценой деления сетки окуляра. В ряде случаев, для не очень тонких порошков, можно ограничиться подсчётом 100 узловых точек, которым, как правило, соответствует пяти-семикратное число точек пересечения секущих с периметрами сечений.

Недостатками изложенного метода являются малая представительность пробы исследуемого объекта и заниженные результаты при оценке удельной поверхности тонких порошков. Второй трудности можно избежать при использовании теневых фотоотпечатков частиц с электронного микроскопа, обеспечивающего большее увеличение, по сравнению с металлографическим. Анализ такого фотоотпечатка аналогичен обработке одного поля зрения микрошлифа под металлографическим микроскопом.

Однако электронный микроскоп, увеличивая изображение, делает пробу еще менее представительной. Это означает, что метод случайных секущих при оценке поверхности даст результат, который может отклоняться от среднего, соответствующего достаточно представительной пробе, как в сторону завышения, так и занижения искомой величины. Абсолютное значение этого отклонения будет тем больше, чем менее представительной была проба.

Расчет удельной поверхности производится по выражению

$$S_v = 2 \frac{zX}{xL},$$

где S_v – поверхность единицы объема порошка; z – число точек пересечения секущих с периметром сечения частиц; X – общее число узловых точек окулярной сетки; x – число узловых точек, приходящихся на сечение частиц порошка; L – суммарная длина всех секущих, т. е. всех взаимно перпендикулярных линий сетки окуляра, мм.

Как следует из формулы, размерности правой и левой частей уравнения совпадают, а именно: $\text{мм}^{-1} = \text{мм}^{-1}$, значит выражение не лишено смысла. На рис.1 приведен пример расчёта.

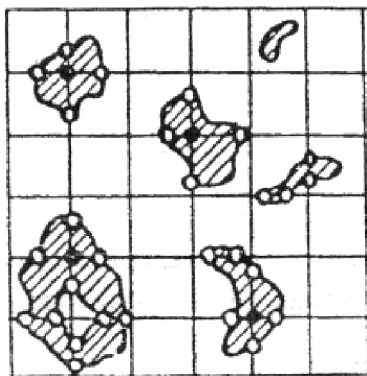


Рис. 1. Схема поля зрения шлифа в микроскопе

Здесь схематически показано поле зрения микрошлифа в металлографическом микроскопе с наложенной окулярной сеткой. Выбор расположения частиц и их числа случаен, но это не отражается на результате, ибо в расчёте участвуют данные обработки нескольких десятков полей зрения. Точки z изображены в виде светлых кружков, точки x – темных. Сечение крупной частицы внизу слева содержит внутреннюю пору, на которую приходится узловая точка. Она в расчёт не принимается, т. к. не попадает на сечение самой частицы.

Всего на рисунке изображено $x = 4$ и $z = 28$ кружков. Общее число узловых точек $X = 36$. Величина L определяется ценой деления сетки окуляра, которая зависит от увеличения микроскопа и рассчитывается по объект-микрометру. Допустим, что цена деления сетки равна 0,02 мм. Тогда величина L составит (см. рис. 1) 1,2 мм. Удельная поверхность порошка, рассчитанная по приведённому полю зрения, имеет вид соотношения

$$S_v = 2 \times 28 \times 36 / 4 \times 1,2 = 420 \text{ мм}^{-1}.$$

Так рассчитывается удельная поверхность для каждого поля зрения. Но для одного поля результат недостоверен. Для повышения точности определения обсчитывают несколько полей зрения (иногда десятки) до накопления не менее 100 точек x . Результаты расчёта для каждого поля зрения и накопленной удельной поверхности сводят в таблицу, составленную по форме табл. 1, в которой в качестве примера приведён расчёт удельной поверхности электролитического порошка никеля. Исходными данными для расчета явились:

$$L = 2,47 \text{ мм}; X = 121 \text{ и } K = 2X/L = 89 \text{ мм}^{-1}.$$

Таблица 1

№ п/п	x_i	$\sum_1^n x_i$	z_i	$\sum_1^n z_i$	$S_i = \kappa \cdot z_i / x_i,$ мм ⁻¹	$S_{\text{ср}} = 1/n \sum_1^n S_i,$ мм ⁻¹	$S_v^H = \kappa \sum z_i / \sum x_i,$ мм ⁻¹
1	7	7	32	32	448	448	448
2	10	17	34	66	333	390	1381
3	3	20	18	84	588	456	412
4	5	25	50	134	980	587	525
5	10	35	35	169	343	538	473
6	1	36	20	189	1960	765	515
7	6	42	34	223	555	744	507
...	...	...	...	...	...	...	...
n	8	103	45	541	551	750	514

Как видно из табл. 1, наиболее стабильной величиной из S_i , $S_{\text{ср}}$ и S_v^H в зависимости от изменения отношения x/z_i , для разных полей зрения является величина S_v^H – накопленная удельная поверхность,

определяемая по соотношению величин $\sum_1^n z_i$ и $\sum_1^n x_i$ для данного и всех предыдущих полей зрения.

Как правило, удельную поверхность, особенно для тонких порошков, выражают в $\text{м}^2/\text{г}$. Для приведения к такой размерности пользуются формулой

$$S_G = S_v^H / d,$$

где S_G – поверхность единицы веса порошка; d – плотность материала частицы.

Для порошка никеля величина d равна $8,9 \text{ г/см}^3$, по приведённому примеру

$$S_G = 514 \times 10^{-6} / 8,9 \times 10^{-3} \approx 0,06 \text{ м}^2/\text{г}.$$

Контрольные вопросы

1. Обосновать важность величины удельной поверхности как физической характеристики.
2. Назвать методы определения удельной поверхности порошковых материалов.
3. Каковы достоинства и недостатки физических методов определения удельной поверхности?
4. Сущность определения удельной поверхности порошков методом секущих.
5. Достоинства и недостатки определения удельной поверхности методом секущих.
6. Приёмы повышения точности определения удельной поверхности методом секущих.
7. Что такое представительность пробы и её значение в любом методе определения удельной поверхности порошковых материалов?
8. Что такое накопленная удельная поверхность?
9. Назначение окулярной сетки металлографического микроскопа.
10. Как определяется длина L всех секущих?
11. Чем отличаются величины x и X ?

12. Каково число X узловых точек применяемой в работе окулярной сетки?

13. Смысл отсутствия в поле зрения микроскопа с окулярной сеткой точек x при наличии точек z ?

14. Для какого увеличения микроскопа (200 или 600) будет больше цена деления окулярной сетки?

Практическая часть работы

1. Изучение и овладение методикой определения удельной поверхности порошков методом секущих.

2. Определение удельной поверхности порошков различного происхождения: распылённых бронзы и олова, электролитических никеля и меди, восстановленного железа, карбонильного никеля.

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку; микрошлифы различных порошков; оптический микроскоп МИМ-7 с окулярной сеткой и характеристиками (табл.2).

Таблица 2

Выбор увеличения на микроскопе

Объектив	Увеличение	Цена деления, мм
$F = 6,2$ $A = 0,65$	250	0,024
$F = 8,2$ $A = 0,37$	170	0,035

Содержание отчета

1. Краткое определение методов изучения удельной поверхности порошков.

2. Схема поля зрения микроскопа с наложенной окулярной сеткой и сечениями частиц с обозначениями точек x и z .

3. Формула определения удельной поверхности.

4. Итоговая таблица результатов исследования (табл. 3).

5. Выводы по величине удельной поверхности изученных порошков и ее влияние на свойства порошковых изделий.

Удельная поверхность металлических порошков

Марка порошка (метод получения)	Удельная поверхность	
	$S_V, \text{мм}^2/\text{мм}^3$	$S_G, \text{м}^2/\text{г}$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными определениями и методикой исследования.
2. Определить методом секущих удельные поверхности изучаемых порошков.
3. Занести результаты полученных данных в сводную табл. 3.
4. Обосновать влияние метода получения изучаемых порошков на их удельную поверхность и свойства спечённых изделий.

Библиографический список

1. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970. 250 с.
2. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1972. 528 с.

Лабораторная работа №4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Цель работы: изучение основных процессов ОМД.

Теоретические сведения

Все методы обработки металлов давлением основаны на способности металлов и сплавов под действием внешних сил необратимо изменять свою форму и размеры без разрушения. Такая способность металлов называется пластичностью. Пластическая деформация – сложный физико-химический процесс, в результате которого изменяется не только форма исходной заготовки, но ее механические, физические свойства и строение.

Таким образом, *обработка металлов давлением* – это совокупность технологических процессов изготовления пластическим деформированием деталей и заготовок требуемых форм с необходимым комплексом свойств; осуществляется она путем силового воздействия на заготовку.

В зависимости от материала заготовки, формы и размеров изделий, типа производства применяют следующие основные виды обработки металлов давлением: прокатку, прессование, волочение, ковку и штамповку.

Прокатка – деформирование холодного или нагретого металла вращающимися валками для изменения формы и размеров поперечного сечения и увеличения длины заготовки (рис. 1). При продольной прокатке (рис. 1, а) заготовка под действием сил трения втягивается в зазор между валками, вращающимися в разных направлениях. Почти 90% всего проката производится продольной прокаткой, в том числе весь листовой и профильный прокат.

При поперечной и винтовой прокатке заготовка деформируется валками, вращающимися в одну сторону (рис. 1, б). При винтовой прокатке вследствие расположения валков под углом друг к другу прокатываемый металл кроме вращательного получает еще и поступательное движение. В результате сложения движений точка заготовки движется по винтовой линии (рис 1, в). Винтовую прокатку широко применяют для получения пустотелых трубных заготовок из различных металлов.

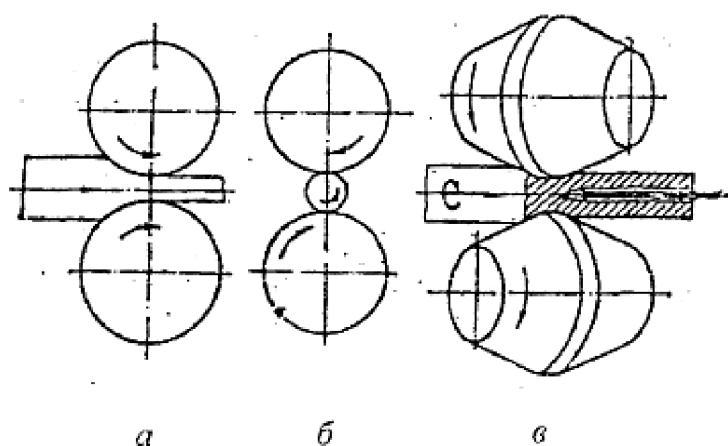


Рис. 1. Основные способы прокатки:
а – продольная; *б* – поперечная, *в* – винтовая

Прессование – процесс пластического деформирования холодного или нагретого металла путем его выдавливания из замкнутой полости (контейнера) через отверстие (матрицу); получается при этом пруток, труба или профиль, соответствующие сечению матрицы (рис.2).

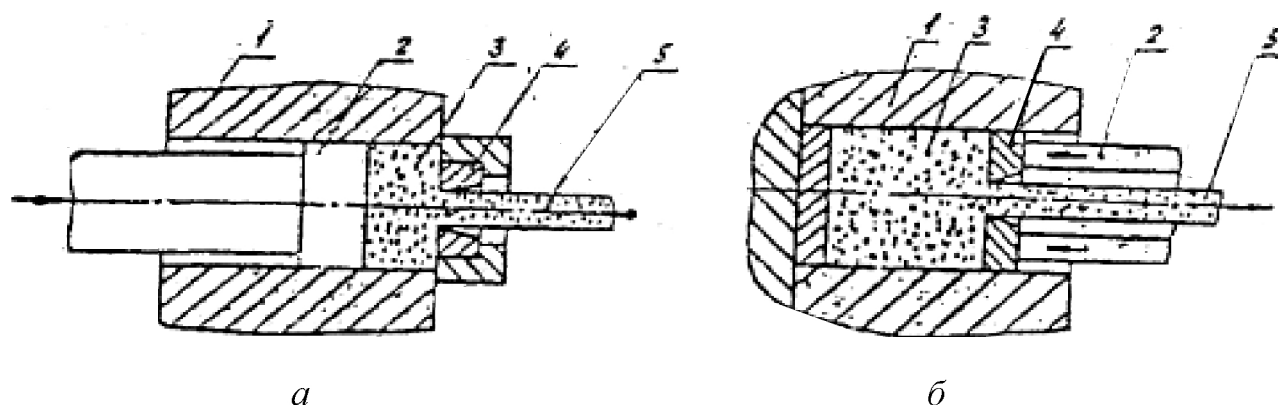


Рис.2. Схемы прессования прутка прямым (*а*) и обратным (*б*) методами:
 1 – контейнер; 2 – пуансон; 3 – заготовка; 4 – матрица; 5 – готовый пруток

Существуют два метода прессования – прямой и обратный. При прямом прессовании движение пуансона прессы и истечение металла через матрицу происходят в одном направлении (рис.2,*а*). При обратном прессовании заготовку накладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона. Основное преимущество прессованных изделий – точность их размеров и возможность получения очень закаленных профилей.

Волочение – процесс протягивания заготовок через постепенно сужающееся отверстие инструмента – волока (рис. 3). При волочении поперечное сечение заготовки уменьшается, а её длина, соответственно, увеличивается. Волочение производят главным образом в холодном состоянии металла заготовки и редко – в горячем. Волочением получают: профили весьма точных размеров и формы, как правило, с гладкой блестящей поверхностью; тонкую проволоку диаметром от сотых долей миллиметра до 5–10 мм; тонкостенные трубы; фасонные профили и т. д.

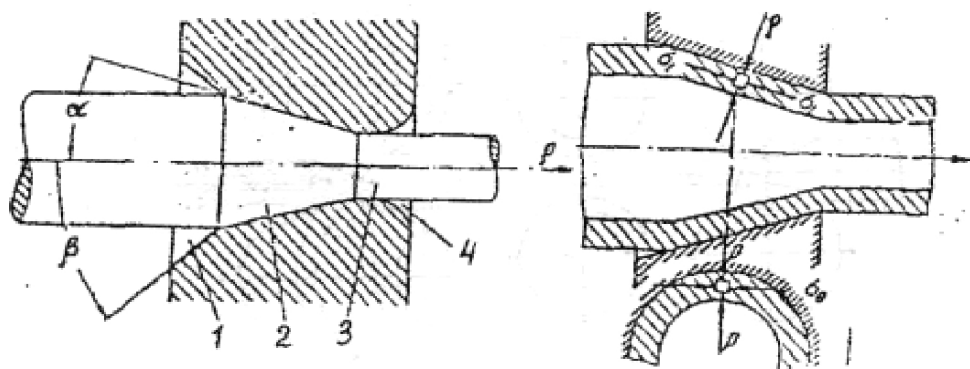


Рис. 3. Схема процесса волочения: 1 – входная часть волоки; 2 – деформируемая заготовка; 3 – готовое изделие; 4 – выходная часть волоки

Обработка металла кузнечно-штамповочными способами включает свободную ковку, горячую и холодную штамповку (рис. 4). **При ковке** металл между плоскими бойками (плитами) свободно течёт в стороны, поэтому ковку и называют свободной (рис.4,а). **При горячей штамповке** течение металла ограничено стенками рабочей полости ручья штампа и производится по заданным направлениям течения металла до определенного предела. Как правило, при ковке и горячей штамповке металл нагревают для повышения его пластичности и уменьшения сопротивления деформации.

Форма и размеры ручья штампа полностью определяют конфигурацию изготавливаемой поковки. Для горячей штамповки характерно применение разнообразного специализированного инструмента – штампов.

Холодная штамповка производится в соответствующих станках без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла (наклеп). Она является самостоятельным видом обработки металлов давлением, объединяющим целый ряд особых технологических процессов, осуществляемых без снятия стружки. В

качестве исходных заготовок используется в большинстве случаев листовой металл, однако это не исключает возможности применения прутков проволоки, труб и профилей (рис.5).

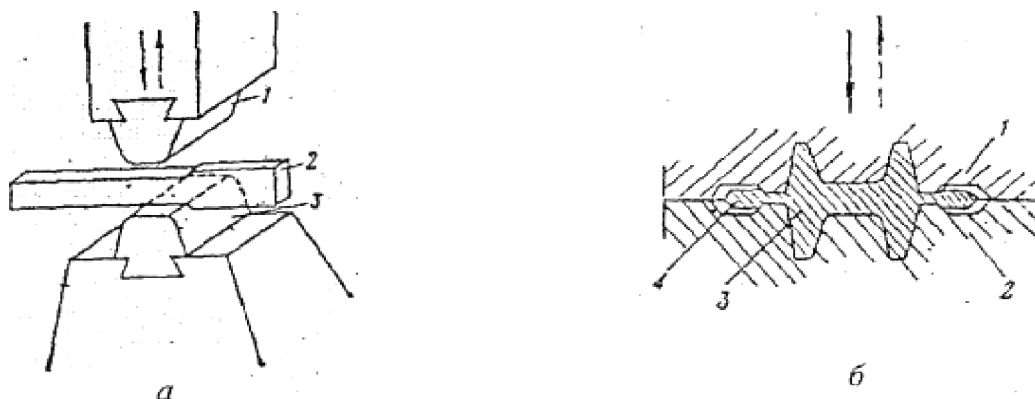


Рис.4. Обработка металлов ковкой и горячей штамповкой: а – свободная ковка (1 – верхний боек, 2 – заготовка, 3 – нижний боек); б – горячая объемная штамповка (1 – верхний ручей штампа, 2 – нижний ручей, 3 – штамповка, 4 – облой)

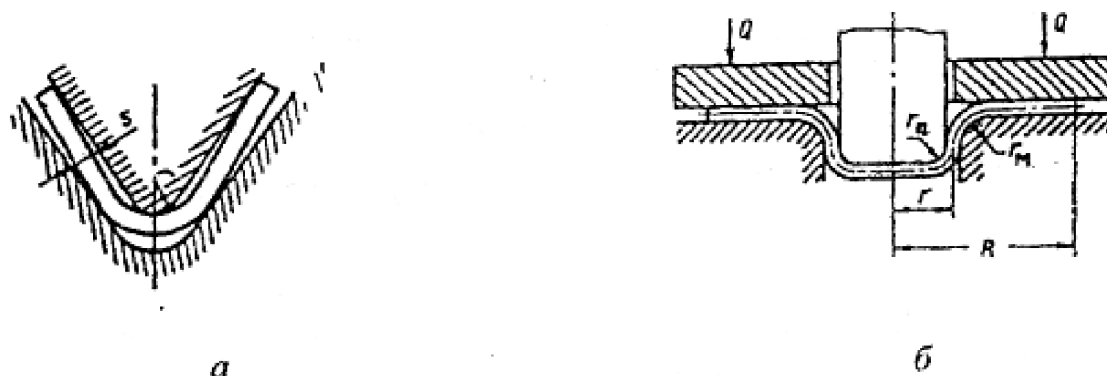


Рис. 5. Листовая штамповка: а – гибка, б – глубокая вытяжка

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных и высокопроизводительных методов получения готовых изделий и полуфабрикатов в автомобильной, приборостроительной и других отраслях промышленности, обеспечивая достаточно высокую точность при малых отходах металла и низкой трудоёмкости и себестоимости.

Показатели, характеризующие пластическую деформацию

Та или иная форма тела при пластическом деформировании получается благодаря перемещению частиц металла в новое положение их устойчивого равновесия при практически неизменном объёме. Это положение носит название «условия постоянства объема заготовки и продеформированного изделия».

Величина деформации может быть оценена несколькими способами в самых разных процессах обработки металла давлением. Так, деформация выражается через абсолютные и относительные показатели.

При прокатке (см. рис.1) абсолютная величина деформации составляет

$$\Delta h = h_0 - h_1,$$

а относительная

$$\Delta = \Delta h / h_0 = (h_0 - h_1) / h_0 = 1 - h_1 / h_0,$$

где h_0 – начальная высота заготовки, h_1 – конечная толщина проката.

В процессах прессования и волочения (см. рис. 2) часто используют показатель деформации – вытяжку. λ – это отношение величины площади поперечного сечения заготовки F_0 к площади поперечного сечения готового изделия F_k :

$$\lambda = F_0 / F_k \times 100\%.$$

При волочении (рис.3) степень деформации может характеризоваться также коэффициентом обжатия:

$$\xi = (F_0 - F_k) / F_0 \times 100\%.$$

Для оценки величины деформации при ковке и горячей штамповке используют коэффициент уковки, который для случая штамповки (рис. 4,б) выражается следующим образом:

$$K_{шт} = F_2 / F_1 > 1,$$

где F_1 и F_2 – площадь сечения поковки соответственно доковки и после неё.

Холодная штамповка объединяет большое количество разнообразных операций. Поэтому отдельные конкретные операции характеризуются своими показателями. Так, часто встречающаяся операция глубокой вытяжки может быть оценена коэффициентом вытяжки m или обратной величиной k – степенью вытяжки:

$$m = d/D, \quad k = D/d = 1/m$$

где D – диаметр исходной заготовки; d – диаметр полой заготовки.

Рассмотренные выше способы оценки деформации приведены в предположении равномерности деформации по всему объёму заготовки. Однако при обработке давлением деформация всегда неравномерна.

Неравномерность деформаций в процессах обработки давлением и методы ее изучения

Основными причинами, вызывающими неравномерное распределение деформаций в пластически обрабатываемом теле, можно считать:

- контактное трение, возникающее на поверхностях инструмента и деформируемой заготовки;
- неодинаковость исходной формы заготовки и формы инструмента;
- неоднородность физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Эти причины могут вызвать неравномерность деформаций как каждая в отдельности, так и в их сочетании.

Известен целый ряд экспериментальных методов изучения характера течения металла и, следовательно, выявления неравномерности деформации в различных объемах деформируемого тела. Для изучения характера течения металла при различных операциях обработки давлением в лабораторных условиях часто используется моделирование процесса на образцах из пластилина. В этом случае образец изготавливается составным из отдельных разноцветных элементов – слоев. После деформации образец разрезается в требуемом сечении. О деформации и характере течения судят по изменению формы отдельных элементов (слоев) образца. На рис.6 показаны результаты опытов, иллюстрирующие неравномерность деформации при осадке и прессовании слоистых образцов.



Рис.6. Неравномерность деформации при осадке и прессовании

Практическая часть работы

1. Методом моделирования на пластине определить картину течения металла в диаметральной плоскости слоистого образца в процессах осадки, прессования и штамповки.

2. Установить и описать визуально неравномерность деформации по сечению образца.

3. Определить показатели общей деформации для всех видов испытаний.

Порядок выполнения работы

Все опыты моделирования технологических процессов и обработки давлением проводятся на лабораторном ручном прессе. Для эксперимента подготавливаются цилиндрические составные слоистые пластилиновые образцы с поперечным расположением слоев из разноцветного пластилина (рис.7) с толщиной слоя $\ell_o=2,5-3,5$ мм, диаметром 20 мм.

Общая начальная высота образцов L_o составляет:

- при осадке 25 – 30 мм;
- при прессовании 30 – 35 мм;
- при штамповке 45 – 50 мм.

Работа выполняется двумя бригадами. Каждая бригада получает по три образца – для осадки, прессования и штамповки. *Осадка* образца производится между плоскопараллельными плитками на степень деформации $E_n = 50/55\%$ ($\Delta h = 15$ мм) до конечной высоты $h_k = 15$ мм.

Осадку производят на плитах, покрытых калькой. Заготовку после деформирования с помощью тонкого ножа или проволоки разрезают по диаметральной плоскости на две половинки. Каждая из бригад зарисовывает наблюдаемые сечения в осажённых образцах.

Общую осредненную деформацию по высоте определяют по выражению

$$\xi = (H_0 - H_k) / H_0 \times 100\%,$$

где H_0 – начальная высота, мм; H_k – фактическая (измеренная штангенциркулем) конечная высота, мм.

Для количественной оценки неравномерности деформации определяют степень деформации в каждом из слоев образца по его оси. Если толщина слоя до деформации равна h_o , а после деформации h_n , то степень деформации слоя составляет:

$$\xi = (h_o - h_n) / h_o \times 100\%$$

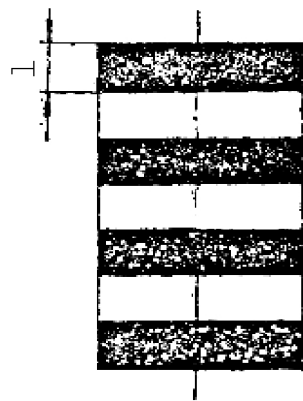


Рис. 7. Исходный образец

Поскольку деформация образца симметрична (рис.8), то достаточно провести измерения для 3–4 верхних слоев.

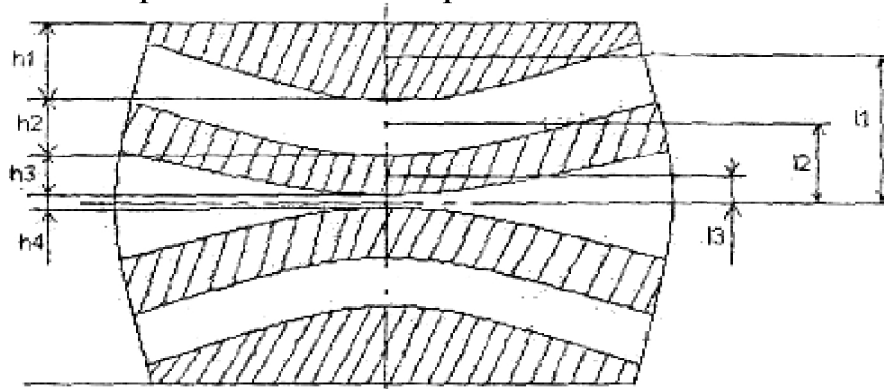


Рис. 8. Схема замера высоты слоев осажденного образца

Результаты измерений и вычислений заносятся в табл. 1 протокола, а затем строится график зависимости степени деформации от координаты слоя (рис.9).

Таблица 1

Показатели	№ слоя			
	1	2	3	4
h_0 , мм				
H_n , мм				
$\xi = (h_0 - h_n) / h_0 \times 100\%$				
H_0 , мм				
H_k , мм				
$\xi_n = (H_0 - H_k) / H_0 \times 100\%$				



Рис. 9

Прессование осуществляется на ручном прессе до заданного размера пресс-остатка (L) в специальной инструментальной разъемной наладке, позволяющей после прессования извлечь пресс-остаток и отпрессованный пруток без разрушения. После прессования (примерно до половины длины образца) пресс-остаток и пруток извлекают из инструмента и разрезают вдоль оси прессования тонким ножом или проволокой на две половинки.

Все бригады студентов зарисовывают наблюдаемую картину течения слоев. Общую деформацию оценивают с помощью показателя вытяжки λ :

$$\lambda = F_0 / F_k \times 100\% = D_0^2 / d_k^2 \times 100\%,$$

где D_0 – исходный диаметр заготовки d , мм; d_k – диаметр отпрессованного прутка, мм

Для определения степени неравномерности при прессовании может служить величина

$$\lambda = l_i / l_0 \times 100\%,$$

где l_0 и l_i – расстояние между поперечными слоями до и после деформации (рис 10).

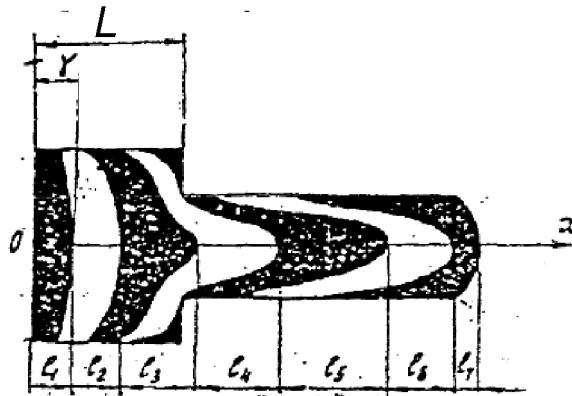


Рис. 10. Схема замеров деформированных слоев при прессовании

Замер расстояний между слоями производится штангенциркулем. Результаты замеров и вычислений заносятся в табл. 2, а затем строится график зависимости $\lambda = f(x)$.

Таблица 2

Показатели	№ слоя						
	1	2	3	4	5	6	7
l_0							
l_i							
$\lambda_x = l_i / l_0 \times 100\%$							
$\lambda = (D_0 / d_k)^2 \cdot 100\%$							

Объёмная штамповка производится на ручном прессе в специальном открытом штампе, состоящем из верхнего и нижнего ручьев. Штамповка производится до неполного смыкания плоскостей разъёма на 2,5–3 мм. Перед деформированием производится смазка ручьев штампа машинным маслом. После штамповки деформированная заготовка извлекается из полостей инструмента и разрезается вдоль продольной оси тонким ножом или проволокой на две половинки. Все бригады студентов зарисовывают полученную картину сечения слоев.

Для оценки величины общей деформации подсчитывают коэффициент уковки:

$$K_D = F_2 / F_1 = D_2^2 / D_1^2,$$

где F_1 и F_2 – площади диаметрального сечения поковки соответственно до штамповки и после неё в наибольшем по диаметру сечении.

Содержание отчёта

1. Краткое описание и эскизы процессов обработки давлением, реализованных в данной лабораторной работе.
2. Эскизы картины сечения слоистых образцов в операциях осадки, прессования и штамповки.
3. Описание неравномерности деформации и причин её возникновения в различных процессах.
4. Протокол записи измерений и расчётов с построением графиков, отражающих неравномерность деформации.
5. Общие выводы.

Инструмент, оснастка и материалы

1. Оснастка для осадки, прессования и объемной штамповки.
2. Штангенциркуль.
3. Нож.
4. Масло машинное.
5. Калька.
6. Эталонные образцы.

Библиографический список

1. Дальский А.М., Гаврилюк В.С. и др. Технология конструкционных материалов: Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
2. Суворов И.К. Обработка металлов давлением: Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1975. 384 с.
3. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В. и др. Технология металлов. М.: Металлургия, 1978. 904 с.

Лабораторная работа №5

ЛИТЬЕ В РАЗОВЫЕ ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ. ФОРМОВКА В ДВУХ ОПОКАХ ПО РАЗЪЕМНОЙ И НЕРАЗЪЕМНОЙ МОДЕЛЯМ

Цель работы: изучение технологических основ изготовления разовых песчаных форм методом ручной формовки.

Теоретические сведения

Литейной формой называется специально изготовленный сосуд, внутренние очертания полости которого соответствуют очертаниям требуемой отливки. В зависимости от продолжительности работы формы бывают разовые и многократные. Процесс изготовления литейных форм называется **формовкой**. Различают формовку ручную и машинную. Ручная формовка применяется в единичном и мелкосерийном производствах. На практике используют различные методы ручной формовки. Наибольшее применение нашла формовка в опоках. В данной работе рассмотрено изготовление разовых песчаных форм ручной формовкой в двух опоках по разъемной и неразъемной моделям.

Для изготовления литейных форм применяют специальную модельно-опочную оснастку, в состав которой входят модели, модельные плиты, стержневые ящики, опоки и др.

Модели – приспособления для получения в литейной форме полостей, имеющих форму и размеры, близкие к очертаниям отливок. Модели бывают разъемные и неразъемные.

Для оформления внутренних полостей отливок применяют стержни, которые устанавливаются в форме на знаках (стержневые знаки). Стержни получают в *стержневых ящиках*.

Модели и стержневые ящики изготавливают из дерева, металлических и других материалов, они должны иметь припуски на усадку и механическую обработку отливки и соответствующие формовочные уклоны.

Модельные плиты – это тщательно обработанные металлические плиты, на которых закрепляются модели, элементы литниковой системы и центрирующие штыри.

Опоки – это жесткие металлические рамки (чугун, сталь, алюминиевые и другие сплавы), в которые набивают и уплотняют формовочную смесь.

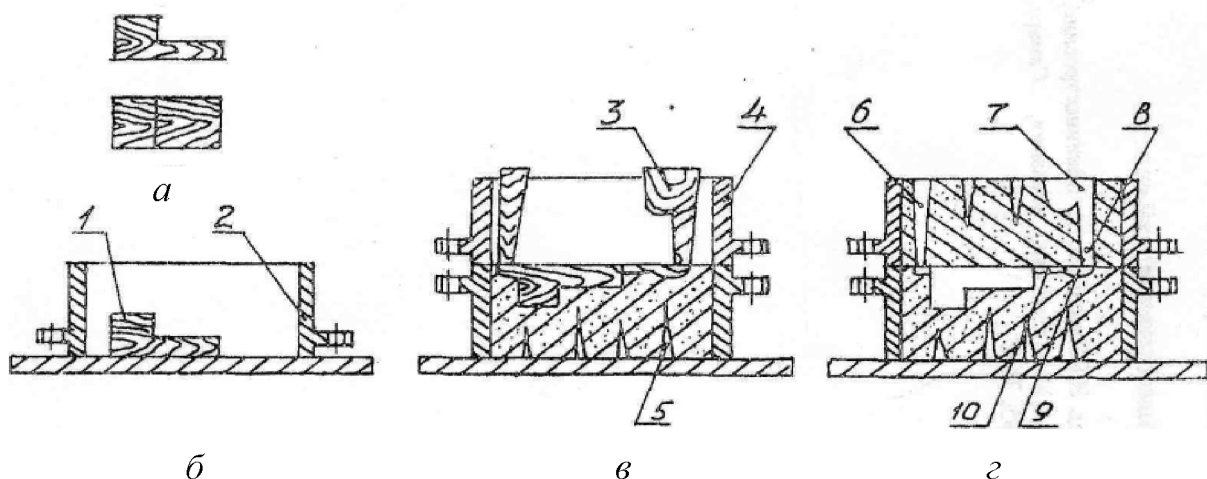


Рис. 2. Последовательность операций при формовке в двух опоках по неразъемной модели: *а* – модель отливки; *б, в* – изготовление нижней и верхней полуформ; *г* – форма в сборе; 1 – модель отливки; 2 – нижняя опока; 3 – модель литниковой системы; 4 – верхняя опока; 5 – вентиляционные каналы; 6 – выпор; 7 – литниковая чаша; 8 – стояк; 9 – шлакоуловитель; 10 – питатели

Контрольные вопросы

1. Понятия о литейной форме и формовке.
2. Виды формовки.
3. Модельно-опочная оснастка (модели, модельные плиты, стержневые ящики, опоки).
4. Формовочные и стержневые смеси.
5. Стержни и стержневые знаки.
6. Последовательность операций ручной формовки в двух опоках по разъемной модели.
7. Последовательность операций ручной формовки в двух опоках по неразъемной модели.

Практическая часть работы

1. Изучение модельно-опочной оснастки.
2. Знакомство с различными типами формовочных и стержневых смесей.
3. Изучение процесса ручной формовки в двух опоках по разъемной и неразъемной моделям.

В процессе выполнения работы студенты изучают последовательность операций при формовке на конкретной отливке от детали до готовой формы.

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку, модели, опоки, стержни, формовочные и стержневые смеси, полуформы и формы, черновые отливки, плакаты.

Содержание отчета

1. Описание основных понятий (форма, типы форм, формовка, способы формовки).
2. Описание модельно-опочной оснастки (модели, опоки, стержневые ящики).
3. Описание формовочных и стержневых смесей.
4. Схемы формовки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с модельно-опочной оснасткой.
2. Ознакомление с формовочными и стержневыми смесями.
3. Изучение последовательности операций формовки.

Библиографический список

1. Литейное производство / Под ред. И.Б. Куманина. М.: Машиностроение, 1971. 320 с.
2. Конструирование отливок: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Р. Заббаров, Л. А Чемпинский. Самара, 1995. 36 с.

Лабораторная работа № 6

РАЗРАБОТКА НЕКОТОРЫХ ЭТАПОВ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗОВЫХ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ

Цель работы: изучение основ конструирования отливок, полученных литьём в разовые песчаные формы.

Теоретические и технологические основы, изучаемые в работе

1. Чертёж литой детали

Чертёж детали – это изображение отдельного элемента (части) машины, механизма в том виде, в каком этот элемент работает в составе машины или механизма. На чертеже приводятся форма, устройство, размеры, точность изготовления (шероховатость) в соответствии с действующими стандартами. Поверхности этой детали, подвергаемые механической обработке, должны быть выполнены с припусками. *Припуск* – это предусмотренный технологией изготовления заготовки дополнительный слой материала, достаточный для того, чтобы при его удалении можно было обеспечить заданные чертежом детали точность размеров и шероховатость. На рис. 1 приведены чертежи деталей №1 и №2.

2. Разработка чертежа элементов литейной формы

2.1. Определение положения отливки в форме и выбор разъема формы

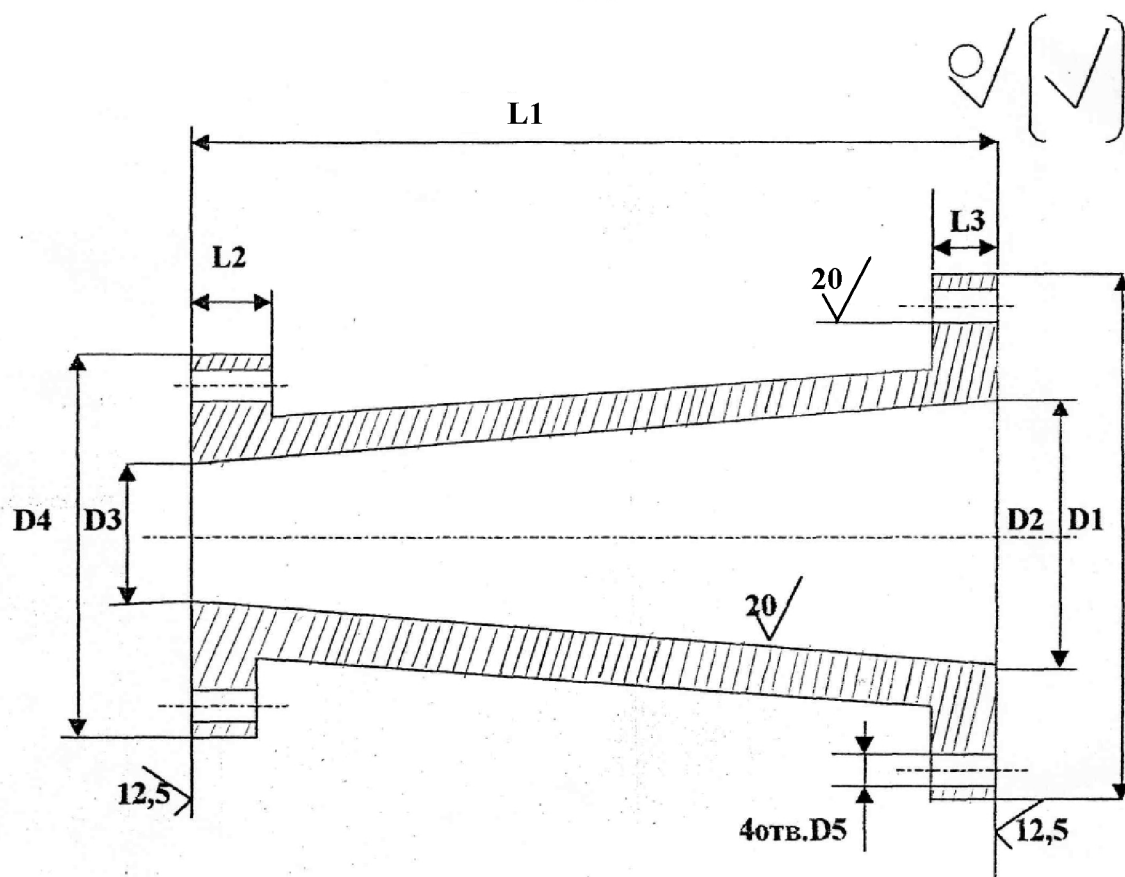
При выборе положения отливки в форме необходимо учитывать следующее:

– для улучшения условий формовки, уменьшения высоты модели, облегчения извлечения модели из формы отливку следует располагать плашмя, т. е. так, чтобы полость формы имела минимальный размер по высоте;

– ответственные части отливки располагать внизу или сбоку, т. к. в верхних частях отливки скапливаются литейные дефекты.

С учетом указанных требований отливки деталей необходимо располагать в форме так, как они изображены на чертеже (рис.1).

№1



№2

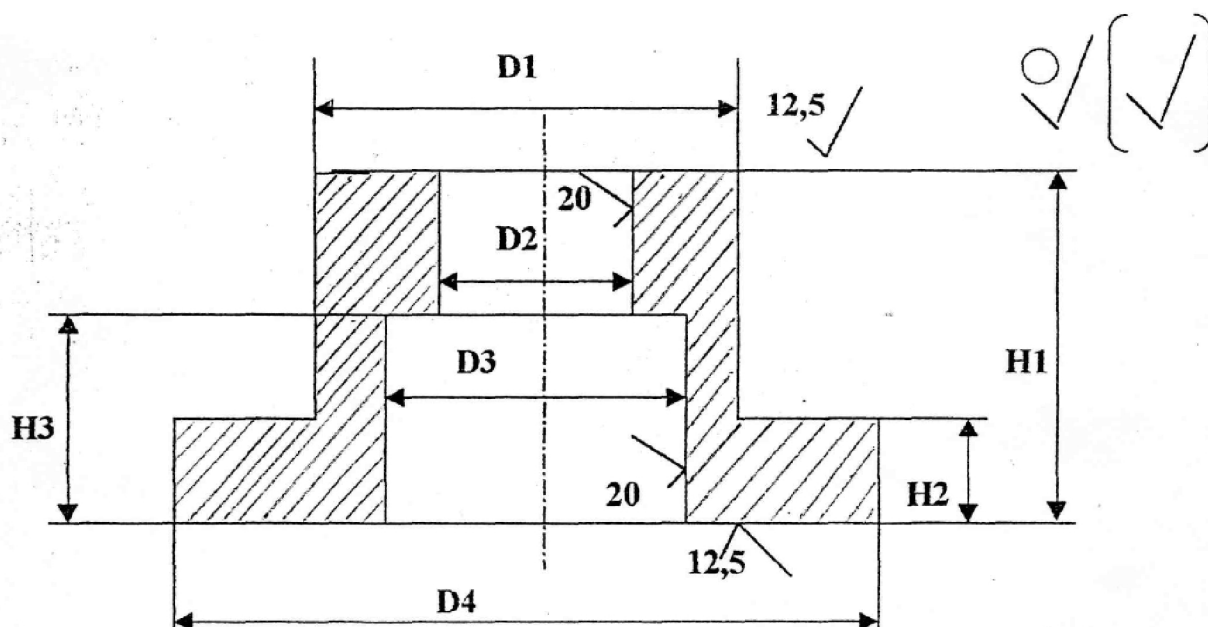


Рис. 1. Чертежи деталей №1 и №2

Примечание к рис. 1: Чертежи деталей отливок показываются в масштабе с размерами, указанными в заданиях.

Положение отливки в форме и расположение разъема необходимо изображать на чертеже следующим образом. Плоскость разъема показывают штрих-пунктирной линией с отрезками жирной контурной линии по концам, ограничивают их знаками Х и обозначают буквами РФ или РМФ («размер формы» или «размер модели и формы»). Стрелками показывают положение верха (В) и низа (Н) формы в положении заливки. Для неразъемной формы указывается буква Ф (рис.2).

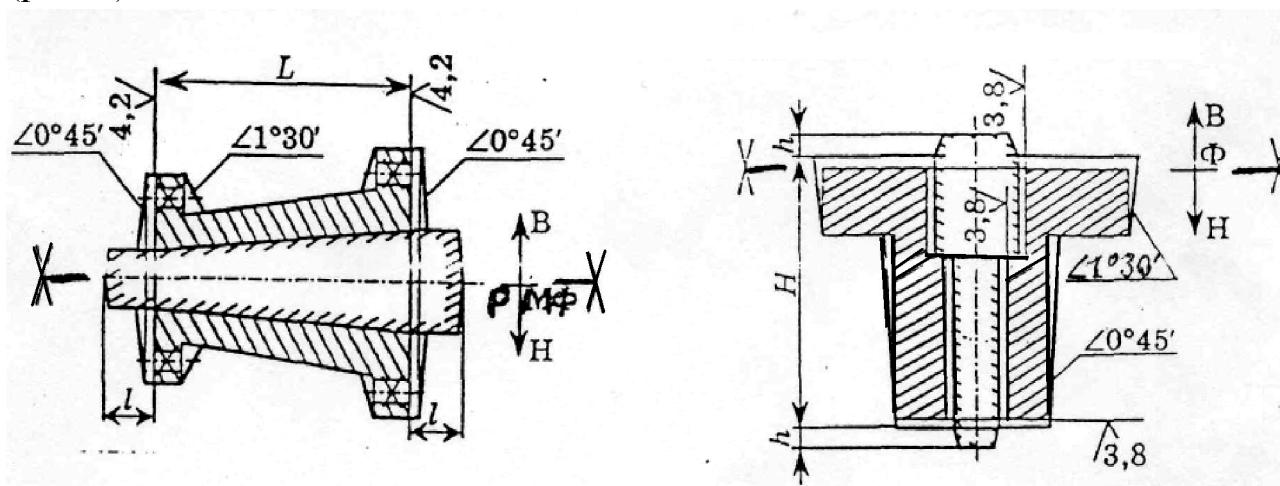


Рис.2. Эскизы отливок 1 и 2

В табл. 1 приведены минимальные размеры сквозных отверстий, получаемых литьём. Под "толщиной" надо понимать толщину той части отливки, в которой должно быть отверстие. Отверстия меньшего диаметра не отливаются, и на чертеже они должны быть зачеркнуты или заштрихованы в разрезах или сечениях.

Таблица 1

Минимальные диаметры отверстий, получаемых литьём

Толщина стенки, мм		До 10	10-20	20 - 40	40-70	70-100
Диаметр отверстий, мм	стальное литье		30	45	60	80
	чугунное и цветное литьё	10	15	20	30	50

Величина припусков на все остальные обрабатываемые поверхности определяется по табл. 2–4. Под "габаритным размером" надо понимать наибольший размер, указанный на чертеже детали, под "номинальным" – размер, связывающий на чертеже поверхность, на которую надо назначить припуск, с другими поверхностями. В строках табл. 2–3, обозначенных "низ, бок", даны значения припусков для поверхностей, которые в положении заливки формы будут находиться снизу или сбоку отливки, а в строках "верх" – для поверхностей, располагающихся сверху отливки.

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2

Припуски на механическую отливку из серого чугуна, мм

Наибольший габаритный размер дета- ли	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм								
		до 50	от 50 до 120	от 120 до 260	от 260 до 500	от 500 до 800	от 800 до 1250	от 1250 до 2000	от 2000 до 3150	от 3150 до 5000
		1-й класс точности								
До 120	Верх низ, бок	2,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—
		2,0	2,0	—	—	—	—	—	—	—
Св. 120 до 260	Верх низ, бок	2,5	3,0	3,0	—	—	—	—	—	—
		2,0	2,5	2,5	—	—	—	—	—	—
»260 »500	Верх низ, бок	3,5	3,5	4,0	4,5	—	—	—	—	—
		2,5	3,0	3,5	3,5	—	—	—	—	—
»500 »800	Верх низ, бок	4,5	4,5	5,0	5,5	5,5	—	—	—	—
		3,5	3,5	4,0	4,5	4,5	—	—	—	—
»800 »1250	Верх низ, бок	5,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,0	—	—	—
		3,5	4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	—	—	—
»1250 »2000	Верх низ, бок	5,5	6,0	6,5	7,00	7,0	7,5	8,0	—	—
		4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	5,5	6,0	—	—
»2000»3150	Верх низ, бок	6,0	6,5	6,5	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	—
		4,0	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,5	—
»3150»5000	Верх низ, бок	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	9,0	9,5	10	11
		4,5	5,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,5

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм									
		до 50	от 50 до 120	от 120 до 260	от 260 до 500	от 500 до 800	от 800 до 1250	от 1250 до 2000	от 2000 до 3150	от 3150 до 5000	
		2-й класс точности									
До 120	Верх низ, бок	—	4,5	—	—	—	—	—	—	—	
		—	3,5	—	—	—	—	—	—	—	
Св. 120 до 260	Верх низ, бок	—	5,0	5,5	—	—	—	—	—	—	
		—	4,0	4,5	—	—	—	—	—	—	
»260 »500	Верх низ, бок	—	6,0	7,0	7,0	—	—	—	—	—	
		—	4,5	5,0	6,0	—	—	—	—	—	
»500 »800	Верх низ, бок	—	7	7	8	9	—	—	—	—	
		—	5	5	6	7	—	—	—	—	
»800 »1250	Верх низ, бок	—	7	8	8	9	10	—	—	—	
		—	5,5	6,0	6,00	7	7,5	—	—	—	
»1250»2000	Верх низ, бок	—	8	8	9	9	10	12	—	—	
		—	6	6	7	7	8	9	—	—	
»2000»3150	Верх низ, бок	—	9	9	10	10	11	12	14	—	
		—	7	7	8	8	9	9	10	—	
»3150»5000	Верх низ, бок	—	9	10	10	11	12	14	15	16	
		—	7	8	8	9	9	11	12	13	
»5000 »6300	Верх низ, бок	—	9	10	11	12	13	14	16	18	
		—	7	8	9	9	10	11	13	15	
»6300»10000	Верх низ, бок	—	9	10	11	12	14	16	18	20	
		—	7	8	9	10	11	13	15	17	
Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер,мм									
		до 120	от 120 до 260	от 260 до 500	от 500 до 800	от 800 до 1250	от 1250 до 2000	от 2000 до 3150	от 3150 до 5000	от 5000 до 6300	от 6300 до 10000
			до 260	до 500	до 800	до 1250	до 2000	до 3150	до 5000	до 6300	до 10000
3-й класс точности											
До 120	Верх низ, бок	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 120 до 260	Верх низ, бок	5	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—
		4	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—
»260 »500	Верх низ, бок	6	7	7	—	—	—	—	—	—	—
		4,5	5	6	—	—	—	—	—	—	—

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм									
		до 120	от 120	от 260	от 500	от 800	от 1250	от 2000	от 3150	от 5000	от 6300
			до 260	до 500	до 800	до 1250	до 2000	до 3150	до 5000	до 6300	до 10000
3-й класс точности											
»500 »800	Верх низ, бок	7	7	8	9	—	—	—	—	—	—
		5	5	6	7	—	—	—	—	—	—
»800 »1250	Верх низ, бок	7	8	8	9	10	—	—	—	—	—
		5	6	6	7	7,5	—	—	—	—	—
»1250 »2000	Верх низ, бок	8	8	9	9	10	12	—	—	—	—
		6	6	7	7	8	9	—	—	—	—
»2000»3150	Верх низ, бок	9	9	10	10	11	12	14	—	—	—
		7	7	8	8	9	9	10	—	—	—
»3150»5000	Верх низ, бок	9	10	10	11	12	14	15	16	—	—
		7	8	8	9	9	11	12	13	—	—
»5000 »6300	Верх низ, бок	9	10	11	12	13	14	16	18	20	—
		7	8	9	9	10	11	13	15	17	—
»6300»10000	Верх низ, бок	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
		7	8	9	10	11	13	15	17	19	21

Примечания.

1. По соглашению сторон допускается уменьшать припуски на механическую обработку, указанные в таблицах, до минимально необходимых.

2. Под номинальным размером для установления припуска на механическую обработку следует понимать наибольшее расстояние между противоположными обрабатываемыми поверхностями или расстояние от базисной поверхности или оси (указанной в чертеже отливки или детали) до обрабатываемой поверхности.

3. На механическую обработку отливаемых отверстий должны приниматься припуски по этим же таблицам (верха или низа, независимо от расположения отверстий).

Таблица 3

Припуски на механическую обработку стальных отливок, мм

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм								
		до 120	от 120	от 260	от 500	от 800	от 1250	от 2000	от 3150	от 5000
			до 260	до 500	до 800	до 1250	до 2000	до 3150	до 5000	до 6300
1-й класс точности										
До 120	Верх, низ, бок	4	—	—	—	—	—	—	—	—
		4	—	—	—	—	—	—	—	—

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм								
		до 120	от 120	от 260	от 500	от 800	от 1250	от 2000	от 3150	от 5000
			до 260	до 500	до 800	до 1250	до 2000	до 3150	до 5000	до 6300
1-й класс точности										
Св. 120 до 260	Верх, низ, бок	5	6	—	—	—	—	—	—	—
		4	4	—	—	—	—	—	—	—
»260 »500	Верх низ, бок	6	7	7	—	—	—	—	—	—
		5	5	6	—	—	—	—	—	—
»500 »800	Верх, низ, бок	7	8	9	10	—	—	—	—	—
		5	6	6	7	—	—	—	—	—
»800»1250	Верх, низ, бок	8	9	10	10	11	—	—	—	—
		6	7	7	7	8	—	—	—	—
»1250 »2000	Верх, низ, бок	9	10	10	11	12	13	—	—	—
		7	7	8	8	9	9	—	—	—
»2000»3150	Верх, низ, бок	10	11	11	12	13	13	14	—	—
		7	8	8	9	10	10	11	—	—
»3150»5000	Верх, низ, бок	10	11	12	13	13	13	14	16	—
		8	8	9	9	10	10	11	13	—
»5000»6300	Верх, низ, бок	12	13	13	14	14	15	15	16	20
		9	9	10	10	11	11	12	14	16
2-й класс точности										
До 120	Верх, низ, бок	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—
		3	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 120 до 260	Верх, низ, бок	4	5	—	—	—	—	—	—	—
		3	3,5	—	—	—	—	—	—	—
»260»500	Верх, низ, бок	5	5	6	—	—	—	—	—	—
		3	4	4	—	—	—	—	—	—
»500 »800	Верх, низ, бок	5	6	7	7	—	—	—	—	—
		4	4,5	5	5	—	—	—	—	—
»800 »1250	Верх, низ, бок	7	7	8	8	9	—	—	—	—
		5	5	6	6	6	—	—	—	—
»1250»2000	Верх, низ, бок	8	8	9	9	9	10	—	—	—
		6	6	6	7	7	7	—	—	—
»2000»3150	Верх, низ, бок	9	9	10	10	11	12	12	—	—
		7	7	7	8	8	8	9	—	—
»3150»5000	Верх, низ, бок	10	10	11	12	12	13	13	16	—
		8	8	8	8	9	9	10	12	—

Окончание табл. 3

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм								
		до 120	от 120	от 260	от 500	от 800	от 1250	от 2000	от 3150	от 5000
			до 260	до 500	до 800	до 1250	до 2000	до 3150	до 5000	до 6300
3-й класс точности										
»500 »800	Верх низ, бок	7	8	10	11	—	—	—	—	—
		5	6	7	7	—	—	—	—	—
»800 »1250	Верх низ, бок	9	10	11	12	13	—	—	—	—
		6	7	8	8	9	—	—	—	—
»1250»2000	Верх низ, бок	10	11	12	13	14	16	—	—	—
		7	8	9	9	10	11	—	—	—
»2000 »3150	Верх низ, бок	10	11	13	14	15	16	17	—	—
		8	9	10	10	11	12	13	—	—
»3150»5000	Верх низ, бок	12	13	14	15	16	17	18	20	—
		9	10	11	11	12	13	14	16	—
»5000»6300	Верх низ, бок	14	14	15	16	18	20	21	23	25
		—	—	11	12	13	14	15	17	20
»6300»10000	Верх низ, бок	—	—	16	18	20	22	23	25	28
		—	—	12	13	14	15	16	18	22

Таблица 4

**Наибольшие припуски на механическую обработку отливок
из цветных сплавов, мм**

Наибольший габаритный размер детали, мм	Группы припусков для производства отливок, мм					
	массового		серийного		индивидуального	
	простых	сложных	простых	сложных	простых	сложных
До 100	1,5	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0
100 – 200	1,5	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0
200 – 300	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	5,0
300 – 500	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	6,0
500 – 800	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	7,0
800 – 1200	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0
1200 – 1800	4,0	5,0	5,0	7,0	7,0	9,0
1800 – 2600	5,0	6,0	6,0	8,0	8,0	10,0
2600 – 3800	—	—	7,0	9,0	9,0	11,0
3800 – 5400	—	—	8,0	9,0	9,0	13,0
Св. 5400	—	—	9,0	12,0	12,0	15,0

Примечание. Допускается уменьшать припуски на механическую обработку, указанные в таблице, до минимально необходимых.

2.3. Нанесение уклонов на эскиз детали

Формовочные уклоны назначаются только на вертикальные поверхности модели, которые контактируют с формовочной смесью. Уклон зависит от высоты и материала модели и определяется по табл. 5.

Таблица 5

Формовочные уклоны наружных поверхностей моделей или стержневых ящиков

Измеряемая высота, мм	Уклоны для моделей		Измеряемая высота, мм	Уклоны для моделей	
	металличе- ских	деревян- ных		металличе- ских	деревян- ных
До 20	1°30'	3°00'	Св. 200 до 300	0°30'	0°30'
Св. 20 до 50	1°00'	1°30'	Св. 300 до 800	0°20'	0°30'
Св. 50 до 100	0°45'	1°00'	Св. 800 до 2000	0°15'	0°20'
Св. 100 до 200	0°30'	0°45'	Св. 2000	0°10'	0°15'

Примечания.

1. Формовочные уклоны выполняются: а) на обрабатываемых поверхностях – с учетом припуска на механическую обработку путем увеличения размеров отливки; б) на необрабатываемых поверхностях, которые не сопрягаются с другими элементами – путем увеличения, уменьшения или одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки.

2. Уклоны местных небольших бобышек, платиков, планок, поясков следует принимать 30 – 45°.

3. В ребрах жесткости уклон следует делать до 5 – 8°.

4. Формовочные уклоны литейных болванов для нижней полуформы увеличиваются в 2 раза, а для верхней – в 4 раза по сравнению с данными таблицы.

5. Формовочные уклоны в стержневых ящиках рекомендуется выполнять аналогично модельным уклонам.

Отливка, как и её модель, также будет иметь соответствующие уклоны. Стандартное обозначение уклонов на эскизе отливки показано на рис. 2.

2.4. Выбор контура и знаковых частей стержня

Стержни предназначены для получения внутренней полости в отливке. Конфигурация внутренней полости полностью соответствует конфигурации стержня без зазора, выступающие за пределы отливки части стержня называются знаками и служат для закрепления стержня в литейной форме. Знаковые части горизонтальных и верти-

кальных стержней различны (см. рис. 2). Их длина (высота) определяется по данным табл. 6, 7, где d – диаметр, a , b — размеры сечения стержня некруглой формы по ГОСТ 3212-92.

Таблица 6

Длина горизонтальных стержневых знаков

Размер d или $(a + b)/2$, мм	Длина стержня L , мм			
	До 50	51 – 150	151 – 300	301 – 500
	Длина знаков l , мм			
До 25	15	25	40	–
26 – 50	20	30	45	60
51 – 100	25	35	50	70
101 – 200	30	40	55	80

Таблица 7

Высота вертикальных стержневых знаков

Размер d или $(a + b)/2$, мм	Высота стержня H , мм							
	До 50		51 – 150		151 – 300		301 – 500	
	Высота знаков h , мм							
	верх	низ	верх	низ	верх	низ	верх	низ
До 25	15	20	15	25	–	–	–	
26 – 50	15	20	20	40	35	60	40	70
51 – 100	15	25	20	35	30	50	40	70
101 – 200	20	30	20	25	25	40	35	60

Для вертикальных стержней высота верхней части стержня всегда меньше нижней.

После определения размеров стержня его чертеж совмещается с чертежом отливки. Далее изображается зазор между знаковыми частями стержня и формы (в работе не определяется). Полученный внешний контур будет соответствовать контуру модели (рис 2).

2.5. Элементы расчета и обозначение частей литниковой системы

Литниковая система служит для заливки жидким металлом полости литейной формы, образованной стержнем и отпечатком модели. Состоит из заливочной чаши со стояком 1, шлакоуловителя 2, питателя 3, выпора 4, прибыли 5. Их расположение относительно отливки 6 представлено на рис.3.

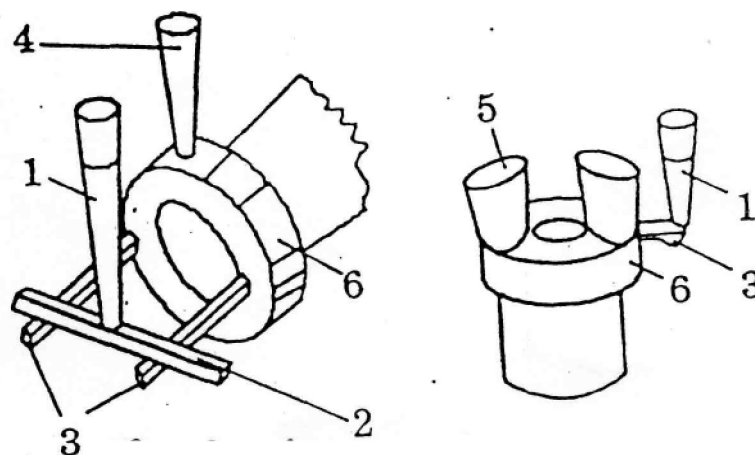


Рис.3. Литниковая система

Площади сечений обозначают следующим образом: питателя – $F_{\text{п}}$; шлакоуловителя – $F_{\text{шл}}$; стояка – $F_{\text{ст}}$; суммарные площади: питателей – $\sum F_{\text{п}}$, стояков – $\sum F_{\text{ст}}$ и т. д.

Площади сечений элементов литниковой системы определяются из расчета сечения питателя $F_{\text{п}}$, и затем по соотношению определяются $F_{\text{шл}}$ и $F_{\text{ст}}$:

для серого чугуна $F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,15$;

для ковкого чугуна $F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,3$;

для стального литья $F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4$.

Суммарная площадь сечения питателей, см^2 , равна

$$\sum F_{\text{п}} = \frac{G}{\mu t 0,31 \sqrt{H_{\text{ср}}}},$$

где G – масса отливок с припусками и литниковой системой, кг (масса литниковой системы и припусков для отливок из серого чугуна составляет до 20% массы детали, для ковкого чугуна – 40–60%, для стального литья – 40–100%); μ – коэффициент сопротивления литейной формы течению металла, выбираемый по табл. 8; $H_{\text{ср}}$ – средний расчетный напор жидкого металла, см, определяемый по формуле

$$H_{\text{ср}} = H_{\text{ст}} - \frac{h_{\text{в}}^2}{2h_0},$$

где $H_{\text{ст}}$ – высота стояка от верхнего уровня литниковой чаши до верхнего уровня питателя (разъема литейной формы), см; высота стояка определяется путем прибавления к высоте модели верха 40–50 мм и округления полученного значения до ближайшего, кратного 25 мм; h_0 – высота отливки в литейной форме при заливке, см;

h – часть высоты от уровня питателя до наиболее высоко расположенной точки отливки, см; t – оптимальная продолжительность заливки, с.

Таблица 8

Значение коэффициента μ

Характеристика заливки	Сопротивление формы *		
	большое	среднее	малое
В сухую форму	0,30	0,38	0,50
В сырую форму	0,25	0,32	0,42

Примечание. * Среднее сопротивление течению металла – при наличии одного поворота струи металла на 90° после выхода из питателя; большое сопротивление – при наличии более одного поворота струи металла на 90° ; малое сопротивление – отсутствие поворотов струи металла на 90° .

Для стального и чугунного литья продолжительность заливки рассчитывается по формуле

$$t = S_1 \sqrt{\delta G},$$

где δ – преобладающая толщина стенок отливки или её среднее значение, мм; S_1 – поправочный коэффициент, который выбирается для серого и ковкого чугунов по данным табл. 9, для стали – по табл. 10.

Таблица 9

Значение S_1 для серого и ковкого чугуна

Вид чугуна	Толщина стенки отливки, мм		
	до 5	5–8	8–15
Серый	1,63	1,85	2,20
Ковкий	1,71	2,05	2,35

Таблица 10

Значение S_1 для стальных отливок

Температура металла и жидкотекучесть	Способ подвода металла		
	Снизу сифоном	На 0,5 высоты отливки или ступенчатый	Сверху
Нормальные	1,3	1,4	1,5–1,6
Повышенные	1,4–1,5	1,5–1,6	1,6–1,8

2.6. Устройство и размеры моделей

Устройство и размеры моделей определяются по очертаниям и размерам отливки с учетом очертаний стержневых знаков и их раз-

меров. Размеры модели назначаются по размерам отливки, но при этом надо учитывать величину литейной усадки (табл. 11). На чертеже модели указывают размеры, соответствующие размерам отливки, а на поле чертежа проставляют величину усадки. Корректировка размеров отливки производится в процессе изготовления моделей. Отдельные части моделей в большинстве случаев совмещаются с разъемом формы и соединяются (фиксируются) при помощи штифтов, расположенных по разъему.

Таблица 11

Среднее значение линейной усадки для различных литейных сплавов

Сплав	Литьё	Линейная усадка, %
Серый чугун	Мелкое	0,8–1,2
	Среднее	0,6–1,0
	Крупное	0,4–0,8
Углеродистая и низколегированная сталь	Мелкое	0,8–2,2
	Среднее	1,6–2,0
	Крупное	1,4–1,8
Медный (цифры без скобок для оловянных бронз, в скобках – для безоловянных бронз и латуней)	Мелкое	1,0–1,2 (1,6–2,0)
	Среднее	0,9–1,1 (1,5–1,9)
	Крупное	0,8–1,0 (1,4–1,8)
Алюминиевый и магниевый	Мелкое	1,0–1,5
	Среднее	0,8–1,4
	Крупное	1,8–1,3

2.7. Размеченный чертёж отливки

Размеченный чертёж отливки выполняется непосредственно на чертеже детали. К проекционным изображениям детали дочерчиваются контуры отливки, которые отличаются от соответствующих контуров детали наличием припусков, напусков, уклонов и т.п. "Дочерчивание" контуров отливки выполняется *красным* карандашом. На проекциях чертежа, где деталь показана в разрезе, "дочерченная" часть отливки должна быть показана в разрезе, т.е. заштрихована *красным* карандашом. Направление штриховки то же, что и на чертеже детали.

Элементы литниковой системы следует вычертить на размеченном чертеже тонкими линиями. Толщину питателей условно изображают равной 1/3-1/4 толщины стенки элемента отливки, к которому подводится материал.

Совместное рассмотрение размеченного чертежа отливки с сохраненными контурами детали дает полное представление об очертаниях отливки и её устройстве, а следовательно, и об устройстве модели и литейной формы (рис.2).

2.8. Эскиз литейной формы в сборе

После указанных расчетов вычерчивается эскиз литейной формы в сборе в вертикальном разрезе (рис.4)

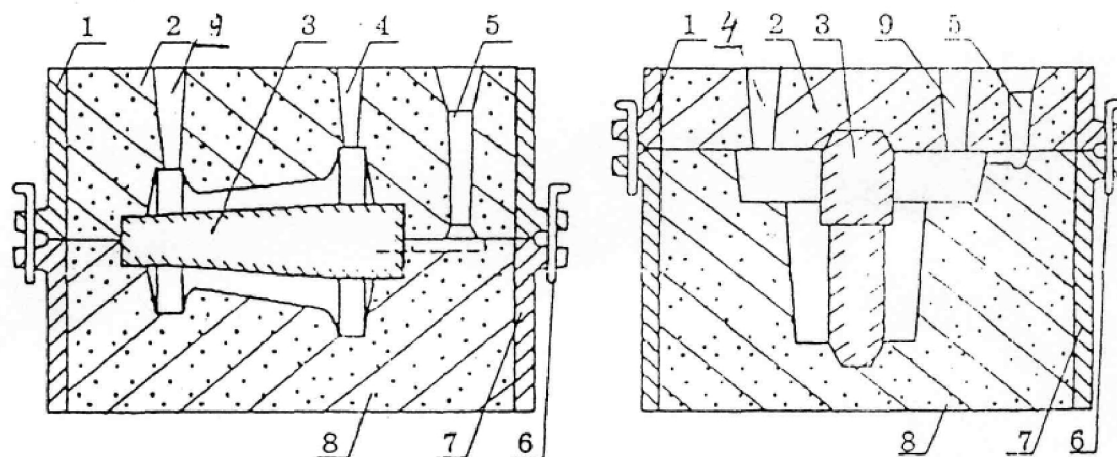


Рис.4. Эскизы литейных форм в сборе: 1 – верхняя опока; 2 – верхняя полуформа; 3 – стержень; 4 – выпор; 5 – стояк; 6 – штырь; 7 – нижняя опока; 8 – нижняя полуформа; 9 – прибыль

3. Задание на лабораторную работу

По чертежу отливки:

- 1) обосновать положение отливки в форме и выбрать разъем формы;
- 2) назначить припуски на механическую обработку и формовочные уклоны;
- 3) выбрать контуры и знаковые части стержня;
- 4) рассчитать элементы литниковой системы;
- 5) привести размеченный чертеж отливки;
- 6) привести эскиз литейной формы в сборе.

Одно задание выдается трем студентам. Номер задания состоит из трех цифр: первая – номер детали, вторая – номер варианта, третья – класс точности. Например, задание № 1.2.1 означает деталь №1, 2-й вариант и 1-й класс точности. Для алюминиевых сплавов класс точности не приводится и номер задания состоит из двух цифр, например, 2.9. Ниже приведены варианты заданий.

Деталь №1 (рис.1)

№ задания	Размеры деталей, мм			Материал отливки	Способ формовки	Характер пр-ва	Класс точности
	D_1	D_2	L				
1.1.1	100	70	145	Серый чугун	Машинный	Массовый	1
1.2.2	150	120	195	–	Ручной	Серийный	2
1.3.3	200	170	240		Машинный	Массовый	3
1.4.1	250	220	290	Углеродистая сталь	Ручной	Индивидуальный	1
1.5.2	300	270	340	–	Машинный	Массовый	2
1.6.3	350	320	395	–	Ручной	Серийный	3
1.7	400	370	445	Алюминиевый сплав	Машинный	Массовый	–
1.8	450	420	495	–	Ручной	Индивидуальный	–
1.9	500	470	545	–	Машинный	Массовый	–
1.10	550	520	595	–	Ручной	Серийный	–

Деталь №2 (рис.1)

№ задания	Размеры деталей, мм		Материал отливки	Способ формовки	Характер пр-ва	Класс точности
	D	H				
2.1.1	60	30	Серый чугун	Машинный	Массовый	1
2.2.2	100	70	–	Ручной	Серийный	2
2.3.3	140	110	–	Машинный	Массовый	3
2.4.1	180	150	Углеродистая сталь	Ручной	Индивидуальный	1
2.5.2	220	190	–	Машинный	Массовый	2
2.6.3	260	230	–	Ручной	Серийный	3
2.7	300	270	Алюминиевый сплав	Машинный	Массовый	–
2.8	340	310	–	Ручной	Индивидуальный	–
2.9	380	350	–	Машинный	Массовый	–
2.10	420	390	–	Ручной	Серийный	–

Примечания:

- 1) Неуказанные размеры детали определяются студентом.
- 2) Обрабатываемые поверхности деталей и их шероховатость проставляются студентом.

Библиографический список

1. Дружинин Н.С., Цылбов П.П. Выполнение чертежей по ЕСКД. М.: Изд-во стандартов, 1975.
2. Филиппов Г.И. Литые заготовки и способы их получения: Учеб. пособие. Л.: ЛПИ, 1983. 88с.
3. Литейное производство / Под ред. А.М. Михайлова. М.: Машиностроение, 1987. 257с.
4. ГОСТ 26645-85. Припуски на механическую обработку отливок. М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. ГОСТ 3212-80. Формовочные уклоны. М.: Изд-во стандартов, 1980.
6. ГОСТ 3606-80. Размеры, уклоны и зазоры между знаками формы и стержня. М.: Изд-во стандартов, 1980.
7. ГОСТ 7.1125-88. Правила графического оформления элементов литейных форм и отливок. М.: Изд-во стандартов, 1988.
8. Заббаров Р., Чемпинский Л.А., Уварова В.С. Конструирование отливок: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1995. 35с.

Лабораторная работа №7

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ И КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

Цель работы: изучение литья в металлические и керамические формы по постоянным моделям.

1. Литье в кокиль

При литье в кокиль отливки получают путем заливки расплавленного металла в металлические формы (кокили). Принципиальное отличие от литья в песчаные формы состоит в том, что металлическая форма в целом (или большая часть ее элементов), изготовленная из металла, многократно используется для получения большого числа отливок. Отдельные элементы кокиля, главным образом стержни, формирующие сложные внутренние полости отливки, могут быть изготовлены из песка на том или ином связующем и предназначаться только для разового использования. Песчаные стержни применяют преимущественно для получения чугунных и стальных отливок, металлические — для отливок из цветных сплавов.

Для удаления воздуха и газов из полости формы по плоскости разъема кокиля изготавливают вентиляционные каналы. Отливки из рабочей полости удаляют выталкивателями. Заданный тепловой режим литья обеспечивает система подогрева и охлаждения кокиля.

Кокиль быстрее песчаной формы отводит теплоту перегрева и кристаллизацию сплава. Интенсивность затвердевания отливки, а также ее отдельных частей регулируют температурой нагрева кокиля и толщиной теплозащитной краски. Кокили могут быть неразъемными (вытряхными) и разъемными. Металлические стержни удаляют из отливки до ее извлечения из кокиля после образования достаточно прочной корки твердого металла.

Интенсивность теплообмена между отливкой и кокилем в 3–5 раз выше, чем между отливкой и разовой формой. Поэтому отливки получают с более плотной мелкозернистой структурой, что существенно повышает свойства магниевых и алюминиевых сплавов. Вместе с тем в кокиле трудно получать тонкостенные отливки. Чугунные отливки, как правило, получают с отбеленным поверхно-

стным слоем, высокими внутренними напряжениями, поэтому их надо отжигать. В кокилях трудно изготавливать сложные стальные отливки ввиду значительной усадки литейных сталей, практически полного отсутствия податливости формы, высокой интенсивности охлаждения и других факторов, вызывающих возрастание вероятности образования трещин. Кроме того, изготовление стальных отливок, особенно крупных, в металлических формах не всегда экономически оправдано из-за низкой стоимости кокилей. При изготовлении стальных отливок кокили выдерживают не более нескольких десятков или сотен заливок. Это на два-три порядка меньше кратности использования кокилей при производстве отливок из алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов. Трудоёмкость изготовления отливок в кокилях меньше, чем при литье в разовые формы, качество поверхности и точность размеров отливок выше, припуски на обработку меньше, условия труда лучше. В механизированных кокильных цехах изготавливают чугунные и стальные отливки массой до 160 кг и из цветных сплавов до 30 кг, в немеханизированных – соответственно до 14 и 0,5 кг. В кокилях можно получить чугунные прокатные валки с отбеленным твердым износостойким поверхностным слоем, а также плотные без рыхлостей с повышенными свойствами отливки из алюминиевых сплавов с широким интервалом температуры затвердевания.

При оценке целесообразности изготовления отливок литьем в кокиль учитывают затраты на изготовление детали с учетом стоимости кокиля, потерь металла в стружку и трудоемкости механической обработки. Этот способ литья целесообразно применять в массовом и крупносерийном производстве, когда партия составляет не менее 300 мелких и 20 крупных отливок.

С целью снижения трудоемкости изготовления и повышения стойкости кокили облицовывают слоем плакированной песчаной смеси, отверждаемой при нагреве. Для этого применяют нагреваемую модель. Модель точно, а внутренняя поверхность кокиля лишь приблизительно воспроизводят очертания отливки. В зазор между моделью и кокилем, нагретыми до 250° С, вдувают смесь. После отверждения слой смеси толщиной 5–15 мм остается на кокиле. После изготовления отливки остатки облицовочного слоя удаляют дробеструйной обработкой и на кокиле формируют новый слой. Облицо-

вочные кокили применяют при производстве чугунных и стальных отливок. Литье в облицовочные кокили сочетает преимущества способов литья в оболочковые формы и кокили. Преимущество этого способа растёт с увеличением размеров изготавливаемой отливки.

Технология литья в кокиль

Особенностью технологии является подготовка кокиля к заливке, которая заключается в окраске рабочих поверхностей полости специальными красками, в доведении (нагревом или охлаждением) температуры кокиля до оптимальной для данного сплава уровня, и конечный результат – сборка формы.

Рабочую поверхность кокиля и металлических стержней очищают от ржавчины и загрязнений. Затем на рабочую поверхность кокиля наносят теплозащитные покрытия для предохранения его стенок от воздействия высоких температур заливаемого металла, для регулирования скорости охлаждения отливки, улучшения заполняемости кокиля, облегчения извлечения отливки и т. д. Теплозащитные покрытия изготавливают из огнеупорных материалов (пылевидного кварца, молотого шамота, графита, мела и др.), связующего (жидкого стекла и др.) и воды.

Теплозащитные покрытия наносят пульверизатором на предварительно подогретый до температуры 140–180°C кокиль слоем 0,3–0,8 мм. Заключительная операция подготовки кокиля: нагрев его до температуры 150–350°C. Температуру нагрева кокиля назначают в зависимости от сплава и толщины стенок отливки, например, при изготовлении чугунных отливок с толщиной стенок 5–10 мм кокиль нагревают до 350°C, при толщине стенок 10–20 мм – до 150–250°C, для алюминиевых и магниевых отливок – до 250–350°C.

При сборке кокилей в определённой последовательности устанавливают металлические или песчаные стержни, проверяют точность их установки и закрепления, соединяют половины кокиля и скрепляют их. Заливку металла осуществляют ковшами или автоматическими заливочными устройствами. Затем отливки охлаждают до температуры выбивки, составляющей 0,6–0,8 температуры солидуса сплава, и выталкивают из кокиля. После этого отливки подвергают обрубке, очистке и в случае необходимости термической обработке. На рис. 1 показана схема кокиля для отливки поршней.

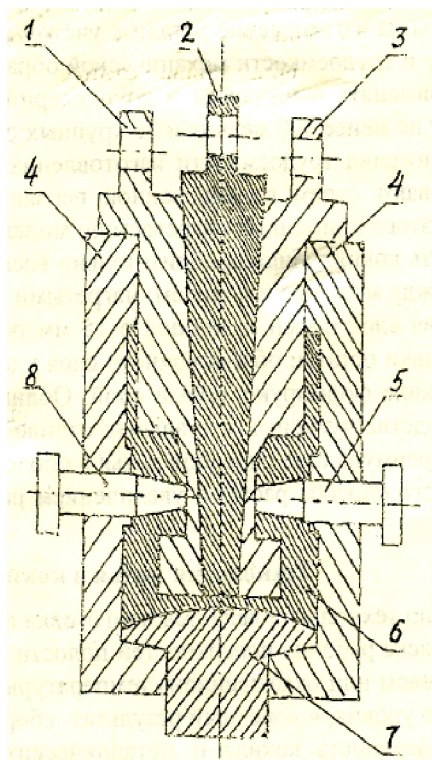


Рис. 1. Кокиль для отливки с разъемным металлическим стержнем: 1, 3 – разъемные стержни; 2 – клинообразный фиксатор; 4 – оболочка кокиля; 5, 8 – стержни для получения отверстий; 6 – поршень; 7 – основание кокиля

Контрольные вопросы

1. Сущность метода литья в кокиль.
2. Особенности способа литья в кокиль.
3. Порядок подготовки кокиля к заливке.
4. Применение кокильного литья для производства отливок из стали, чугуна и цветных металлов.
5. Достоинства и недостатки способа.
6. Экономическая целесообразность применения литья в кокиль.

Практическая часть работы

1. Изучение конструкции кокилей.
2. Овладение технологией подготовки кокиля к заливке.
3. Овладение практикой плавления металла и заливки его в кокиль.
4. Приобретение навыков извлечения стержней и отливок из кокиля.
5. Ознакомление с методиками обработки отливок (обрубка, очистка, термическая обработка).
6. Изучение методов контроля качества отливок. Анализ причин брака.

В процессе выполнения работы студенты проводят подготовку кокиля к заливке металла, готовят жидкий металл и производят заливку его в кокиль. Каждая подгруппа отливает по несколько отливок и проводит анализ их качества.

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку; кокили вытряхные и разъёмные; плавильную печь; теплозащитные краски; приспособление для подготовки кокиля к заливке; разливочные ковши; цветные сплавы (цинковые, алюминиевые, магниевые) и таблицу с их литейными свойствами; образцы деталей авиационного назначения, отлитые в кокиль.

Содержание отчета

1. Краткое описание метода литья в кокиль.
2. Описание технологии подготовки кокиля к заливке, сборке кокиля, заливке металла, к извлечению стержней и отливки.
3. Описание режимов подготовки кокиля к разливке и плавке металла.
4. Эскиз кокиля и отливки.
5. Результаты анализа контроля качества отливки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией кокилей.
2. Ознакомиться с основными операциями при подготовке кокиля к заливке.
3. Изучить технологическую последовательность операций от подготовки кокиля до обработки отливок и их контроля.
4. Подготовить кокиль к заливке, собрать его.
5. Подготовить жидкий металл и залить его в кокиль. Разобрать кокиль, вынуть отливку.
6. Обработать отливку и провести анализ её качества (качество поверхности, точность размеров).
7. Результаты работы описать в отчёте.

Библиографический список

1. Литейное производство / Под ред. А.М. Михайлова. М.: Машиностроение, 1987.
2. Заббаров Р., Уваров В.С. Прогрессивные процессы производства отливок и заготовок: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1991.

2. Литье в керамические формы по постоянным моделям

Керамическая форма – это разовая химически твердеющая форма, полученная из специальной жидкоподвижной смеси наливной формовкой с последующим прокаливанием. Керамические формы изготавливают по постоянным, выплавляемым, гипсовым моделям и др. В данной работе рассмотрены технологические основы литья в керамические формы по постоянным моделям.

Литьё в керамические формы разработано в 1951 году английскими учёными братьями Клиффордом и Ноэлем Шоу, и поэтому этот метод получил название «Шоу-процесс». В отечественной промышленности этот метод также называется Шоу-процессом или литьём в керамические формы. Позднее появились различные варианты Шоу-процесса: Композайт-Шоу-процесс, Юникаст-процесс, Дин-процесс, Шотт-процесс, Керамкаст-процесс и др. и отечественные варианты, не имеющие специальных названий (способы М.В. Сладковой, И. Д. Абрамсона, Ф. Д. Оболенцева и др.).

Литье в керамические формы применяют в единичном, средне- и мелкосерийном производстве отливок практически из любых цветных и чёрных металлов. Особенности Шоу-процесса позволяют получать, как правило, крупногабаритные детали больших масс. Большинство их размеров выполняются в одной полуформе, что приводит к повышенной точности отливок. Таким образом, метод литья в керамические формы нашёл наиболее широкое применение при производстве деталей:

- металлооснастки (штампы, пуансоны, пресс-формы, модельные плиты, элементы кокилей, стержневой и модельной оснастки);
- турбин из жаро- и коррозионно-стойких сталей и сплавов.

Основа процесса – изготовление специальной жидкоподвижной керамической формовочной смеси. Эта смесь состоит из порошкообразного огнеупора, связующего и коагулятора. В качестве огнеупора применяют, как правило, смесь кварцевого песка и маршаллита, связующим служит гидролизированный этилсиликат. Роль коагулятора выполняет 15%-й раствор NaOH.

Технологический процесс заключается в следующем (рис. 1). Огнеупорные материалы (кварцевый песок и пылевидный кварц – маршаллит) подготавливаются и засыпаются в барабан, где тщательно перемешиваются (рис. 1,а). В гидролизёре готовится этилсиликат. Гидролизированный этилсиликат подаётся в специальный бачок, до-

бавляется водный раствор NaOH и при перемешивании засыпается смесь песка и маршаллита (рис. 1,б). Приготовленная таким образом смесь выливается на модель, установленную в опоке на плите (рис. 1,в). Через некоторое время смесь начинает затвердевать, после чего модель извлекают. Полуформу устанавливают на плиту и сразу поджигают спирт (рис. 1,г). Таким же образом получают вторую полуформу. После прокали полуформы собирают, и форма готова для заливки металла (рис. 1,д).

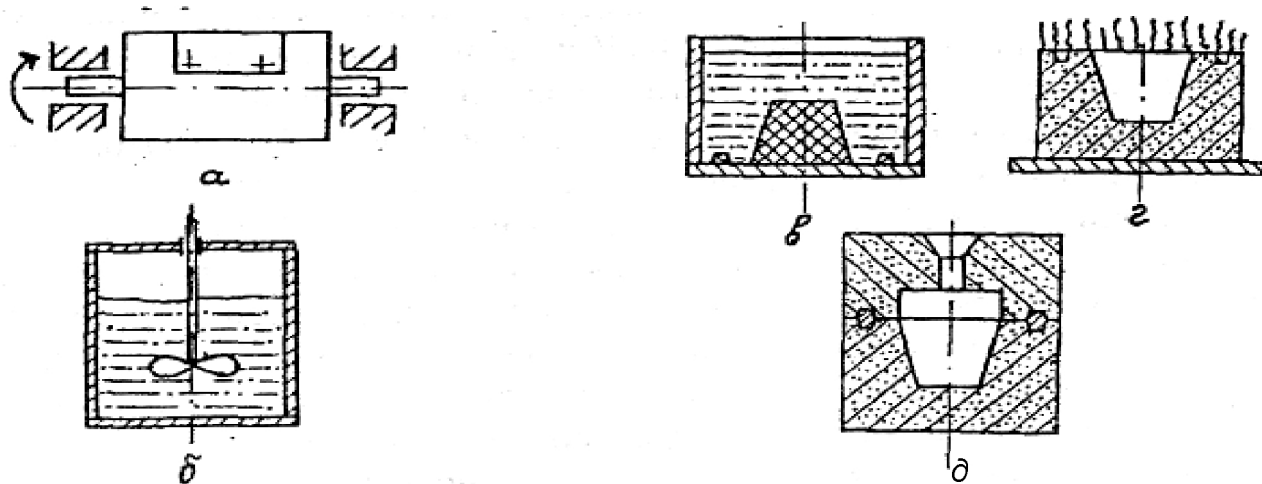


Рис. 1. Схема процесса изготовления керамической формы

Технология литья в керамические формы содержит элементы литья в песчаные формы: наличие разъёма в формах, применение модельно-опочной оснастки и др. Принципиальное же отличие способа заключается в применении специальной формовочной смеси. Это позволяет получать чёткий и точный отпечаток модели. При выгорании спирта и прокаливании на поверхности полости возникают мелкие трещины. Они существенно улучшают газопроницаемость формы без ухудшения чистоты поверхности отливок.

К модельной оснастке относятся модели, модельные плиты и опоки. Модели изготавливают из различных материалов: дерево, гипс, пластмассы. Выбор материала определяется серийностью производства и точностью отливок. Применение полированных металлических моделей обеспечивает максимальную точность. Деревянные модели (орех, бук и др.) используются при небольших сериях производства несложных отливок. Деревянные модели покрывают лаком, устойчивым против спирта или ацетона в зависимости от материала связующего. Модели также могут покрываться слоем парафина. Металлическая модель, как правило, не покрывается защит-

ным покрытием, но при применении формовочной смеси модель покрывается тонким слоем вазелина или смесью вазелина с трансформаторным маслом. Иногда в качестве модели применяют готовое изделие.

При заливке формовочных смесей модели отливок и литниковой системы могут всплывать. Поэтому они крепятся к модельной плите. Кроме того, модельные плиты снабжаются элементами для оформления фиксаторов на полуформах. Фиксаторы исключают возможность сдвига по разъему верхней и нижней полуформ. Ниже рассмотрены технологические особенности изучаемого процесса.

Приготовление формовочной смеси

Исходными компонентами при гидролизе этилсиликата являются: 1000 объёмных частей этилсиликата, 160 частей спирта, 120 частей воды, 5,5 частей концентрированной соляной кислоты.

В качестве огнеупорной составляющей применяют смесь кварцевого песка и маршаллита в соотношении 1:3. Предварительно песок и маршаллит прокаливают при температуре около 900-950°C в течение 3-4 часов, просеивают соответственно через сита 03 и 005 и тщательно перемешивают.

Роль коагулятора играет 15%-й раствор NaOH. Коагулятор ускоряет процесс огеливания гидролизованного этилсиликата. Формовочная смесь готовится следующим способом. В ёмкость заливают 100 объёмных частей гидролизованного этилсиликата, затем 5 частей коагулятора и раствор перемешивают. Затем вводится 300 весовых частей огнеупорной смеси. Смесь перемешивается и доводится до консистенции густой сметаны. Жидкая смесь некоторое время выдерживается в смесителе для удаления пузырьков воздуха и выливается на модельную плиту. Когда смесь приобретает резинообразное состояние, модель извлекается. После извлечения модели форма сразу же поджигается для удаления спирта и воды.

Обжиг и прокаливание форм

Одним из факторов, определяющих качество отливок, является газопроницаемость керамической формы.

Процесс гидролиза этилсиликата сопровождается интенсивным выделением спирта. При поджигании спирт сгорает. Это вызывает растрескивание поверхности формы. Появляется сетка мелких тре-

щин. Эта структура керамической формы обладает высокой газопроницаемостью и хорошей податливостью. При этом также компенсируется тепловое расширение формы при заливке жидкого металла. Но иногда при обжиге и прокаливании трещины развиваются сильнее, что сказывается на механической прочности формы.

После сгорания спирта формы обжигают. Обжиг проводят газовыми горелками. При этом пламя направляют в глубокие части формы. Режим обжига и прокаливания определяется размерами форм. Формы малых размеров с толщиной стенок более 4 мм после обжига горелкой собираются и подаются на заливку. Формы для отливок с толщиной стенок менее 4 мм прокаливаются при 900°C в течение 3 часов и подаются на заливку.

Формы средних размеров обжигают при 350°C в течение 3 часов. Если форма предназначена для получения отливок с толщиной стенок менее 4 мм, то её прокаливают при температуре 900°C.

Формы больших размеров прокаливают при температуре 900°C в течение 5 часов.

Заливка, выбивка и очистка отливок

Сборка керамических форм принципиально не отличается от сборки песчаных форм. При горизонтальном разъёме полуформы фиксируются грузом, который устанавливается сверху, а при вертикальном разъёме – с помощью струбцин. При этом допускается замазывание швов керамической смесью (до прокаливания).

Собранную форму заливают металлом, как и песчаную. После охлаждения форму разбивают для извлечения отливки. Для удаления керамической массы из отливок сложной формы применяют растворение в ваннах с расплавленной каустической содой. Измельчённую керамическую массу используют повторно. Удаление литников и очистка отливок производится обычными способами.

Контрольные вопросы

1. Что такое керамическая форма?
2. Сущность литья в керамические формы.
3. Области применения литья в керамические формы.
4. Что входит в состав керамической формовочной смеси?
5. Какие материалы применяют в качестве наполнителя формовочной смеси?

6. Что входит в состав связующего?
7. Для чего служит коагулятор?
8. Какие материалы используют в качестве гелеобразователя?
9. С какой целью поджигают керамическую форму?
10. Назначение обжига (прокаливание) формы.
11. Роль микротрещин в керамических формах.
12. Качество отливок, получаемых литьём в керамические формы.

Практическая часть работы

1. Изучение теоретических основ литья в керамические формы.
2. Освоение технологических особенностей литья в керамические формы.
3. Практическое изучение технологических операций литья в керамические формы.
4. Изучение внешнего вида конкретной отливки.

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку; исходные формовочные материалы; модельно-опочную оснастку; промышленную керамическую форму; промышленную отливку.

Содержание отчёта

1. Описание литья в керамические формы по постоянным моделям.
2. Составление суспензий.
3. Схема керамической формы и отливки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с теорией литья в керамические формы.
2. Изучение исходных формовочных материалов.
3. Эскизы модельно-опочной оснастки.
4. Описание технологии литья в керамические формы.
5. Оформление и сдача отчёта.

Библиографический список

1. Иванов В. Н., Зарецкая Г. М. Литье в керамические формы по постоянным моделям. М.: Машиностроение, 1975. 136 с.
2. Заббаров Р., Уваров В. С. Прогрессивные процессы производства отливок и заготовок: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1991.

Лабораторная работа №8

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ. ЛИТЬЕ ЛОПАТОК ГТД

Цель работы: изучение технологии литья охлаждаемых лопаток с реальными стержнями, моделями, формами и отливками лопаток 1-й и 2-й ступеней.

Теоретические сведения

Способ литья получил промышленное развитие лишь в 40-х годах нашего столетия. Он применяется для получения сложных по конфигурации тонкостенных (до 0,3 мм) отливок с размерами повышенной точности (+0,125 мм на длине 25 мм) и высоким классом чистоты, требующих сложной и трудоёмкой механической обработки, а также получения изделий из труднообрабатываемых сплавов. Такие детали обычно применяют в конструкциях и механизмах без предварительной механической обработки, за исключением сопрягаемых поверхностей. Этот способ применяют, например, для получения турбинных лопаток авиационно-ракетных двигателей. Особенности этого способа литья: одноразовое использование моделей и керамических форм, отсутствие разъемов в формах. Это исключает образование перекосов и заливов. При этом стоимость отливок, полученных этим способом, значительно выше, чем при литье в другие формы. В промышленности применяются разновидности способов получения точных отливок:

а) по выплавляемым моделям, когда выплавляется модель из легкоплавких компонентов (парафин, стеарин, канифоль, церезин и др.);

б) по выжигаемым моделям, когда модель из пенополистирола выжигается заливаемым металлом;

в) по растворяемым моделям, когда разовая модель растворяется специальными составами.

Метод литья по выплавляемым моделям включает в себя следующие циклы:

- приготовление модельной массы;
- изготовление моделей и модельных блоков;
- изготовление керамической оболочки;
- выплавка моделей из формы;
- прокалка оболочек;

- заливка формы жидким металлом;
- выбивка отливки из формы, обработка отливок.

На заводах авиационной промышленности применяют *метод литья по выплавляемым моделям с направленной кристаллизацией*. При направленной кристаллизации в отливке образуется 2-4 кристалла, направленных вдоль лопатки. Столбчатая структура позволяет повысить жаропрочность, пластичность, термостойкость и выносливость лопаток по сравнению с равноосной структурой. Методом литья по выплавляемым моделям можно получить лопатки со сложной внутренней полостью, с тонкими стенками. Высокая точность отливок и чистота их поверхности позволяют свести к минимуму механическую обработку (шлифование пера и обработка замка).

Технологический процесс литья охлаждаемых лопаток по методу направленной кристаллизации состоит из следующих основных этапов.

Изготовление керамических стержней

Стержни изготавливают запрессовкой стержневой массы в пресс-форму. В состав массы входят зернистый огнеупорный материал, связующий и пластификатор. В качестве зернистого материала применяют электрокорунд. В состав связующего входят двуокись титана (25%) и глинозём (75%). Пластификатор может состоять из парафина (90%) и полиэтилена (10%). Стержневая масса для лопаток I ступени турбореактивного двигателя состоит из 96% зернистого материала, 4% связующего и 15–16% пластификатора (сверх 100%). Нагретые до 130–170°C исходные материалы смешиваются. После охлаждения смеси нарезаются куски размерами 50×50×10 мм. Прессование керамических стержней производится на гидравлическом прессе. При этом подогретая до 90–130°C смесь запрессовывается в металлическую форму при давлении прессования 30–50 кгс/см². После зачистки заусенцев стержни рихтуются в металлических драйерах. Для придания стержням механической прочности их обжигают в газовых печах при 1400°C в течение 10–12 часов. Обожженные стержни покрывают лаком КО-815 и сушат при комнатной температуре.

Изготовление моделей лопаток

Для изготовления моделей лопаток применяют различные модельные составы, например, карбамид (90%), селитра калиевая

(10%). Смешивание этих материалов производится при температуре 125–130°C. Изготовление моделей производится свободной заливкой модельного состава в подогретую до 50–55°C металлическую пресс-форму. Перед заливкой модельного состава в пресс-форму устанавливают керамический стержень.

Аналогичным способом изготавливают модели элементов литниковой системы. Несколько моделей лопаток (чаще 4) и модель литниковой системы собирают в блок путём припаивания моделей горячим ножом.

Изготовление керамических оболочковых форм и подготовка их под заливку

Огнеупорная суспензия керамических оболочек готовится на основе дистенсилиманита или электрокорунда. В гидролизированный этилсиликат засыпается электрокорунд мелких фракций (№ 7–25%, № 3–40%, № 5–35%) и перемешивается, затем на модельные блоки наносится огнеупорная суспензия. Указанная операция производится путем окунания блоков в суспензию. Покрашенный модельный блок обсыпается электрокорундом в пескосыпе в жидкокипящем слое. Таким образом наносится несколько слоев (8–10) керамического покрытия в зависимости от размеров лопаток. Причем первый слой обсыпается электрокорундом № 20–25, второй и последующий – № 40–50. После нанесения каждого слоя производится сушка вакуумно-аммиачным способом с естественной сушкой на воздухе в течение 1–1,5 часов. Удаление модельного состава из керамических оболочек производится в горячей воде (90°C). После просушки оболочек при 150–180°C производится их прокалка при 950°C с выдержкой не менее 6 часов. После прокали и охлаждения формы готовят к заливке. В литниковый ход чаши вставляют стопор из никелевой фольги (3 шт. толщиной 0,2 мм). Керамическая оболочка устанавливается в графитовую опоку. Пространство между стенками опоки и оболочкой заполняется графитовой крошкой (0,5–5 мм) с применением вибрации. В литниковую чашу закладывается навеска шихты жаропрочного сплава ЖС6ФВИ для лопатки I ступени весом 2,4 кг. Литниковая чаша закрывается керамической крышкой, графитовая опока закрывается графитовой крышкой.

На рис. 1 показана форма, подготовленная для заливки.

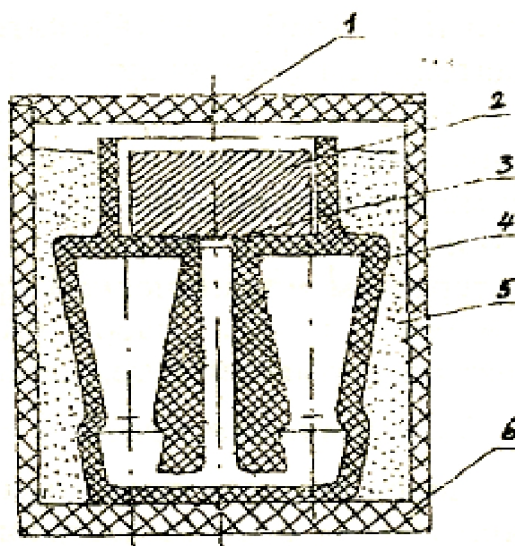


Рис. 1. Форма для литья лопаток: 1 – графитовая крышка; 2 – шихтовая заготовка; 3 – никелевая фольга; 4 – керамическая оболочка формы; 5 – графитовая засыпка; 6 – графитовая опока

Плавка, заливка и кристаллизация лопаток в печи ПМП-2

Принципиальная схема печи приведена на рис. 2.

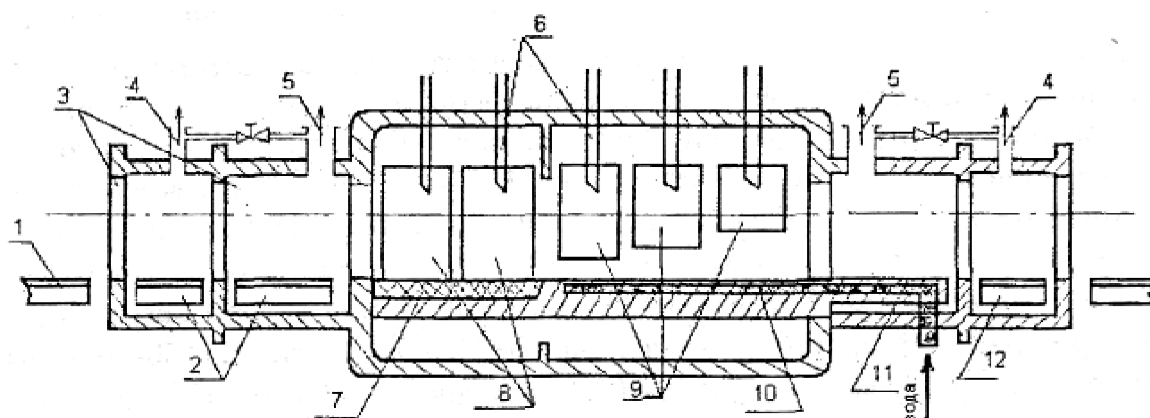


Рис.2. Схема печи ПМП-2: 1 – стол для загрузки с механизмом проталкивания опок; 2 – столы форкамер; 3 – вакуумные затворы; 4 – патрубок создания вакуума механическими насосами; 5 – патрубок создания вакуума диффузионными насосами; 6 – термопары; 7 – стол с графитовым покрытием; 8 – нагреватели в зонах нагрева и плавления шихты; 9 – нагреватели зоны кристаллизации лопаток; 11 – водоохлаждаемый стол; 12 – камера для выгрузки опок

Технические характеристики печи ПМП-2

Мощность P , кВт	530
Максимальная температура в зонах T , °С	
нагрева	1600
плавления	1700
кристаллизации	1500
Остаточное давление p , мм рт. ст.	0,001

Продолжительность выгрузки, мин	5...20
Максимальные размеры формы, мм	150×200×500

На приёмный стол печи подаётся 5 графитовых опок с формами. Все операции (нагрев, плавление, заливка форм, кристаллизация) производятся автоматически. Цикл толкания опок составляет 12 мин. В печи имеется 9 зон с рабочими температурами, которые приведены ниже.

Рабочие температуры печи ПМП-2 по зонам

Зоны	Температура, °С
Нагрев	1300
	1420
	1520
Плавление	1560
	1560
	1500
Кристаллизация	1500
	1470
	1400

В зоне плавления происходит расплавление шихты, никелевой фольги и жидкий сплав заполняет форму. В зоне кристаллизации графитовые опоки попадают на расположенный внизу водоохлаждаемый кристаллизатор. При этом охлаждается нижняя часть отливки, а верхняя часть подогревается нагревателями печи. По мере продвижения отливки в зоне кристаллизации ее подогрев в зоне кристаллизации перемещается снизу вверх. В этом же направлении перемещается и фронт кристаллизации. В результате в отливке образуются крупные столбчатые кристаллы, расположенные вдоль лопатки.

Обрезка литников, удаление стержней, контроль отливок

После охлаждения лопаток производится разрушение керамической оболочки. Лопатки от литников отрезаются вулканитовым кругом. Контроль макроструктуры производится по эталонам после травления в реактиве хлорного железа и соляной кислоты (FeCl_3 – 600 мм, HCl – 100 мл на 1 литр воды, время травления – 60 мин). Кристаллы должны быть направлены параллельно оси лопатки, количество кристаллов не более 4. Из лопаток удаляются стержни. Нагретые до 390–400°С лопатки в вертикальном положении загружают в расплав бифтористого калия (360–380°С и выдерживают 50–

70 мин). Затем лопатки промывают в воде (80–90°C), в водном растворе хлорокиси циркония, серной кислоты и уротропина (для снятия хлоридной плёнки) и снова в воде (70–80°C). Если керамика остаётся, то процесс повторяется. Контроль лопаток производится следующими методами:

- рентгеновским (просвечиванием) – 100%;
- люминесцентным – 100%;
- контролем геометрических размеров.

На рис. 3 приведены схемы лопаток.

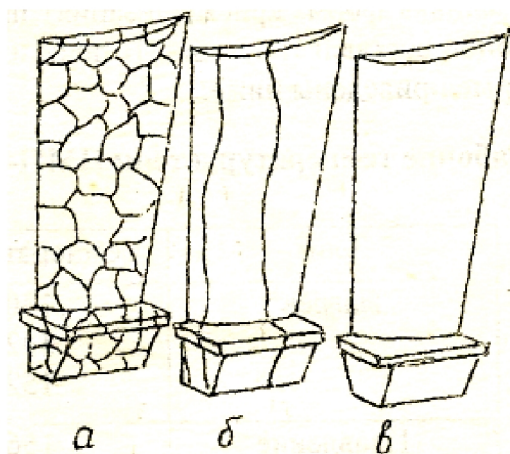


Рис. 3. Схема макроструктуры лопаток: а – равноосная; б – столбчатая; в – монокристаллическая

Контрольные вопросы

1. Сущность метода литья по выплавляемым моделям.
2. Разновидности методов литья по выплавляемым, растворимым и выжигаемым моделям.
3. Изготовление керамических стержней.
4. Изготовление моделей лопаток газовых турбин и элементов литниковой системы. Изготовление модельных блоков.
5. Получение керамической оболочки формы.
6. Выплавление (вытопка) модельной массы.
7. Прокалка оболочек и подготовка их к заливке.
8. Сравнение свойств лопаток со столбчатой и равноосной структурой.

Практическая часть работы

1. Изучение свойств литья по выплавляемым моделям.
2. Освоение конкретной технологии изготовления лопаток газовой турбины.
3. Практическое изучение операций технологии литья лопаток.

4. Изучение конструкции литых охлаждаемых лопаток.
5. Изучение микроструктуры литых лопаток и их свойств.

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку; исходные материалы для литья лопаток газовых турбин по выплавляемым моделям; промышленные образцы стержней, моделей, литейных форм и отливок лопаток; промышленные образцы лопаток после травления на макроструктуру (вскрытые и окончательно обработанные лопатки).

Содержание отчёта

1. Основные сведения о литье по выплавляемым моделям.
2. Описание технологии литья лопаток газовых турбин по выплавляемым моделям с направленной кристаллизацией.
3. Схема формы, подготовленной к заливке, и печи ПМП-2.
4. Сравнительные характеристики свойств лопаток газовых турбин с равноосной столбчатой структурой.
5. Выводы по работе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с теорией и краткое изложение основных её положений в отчёте.
2. Ознакомление с исходными материалами для изготовления стержней, моделей и керамической оболочки.
3. Ознакомление с технологией литья лопаток.
4. Анализ макроструктур годной и бракованной лопаток, сравнительная характеристика свойств лопаток с равноосной и столбчатой структурой.
5. Оформление отчёта.

Библиографический список

1. Литейное производство / Под ред. И. Б. Куманина. М.: Машиностроение, 1971. С. 25-53.
2. Технология литейного производства / Ю. А. Степанова и др. М.: Машиностроение, 1983. С. 5-73.
3. Заббаров Р., Уварова В. С. Прогрессивные процессы производства отливок и заготовок: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1991.
4. Заббаров Р., Галанов С.П. Материалы и современные технологические процессы изготовления отливок и заготовок аэрокосмического назначения: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1991.

Лабораторные работы по курсу «ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ»

Лабораторная работа №1 ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: исследовать влияние содержания углерода на механические свойства сталей: предел прочности при растяжении σ_B , относительное удлинение δ , твёрдость НВ, ударную вязкость КСУ.

Теоретические сведения

1. Определение и общая характеристика углеродистых сталей

Сплавы железа с углеродом, содержащие до 2,14% С при малом содержании других элементов, называется углеродистыми сталями. В машиностроении эти стали используются для изготовления деталей разного, чаще всего, неотвественного назначения и являются достаточно дешёвым материалом. В промышленности эти стали поставляются в виде проката, поковок, профилей различного назначения.

Углеродистые стали выплавляются в электропечах и кислородных конвертерах. Наилучшими свойствами обладает электросталь, более чистая по содержанию вредных примесей – серы и фосфора, а также газов и неметаллических включений.

По качеству различают стали обыкновенного качества и качественные стали. Стали обыкновенного качества содержат не более 0,05% S и не более 0,04% P. Качественные стали должны содержать не более 0,04% S и не более 0,35% P, они меньше загрязнены неметаллическими включениями и газами.

Стали обыкновенного качества изготавливают по ГОСТ 380-94. Обозначают их буквами «Ст» и цифрами от 0 до 6, например, Ст0, Ст1, ..., Ст6. Цифры – условный номер марки стали в зависимости от её химического состава. Химический состав стали должен соответствовать нормам, указанным в табл.1.

Чем больше цифра условного номера стали, тем выше в ней содержание углерода. В конце обозначения марки стоят буквы «кп»,

«пс», «сп», которые указывают на способ раскисления: «кп» – кипящая, «пс» – полуспокойная, «сп» – спокойная. Как правило, продукция из сталей обыкновенного качества поставляется в нормализованном состоянии (нагрев и выдержка при температурах выше фазовых превращений с последующим охлаждением на воздухе).

Таблица 1

**Содержание элементов в углеродистых сталях
обыкновенного качества, % (ГОСТ 380-94)**

Марка стали	C	Mn	Si в стали			S	P
			кп	пс	сп		
Ст0	<0,23	-	-	-	-	0,06	0,07
Ст1	0,06-0,12	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст2	0,09-0,15	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст3	0,14-0,22	0,3-0,62	0,07	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст4	0,18-0,27	0,4-0,7	0,07	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст5	0,28-0,37	0,5-0,8	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
Ст6	0,38-0,49	0,5-0,8	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
Ст3Г	0,14-0,22	0,8-1,1	-	0,05-0,17	-	0,05	0,04
Ст5Г	0,28-0,37	0,8-1,1	-	0,05-0,17	-	0,05	0,04

Примечания:

1. В сталях Ст1–Ст6 допускается не более 0,3% Cr; 0,3% Ni; 0,3% Cu; 0,3% As; 0,01 % N.

2. В сталях, выплавленных из керченских руд, допускается до 0,15% As и 0,05% P.

3. В сталях, выплавленных в электропечах, допускается не более 0,012% N.

Качественные углеродистые стали, поставляемые по химическому составу и механическим свойствам ГОСТ 1050-88, маркируются двузначными числами 05, 08, 10, 15, ..., 60, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. При обозначении кипящей или полуспокойной стали в конце марки указывается степень раскисления: кп или пс. В случае спокойной стали степень раскисления не указывается.

По содержанию углерода качественные углеродистые стали подразделяются на низкоуглеродистые (до 0,25% C), среднеуглеродистые (0,3–0,5% C) и высокоуглеродистые (до 0,65% C), состав и свойства некоторых марок сталей обыкновенного качества и качественных углеродистых сталей приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Свойства некоторых марок углеродистых сталей обыкновенного качества в нормализованном состоянии (ГОСТ 380-94)

Марка стали	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\delta, \%$	КСУ, Дж/см ²
	не менее			
Ст0	>310	-	20	-
Ст1	320-420	-	31	-
Ст2	340-440	-	29	0,9-1,1
Ст3	380-490	255	26	0,7-1,0
Ст4	410-530	265	24	-
Ст5	490-630	295	20	-
Ст6	>590	315	15	-

Примечание. В кипящих сталях Ст1кп-Ст4кп значения σ_B на 10-20 МПа, $\sigma_{0,2}$ на 10 МПа меньше, а δ на 1 % больше, чем в приведённых сталях тех же марок.

Таблица 3

Состав и свойства некоторых марок углеродистых качественных сталей в нормализованном состоянии (ГОСТ 1050-88)

Марка стали	Содержа- ние углеро- да, %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	HV , кг/мм ²	КСУ, Дж/см ²
		не менее				не более	
08	0,05-0,12	320	196	33	60	131	-
10	0,07-0,14	330	205	31	55	143	-
15	0,12-0,19	370	225	27	55	149	-
20	0,17-0,24	410	245	25	55	163	100
25	0,22-0,3	450	275	23	50	170	88
30	0,27-0,35	490	295	21	50	179	78
35	0,32-0,4	530	315	20	45	207	69
40	0,37-0,45	570	335	19	45	217(187)	59
45	0,42-0,5	600	355	16	40	229(197)	49
50	0,47-0,55	630	375	14	40	241(207)	38
55	0,52-0,6	650	380	13	35	255(217)	34
60	0,57-0,65	680	400	12	35	255(229)	30
70	0,67-0,75	730	430	9	30	269(237)	-

Примечания.

1. В сталях допускается не более 0,8% Mn; 0,37% Si; 0,04% S; 0,035% P; 0,25% Cr; 0,30% Ni; 0,30% Cu; 0,08% As.

2. Механические свойства указаны для стальных заготовок с поперечным сечением до 80 мм.

3. Ударная вязкость сталей 25...60 дана после улучшения (закалки и высокого отпуска при 600°C).

4. Значения HV в скобках даны после отжига, без скобок — в нормализованном состоянии или после высокого отпуска.

Углеродистые стали, содержащие 0,7–1,3%С, относят к инструментальным и пружинным сталям. Их используют для изготовления ударного и режущего инструмента, а также для пружин и рессор, работающих в обычных условиях. Они маркируются У7, У8, ..., У13, где «У» означает углеродистую сталь, а цифра – содержание углерода в десятых долях процента. Если в конце маркировки поставлена буква А, то это означает, что сталь улучшенного металлургического качества (У7А, У8А, ..., У13А). Эти стали поставляют после отжига. Состав и основные свойства инструментальных сталей приведены в табл.4.

Таблица 4

Влияние углерода на механические свойства горячекатаных сталей

Марка стали	Содержание углерода, %	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	НВ, кг/мм
		не менее			не более
У7	0,65-0,74	830	11	33	250
У8	0,75-0,84	950	9	31	275
У10	0,95-1,04	960	6	27	300
У11	1,05-1,14	900	5	25	310
У12	1,15-1,24	800	4	23	325
У13	1,25-1,35	780	<4	<22	340

2. Теоретические основы влияния углерода на структуру и свойства стали

Углерод является важнейшим элементом, определяющим структуру и свойства стали. Даже малое изменение его содержания оказывает заметное влияние на свойства стали. Это связано с изменением структурных составляющих сплавов при увеличении содержания углерода в стали. Для железоуглеродистых сплавов характерны следующие фазовые и структурные составляющие, существующие при комнатной температуре и полученные при очень медленном охлаждении из расплава (равновесное состояние).

Феррит – твёрдый раствор углерода в α -железе – $Fe_\alpha(C)$. Максимальная растворимость углерода в феррите около 0,006%С при 20°С. Феррит имеет невысокую прочность и твёрдость, но высокую пластичность.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом Fe_3C , обладает очень высокой твёрдостью и прочностью, но весьма хрупок.

Перлит – это двухфазная структура, она представляет собой смесь феррита и цементита. Перлит образуется при медленном охлаждении (ниже 727°C) и содержит $0,8\%\text{C}$.

Установлено, что с увеличением углерода в структуре стали растёт содержание цементита. При содержании до $0,8\%\text{C}$ сталь состоит из феррита и перлита, при содержании более $0,8\%\text{C}$ в структуре стали кроме перлита появляется структурно-свободный вторичный цементит.

Феррит имеет низкую прочность, но сравнительно высокую пластичность. Цементит же характеризуется высокой твёрдостью и прочностью, но низкой пластичностью (хрупок). Поэтому с ростом содержания углерода должны увеличиваться твёрдость и прочность и уменьшаться пластичность и вязкость стали. Рост прочности происходит при содержании в стали $0,8\text{--}1,0\%\text{C}$. При увеличении содержания более $1\%\text{C}$ уменьшается не только пластичность, но и прочность стали. Это связано с образованием хрупкого цементита вокруг перлитных зёрен, легко разрушающихся при нагружении.

Углерод оказывает существенное влияние и на технологические свойства стали: свариваемость, обрабатываемость резанием и давлением. С увеличением содержания углерода ухудшается свариваемость, а также способность деформироваться в горячем и особенно в холодном состоянии.

3. Основные механические свойства и методы их определения

В данном разделе излагаются лишь краткие понятия об основных механических свойствах материалов, изучаемых в дисциплине «Сопротивление материалов».

Механические свойства материалов определяют на специальных образцах. В зависимости от условий приложения нагрузки различают статические и динамические испытания. При статических испытаниях нагрузка прилагается медленно и плавно возрастает. При динамических она прилагается с высокой скоростью.

Испытания могут выполняться при нормальной (комнатной) или повышенной температуре.

Наиболее распространёнными механическими характеристиками являются: твёрдость, пределы прочности и упругости, ударная вязкость. Определяют также предел выносливости и предел ползучести. Предел прочности определяют в испытаниях на растяжение, сжатие, кручение и изгиб.

Определение предела прочности, предела текучести, относительного удлинения и сужения. Эти характеристики определяются при испытаниях на растяжение; это наиболее распространённый метод определения свойств конструкционных материалов.

Испытания выполняются на разрывных машинах с использованием специальных образцов (рис. 1). Головки образцов помещают в зажимы разрывной машины, и образцы растягивают до разрушения.

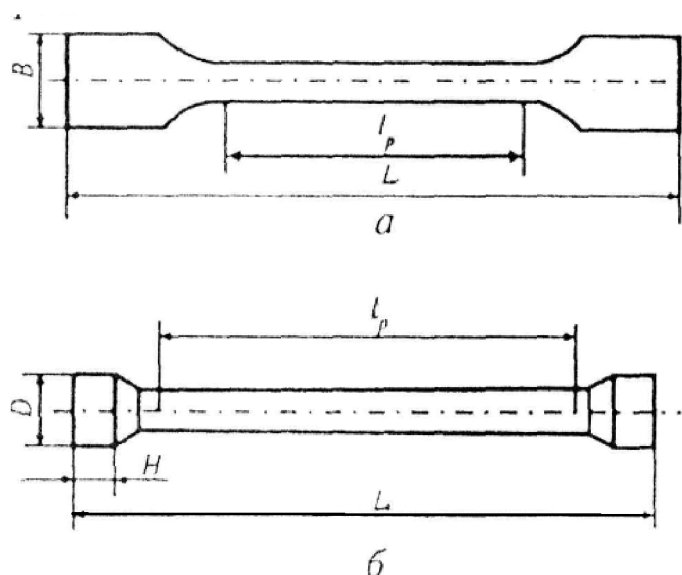


Рис.1. Образцы для испытаний на растяжение

В процессе приложения нагрузки в образце возникает напряжение (σ), равное отношению приложенного усилия (P) к площади образца (F): $\sigma = P/F$ (МПа или кгс/мм²). Под действием приложенной нагрузки возникает деформация — изменение размеров образца. Деформация может быть упругой или пластической.

Упругая деформация полностью снимается (исчезает) после снятия нагрузки. Упругая деформация не приводит к заметным изменениям в структуре и свойствах материала. Различают абсолютную и относительную деформации. Абсолютная (Δl) — изменение размера (длины при испытаниях на растяжение), относительная (ϵ) — отношение абсолютной деформации к первоначальной длине (l), т.е. $\Delta l/l$.

Между напряжением и относительной упругой деформацией существует линейная зависимость — *закон Гука*: $\sigma = E\epsilon$, где E — модуль упругости, свойство материала, характеризующее его жесткость, т.е. способность сопротивляться упругим деформациям.

Пластическая деформация не исчезает после снятия нагрузки (согните алюминиевую проволоку, после того как нагрузка снята, проволока не разгибается — она пластически деформирована).

При испытаниях на растяжение строится диаграмма в координатах «относительная деформация δ – напряжение $\sigma_{\text{в}}$ » (рис. 2). При этом определяются: предел прочности ($\sigma_{\text{в}}$) – напряжение, при котором происходит разрушение образца (максимальная точка на кривой « ε – σ »); *предел пропорциональности* – максимальное напряжение, при котором отсутствует пластическая деформация. Поскольку точное определение предела пропорциональности затруднено, в практике определяется *предел текучести* ($\sigma_{\text{т}}$) – напряжение, вызывающее остаточную деформацию определенной величины, например, $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором остаточная деформация равна 0,2% от первоначальной длины образца. При $\sigma > \sigma_{\text{т}}$ возникает остаточная деформация $\varepsilon_{\text{ост}}$ (рис. 2).

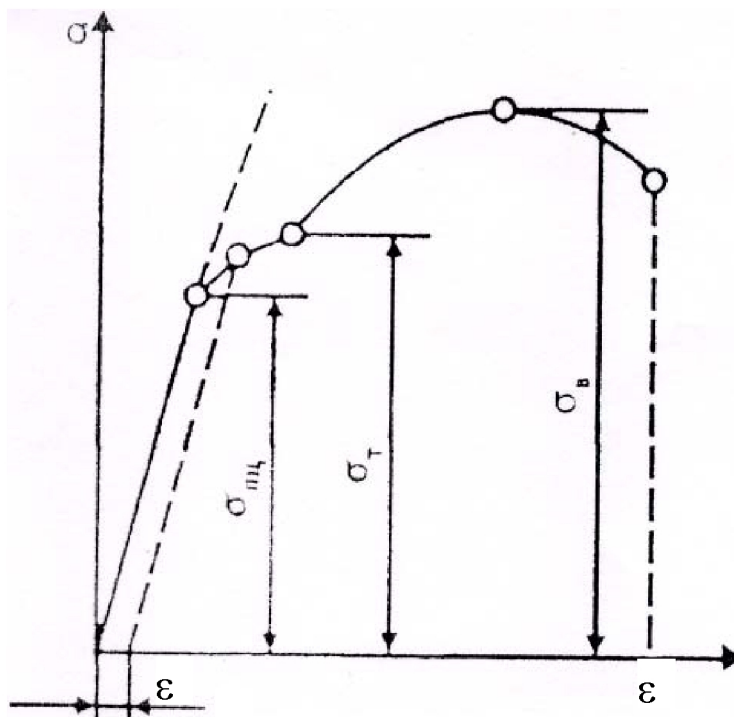


Рис. 2. Диаграмма растяжения

Перед разрушением образец претерпевает пластическую деформацию, он удлиняется, при этом происходит образование шейки – уменьшение диаметра. *Относительное удлинение* $\delta = \Delta l / l$, *относительное сужение* $\psi = (F_0 - F_{\text{к}}) / F_0$ (здесь F_0 и $F_{\text{к}}$ – первоначальная и минимальная площади образца после разрушения) характеризуют пластичность материала. Чем больше эти характеристики, тем материал пластичнее.

Определение твердости. Твердость характеризует сопротивление материала большим пластическим деформациям. Наиболее рас-

пространенные методы определения твердости связаны с внедрением специального тела, называемого индентором, в испытуемый материал с таким усилием, чтобы в материале остался отпечаток индентора. О величине твердости судят по отпечатку. Определение твердости – наиболее распространенный метод определения свойств материала. Это объясняется рядом причин: определение твердости является неразрушающим методом, так как деталь после такого измерения может быть использована по назначению; испытания на твердость не требуют высокой квалификации и, кроме того, зная твердость, можно судить и о других механических свойствах.

Метод Бринелля. В качестве индентора используется стальной закаленный шарик, который вдавливается в испытуемый образец на специальном прессе. Вдавливание шарика происходит при постоянной нагрузке, в результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде сферической лунки (рис.3). Диаметр отпечатка измеряется в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью микроскопа Бринелля – это лупа со шкалой. Значения твердости — это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка.

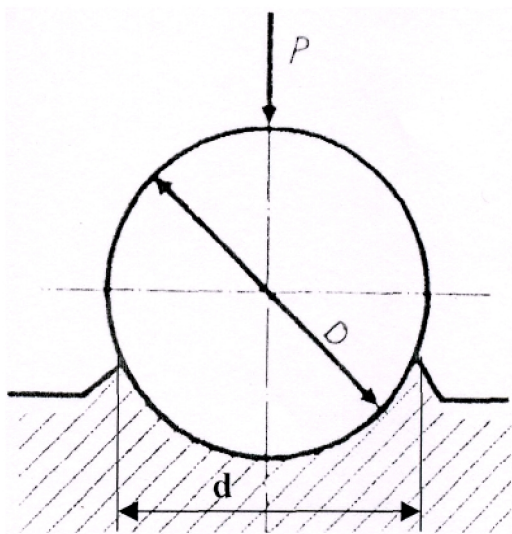


Рис. 3. Схема определения твёрдости по Бринеллю

Значения твердости вычисляются по формуле

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

где HB – обозначение твердости; P – прилагаемая нагрузка (Н, кгс); D и d – диаметры шарика и отпечатка (мм).

На практике пользуются таблицей в которой указаны значения твердости в зависимости от диаметра отпечатка.

Диаметр шарика и нагрузку выбирают так, чтобы соблюдалось соотношение $d = (0,25+0,5)D$, т.е. для разных материалов эти параметры различны. При диаметре индентора 10 мм, нагрузке 3000 кгс (29 430 Н) и времени выдержки под нагрузкой 10с твердость обозначается только цифрами и латинскими буквами, например 200 НВ. Эти условия приняты для определения твердости сталей и чугунов.

Определение ударной вязкости и вязкости разрушения. Испытания на ударную вязкость относятся к динамическим. Для определения ударной вязкости используют образцы с надрезом, который служит концентратором напряжений. Используют U- и V-образные образцы. В зависимости от формы надреза ударная вязкость обозначается KCU или KCV.

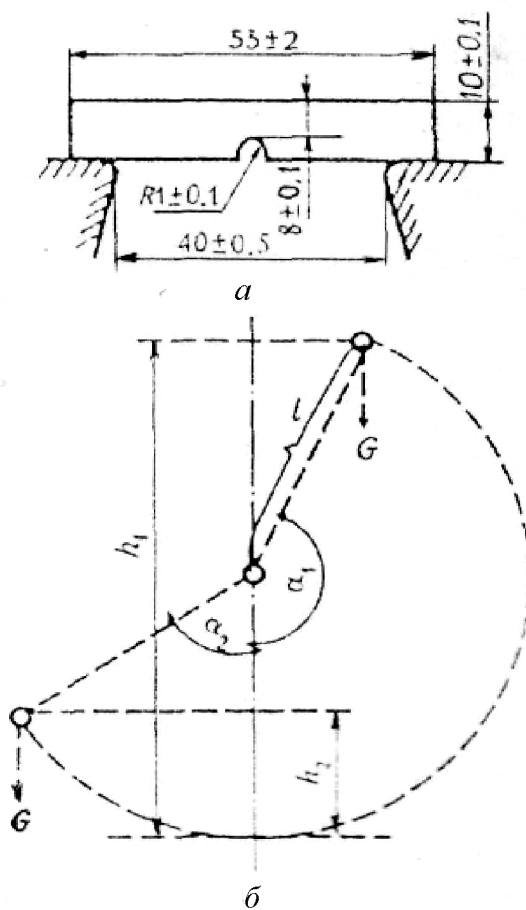


Рис.4. Схема определения ударной вязкости

Образец устанавливают на маятниковом копре (рис.4) так, чтобы удар маятника происходил против надреза, раскрывая его. Маятник поднимают на высоту h_1 , при падении он разрушает образец,

поднимаясь на высоту h_2 , $h_1 > h_2$ (так как часть запасенной при подъеме работы тратится на разрушение образца). Таким образом, работа разрушения составит: $A = mg(h_1 - h_2)$, Дж или кгс×м. Ее значения считываются со шкалы, установленной на маятниковом копре.

Ударная вязкость – это относительная работа разрушения, т.е. работа, отнесенная к F – площади образца до разрушения. Таким образом, $KCU(KCV) = A/F$.

4. Методические указания по порядку выполнения и содержанию работы

1. Студент получает задание по изучению влияния углерода для ряда марок сталей, характеризующихся увеличением содержания углерода. Например:

Вариант 1: сталь 10, 20, 30, 40, 50, 60, У8, У10, У12.

Вариант 2: сталь 08, 15, 25, 35, 45, 55, У7, У9, У13.

Вариант 3: сталь Ст 0, Ст 2, Ст 4, Ст 6, У8, У10, У12.

Вариант 4: сталь Ст 1, Ст 3, Ст 5, Ст 6, У7, У9, У10, У13.

Вариант 5: сталь 10, 15, 25, 35, 45, 55, У7, У8, У10, У12 и т.д. (всего 8 вариантов).

По данным, взятым из ГОСТ (табл. 1, 2 и 3), студент заполняет часть табл.5 по химсоставу и механическим свойствам, подсчитывая и указывая при этом среднее содержание углерода.

Таблица 5

Зависимость механических свойств от содержания углерода

Марка стали	Содержание углерода		Механические свойства по стандарту			
	По стандарту	Среднее	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твёрдость, НВ, кг/мм	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ²

Примечания:

1. Для инструментальных сталей У7, ..., У13 в нормализованном состоянии приводятся значения σ_B , δ и твёрдость НВ.

2. Для углеродистых сталей Ст 0, ..., Ст 6 в нормализованном состоянии приводятся осреднённые значения σ_B , δ и ударная вязкость КСУ.

После заполнения табл. 5 по стандартным данным студент строит графическую зависимость величины механических свойств углеродистых сталей от среднего содержания углерода. Рекомендуемая сетка для построения графика приведена на рис.5.

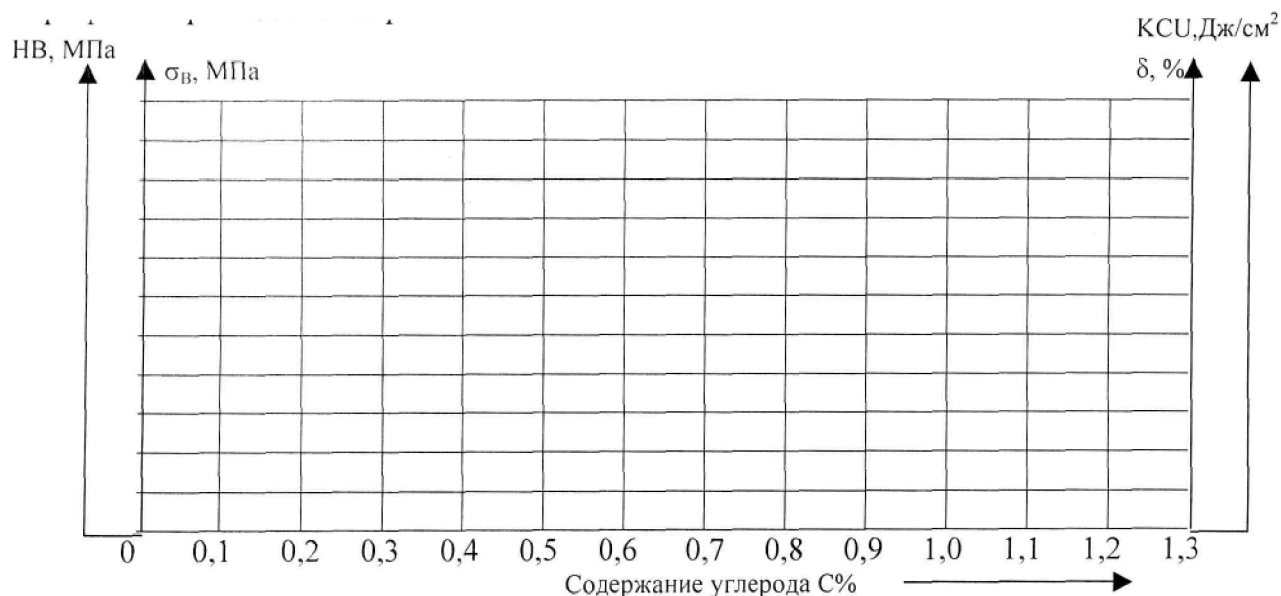


Рис.5. Сетка для построения графика зависимости механических свойств от содержания углерода в стали

2. Зависимость механических свойств отожженных углеродистых сталей от содержания углерода может быть определена экспериментально.

На основании проведения механических испытаний получены уравнения регрессии (эмпирические формулы) для расчёта величины механических свойств отожжённых сталей в зависимости от содержания углерода С в процентах.

Твёрдость: $HВ = 875 + 2290 \times C$, МПа.

Предел прочности при растяжении

$$\sigma_{\pi} = \begin{cases} 300 + 275 \times C, & \text{если } C < 0,6\%, \\ -1578 \times C^2 + 2885 \times C - 340, & \text{если } C > 0,6\%. \end{cases}$$

Относительное удлинение: $\delta = 21,4 \times C^2 - 56,6 \times C + 39,4$, %.

Индекс КСУ означает, что испытания на ударную вязкость проводили на образцах с U-образным надрезом.

Вычисленные значения НВ, σ_{π} , δ и КСУ заносят в табл. 6.

**Зависимость механических свойств от содержания углерода
по эмпирическим формулам для отожжённой стали**

Марка стали	Содержание углерода		Механические свойства		
	По стандар- ту	Среднее	Предел прочно- сти $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Твёрдость, НВ, МПа

После заполнения табл. 6 строят графики зависимости механических свойств от среднего содержания углерода по рекомендованной выше на рис.5 сетке.

На основании полученных графических зависимостей механических свойств от содержания углерода делают выводы по работе о влиянии углерода на свойства стали.

Контрольные вопросы

1. Какой максимальный процент углерода может содержаться в стали?
2. Какова маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества, качественных конструкционных сталей, инструментальных углеродистых сталей?
3. Какие вредные примеси содержатся в углеродистых сталях?
4. Что представляют собой испытания на растяжение?
5. Как вычисляется предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, предел текучести $\sigma_{0.2}$ относительное удлинение δ ?
6. Дайте определение понятию «твёрдость».
7. Как находится твёрдость НВ по Бринеллю?
8. Что такое ударная вязкость, как вычисляется её значение?
9. Что такое феррит, цементит, перлит?
10. Какова структура стали при содержании углерода $C < 0,8\%$ и $C > 0,8\%$?

11. Почему при содержании углерода от 0 до 1% происходит рост прочности и уменьшение пластичности?

12. Почему при содержании углерода более 1% уменьшается не только пластичность, но и прочность?

13. На сколько % возрастают прочность и твёрдость у качественных углеродистых сталей при увеличении среднего содержания углерода от 0,1% до 0,6%?

14. На сколько % падает пластичность при увеличении среднего содержания углерода в углеродистых инструментальных сталях с 0,7% до 1,3%?

15. На сколько % уменьшается ударная вязкость у качественных конструкционных сталей при увеличении среднего содержания углерода с 0,25% до 0,5%.

Библиографический список

1. Журавлёв В.Н., Николаева О.Н. Машиностроительные стали: Справочник. 4-е изд. перераб. и доп. Машиностроение, 1992. 480 с.

2. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф. Материаловедение: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. СПб: Химиздат, 2002. 696 с.

3. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М. и др. Материаловедение и технология металлов: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 638 с.

4. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. Материаловедение: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.

5. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.

Лабораторная работа 2

ИЗУЧЕНИЕ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: Изучение литой структуры металлов и сплавов методом макроанализа

Теоретические сведения

Первичная кристаллизация из жидкого состояния

Кристаллизация (затвердевание) представляет собой фазовый процесс перехода металлической среды из жидкого состояния с ближним порядком расположения атомов в кристаллическое с дальним порядком.

Под ближним порядком понимают систему расположения атомов, распространяющуюся на несколько межатомных расстояний.

Для кристаллов характерен дальний порядок, т.е. система расположения атомов, распространяющаяся до микро- и даже макроскопического уровня.

Любая система характеризуется термодинамическим состоянием, которое описывается различными функциями, например, свободной энергией F . Каждая система стремится к уменьшению свободной энергии. Для системы "расплав–кристалл" существует равновесная температура T_s , при которой свободные энергии жидкой и твердой фаз равны, т.е. $F_{ж} = F_{тв}$. Но для того чтобы процесс кристаллизации начался, необходимо расплав переохладить до некоторой реальной температуры, называемой температурой начала кристаллизации $T_{кр}$. Разность температур $n = (T_s - T_{кр})$ называется степенью переохлаждения системы.

Таким образом, степень переохлаждения n определяется как разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации. Процесс перехода из жидкого в твердое состояние обычно изображают кривыми охлаждения в координатах " температура T – время τ " (рис. 1).

Горизонтальный участок на кривой охлаждения объясняется выделением скрытой теплоты кристаллизации. Кристаллизация складывается из двух одновременно протекающих процессов: 1) зарождения центров кристаллизации (зародышей) и 2) роста зародышей. При этом возможно гомогенное и гетерогенное образование зародышей. Гомогенное (спонтанное) образование центров кристаллизации объясняется наличием в переохлажденном расплаве флуктуа-

ции, что приводит к образованию групп атомов с дальним порядком, характерных для кристаллов. Эти группы и являются центрами кристаллизации, которые в зависимости от условий могут дальше перерасти в кристаллы или раствориться.

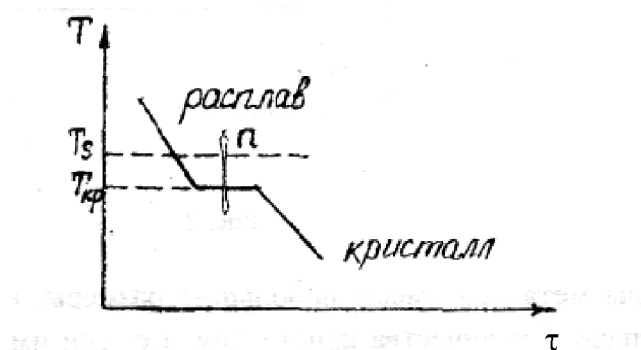


Рис.1

В чистых металлах заметное образование зародышей наблюдается при больших переохлаждениях (до $0,2 T_{пл}$). В металлах и сплавах технической чистоты зарождение центров начинается при незначительном переохлаждении из-за гетерогенного зарождения. В реальных расплавах существуют готовые поверхности раздела, на которых образуются центры кристаллизации: неметаллические включения, поверхности тиглей и форм, фронт кристаллизации, вводимые лигатуры и модификаторы и т.д.

Реально протекающий процесс кристаллизации усложняется различными факторами: степенью переохлаждения, скоростью и направлением теплоотвода, наличием растворимых и нерастворимых примесей, конвекционными токами расплава и т.п. При этом кристаллизация идет в неравновесных условиях, что приводит к химической неоднородности (ликвации) и к дендритному строению. Дендрит – это древовидный кристалл, имеющий оси нескольких порядков (рис.2).

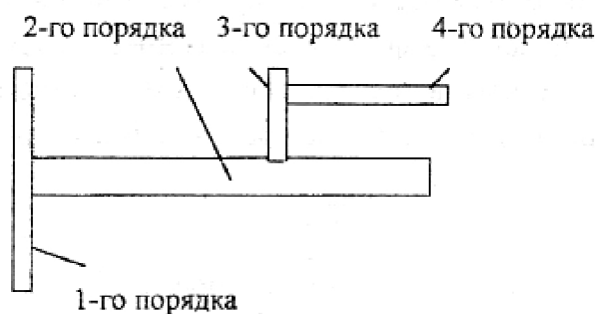


Рис. 2

Кристаллы металлов имеют небольшие размеры, металлическое изделие состоит из большого количества кристаллов, т.е. они имеют поликристаллическое строение. Кристаллы неправильной формы называют зернами или кристаллитами. Зерна имеют различную форму, размеры и расположение в зависимости от реальных условий кристаллизации. Обычно структура слитков состоит из трёх зон (рис. 3):

1 – наружная мелкозернистая зона (резкий градиент температур, большое переохлаждение);

2 – зона столбчатых кристаллов (градиент температур уменьшается, отвод тепла становится ориентированным);

3 – зона равноосных кристаллов (отсутствует направленность теплоотвода).

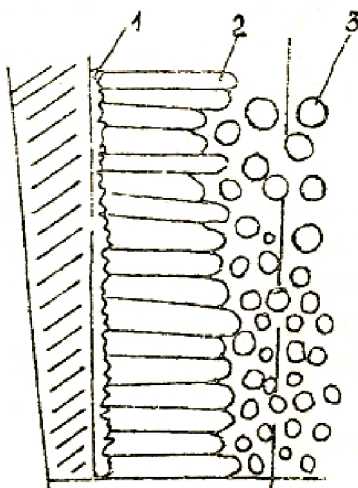
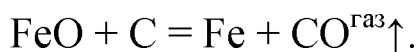


Рис.3

В процессах плавки, заливки и охлаждения сплавы поглощают газы, в частности, кислород, что резко ухудшает свойства. С целью уменьшения концентрации кислорода в сталях проводят раскисление. Оно основано на введении в расплав элементов – раскислителей, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо (Mn, Si, Ti, Zr, Al, Ca, PЗМ).

В зависимости от степени раскисленности стали разделяют на спокойные и кипящие. Кипящая обычно раскисляется только слабым раскислителем (углеродистый 75-процентный ферромарганец). При этом идет интенсивное газовыделение по реакции



Спокойная сталь раскисляется сильными раскислителями (А1, ферротитан и др.), исключая возможность газовыделения. Кипящая сталь остывает с газовыделениями и искрами, не имеет усадочных раковин, поражена газовыми порами и "разбухает" при остывании (рис.4).

Спокойная сталь кристаллизуется без газовыделения с образованием сконцентрированной усадочной раковины в прибыльной части слитка (рис.5).

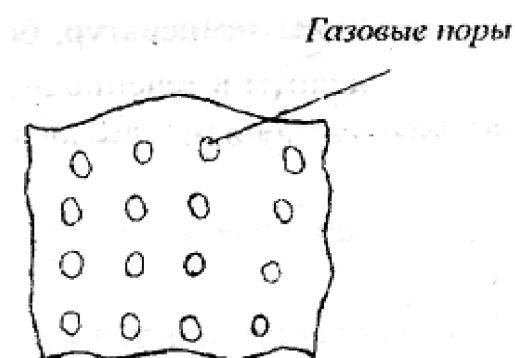


Рис.4

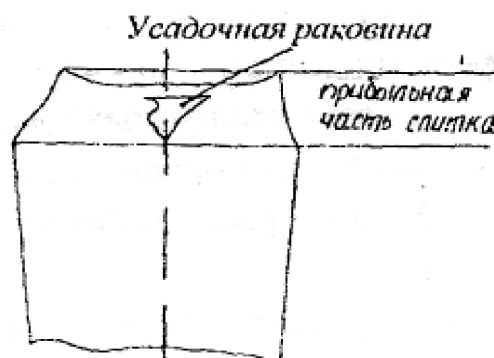


Рис.5

Изучение литой структуры металлов и сплавов

Макроструктурный анализ заключается в изучении строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении в 30–40 раз. Анализ проводится на изломах и макрошлифах. Строение металлов и сплавов, определяемое макроанализом, называется *макроструктурой*. Макрошлиф получают шлифованием плоской поверхности образца с последующим травлением в специальном реактиве. Макроанализ позволяет установить:

1. Нарушение сплошности металлов – усадочные и газовые раковины и поры, трещины, неметаллические включения и т.п.
2. Химическую неоднородность, т.е. ликвацию.
3. Строение макроструктуры сталей и сплавов, т.е. форму, распределение зёрен и относительных размеров.

Макроанализ стали

1. Строение литого слитка. Визуально на поверхности макрошлифа выявляется форма, расположение и относительный размер

зерен (кристаллитов), нарушение сплошности (раковины, поры, трещины, неметаллические включения).

2. Определение ликвации. Обычно ликвацию сталей и чугунов выявляют по сере и фосфору по методу Баумана. Суть метода состоит в следующем. На поверхность подготовленного макрошлифа накладывают эмульсионной стороной бромсеребряную бумагу, предварительно смоченную в 5-процентном растворе серной кислоты в течение 5–10 мин. На фотобумаге получают отпечаток. Темные участки на отпечатке это места скопления серы в виде сульфидов FeS и MnS . Там же могут находиться фосфиды, но отличить такие места затруднительно.

Макроанализ цветных сплавов

В зависимости от состава сплава для выявления макроструктуры проводится травление в водных растворах кислот и щелочей. Так, выявление макроструктуры медных сплавов (бронзы и латуни) производится травлением шлифов (темплетов) в 30–40-процентном растворе азотной кислоты в течение 5–10 мин. Макроструктура алюминиевых сплавов выявляется травлением в щелочах.

Контрольные вопросы

1. Основы процесса кристаллизации металлов.
2. Раскисление, кипящая и спокойная стали.
3. Строение слитков спокойной и кипящей сталей.
4. Макроанализ. Сущность и задачи макроанализа стали и цветных сплавов.

Практическая часть работы

Задачи работы:

1. Усвоение теоретических основ кристаллизации металлов и их структур.
2. Изучение методики макроанализа.
3. Практическое изучение структур стали 35Л, бронзы и алюминиевого сплава АК12М.

Материальное оснащение:

1. Методические указания.
2. Макрошлифы стали и сплавов.

3. Химические реактивы для травления.
4. Фото, фильтровальная и наждачная бумага.
5. Щипцы лабораторные, кюветы.
6. Фотографии макроструктур.

Содержание отчета

1. Основные понятия по кристаллизации металлов и сплавов и методам изучения литой структуры (макроанализ).
2. Выявление и описание макроструктур стали, бронзы и алюминиевого сплава.
3. Определение ликвации по сере и фосфору для сталей (по Бауману).

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт. Материаловедение (методы анализа). М.: Металлургия, 1983. С. 12-21.

Лабораторная работа 3

РАФИНИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: Оценка влияния рафинирования и модифицирования на структуру и свойства алюминиевых сплавов (силуминов)

Теоретические сведения

Алюминиевые сплавы чаще всего выплавляют в индукционных печах, а также в тигельных и отражательных печах, работающих на электроэнергии, газообразном или жидком топливе. При этом плавильные печи работают в паре с миксером, что обеспечивает их максимальную производительность.

При плавке применяют следующую последовательность загрузки шихты: чушковый алюминий, отходы, переплав, лигатуры и чистые металлы. Расплавы перегревают до 200-300° С (литейные сплавы) и до 750-760° С (деформируемые сплавы). С целью защиты расплавов от окисления и насыщения водородом плавку ведут в вакууме или в атмосфере инертных газов. Однако эти способы неэкономичны и малопродуктивны, поэтому в производственных условиях чаще всего применяют покровные флюсы (табл.1)

Рафинирование алюминиевых сплавов от металлических примесей (Na, Mg, Fe, Zn), оксидных включений и растворенного водорода производят продувкой инертными и активными газами, обработкой хлористыми солями, отстаиванием, вакууммированием и фильтрованием через зернистые, сетчатые и керамические фильтры, а также с помощью рафинирующих флюсов, состав которых приведен в табл.2.

Для измельчения макрозерна к расплавы вводят титан, цирконий, бор или ванадий в количестве 0,05-0,15% от массы расплава. Большой эффект модифицирования достигается введением титана и бора в виде тройной лигатуры Al-Ti-B в соотношении Ti:B = 5:1. На практике применяют модификаторы, состав которых указан в табл. 3.

Таблица 1

Покровные флюсы

Номер флюса	Состав флюса, % по массе	Назначение
1	45NaCl+55KCl	Для большинства сплавов, кроме алюминиево-магниевых
2	37NaCl + 50KCl+6,6Na ₃ AlF ₆ +6,4CaF ₂	
3	42...46NaCl+43...47KCl+7...6Na ₃ AlF ₆	Для деформируемых сплавов, кроме алюминиево-магниевых
4	100MgCl ₂ KCl	Для алюминиево-магниевых сплавов
5	85MgCl ₂ KCl+15CaF ₂	
6	85MgCl ₂ KCl+15MgF ₂	
7	55...60KCl+45...50LiCl	Для алюминиево-литиевых сплавов

Таблица 2

Рафинирующие флюсы

Номер флюса	Состав флюса, % по массе	Назначение
1	47KCl+30NaCl+23Na ₃ AlF ₆	Для всех сплавов, кроме алюминиево-магниевых
2	35KCl+50NaCl+Na ₂ SiF ₆	
3	60MgCl ₂ KCl+40CaF ₂	Для сплавов, содержащих магний
4	12...15KCl+80MgCl ₂ KCl+5...8BaCl ₂	
5	80MgCl ₂ KCl+20CaF ₂	
6	85MgCl ₂ KCl + 15MgF ₂	
7	90MgCl ₂ KCl+10K ₃ AlF ₆	Для сплавов, содержащих магний
8	90MgCl ₂ KCl+10KF	
9	90MgCl ₂ KCl+10AlF ₃	
10	11,5KCl+56,5NaCl+7Na ₃ AlF ₆ + +25NaF +25NaF	Рафинирующие и модифицирующие (универсальные) флюсы для системы Al-Si
11	10KCl+50NaCl+10Na ₃ AlF ₆ +30NaF	
12	45NaCl+15Na ₃ AlF ₆ +40NaF	
13	40KCl+35NaCl+15Na ₃ AlF ₆ +10NaF	

Литейные доэвтектические, заэвтектические сплавы АК12(АЛ2), АК9ч (АЛ4), АК7ч (АЛ9), АК7Ц9(АЛ11), АК8Л(АЛ34) модифицируют натрием или стронцием для измельчения эвтектического кремния (модификаторы № 5-10).

Заэвтектические силумины с высоким содержанием кремния (>13%Si) модифицируют фосфором (№11-14).

**Состав модификаторов и режимы модифицирования
алюминиевых сплавов**

Номер модифи- катора	Состав модификатора	Кол-во модифи- катора, %	Расчетное кол-во моди- фицирующе- го элемента, %	Темпера- тура моди- фициро- вания, °C
1	Лигатура Al-Ti(2,5)	1-3	0,05-0,015 Ti	720-750
2	Лигатура Al-Ti-B (5% Ti, 1% B)	1-2	0,05-0,1 Ti	720-750
3	"Зернолит" (55%K ₂ TiF ₆ +3%K ₂ SiF ₆ + +27%KBF ₄ +15%C ₂ Cl ₆)	0,2-0,5	0,01-0,02 B 0,05-0,1 Ti	720-750
4	Флюс(35%NaCl+35%KCl+ 20%K ₂ TiF ₆ + 10%KBF ₄)	0,5-1,0	0,01-0,02 B 0,05-0,1 Ti	720-750
5	Металлический натрий	0,05-0,1	0,05-0,1 Na	750-780
6	Флюс (67%NaF+33%NaCl)	1-2	0,05-0,1 Na	780-810
7	Флюс(62,5%NaCl+ +25%NaF+12,5%KCl)	1-2	0,05-0,1 Na	730-750
8	Флюс(50%NaCl+30%NaF+ 10%KCl+10%Na ₃ AlF ₆)	0,5-1,0	0,05-0,1 Na	720-750
9	Флюс(35%NaCl+40%KCl+ +10%NaF+15%Na ₃ AlF ₆)	1-1,5	0,05-0,1 Na	740-760
10	Лигатура Al-Sr(10%Sr)	0,6-0,8	0,06-0,85 Sr	750-780
11	Лигатура Cu-P(9-11%P)	0,5-1,0	0,05-0,1 P	790-820
12	20% красного P+ +10%K ₂ ZrF ₆ +70%KCl	1,5-2	0,05-0,1 P	790-825
13	58%K ₂ ZrF ₆ +34% порошка Al+8% красного P	0,3-0,4	0,05-0,1 P	790-825
14	Фосфорорганические веще- ства (хлорофос, трифенил- фосфат)	0,4-0,6	0,05-0,1 P	760-780

Влияние модифицирования на структуру и свойства силуминов

Модифицирование – физико-химический процесс, направленный на изменение структуры сплавов с целью улучшения их механических свойств. Из черных сплавов модифицируют чугуны, а из цветных – алюминиевые и магниевые сплавы. Модифицирование проводят введением в расплав специальных добавок – модификаторов. Все модификаторы могут быть условно разделены на две группы:

1. Модификаторы, которые образуют в расплаве дисперсную взвесь. Частицы этой взвеси являются зародышами, вокруг которых образуются и растут кристаллы. Эти модификаторы не вступают в химическое взаимодействие с расплавом, являются тугоплавкими и изоморфными с кристаллами расплава.

2. Модификаторы, которые адсорбируются на границах зарождающихся кристаллов и т.о. понижают скорость их роста. Модификаторы этой группы – вещества с низкой температурой плавления, обладающие малым значением поверхностной энергии.

К таким веществам относятся щелочные и щелочно-земельные металлы. Обычно их действие проявляется при небольших концентрациях (0,001–0,1% по массе). Так, в доэвтектические и эвтектические сплавы системы Al–Si (силумины) вводят до 0,08 % Na.

Все теории, объясняющие эффект модифицирования, можно разделить на две группы: теорию переохлаждения и адсорбционно-коллоидную теорию.

Модифицирование сплавов системы Al-Si

Классические силумины содержат (12–13%)Si, т.е. являются заэвтектическими сплавами (рис. 1).

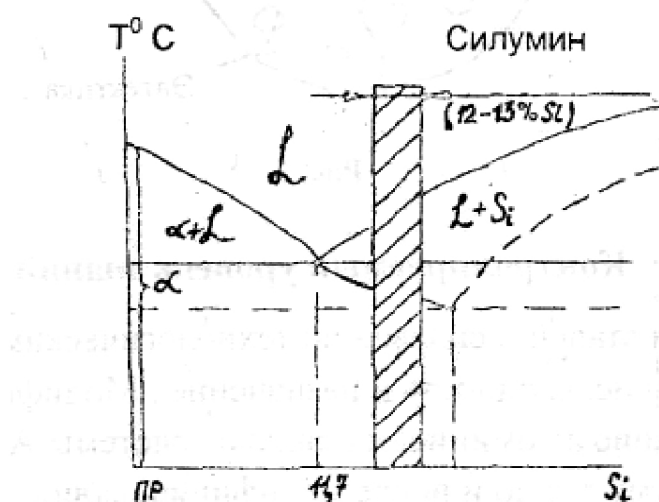


Рис.1

Структура заэвтектического силумина имеет грубую эвтектику (Al-Si) с включениями первичных кристаллов кремния (рис 2.).

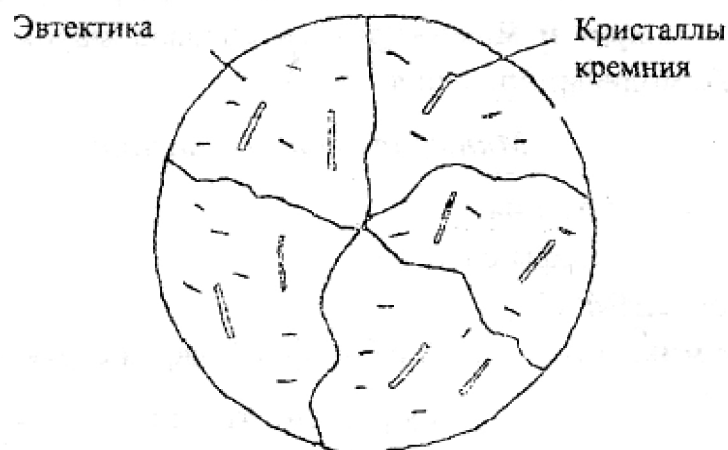


Рис.2

Такая структура резко ухудшает свойства изделий, особенно пластичность и вязкость. Если в расплав ввести модификатор (Na), то структура меняется существенным образом. Сплав становится доэвтектическим, и структура состоит из светлых выделений алюминия и мелкозернистой эвтектики (рис. 3).

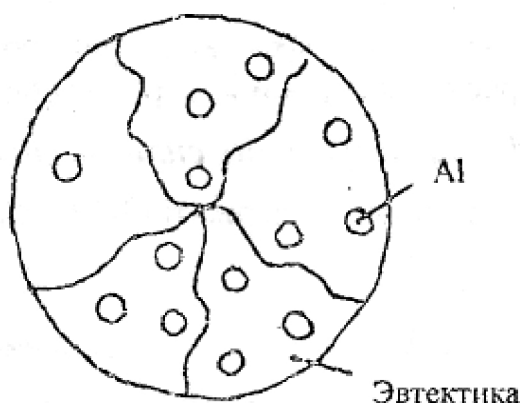


Рис. 3.

В данном случае модифицирование ведет к снижению температуры кристаллизации, заэвтектический сплав становится доэвтектическим (см. диаграмму). Модифицирование повышает механические свойства Al-Si сплавов. Так, немодифицированный силумин (13% Si) имеет σ_b до 140 МПа и σ до 3 %, а после модифицирования σ_b до 180 МПа и σ до 8%.

Контрольные вопросы

1. Классификация сталей и сплавов по технологическим признакам.

2. Модифицирование. Сущность и назначение. Модификаторы.
3. Модифицирование алюминиевых сплавов системы Al-Si).
4. Структура силуминов до и после модифицирования .

Практическая часть работы

Задачи работы:

- 1 . Усвоение теоретических основ процесса модифицирования.
2. Изучение макро- и микроструктур сплавов марок АК 12 (АЛ 2) и АК 12М до и после модифицирования.

Материальное оснащение:

- 1 . Методические указания.
2. Макро- и микрошлифы сплавов.
3. Микроскоп МИМ-7.
4. Описание микроструктур. Альбом фотографий структур.

Содержание отчета

- 1 . Основные понятия о модифицировании.
2. Выявление и описание структур силумина до и после модифицирования.
3. Анализ результатов.

Библиографический список

1. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 648 с.
2. Колачев Б. А., Иванов В.А., Благин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981. 416 с.
3. Заббаров Р. Материалы и современные технологические процессы изготовления отливок и заготовок аэрокосмического назначения: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2000. 148 с.

Практические занятия по курсу «ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ»

Занятие №1

ШИХТА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ШИХТЫ

Цель работы: изучение состава шихтовых материалов и методов расчета шихты.

Основные исходные материалы металлургического производства при выплавке металлов и сплавов

1. Рудные материалы (руды металлов).
2. Нерудные материалы (глинозем, кварцевый песок и др.).
3. Отходы металлургического производства (собственные и привозные).
4. Топливо.
5. Огнеупоры.
6. Флюсы (шлакообразующие, покровные, рафинирующие, модифицирующие, комбинированные).

Указанные материалы проходят предварительную подготовку для металлургического передела: дробление и измельчение, усреднение по химическому и гранулометрическому составам, обогащение и окускование.

Исходные материалы при выплавке сплавов называются *шихтовыми (шихта)*. Для производства сплавов заданного химического состава применяют следующие составляющие шихты:

1. Чугуны – руда, агломерат, известняк, кокс.
2. Стали – перекдельный чугун, отходы производства, добавки легирующие (технические металлы, ферросплавы), науглероживающие (кокс, чугун), окислители (руда, агломерат, технический кислород), шлакообразующие (кварцевый песок, шамотный бой, магнезит и др.), раскислители.
3. Алюминиевые сплавы – отходы производства, первичные металлы и лигатуры. Ниже приведены марки первичных металлов и лигатур.

Первичные металлы

Алюминий первичный в виде чушек следующих марок: А0, А5, А6, А7, А8, А85, А95, А99, А995.

Бериллий в виде кусков с кристаллическим изломом.

Хром в виде кусков пяти сортов (ГОСТ 5905-79).

Медь в виде листовых катодов не ниже марки МЗ (ГОСТ 859-78).

Литий в виде плоских чушек (ГОСТ 8774-75). Хранится в баках, заполненных маслом и парафином.

Магний в виде чушек марки Мг (ГОСТ 804-72).

Марганец в виде кусков марок Мр1, Мр2, Мр3, Мр4 (ГОСТ 6008-75).

Никель в виде катодных листов марок Н0, Н1, Н2, Н3 и гранул марок Н2, Н3, Н4 (ГОСТ 849-70).

Кремний – применяют марки Кр00, Кр0, Кр1 и Кр2 (ГОСТ 2169-69) и в виде силумина (с 10-13% Si) следующих марок: Сил00, Сил1, Сил2 (ГОСТ 1521-76).

Цинк в виде марок не ниже Ц1 (ГОСТ 3640-79).

Лигатуры

(процент по массе легирующего элемента, остаточного алюминия)

А1-Сu – (40-50);

А1-Mn – (7-12);

А1-Ni – (15-20);

А1-Ti – (2-4);

А1-Fe – (5-10);

А1-Si – (15-20);

А1-Zr – (1-1,5).

Методы расчета шихты

Расчет шихты сводится к нахождению весовых соотношений исходных шихтовых материалов для приготовления сплава заданного химического состава. Расчет ведут на 100 кг сплава по среднему химическому составу с учетом угара компонентов сплава. Угар представляет собой безвозвратные потери металла на испарение, окисление (шлакообразование), взаимодействие с футеровкой печи.

Для расчета шихты необходимо знать:

1) средний химический состав выплавляемого сплава;

- 2) точный состав исходных шихтовых материалов;
- 3) угар компонентов сплава.

Химический состав определяется ГОСТом. Величина угара зависит от состава шихты, её компактности, типа печи, режимов плавки и т.д. Угар определяют по справочным или опытным данным. Расчет шихты ведется следующими методами:

1. Аналитический метод. Сводится к составлению и совместному решению ряда уравнений (число уравнений равно числу неизвестных). В целях упрощения расчет ведут только по основным элементам. Аналитический метод расчета применяют в том случае, когда в состав шихты входят отходы, возвраты и подготовительные сплавы. Применение чистых металлов здесь исключается.

Если при решении системы уравнений получается отрицательный результат, это указывает на то, что из выбранных шихтовых материалов невозможно получить сплав заданного состава.

2. Арифметический метод. Этим методом пользуются тогда, когда количество отходов и подготовительных сплавов (лигатур) задано и требуется определить количество только чистых металлов для расшихтовки.

3. Метод подбора. Сводится к тому, что вначале шихта подбирается из исходных материалов на основании опыта. Затем определяется средний химический состав шихты. Если этот состав будет значительно отличаться от заданного, то работа повторяется заново до необходимого состава.

4. Графический метод. По известным графическим зависимостям определяется состав шихты для получения сплава заданного состава.

Ниже рассмотрены примеры расчета шихты арифметическим методом.

Занятие №2 РАСЧЕТ ШИХТЫ

Цель работы: на конкретных примерах провести расчет шихты арифметическим методом.

Пример 1

Приготовить сплав БрОЦС 3-12-5 из отходов этого сплава (10%) и чистых металлов.

1) В сплаве должно быть:

$$\begin{array}{rcl} \text{Sn} - & 3 \%, & \text{т.е. } 3 \text{ кг} \\ \text{Zn} - & 12\%, & \text{т.е. } 12 \text{ кг} \\ \text{Pb} - & 5 \%, & \text{т.е. } 5 \text{ кг} \\ \text{Cu} - & 80 \%, & \text{т.е. } 80 \text{ кг} \\ & & \hline & & 100 \text{ кг.} \end{array}$$

2) Угар элементов:

$$\begin{array}{rcl} \text{Sn} - & 1 \% \\ \text{Zn} - & 3 \% \\ \text{Pb} - & 1 \% \\ \text{Cu} - & 1 \%. \end{array}$$

С учетом угара в сплаве должно быть:

$$\begin{array}{rcl} \text{Sn} - & 3 + 0,03 = & 3,03 \text{ кг} \\ \text{Zn} - & 12 + 0,36 = & 12,36 \text{ кг} \\ \text{Pb} - & 5 + 0,05 = & 5,05 \text{ кг} \\ \text{Cu} - & 80 + 0,8 = & 80,8 \text{ кг} \\ & & \hline & & 101,24 \text{ кг.} \end{array}$$

3) В 10 % (10 кг) отходов БрОЦС 3-12-5 содержится:

$$\begin{array}{rcl} \text{Sn} - & 10 \cdot \frac{3}{100} = & 0,3 \text{ кг} \\ \text{Zn} - & 10 \cdot \frac{12}{100} = & 1,2 \text{ кг} \\ \text{Pb} - & 10 \cdot \frac{5}{100} = & 0,5 \text{ кг} \\ \text{Cu} - & 10 \cdot \frac{80}{100} = & 8 \text{ кг} \\ & & \hline & & 10 \text{ кг.} \end{array}$$

4) Количество чистых металлов должно быть:

$$\text{Sn} - 3,03 - 0,3 = 2,73 \text{ кг}$$

$$\text{Pb} - 5,05 - 0,5 = 4,55 \text{ кг}$$

$$\text{Zn} - 12,36 - 1,2 = 11,16 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - 80,80 - 8,0 = 72,80 \text{ кг.}$$

5) Для получения 100 кг БрОЦС 3-12-5 необходимо взять:

Отходов БрОЦС 3-12-5 – 10 кг

$$\text{Sn} - 2,73 \text{ кг}$$

$$\text{Pb} - 4,55 \text{ кг}$$

$$\text{Zn} - 11,16 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - \underline{72,80 \text{ кг}}$$

$$101,24 \text{ кг.}$$

Пример 2

Приготовить сплав БрАЖН10-4-4 из собственных отходов (20%), лигатур:

$$(50 \% \text{ Cu} - 50 \% \text{ Al}) - 10 \%$$

$$(60 \% \text{ Cu} - 40 \% \text{ Ni}) - 5 \%$$

$$(95 \% \text{ Cu} - 5 \% \text{ Fe}) - 5 \%,$$

и чистых металлов:

1) В сплаве должно быть:

$$\text{Al} - 10 \text{ кг}$$

$$\text{Fe} - 4 \text{ кг}$$

$$\text{Ni} - 4 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - \underline{82 \text{ кг}}$$

$$100 \text{ кг.}$$

2) Угар элементов: Al – 2 %; Fe – нет; Ni – 1 %; Cu – 1 %.

С учетом угара в сплаве должно быть:

$$\text{Al} - 10,2 \text{ кг}$$

$$\text{Fe} - 4 \text{ кг}$$

$$\text{Ni} - 4,04 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - \underline{82,82 \text{ кг}}$$

$$101,06 \text{ кг.}$$

3) В 20 % (20 кг) отходов содержится:

$$\text{Al} - 20 \cdot \frac{10}{100} = 2 \text{ кг}$$

$$\text{Fe} - 20 \cdot \frac{4}{100} = 0,8 \text{ кг}$$

$$\text{Ni} - 20 \cdot \frac{4}{100} = 0,8 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - 20 \cdot \frac{4}{100} = 16,4 \text{ кг}$$

$$20 \text{ кг.}$$

4) В 10 % (10 кг) лигатуры 50 % Cu – 50 % Al содержится:

$$\text{Al} - 10 \cdot \frac{50}{100} = 5 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - 10 \cdot \frac{50}{100} = 5 \text{ кг}$$

$$10 \text{ кг.}$$

5) В 5 % (5 кг) лигатуры 60 % Cu – 40 % Ni содержится:

$$\text{Ni} - 5 \cdot \frac{40}{100} = 2 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - 5 \cdot \frac{60}{100} = 3 \text{ кг}$$

$$5 \text{ кг.}$$

6) В 5 % (5 кг) лигатуры 95 % Cu – 5 % Fe содержится:

$$\text{Fe} - 5 \cdot \frac{5}{100} = 0,25 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - 5 \cdot \frac{95}{100} = 4,75 \text{ кг}$$

$$5 \text{ кг.}$$

7) Всего в отходах и лигатурах содержится:

$$\begin{aligned}
 \text{Al} - & 2 + 5 = 7 \text{ кг} \\
 \text{Fe} - & 0,8 + 0,25 = 1,05 \text{ кг} \\
 \text{Ni} - & 0,8 + 2 = 2,80 \text{ кг} \\
 \text{Cu} - & \underline{16,4 + 5 + 3 + 4,75 = 29,15 \text{ кг}} \\
 & 40 \text{ кг}
 \end{aligned}$$

8) Требуемое количество чистых металлов:

$$\begin{aligned}
 \text{Al} - & (10,2 - 7) = 3,2 \text{ кг} \\
 \text{Fe} - & (4 - 1,05) = 2,95 \text{ кг} \\
 \text{Ni} - & (4,04 - 2,80) = 1,24 \text{ кг} \\
 \text{Cu} - & \underline{(82,82 - 29,15) = 53,67 \text{ кг}} \\
 & 61,06 \text{ кг}
 \end{aligned}$$

9) Для получения 100 кг сплава БрАЖН 10-4-4 необходимо:

Отходов БрАЖН 10-4-4 –	20 кг
Лигатуры 50 % Cu – 50 % Al –	10 кг
Лигатуры 60 % Cu – 40 % Ni –	5 кг
Лигатуры 95 % Cu – 5 % Fe –	5 кг
Чистых металлов:	
Cu –	53,67 кг
Al –	3,2 кг
Ni –	1,24 кг
Fe –	<u>2,95 кг</u>
	101,06 кг

Пример 3

Приготовить алюминиевый сплав со средним содержанием компонентов: 5% Si; 2,5% Cu; 0,5% Mg; 0,5% Mn; ост. Al из следующих материалов:

- алюминий чушковый первичный;
- силумин (13% Si);

- алюминиево-медная лигатура (10% Cu);
- алюминиево-магниевая лигатура (10% Mg);
- алюминиево-марганцевая лигатура (10% Mn).

1) С учетом угара в сплаве должно быть (Al – 1%, Cu – 1%, Si – 1,5%, Mg – 3%, Mn – 1,5% – угар).

$$\text{Mg} - 0,5 + \frac{0,5 \cdot 3}{100} = 0,515 \text{ кг}$$

$$\text{Cu} - 2,5 + \frac{2,5 \cdot 1}{100} = 2,525 \text{ кг}$$

$$\text{Al} - 91,5 + \frac{91,5 \cdot 1}{100} = 92,415 \text{ кг}$$

$$\text{Si} - 5 + \frac{5 \cdot 1,5}{100} = 5,075 \text{ кг}$$

$$\text{Mn} - 0,5 + \frac{0,5 \cdot 1,5}{100} = 0,5075 \text{ кг}$$

$$\Sigma = 100,0375 \text{ кг.}$$

2) Необходимое кол-во силумина: 100 кг – 13 кг Si

$$X - 5,075 \text{ кг Si}$$

$$X = \frac{100 \cdot 5,075}{13} = 39,038 \text{ кг.}$$

3) Силумин внесет Al:

$$39,038 - 5,075 = 33,963 \text{ кг.}$$

4) Необходимое кол-во Al–Cu – лигатуры

$$100 \text{ кг лигатуры} - 10 \text{ кг}$$

$$X - 2,525 \text{ кг}$$

$$X = \frac{100 \cdot 2,525}{10} = 25,25 \text{ кг.}$$

5) Al–Cu – лигатура внесет Al:

$$25,25 - 2,525 = 22,725 \text{ кг.}$$

6) Al–Mg – лигатуры необходимо:

$$\frac{100 \cdot 0,515}{10} = 5,15 \text{ кг.}$$

7) Al–Mg – лигатура внесет Al:

$$5,15 \text{ кг} - 0,515 \text{ кг} = 4,635 \text{ кг.}$$

8) Al–Mn – лигатуры необходимо

$$\frac{100 \cdot 0,5075}{10} = 5,075 \text{ кг.}$$

9) Al–Mn – лигатура внесет Al:

$$5,075 - 0,5075 = 4,5675 \text{ кг.}$$

10) Необходимое кол-во чушкового Al:

$$92,415 - (33,963 + 22,725 + 4,635 + 4,5675) = 26,5245 \text{ кг.}$$

11) Для выплавки 100 кг сплава АЛЗ необходимо:

Чушкового алюминия – 26,5245 кг

Силумина – 39,038 кг

Лигатур – Al–Cu – 25,25 кг

Al–Mg – 5,150 кг

Al–Mn – 5,075 кг

$$\Sigma = 101,0375 \text{ кг.}$$

Приложение к занятию №2

Задание: рассчитать шихту для выплавки сплава указанной марки арифметическим методом. Примеси из состава сплава исключить. Шихта составляется для выплавки сталей из сплавов: из отходов, технических металлов, ферросплавов и лигатур.

Темы заданий приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ задания	Марка стали или сплава	Расчетные компоненты
1	Сталь 10	Fe, C, Mn, Si (50)
2	Сталь 25	Fe, C, Mn, Si (20)
3	Сталь 30	Fe, C, Mn, Si (15)
4	Сталь 40	Fe, C, Mn, Si (30)
5	Сталь 60	Fe, C, Mn, Si (40)
6	15X	Fe, Cr, C, Mn, Si (20)
7	40X	Fe, Cr, C, Mn, Si (40)
8	20Г	Fe, C, Mn, Si (30)
9	10Г2	Fe, C, Mn, (10)
10	40ХН	Fe, Cr, Ni, C, Mn, Si (40)
11	35ГЛ	Fe, C, Mn, Si (35)
12	35ГЛС	Fe, C, Mn, Si (30)
13	35ХГСЛ	Fe, C, Mn, Si (35)
14	80ГСЛ	Fe, C, Mn, Si (10)
15	20ХМЛ	Fe, Cr, Mo, C (20)
16	11ОГ13	Fe, C, Mn, Si (15)
17	15ХНЛ	Fe, Cr, Ni, C, Mn, Si (20)
18	20Х13Л	Fe, Cr, C, Mn, Si (25)
19	12Х13	Fe, Cr, C, Mn, Si (40)
20	30Х13	Fe, Cr, C, Mn, Si (50)
21	12Х17	Fe, Cr, C (12)
22	15Х25Т	Fe, Cr, Ti, C (15)
23	25Х13Н2	Fe, Cr, Ni, C (25)
24	20Х23Н13	Fe, Cr, Ni, C (20)

Окончание табл. 1

25	14X17H2	Fe, Cr, Ni, C (14)
26	17X18H9	Fe, Cr, Ni, C (17)
27	12XH9T	Fe, Cr, Ti, Ni, C (12)
28	XH7010	Ni, Cr, Al (50)
29	X20H80	Cr, Ni (40)
30	XH78T	Ni, Cr, Ti (50)
31	95X18	Fe, Cr, C (30)
32	АЛ9	Al, Si, Mg (20)
33	АЛ2	Al, Si, (30)
34	АЛ3	Al, Si, Cu, Mg (40)
35	АЛ5	Al, Si, Cu, Mg (50)
36	АЛ25	Al, Si, Cu, Mg, Mn (30)
37	АЛ34	Al, Si, Mg (20)
38	АЛ32	Al, Si, Cu, Mg (30)
39	АЛ7	Al, Cu (25)
40	АЛ19	Al, Cu, Mg, Ti (40)
41	АЛ8	Al, Si, Mn, Mg (20)
42	АЛ13	Al, Si, Mn, Mg (50)
43	АЛ11	Al, Cu, Ni, Mg (20)
44	АЛ30	Al, Si, Mg, Cu, Ni, Ti (40)
45	Мл2	Mg, Al, Mn (25)
46	Мл5	Mg, Al, Zn, Mn (20)
47	Мл9	Mg, Nd, Zn (50)
48	Мл10	Mg, Nd, Zr, Zn (50)
49	Мл14	Mg, Th, Zn, Zr (30)
50	Мл4	Mg, Al, Zn, Mn (40)
51	Мл6	Mg, Al, Zn, Mn (25)
52	Мл7-1	Mg, Al, Zn, Mn (30)
53	Мл8	Mg, Zr, Zn, Cd (40)
54	Мл11	Mg, Zr, Zn (50)

Исходные данные для расчета шихты приведены в табл. 2-6

Таблица 2

Базовое содержание элементов в ферросплавах, % по массе

Ферросплав	Марка ферросплава	Содержание основного элемента	Содержание прочих элементов
Ферросилиций	ФС75	75	-
– // –	ФС65	65	-
Ферромарганец углерод.	ФМn75	75	
Марганец металлический	Мр1, Мр2	90	
Феррохром	все марки	97	-
Хром металлический	все марки	60	
Никель	– // –	99.8	-
Ферромolibден	– // –	72	-
Молибден металлический	– // –	99,7	
Ферровольфрам	– // –	38	-
Вольфрам металлический	– // –	20	
Феррованадий	– // –	99	-
Ферротитан	– // –	50	-
Титан металлический	– // –	99	
Феррониобий	– // –	50	-
Цирконий	– // –	99	-
Кобальт	– // –	99.3	-
Алюминий первичный кусковой	– // –	99	
Никель-магниева лигатура	– // –	85Ni	15Mg
Никель-хромалюминиевая лигатура	– // –	5Ni	15Cr+30Al
Никель-медная лигатура	– // –	70Ni	30Cu

Таблица 3

**Угар компонентов из отходов и ферросплавов при выплавке сталей
в индукционных электропечах, % по массе**

Легирующие элементы	Ферросплавы	Отходы
C	0	10
Mn	10	20
Si	5	20
Cr	5	15
Ni	1	3
Ti	10	50
Mo	1	3
W	5	5
Nb	5	5
Zn	50	-
Co	5	5
Al	25	-
Cu	1	3
V	5	15
P	0	0
S	0	0
Fe	3	3

Таблица 4

Базовый состав алюминиевых и магниевых лигатур

Лигатура	Компонент	Содержание основного элемента, % по массе
Al-Si	Si	20...25
Al-Be	Be	4...6
Al-Fe	Fe	5...10
Al-Mg	Mg	10...12
Al-Mn	Mn	5...10
Al-Cu	Cu	35...50
Al-Ni	Ni	10...20
Al-Ti	Ti	3...5
Al-Cr	Cr	3...5
Al-Ze	Ze	20...30
Al-Zr	Zr	3...5

Окончание табл. 4

Al–Cu–Mn	Cu	10...13
	Mn	1...15
Al–Ti–B	Ti	3...5
	B	0,1...0,5
Al–Cu–P	Cu	8...10
	P	1...1,5
Al–Cu–Mn–Ti	Cu	28...32
	Mn	4...6
	Ti	1,8...2,5
Al–Mg–Mn	Mg	20
	Mn	10
Al–Mg–Be	Mg	36
	Be	3
Mg–Mn	Mn	2...4

Таблица 5

Марки первичных металлов

Первичные металлы	Марки, ГОСТы
Алюминий первичный	A0, A5, A6, A7, A8 (ГОСТ 11070-74)
Хром	ГОСТ 5905-79
Медь	МЗ (ГОСТ 859-78)
Литий	ГОСТ 8774-75
Магний	Мг (ГОСТ 804-72)
Марганец	Мр1, Мр2, Мр3, Мр4 (ГОСТ 6008-75)
Никель	Н0, Н1, Н2, Н3 (ГОСТ 849-70)
Кремний	Кр00, Кр, Кр1, Кр2 (ГОСТ 2169-69)
Силумин (10–13 %)	Сил00, Сил1, Сил2 (ГОСТ 1521-76)
Цинк	Ц1 (ГОСТ 3640-79)

Таблица 6

Угар компонентов и магниевых сплавов

Компо- нент сплава	Чистая шихта		Окисленная и загрязненная шихта	
	плавка в электрических и тигельных печах	плавка в пламенных печах	плавка в электрических и тигельных печах	плавка в пламенных печах
Mg	2...3	3...5	3...5	3...10
Be	2...3	3...5	3...5	5...10
Al	1.0...1.5	1...2	1...2	2...3
Na	2...3	3...5	3...5	5...10
Zn	1...3	2...4	2...3	3...5
Mn	0.5...1.0	1...2	1...2	2...3
Sn	0.5...1.0	1.0...1.5	1.0...1.5	1.5...2.0
Fe	0.5...1.0	0.5...1.0	0.5...1.0	0.5...1.0
Ni	0.5...1.0	0.5...1.0	0.5...1.0	0.5...1.0
Si	0.5...1.0	1.0...1.5	1.0...1.5	1.5...2.0
Cu	0.5...1.0	1...2	1...2	2...3

Библиографический список к занятиям №1, 2

1. Мариенбах Л.М., Соколовский Л.О., Плавка сплавов цветных металлов для фасонного литья. М.: Высш. шк., 1967. 248 с.
2. Плавка и литье алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1983.

Занятие №3

АЛЮМИНИЕВЫЕ И МАГНИЕВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

Цель работы: знакомство с классификацией и маркировкой сплавов, изучение физических, технологических и механических свойств, режимов литья и термической обработки.

Алюминиевые литейные сплавы

Условные обозначения способов литья

З – литье в песчаные формы;

О – литье в оболочковые формы;

В – литье по выплавляемым моделям;

К – литье в кокиль;

Д – литье под давлением;

ПД – литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка).

Маркировка элементов в алюминиевых сплавах

А – алюминий, К – кремний, Су – сурьма, Мг – магний, М – медь, Н – никель, Кд – кадмий, Мц – марганец, Ц – цинк; ч – чистый, пч – повышенной чистоты, оч – особой чистоты, Л – литейный, М – сплав модифицирован.

Условные обозначения видов термической обработки алюминиевых сплавов

T1 – искусственное старение без предварительной закалки;

T2 – отжиг;

T4 – закалка;

T5 – закалка и кратковременное (неполное) искусственное старение;

T6 – закалка и полное искусственное старение;

T7 – закалка и стабилизирующий отпуск;

T8 – закалка и смягчающий отпуск.

Основными легирующими элементами алюминиевых сплавов являются Cu, Mg, Zn, Si, Li и др. В зависимости от способа получения полуфабрикатов и изделий алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Из деформируемых сплавов получают

полуфабрикаты и изделия методами обработки металлов давлением (ОМД), а из литейных – фасонные отливки. Деформируемые и литейные сплавы разделяют на термически упрочняемые и термически неупрочняемые.

К специальным алюминиевым сплавам относят сплавы, из которых изготавливают изделия без применения традиционных технологических приемов (ОМД и литье), но с применением таких технологических процессов, как порошковая металлургия и гранулирование. Спеченные алюминиевые порошки (САПы) и сплавы (САСы) содержат в качестве легирующих компонентов дисперсные и равномерно распределенные в алюминиевой матрице нерастворимые твердые фазы (Al_2O_3 , Al_3Cr , Al_7Cr , Al_3Fe). Таким образом, в этих сплавах легирующими элементами являются либо Al_2O_3 , либо тугоплавкие практически нерастворимые в твердом растворе металлы Cr, Zr, Fe, Ni и др. Технологический процесс изготовления полуфабрикатов из спеченных алюминиевых сплавов и порошков включает получение порошков, холодное брикетирование, вакуумную дегазацию брикетов, горячую подпрессовку брикетов, горячую и последующую холодную деформацию. Поэтому САПы и САСы могут быть отнесены к деформируемым алюминиевым сплавам.

Гранулируемые алюминиевые сплавы получают методом центробежного литья в воду частиц размером от десятых долей до нескольких миллиметров. При высоких скоростях кристаллизации (10^3 – 10^6 °C/с) в сплавах алюминия с переходными металлами (Mn, Cr, Ti, V) можно получать перенасыщенные растворы, в которых содержание легирующих элементов значительно превышает их предельную растворимость. При изготовлении из гранул деформированных полуфабрикатов аномально пересыщенные твердые растворы распадаются с выделением дисперсных частиц интерметаллидов.

Литейные алюминиевые сплавы подразделяются в зависимости от химического состава на следующие группы:

I – сплавы на основе системы Al-Si-Mg: АК12(АЛ2); АК9ч(АЛ4); АК7ч(АЛ9); АК8Л(АЛ34) и др.; основная упрочняющая фаза Mg_2Si ;

II – сплавы на основе системы Al-Si-Cu: АК5М(АЛ5); АК8М(АЛ32); АК5М7; АК8МЗч(ВАЛ8); АК12М2МгН(АЛ25); АК12ММгН(АЛ30) и др.; основные упрочняющие фазы $CuAl_2$ и Mg_2Si ;

III – сплавы на основе системы Al-Cu: АМ5(АЛ19); АМ4,5Кд(ВАЛ10) и др.; основная упрочняющая фаза CuAl_2 ;

IV – сплавы на основе системы Al-Mg: АМг5К(АЛ13); АМг11(АЛ22); АМг6Л(АЛ23); АМг6Лч(АЛ23-1); АМг10(АЛ27); АМг10ч(АЛ27-1); АМг5Мц(АЛ28) и др.; основная упрочняющая фаза Al_3Mg_2 ;

V – сплавы на основе системы алюминий-прочие компоненты: АК7Ц9(АЛ11); АЦМг(АЛ24) и др.; в зависимости от химического состава упрочняющими фазами могут быть CuAl_2 , Mg_2Si , Al_2CuMg и др.

В табл. 1 [1] приведен химический состав алюминиевых литейных сплавов в соответствии с ГОСТ 1583-93, в табл. 2-6 – механические, физические и технологические свойства, а также рекомендуемые режимы термической обработки и области применения сплавов. В скобках указаны обозначения марок сплавов по ГОСТ 2685-75 [1].

Составы и свойства гранулированных сплавов приведены в табл. 7-10 [1]. Гранулируемый сплав 01419 относится к системе Al-Cr-Zr, химический состав в процентном отношении: Cr-1,3..1,8; Zr-1,3...1,8; Fe <0,3; Si <0,3; Al – остальное. Упрочняющие фазы: $\text{Al}_3\text{Zr}(\text{Cr})$, Al_7Cr . Сплав 01419 объединяет положительные качества таких разных по назначению сплавов, как САП1, АМг6, 1201. Сплав 01419 применяют для изготовления различных изделий вместо: САШ для деталей, работающих при температурах до 400°C; для высокопрочных коррозионно-стойких сварных конструкций, работающих при нормальной температуре (вместо АМг6); для ответственных коррозионно-стойких сварных конструкций, работающих при температуре до 400°C, для которых ни один из стандартных сплавов не может быть применен.

Листы по сравнению с прессованными изделиями имеют пониженную пластичность при комнатной температуре и более низкую жаропрочность. Сплав 01419 имеет очень высокую коррозионную стойкость, не уступая при этом техническому алюминию. Сплав 01419 нечувствителен к кристаллизационным трещинам при сварке.

Несмотря на низкую пластичность листов из сплава 01419, штампуемость листового материала 01419 высокая (находится на уровне отожденного САП1). Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием. По жаропрочности при 350°C сплав 01419 не уступает САП1 и превосходит все остальные стандартные сплавы.

Гранулируемые сплавы с переходными металлами (ПМ), имеющими значительную растворимость в алюминии, относятся к системам Al-Cr-Zr-ПМ с упрочняющими фазами $Al_3Zr(Cr)$, Al_7Cr , X-фаза с решеткой Al_6Mn (в состав последней фазы входят Cr, Ti, V). Сплавы применяют при изготовлении прессованных полуфабрикатов, горяче- и холоднокатаных листов.

Многокомпонентный сплав на основе Al-Cr-Zr при суммарном содержании ПМ 4,6...5,0% значительно превосходит сплав 01419 по жаропрочности ($\sigma = 7,0$ кгс / мм², тогда как для сплава 01419 $\sigma_{100}^{350} = 46$ кгс/мм²). Прочностные характеристики при 20°C ниже сплава 01419 на 2...3 кгс/мм². По коррозионной стойкости, свариваемости и технологичности при листовой штамповке многокомпонентный сплав на основе Al-Cr-Zr мало отличается от сплава 01419.

Гранулируемые сплавы, легированные железом, содержат 2-8% Fe (ост. Al) с упрочняющими фазами типа $Al_3Fe(Al_6Fe)$. Сплавы системы Al-Fe имеют очень высокую прочность (более высокую, чем у сплавов Al-Cr-Zr) и жаропрочность, но для них необходимо обеспечить скорость охлаждения частиц при кристаллизации не менее 10^6 °C/с. Коррозионная стойкость находится на уровне коррозионной стойкости сплавов системы Al-Mg-Si. Сплавы Al-Fe не подвержены коррозии под давлением.

Магниевые литейные сплавы

Условные обозначения видов термической обработки магневых литейных сплавов

T1 – старение;

T2 – отжиг;

T4 – гомогенизация и закалка на воздухе;

T6 – гомогенизация, закалка на воздухе и старение;

T61 – гомогенизация, закалка в воде и старение.

Магниевые сплавы характеризуются малой плотностью, высокой способностью поглощения энергии удара и вибраций. Важное технологическое свойство магневых сплавов – прекрасная обрабатываемость резанием. Один из основных недостатков — пониженная коррозионная стойкость.

Условно магниевые сплавы можно разделить на следующие группы:

I. Сплавы на основе системы Mg-Mn(МЛ2).

II. Сплавы на основе системы Mg-Al-Zn (МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ3пч, МЛ6, МЛ7-1).

III. Сплавы, легированные цинком, редкоземельными металлами и цирконием (МЛ8, МЛ9, МЛН, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5, ВМЛ6).

IV. Сплавы, содержащие торий и некоторые другие элементы (МЛ14, ВМЛ1 и др.).

По коррозионной стойкости магниевые сплавы можно разделить на три основные группы:

- повышенной коррозионной стойкости во всех климатических атмосферных условиях (МЛ4пч, МЛ3пч, ВМЛ9);

- удовлетворительной коррозионной стойкости во всех климатических атмосферных условиях (МЛ4, МЛ5, МЛ8, ВМЛ5, МЛ9, ВМЛ7, МЛ12, МЛ10, МЛ11, МЛ7-1);

- пониженной коррозионной стойкости во всех климатических атмосферных условиях (ВМЛ6).

По предельным рабочим температурам магниевые сплавы можно разделить на следующие группы:

- до 150°C и кратковременно до 200...250°C (МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ6, ВМЛ6, ВМЛ5, ВМЛ9);

- 150...200°C и кратковременно до 250°C (МЛ71, МЛ12, МЛ15), МЛ15 может работать кратковременно (до 5 минут) при нагреве до 350°C;

- 200...300°C и кратковременно до 300...400°C (МЛ9, МЛ10, МЛН, ВМЛ7).

Магниевые сплавы разделяют также на следующие группы:

- сплавы средней прочности (МЛ7-1);

- сплавы высокой прочности (МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ3пч, МЛ6, МЛ8, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5, ВМЛ6, ВМЛ9);

- жаропрочные сплавы (МЛ9, МЛ 10, МЛН, ВМЛ7).

Сплавы системы Mg-Mn

Структура этих сплавов представляет собой твердый раствор марганца в магнии с включением первичного марганца. Характерный представитель этой группы – сплав МЛ2. Сплав имеет узкий интервал кристаллизации (около 5°C), хорошую жидкотекучесть, большую осадку, низкие механические свойства. Введение в сплав

0,2% Са измельчает структуру и несколько улучшает механические характеристики. Термическая обработка сплава МЛ2 – отжиг при 340°C в течение 2-3 часов для снятия внутренних напряжений. Сплав имеет высокую коррозионную стойкость к плавиковой кислоте, концентрированным растворам едкого натрия и растворам соды. Сплав сваривается и хорошо обрабатывается резанием.

В состав МЛ2 входит 1,0–2,0% Mn. Плотность сплава при 20°C равна 1770 кг/м³. Температурный интервал кристаллизации 650...645°C, жидкотекучесть (по длине прутка) 300 мм, линейная усадка 1,7...1,9%. Механические свойства при комнатной температуре: $\sigma_B = 9,0$ кгс/мм², $\delta = 3,0\%$, HB = 30 кгс / мм².

Сплавы системы Mg-Al-Zn

Упрочняющими фазами этой системы являются соединения Mg₁₇Al₁₂ и Mg₃Al₂Zn₃ (табл. 11-16) [1].

Сплавы, легированные редкоземельными металлами и цирконием

Редкоземельные элементы (РЗЭ) (табл. 17-22) [1] заметно повышают жаропрочность магниевых сплавов, которая увеличивается по мере перехода от лантана к неодиму. Основой сплавов этой системы является твердый раствор РЗМ в магнии и эвтектика, состоящая из твердого раствора и химического соединения.

Сплавы, содержащие торий и некоторые другие элементы, приведены в табл.23, 24 [1]. Высокая жаропрочность характерна для сплавов системы Mg-Th. Ввод в эти сплавы циркония приведет к измельчению зерна, повышению механических свойств и улучшению литейных характеристик.

Сплав МЛ14 упрочняется термообработкой, он отличается более высоким, чем у других магниевых сплавов, сопротивлением ползучести при температурах 350...400°C. Сплав ВМЛ1 имеет наиболее высокую жаропрочность и удовлетворительные литейные свойства. Сплав применяется для изготовления отливок, работающих в условиях высоких нагрузок при температуре 350...400°C.

Библиографический список

1. Заббаров Р. Материалы и современные технологические процессы изготовления отливок и заготовок аэрокосмического назначения: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2000. 148 с.
2. Курдюмов А.В., Пикунов М.В., Чурсин В.М. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М: Металлургия, 1983. 351 с.

Занятие №4

ТИТАНОВЫЕ И НИКЕЛЕВЫЕ ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

Цель работы: знакомство с классификацией и маркировкой сплавов, изучение физических, технологических и механических свойств, режимов литья и термической обработки.

Титановые литейные сплавы

Титановые сплавы имеют малую плотность, высокие механические свойства от криогенных ($\sim 250^{\circ}\text{C}$) до умеренно высоких температур ($300\ldots 600^{\circ}\text{C}$) и отличную коррозионную стойкость в большинстве агрессивных сред. Жаропрочные титановые сплавы работают при температуре до 500°C – 3000 ч, при 600°C – не более 500ч.

Титановые сплавы классифицируются по структуре в отожженном состоянии (α -сплавы, $\alpha+\beta$ -сплавы и β -сплавы), по способу изготовления, уровню прочности и целевому назначению. По уровню прочности и жаропрочности титановые сплавы можно разделить на группы:

- I. Сплавы повышенной пластичности (BT1-0, OT4-0, OT4-1).
- II. Сплавы средней прочности (BT5 и BT5-1, OT4, BT4, BT20).
- III. Высокопрочные сплавы (BT6, BT14, BT15, BT22).
- IV. Жаропрочные сплавы (BT31, BT8, BT9, BT18).

В качестве литейных наиболее широко применяются – сплав BT5Л, двухфазные сплавы BT3-1Л, BT6Л, BT9Л, BT14Л и псевдосплавы BT20Л и BT21Л. Для фасонного литья чаще всего применяется сплав BT5Л ($\sigma_b > 70 \text{ кгс/мм}^2$). Остальные литейные сплавы имеют предел прочности $85\ldots 95 \text{ кгс / мм}^2$. Необходимо учесть, что литейные титановые сплавы имеют предел выносливости на 40...60% ниже деформируемых сплавов и более низкую пластичность. Почти все деформируемые титановые сплавы могут применяться в качестве литейных, так как обладают хорошими литейными свойствами. Поэтому в данном пособии также приведен химический состав деформируемых титановых сплавов. В табл. 25-31 [1] приведены сплавы, свойства, режимы термической обработки и другие данные.

Жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе

Никелевые литейные жаропрочные сплавы имеют более высокие пределы длительной прочности по сравнению с деформируемыми сплавами. Указанное объясняется дендритной структурой и возмож-

ностью образования различных фаз (карбидных, боридных и др.) по границам зерен в виде псевдоэвтектики, затрудняющих развитие трещин по этим границам. Значительное легирование деформируемых сплавов ограничено необходимостью горячей пластической деформации, в то время как литейные сплавы имеют большие возможности. Поэтому температурный уровень жаропрочности литейных сплавов на 50...100°C выше деформируемых. Кроме того, литейные сплавы обладают большой технологичностью, особенно при изготовлении деталей сложной формы. Одним из недостатков рассматриваемых сплавов является более низкая ударная вязкость по сравнению с деформируемыми.

По способу структурного упрочнения никелевые литейные сплавы можно разделить на две группы:

- сплавы с карбидным упрочнением. Основными упрочняющими фазами являются карбиды типа $\text{Ni}_3(\text{Mo}, \text{Cr})_3\text{C}$, карбонитриды;
- сплавы с интерметаллидным упрочнением.

Высокие характеристики жаропрочности достигаются образованием в них упрочняющей α' -фазы (γ' -фазы) типа $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, ее количеством, степенью дисперсности, распределением и формой выделений. Твердый раствор в этих сплавах легирован Co, Cr, W, Mo, Nb. В малоуглеродистых никелевых сплавах, легированных ниобием, образуется упрочняющая метастабильная фаза Ni_3Nb со структурой, подобной твердому раствору, как и фаза $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$.

Сплавы первой группы неперспективны в смысле повышения характеристик жаропрочности. Сплавы второй группы являются в настоящее время основными среди жаропрочных никелевых сплавов.

Свойства сплавов вакуумной индукционной выплавки, предназначенных для последующего переплава в вакуумных индукционных печах при литье лопаток и других фасонных отливок, приведены в табл. 32-35 [1].

Библиографический список

1. Заббаров Р. Материалы и современные технологические процессы изготовления отливок и заготовок аэрокосмического назначения: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2000. 148 с.
2. Курдюмов А.В. Пикунов М.В., Чурсин В.М. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М: Металлургия, 1983. 351 с.

Учебное издание

Заббаров Рахим

**ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И ОСНОВЫ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебное пособие

Редактор Л. Я. Ч е г о д а е в а

Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 18.02.06 г. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 7,0. Усл. кр.-отт. 7,1. Уч.-изд.л. 7,5 .

Тираж 200 экз. Заказ . Арт. С- 16/2006

Самарский государственный

аэрокосмический университет .

443086 Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного

аэрокосмического университета.

443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

Р. Заббаров

**ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ
И ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

САМАРА 2006