

Министерство образования РФ  
Самарский Государственный Аэрокосмический Университет имени  
Академика С.П. Королёва

Р. Заббаров, В.В. Уваров, Н.В. Ляченков

## Основы металлургического производства и технология конструкционных материалов

Самара, 2002 г

БКК3461

И20

УДК 621.74:629.7(075.8)

Заббаров Р., Уваров В. В., Ляченков Н. В. Основы металлургического производства и технология конструкционных материалов/ Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва. Самара, 2002 г.

В учебном пособии приведены методики выполнения лабораторных и практических работ по основам металлургии, литейного производства, технологии конструкционных материалов и материаловедения.

Предназначены для студентов технологических специальностей авиационных вузов. Работа подготовлена на кафедре “Технология металлов авиаматериаловедение”.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва.

Рецензент В.М. Гришин.

ISBN 5-7883-0187-4

## Содержание

- 1.Лабораторная работа № 1.Определение физико-технологических свойств металлических порошков.
- 2.Лабораторная работа № 2.Определение удельной поверхности металлических порошков методом секущих.
- 3.Лабораторная работа № 3.Исследование литой структуры сталей и сплавов.
- 4.Лабораторная работа № 4.Изучение влияния модифицирования на структуру и свойства алюминиевых сплавов.
- 5.Лабораторно-практическая работа № 5.Литьё в разовые песчаные формы.
- 6.Лабораторно-практическая работа № 6.Литьё в кокиль.
- 7.Лабораторно-практическая работа № 7.Литьё в керамические формы по постоянным моделям.
- 8.Лабораторно-практическая работа № 8.Литьё охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей методом направленной кристаллизации.
- 9.Лабораторная работа № 9.Разработка некоторых этапов технологии изготовления разовых песчаных форм.
- 10.Лабораторная работа № 10.Моделирование процессов обработки давлением на слоистых образцах.

## Лабораторная работа №1

**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 изделия из порошков.

Так как различные порошки характеризуются широким диапазоном размеров частиц, то для определения гранулометрического состава применяют несколько методов:

рассев порошка на стандартных ситах, измерение размера частиц в оптическом и электронном микроскопах, седиментация и др. Наиболее широкое применение в практике порошковой металлургии получил метод отсева на ситах или ситовой анализ.

Ситовой анализ сводится к отсеиванию порошка через ряд сит, из которых каждое нижеустановленное имеет меньший размер ячеек, чем вышеустановленное. Отсев проводится на стандартных ситах. Длительность отсева составляет обычно 15-20 минут, навеска порошка - 100 г. По окончании отсева порошки на каждом сите и в поддоне взвешиваются. Процесс отсева осуществляется в специальных вибровстряхивателях (рис.1).

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

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

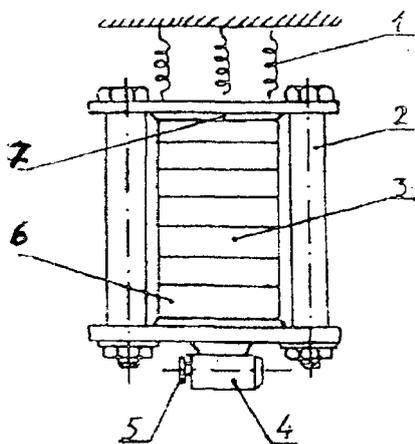


Рис.1. Схема вибровстряхивателя: 1 - пружинная подвеска; 2 – стягивающие болты; 3 – набор стандартных сит; 4 - электродвигатель; 5 - эксцентрик; 6 - поддон; 7 -крышка

Таблица 1

Перечень сит для отсева порошков

Номер сетки	Номинальный размер Стороны Ячейки на	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. \* - число отверстий на один линейный дюйм сита 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;  $\gamma_k$  - плотность компактного (беспористого) материала;

$\tau = \gamma_k / \gamma_H$  - относительная плотность, %;  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты,

учитывающие потери порошка при прессовании и спекании;  $\gamma_H$  - 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).

3. Сыпучесть характеризуется способностью порошка "сыпаться" (вытекать) из отверстия. 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  $60^\circ$ . 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.

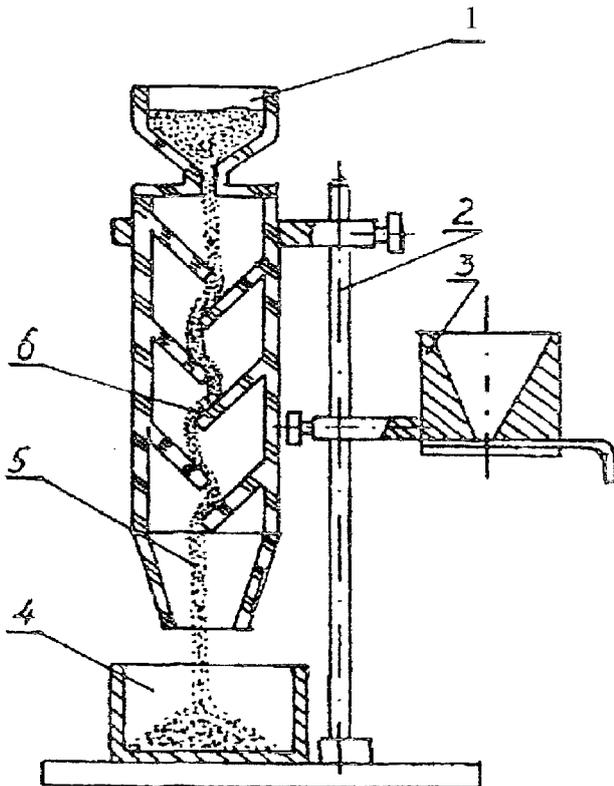


Рис.2. Схема волюмометра: 1 - воронка для порошка; 2 - стойка; 3 - прибор для определения сыпучести порошков; 5 - порошок; 6 - перегородка.

### Практическая часть работы

1. Изучение методов определения размера частиц, насыпной массы к 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 <sup>3</sup>	Сыпучесть, кг/с

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (\text{Cu})$$

Примечание.

$$1 \frac{\text{г}}{\text{с}} = 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}} (\text{Cu})$$

#### 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 течении 15-20 минут. После отсева определяется на

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

Фракция порошка, прошедшая, например, через сито 008, но оставшаяся на сите

-0,08

0063, обозначается как мм.

+0.063

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 редакцией Митина Б.С. М.: Металлургия, 1987, 792 с.

### **Лабораторная работа №2**

#### **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:  $S_v (\text{мм}^2/\text{мм}^3)$  или  $S_G (\text{мм}^2/\text{г}, \text{м}^2/\text{г})$ .

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, Эммета 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 а 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, а 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 катоде. 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 структуре 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 ней 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 объёма частиц производится для одних и тех же полей зрения.

Точность и надёжность полученного результата зависят от общему числа подсчитанных точек в 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.

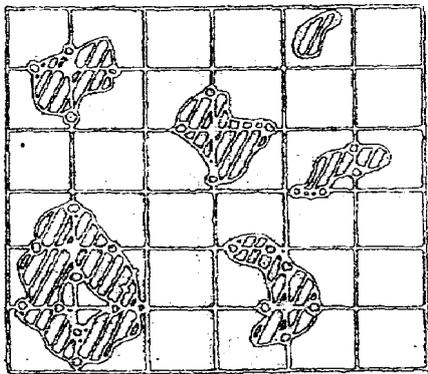
Однако электронный микроскоп, увеличивая изображение, делает пробу еще менее представительной. Это означает, что метод случайных секущих при оценке поверхности даст результат, который может отклоняться от среднего, соответствующего достаточно представительной пробе, как в сторону завышения, так и занижение 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 линии 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 рисунке приведен пример расчёта.



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

Рис. 1. Схема поля зрения крупной частицы внизу слева содержит шлифа в микроскопе 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)  $0,02 \cdot 12 = 1,2$  мм. Удельная поверхность порошка, рассчитанная по приведённому полю зрения, имеет вид соотношения:

$$S_v = 2 \frac{28 \cdot 36}{4 \cdot 1,2} = 420 \text{ мм}.$$

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

Таблица 1

№ п/п	$x_i$	$\sum_1^n x_i$	$z_i$	$\sum_1^n z_i$	$S_i = \kappa \cdot z_i / x_i, (мм^{-1})$	$S_{cp} = 1/n \sum_1^n S_i, (мм^{-1})$	$S_v^h = \kappa \sum z_i / \sum x_i, (мм^{-1})$
1	7	7	32	32	448	448	448
2	10	17	34	66	333	390	1 381
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  $S_i, S_{cp}$  и

$S_H$  в зависимости от изменения отношения  $x/z_i$ , для разных полей зрения является величина  $S_H$  – накопленная удельная поверхность, определяемая по соотношению величин  $\sum_1^n z_i \mu \sum_1^n x_i$  для данного и всех предыдущих полей зрения.

Как правило, удельную поверхность, особенно для тонких порошков, выражают в ( $м^2/г$ ). 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  $8,9 г/см^3$ , по приведённому примеру  $S_G = 514 \cdot 10^{-6} / 8,9 \cdot 10^{-3} \approx 0,06 м^2 / г$ , что изложено в работе [1].

### Контрольные вопросы

1. Обосновать важность величины удельной поверхности как физической качественную оценку влияния удельной поверхности на прессуемость и спекаемость металлических порошков.
2. Дать характеристики порошковых материалов.
3. Назвать методы определения удельной поверхности порошковых материалов.
4. Каковы достоинства и недостатки физических методов определения удельной поверхности?
5. Сущность определения удельной поверхности порошков методом секущих.
6. Достоинства и недостатки определения удельной поверхности методом секущих.
7. Приёмы повышения точности определения удельной поверхности методом секущих.
8. Что такое представительность пробы и её значение в любом методе определения удельной поверхности порошковых материалов?
9. Что такое накопленная удельная поверхность?
10. Назначение окулярной сетки металлографического микроскопа.
11. Как определяется длина  $L$  всех секущих?
12. Чем отличаются величины  $x$  и  $X$ ?
13. Каково число  $X$  узловых точек применяемой в работе окулярной сетки?
14. Смысл отсутствия в поле зрения микроскопа с окулярной сеткой точек  $x$  при наличии точек  $г$ ?

15. 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

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).

Таблица 3

Удельная поверхность металлических порошков

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

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

### 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 таблицу.

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., Либенсой Г. А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1972, 528 с.

## Лабораторная работа №3 Исследование литой структуры сталей 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 переохладения системы.

Т.о. степень переохладения  $n$  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  $t$ " (Рис. 1).

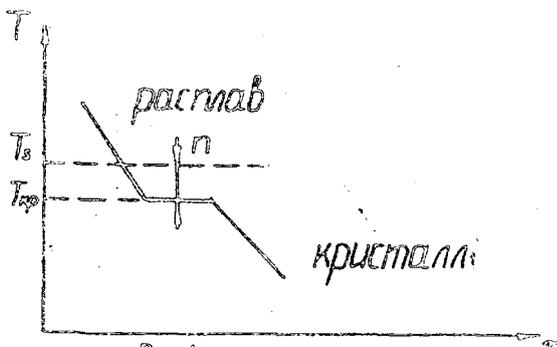


Рис.1

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

В чистых металлах заметное образование зародышей наблюдается при больших переохлаждениях (до 0,2 Тпл.) .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 сек нескольких порядков (Рис 2.).

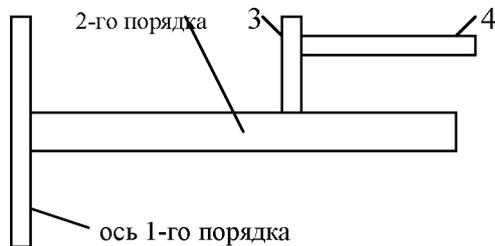


Рис.2

Кристаллы металлов имеют небольшие размеры к 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 (Рис3.).

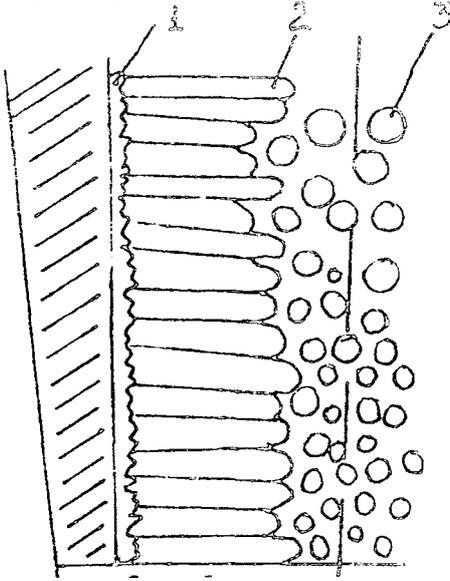


Рис.3

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).

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 % - и ферромарганец). При этом идет интенсивное газовыделение по реакции:



Спокойная сталь раскисляется сильными раскислителями (Al, ферротитан и др.), исключая возможность газовой выделения. Кипящая сталь остывает с газовой выделением и искрами, не имеет усадочных раковин, поражена газовыми порами и "разбухает" при остывании (Рис.4).

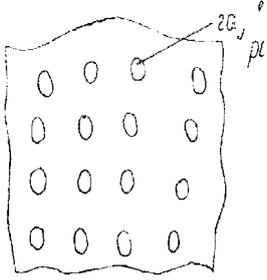


Рис.4

Спокойная сталь кристаллизуется без газовой выделения с образованием сконцентрированной усадочной раковины в прибыльной части слитка (Рис.2.).

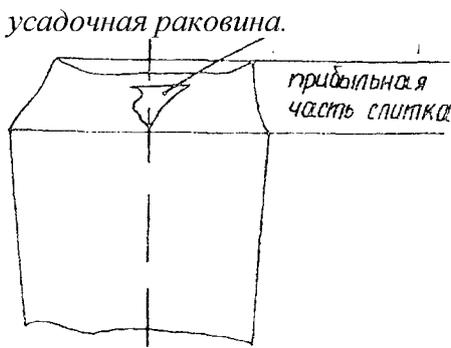


Рис.5

### Изучение литой структуры металлов и сплавов. Макроанализ

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 их размеров.

#### Макроанализ стали

1. Строение литого слитка. Визуально на поверхности макрошлифа выявляется форма, расположение и относительный размер зёрен (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% - ом растворе серной кислоты в

течении 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 % -ом растворе азотной кислоты в течение 5-10 мин. Макроструктура алюминиевых сплавов выявляется травлением в щелочах.

### **Контролируемый минимум знаний.**

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

#### **Библиография:**

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

### **Лабораторная работа №4**

#### **Изучение влияния модифицирования на структуру и свойства литейных алюминиевых сплавов**

**Цель работы:** Оценка влияния модифицирования на структуру и свойства силуминов

## Теоретические сведения

### Классификация сплавов по технологическим признакам

По технологическим признакам все сплавы разделяются на деформируемые и литейные. Из деформируемых сплавов производят слитки, из которых затем методами обработки давлением получают заготовки и изделия. Для деформируемых сплавов характерно сочетание пластичности и прочности. Эти сплавы имеют однородную структуру с равномерным распределением вторичных фаз в твёрдом растворе. Как правило, деформируемые сплавы имеют низкий уровень литейных свойств.

Литейные сплавы предназначены для производства сложных фасонных отливок. Эти сплавы характеризуются высоким уровнем литейных свойств по жидкотекучести, усадке, ликвации, трещиноустойчивости. Литейные сплавы — это многофазные сплавы, преимущественно эвтектического состава или сплавы с узким интервалом кристаллизации.

Для литейных сплавов характерен низкий уровень пластичности и вязкости при высоких показателях прочностных характеристик.

### Модифицирование

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. 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 щелочноземельные 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.

Всё 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 за-эвтектическими сплавами (Рис 1.).

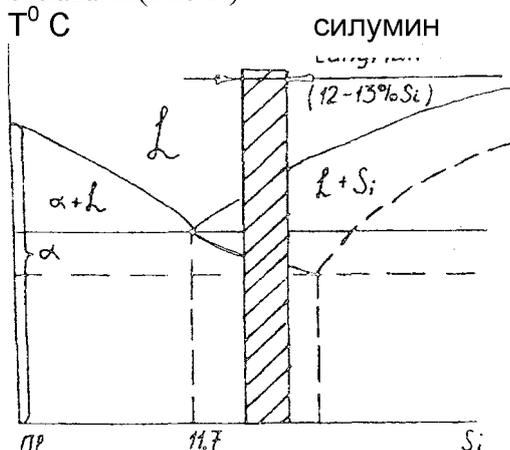


Рис.1

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

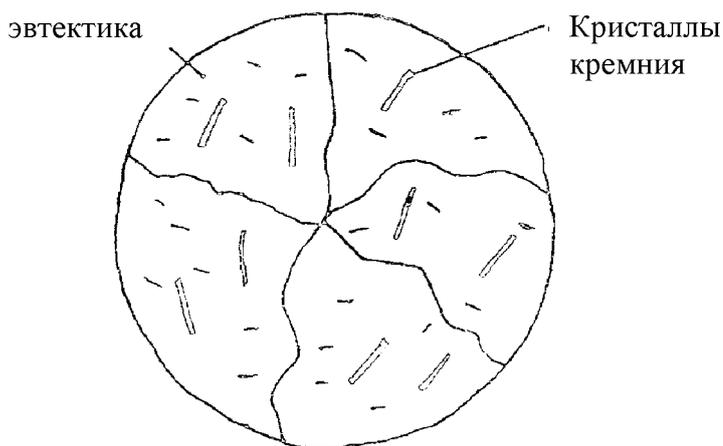


Рис.2

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.).

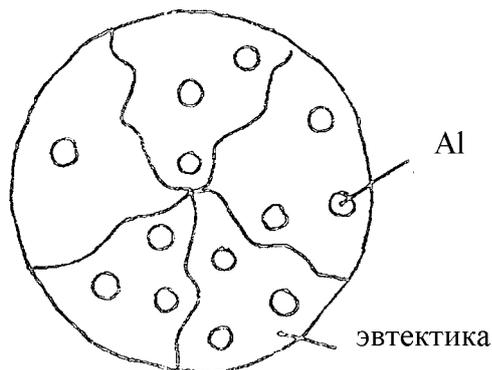


Рис.3

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

#### **Контролируемый уровень знаний**

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

Цель работы:

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

## Библиография

1. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 648с.
2. Колачев Б.А. -Иванов В.А., Благин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981. 416с.

## Лабораторно-практическая работа № 5

### Литье в разовые песчаные формы

**Цель работы:** изучение технологических основ изготовления разовых песчаных форм методами 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 моделью -опочную оснастку, в состав которой входят модели, модельные плиты,» стержневые ящики, опоки и др.

Модели - приспособления для получения в литейной форме полостей, имеющих форму к 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 которых набивают и уплотняют формовочную смесь.

Для изготовления песчаных форм и стержней применяют формовочные и стержневые смеси. В их состав входят кварцевые пески, формовочные глины, крепители (сульфитная барда, жидкое стекло к др.), противопригарные добавки (графит, молотый уголь и др.), органические

добавки (торф, древесные опилки и др.) и оборотная смесь, бывшая в употреблении. Различают облицовочные, наполнительные, единые, отработанные и оборотные смеси.

Состав песчано-глинистых формовочных смесей зависит от температуры заливки и характера форм (сухие и сырые). К стержневым смесям предъявляют более высокие требования, чем к формовочным. Состав их определяется природой заливаемого металла, положением стержней в форме и их конфигурацией.

Ручная формовка в двух опоках по разъемной модели применяется для моделей, не имеющих плоской поверхности. Способом формовки в двух опоках по неразъемной модели формируют модели с плоской поверхностью, которые могут быть легко удалены из полуформы. Ниже рассмотрены последовательности операции при формовке в двух опоках (Рис. 1.2).

### 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. Списание модельно-опочной оснастки (модели, опоки, стержневые ящики).
3. Описание формовочных и стержневых смесей.
4. Схемы формовки.

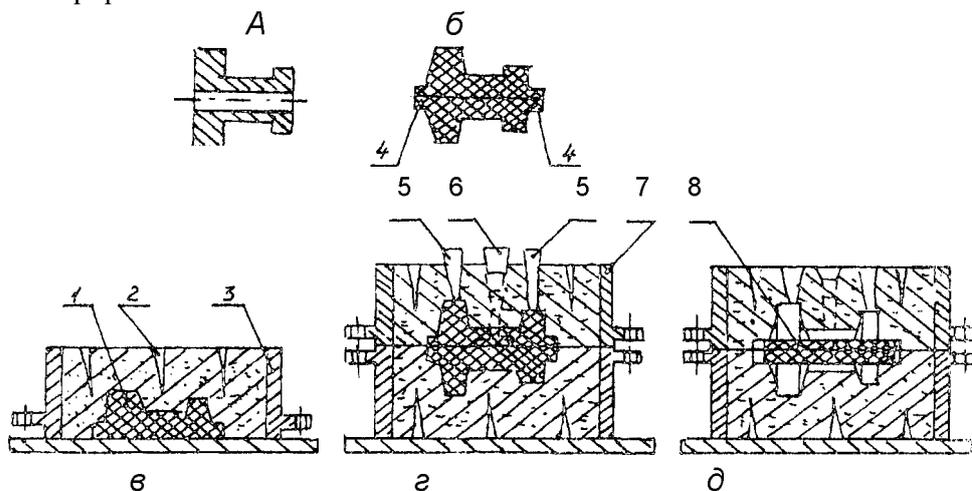


Рис. 1. Последовательность операций при формовке в двух опоках по разъемной модели: а-деталь, б-разъемная модель, в,г-изготовление нижней и верхней полуформ; д-форма в сборе, 1-половина модели, 2-вентиляционные каналы,

3-нижняя опока, 4-стержневые знаки, 5-модели, выпоров, 6-модель литниковой системы, 7- верхняя опока; 8-стержень

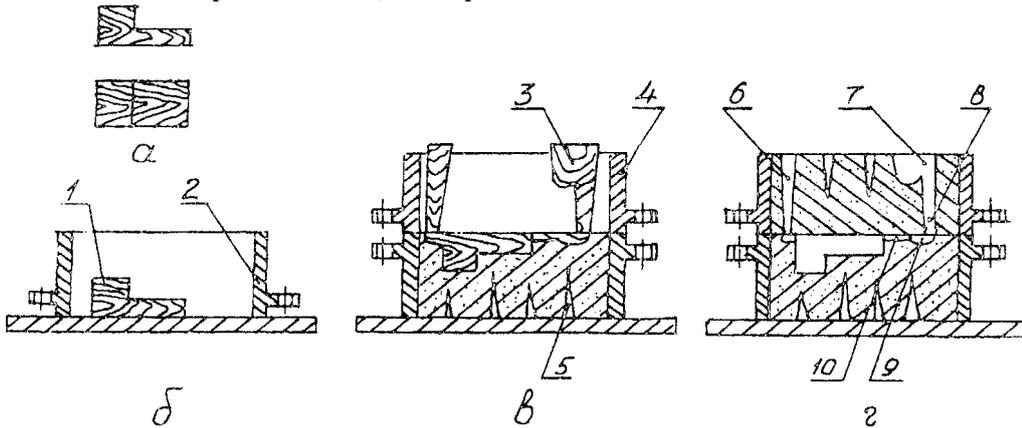


Рис.2. Последовательность операций при формовке в двух опоках по неразъемной модели: а-модель отливки, б, в - изготовление нижней и верхней полуформ, г-форма в сборе; 1-модель отливки, 2-нижняя опока, 3-модель литниковой системы, 4-верхняя опока, 5-вентиляционные каналы, 6-выпор, 7-литниковая чаша, 8-стояк,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

### 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. Методические указания, Самара, Р. Забарров, Л. А.Чемпинский, СГАУ, 1995, 36с.

## Лабораторно-практическая работа № 6

### Литье в кокиль

**Цель работы:** изучение процесса литья в металлические формы (в кокиль).

#### Теоретические сведения

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 предназначался только для разового использования. Песчаные стержни применяют преимущественно для получения чугунных и стальных отливок, металлические - для отливок из цветных сплавов.

Для удалений 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 кристаллизации 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 поверхностным 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 кокиля облицовывают слои плакированной песчаной смеси, отверждаемой при нагреве. Для этого применяют нагреваемую модель. Модель точно, а внутренняя поверхность кокиля лишь приблизительно, воспроизводит 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. Облицовочные 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 оптимального 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 рисунке 1 показана схема кокиля для отливки поршней

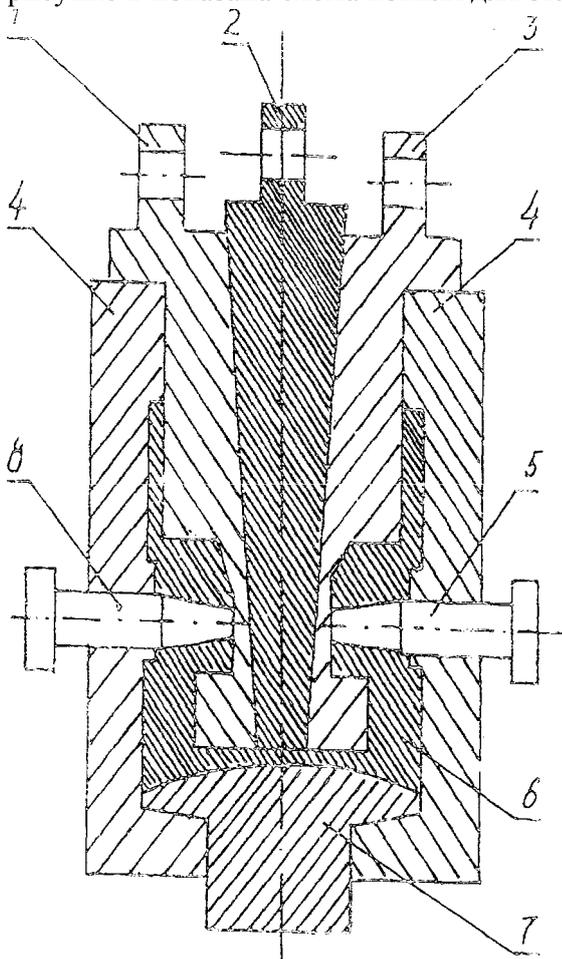


Рис. 1. Кокиль для отливки с разъемным металлическим стержнем:

1,3 -- разъемные стержни; 2 - клинообразный фиксатор; 4 - оболочка кокиля; 5,8- 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 проводят 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, извлечение 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. Учебное пособие. Куйбышевский Авиационный Институт. Куйбышев, 1991.

### **Лабораторно-практическая работа №7.**

#### **Литье в керамические формы по постоянным моделям**

**Цель работы:** изучение теоретических и технологических основ литья в керамические формы.

## Теоретические сведения

Керамическая форма - это разовая химически твердеющая форма, полученная из специальной жидкоподвижной смеси наливной формовкой с последующем прокаливанием. Керамические формы изготавливают по постоянным, выплавляемым и 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 называется также Шоу - процессом или литьём в керамические формы. Позднее появились различные варианты Шоу - процесса:

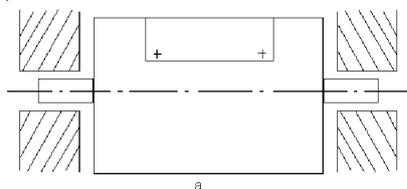
Композайт - Шоу - процесс, Юникаст - процесс. Дин - процесс, Шотт - процесс, Керамкаст-процесс и др. и отечественные варианты, не имеющие специальных названий (способы М.В. Сладковой, И. Д. Абрамсона, Ф. Д. Оболенцева и др.).

Литьё 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 размеров их выполняется в одной полуформе, что приводит к повышенной точности отливок. Таким образом, метод литья в керамические формы нашёл наиболее широкое применение при производстве деталей:

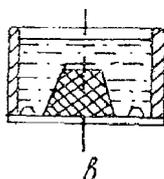
- металлооснастки (штампы, пуансоны, пресс-формы, модельные плиты, элементы кокилей, стержневой и модельной оснастки);
- турбин из жаро - и коррозионно-стойких сталей и сплавов.

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%-ный 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, добавляется 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 извлекается. Полуформу устанавливают на плиту и сразу поджигают спирт (рис. 1,г). Таким же образом получают вторую полуформу. После прокалики полуформы собирают и форма готова для заливки металлом (рис. 1,д).



а



б



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

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 этилсиликатг, 160 частей спирта, 120 частей воды, 5,5 частей концентрированной соленой 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%-ный 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 резиноподобное 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 трещин. 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 фиксируется 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 для извлечения отливки. Для удаления керамической массы из отливок сложной формы применяют растворение в ваннах с разведенной каустической содой. Измельченную 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. Изучить 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, 136с.
2. Заббаров Р., Уваров В. С. Прогрессивные процессы производства отливок и заготовок. Учебное пособие. Куйбышевский Авиационный Институт. Куйбышев, 1991.

## Лабораторно-практическая работа № 8

### Литье охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей методом направленной кристаллизации

**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 изделия 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. Метод 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 1 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<sup>x</sup>50<sup>x</sup>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/см<sup>2</sup>. После зачистки заусенцев стержни рихтуются в металлических драйерах. Для придания стержням механической прочности их обжигают в газовых печах при 1400°C в течении 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 устанавливаются керамический стержень.

Аналогичным способом изготавливают модели элементов пятниковой системы. Несколько моделей лопаток (чаще 4) и модель литниковой системы собираются 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 гидролизованый этилсиликат засыпается электрокорунд мелких фракций (№ 7-25%, №3-40%, №5-35%) и перемешиваются, затем на модельные блоки наносится огнеупорная суспензия. Указанная операция производится путем окунания блоков в суспензию. Покрашенный модельный блок обсыпается электрокорундом в пескосыпе с 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 течении 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 прокалки 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 1 степени весом 2,4 кг. Литниковая чаша закрывается керамической крышкой, графитовая опока закрывается графитовой крышкой.

На рис. 1 показана форма, подготовленная для заливки.

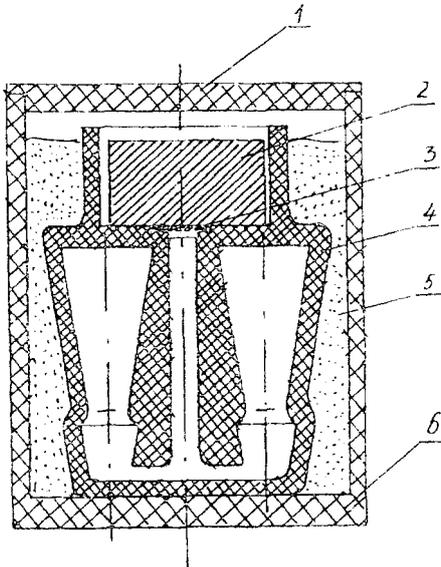


Рис.1. Форма для литья лопаток: 1 - графитовая крышка; 2 - шихтовая заготовка; 3 - никелевая фольга; 4 - керамическая оболочка формы; 5 графитовая засыпка; 6 - графитовая опока

### Плавка, заливка и кристаллизация лопаток в печи ПМП – 2.

Принципиальная схема печи приведена на рис. 2.

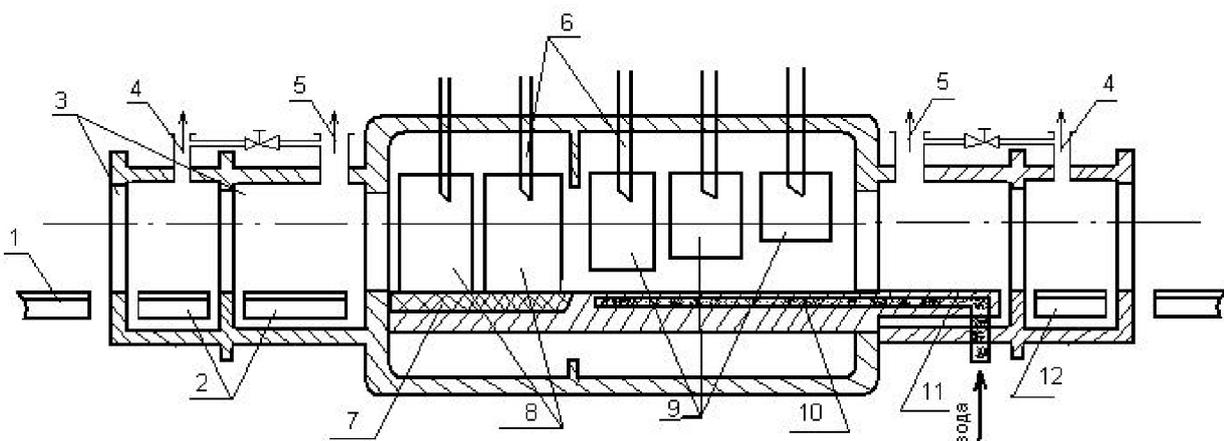


Рис.2. Схема печи ПМП-2: 1- стол для загрузки с механизмом проталкивания опок; 2-стола форкамер; 3- вакуумные затворы; 4- патрубок создания вакуума механическими насосами; 5- патрубок создания вакуума диффузионными насосами; 6- термопары; 7- стол с графитовым

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, ° C	
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 течи ПМП-2 по зонам

Зоны	Температура, °C
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 водо-охлаждаемый 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 вулканитным 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 звуком вверх загружают в расплав бифтористого калия (360-380°С и выдерживают 50-70 мин). Затем лопатки промывают в воде (80-90°С), в водном растворе хлорокиси циркония, серной кислоты и уротропина (для снятия хлоридной плёнки) и снова в воде (70-80°С). Если керамика остается, то процесс повторяется. Производится контроль лопаток следующими методами:

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

На рис. 3 приведены схемы лопаток.

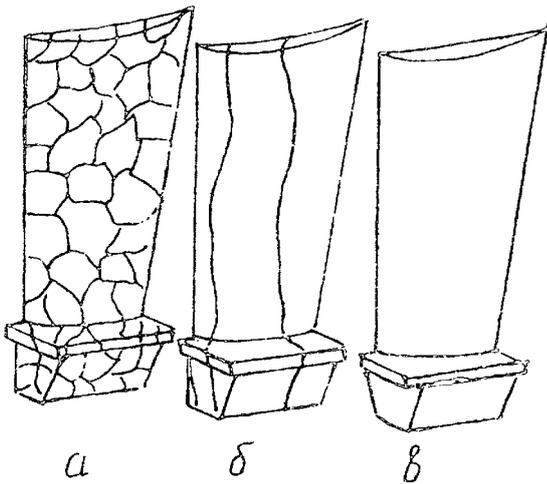


Рис. 3. Схема макроструктуры лопаток: а - равноосная; б - столбчатая; в - монокристаллическая

### 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, литых 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. Стр. 25-53.
- 2.Технология литейного производства /Ю. А. Степанова и др. М.: Машиностроение, 1983. Стр.5-73.
- 3.Заббаров Р., Уварова В. С. Прогрессивные процессы производства отливок и заготовок. Учебное пособие. Куйбышевский Авиационный Институт. Куйбышев, 1991.
- 4.Заббаров Р., Галанов С.П. Материалы и современные технологические процессы изготовления отливок и заготовок аэрокосмического назначения, ИПО СГАУ, г.Самара,2000. Стр.148.

#### **Лабораторная работа 9.**

#### **"Разработка некоторых этапов технологии изготовления разовых песчаных форм".**

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

#### **Теоретические и технологические основ, 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 [1]. 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. Ниже на рис. 1 приведены чертежи деталей №1 и №2.

Рис.1

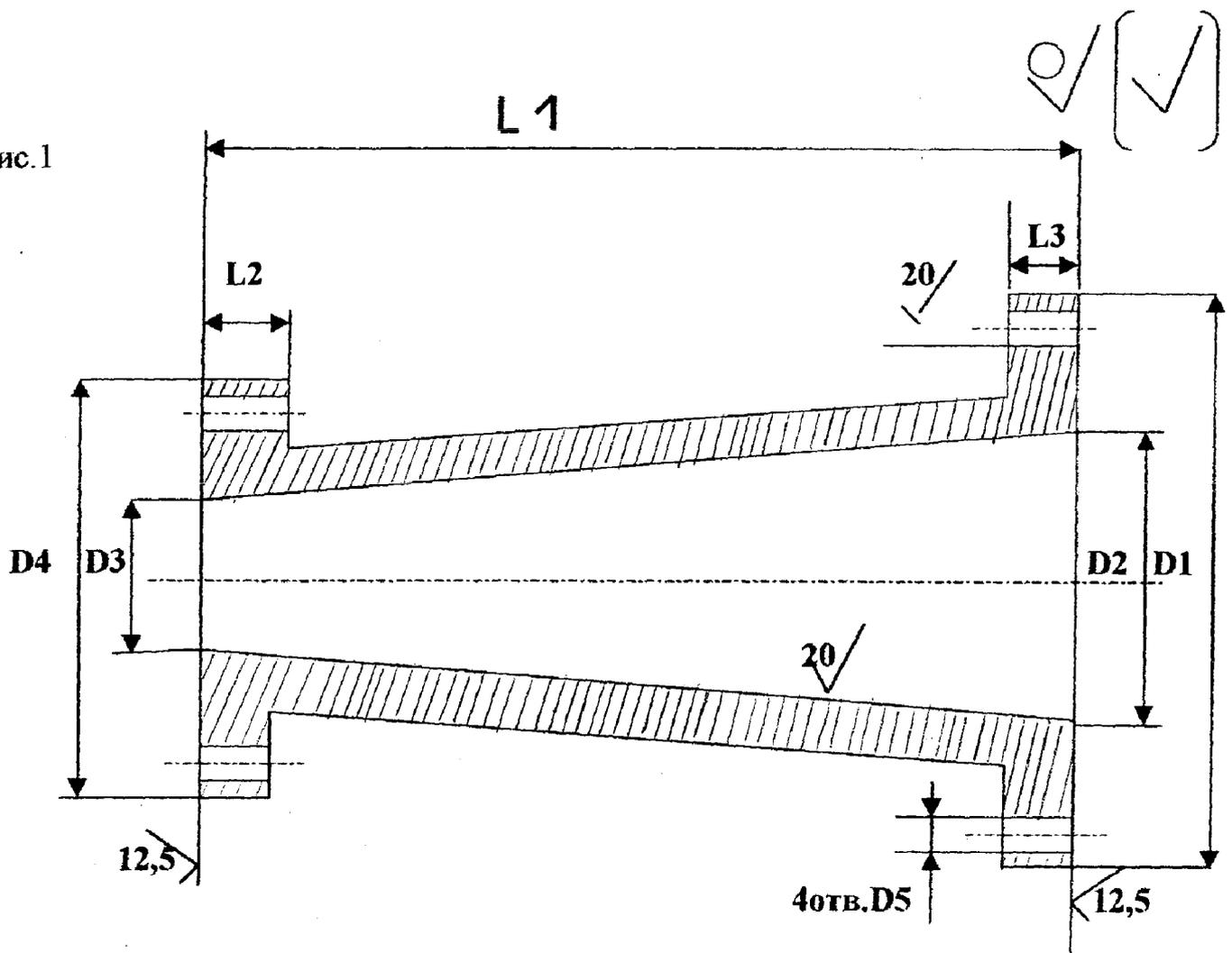


Рис.2

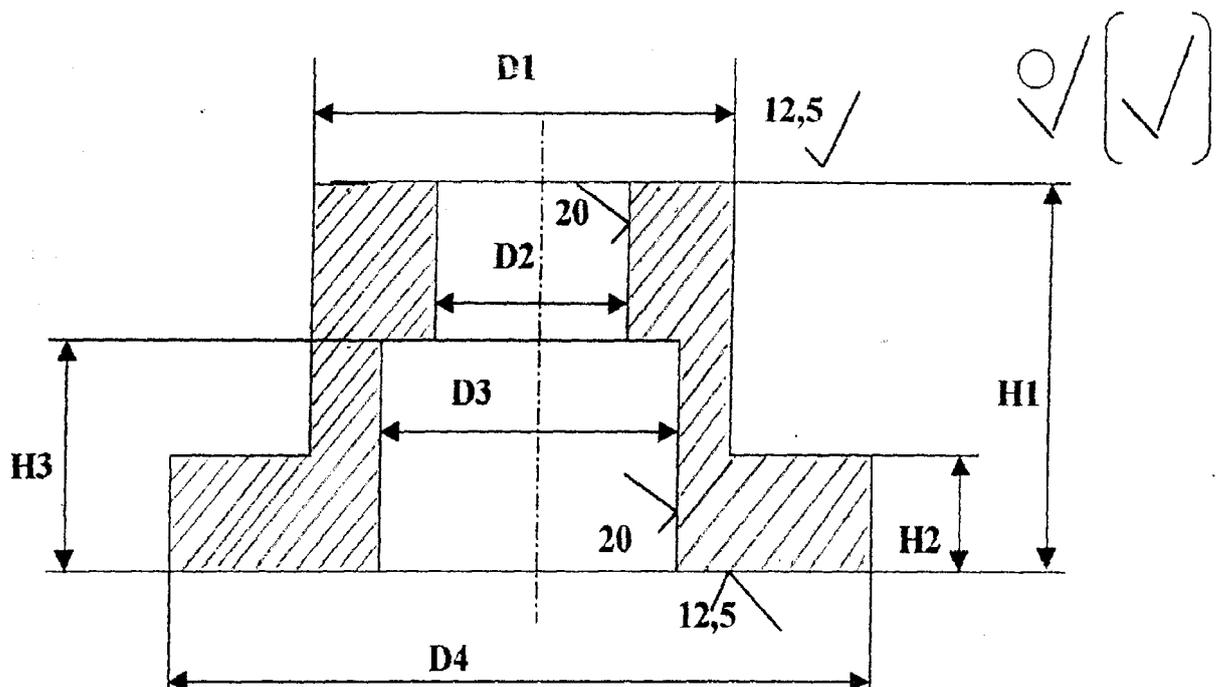


Рис.1 Чертежи деталей 1 и 2.

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

## 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 следующие [2,3]:

- 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 вниз 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).

Выбор разъемов формы [2,3] основан на следующих рекомендациях:

- количество разъемов должно быть минимальным. Предпочтительно выполнять форму с одним горизонтальным разъемом;
- большую часть отливки или всю отливку лучше размещать в нижней полуформе;
- необходимо проверить возможность беспрепятственного извлечения модели из формы;
- должно быть минимальное количество стержней. Положение отливки в форме и расположение разъема необходимо изображать на чертеже следующим образом: плоскость разъема показывают на чертеже следующим образом: плоскость разъема показывают штрих пунктирной линией с отрезками жирной контурной линии по концам, ограничивают их знаками X 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)

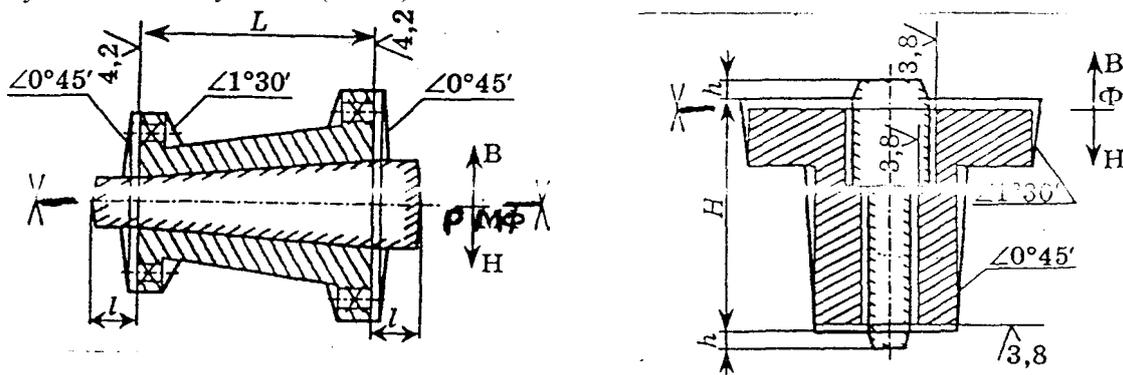


Рис.2. Эскизы отливок 1 и 2.

### 2.2. Назначение припусков на механическую обработку.

Перед нанесением припусков [2,4] необходимо установить, все ли указанные на чертеже детали её элементы, подверженные мехобработке, можно воспроизвести в отливке. В первую очередь это относится к отверстиям, пазам, углублениям.

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.

Таблица 2

## СПРАВОЧНЫ ТАБЛИЦЫ

## Припуски на механическую отливку из серого чугуна, мм

Наибольший габаритный размер детали	Положени е Поверхнос ти при заливке	Номинальный размер								
		До 50	От 50 ДО	От 120 ДО	От 260 ДО	От 500 ДО	От 800 до	СИ- 1250 ДО	От 2000 до	От 3150 ДО
1-ый класс точности										
До 120	Верх	2,5	2,5	-	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	2,0	2,0	-	—	-	-	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	2,5	3,0	3,0	—	-	-	-	-	-
	низ, бок	2,0	2,5	2,5	-	-	-	-	-	—
»260 »500	Верх	3,5	3,5	4,0	4,5	—	-	-	-	-
	низ, бок	2,5	3,0	3,5	3,5	-	-	-	-	-
»500 »800	Верх	4,5	4,5	5,0	5,5	5,5	-	-	-	-
	низ, бок	3,5	3,5	4,0	4,5	4,5	-	-	-	—
»800 »1250	Верх	5,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,0	—	—	-
	низ, бок	3,5	4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	-	-	-
»1250»2000	Верх	5,5	6,0	6,5	7,00	7,0	7,5	8,0	-	-
	низ, бок	4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	5,5	6,0	—	—
»2000»3150	Верх	6,0	6,5	6,5	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	-
	низ, бок	4,0	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,5	-
»3150»5000	Верх	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	9,0	9,5	10	11
	низ, бок	4,5	5,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,5
2-ой класс точности										
До 120	Верх	-	4,5	-	-	-	-	—	-	—
	низ, бок	-	3,5	-	-	-	-	-	-	—
Св. 120 до 260	Верх	-	5,0	5,5	-	-	-	—	—	—
	низ, бок	-	4,0	4,5	-	-	-	-	-	-
»260 »500	Верх	-	6,0	7,0	7,0	-	-	-	-	-
	низ, бок	-	4,5	5,0	6,0	-	-	-	-	-

»500 »800	Верх	низ,	-	7	7	8	9	-	-	-	-
	бок		-	5	5	6	7	-	-	-	-
»800 »1250	Верх	низ,	-	7	8	8	9	10	-	-	-
	бок		-	5,5	6,0	6,00	7	7,5	-	-	-
»1250»2000	Верх		-	8	8	9	9	10	12	-	-
	низ, бок		-	6	6	7	7	8	9	-	-
»2000»3150	Верх		-	9	9	10	10	11	12	14	—
	низ, бок		-	7	7	8	8	9	9	10	-
»3150»5000	Верх		-	9	10	10	11	12	14	15	16
	низ, бок		-	7	8	8	9	9	11	12	13
»5000 »6300	Верх		-	9	10	11	12	13	14	16	18
	низ, бок		-	7	8	9	9	10	11	13	15
»6300»10000	Верх		-	9	10	11	12	14	16	18	20
	низ, бок		-	7	8	9	10	11	13	15	17

Окончание табл. 2

Наибольший габаритный размер детали	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер									
		До 120	СИ-120 ДО 260	От 260 ДО	От 500 ДО	От 800 ДО 1250	От 1250 до 2000	От 2000 ДО 3150	От 3150 5000	От 5000 6300	От 6300 ДО
3-ий класс точности											
До 120	Верх	4,5	-	-	-	—	—	-	—	-	—
	низ, бок	3,5	-	-	-	—	-	-	—	-	—
Св. 120 до 260	Верх	5	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	4	4,5	-	-	-	-	-	—	-	-
»260 »500	Верх	6	7	7	-	-	-	-	—	-	-
	низ, бок	4,5	5	6	-	-	-	-	-	-	-
»500 »800	Верх	7	7	8	9	—	—	-	-	-	—
	низ, бок	5	5	6	7	-	-	-	-	-	-
»800 »1250	Верх	7	8	8	9	10	-	-	—	-	—
	низ, бок	5	6	6	7	7,5	-	-	—	-	-
»1250 »2000	Верх	8	8	9	9	10	12	-	-	-	—
	низ, бок	6	6	7	7	8	9	-	-	-	-
»2000»3150	Верх	9	9	10	10	11	12	14	—	-	-
	низ, бок	7	7	8	8	9	9	10	-	-	-
»3150»5000	Верх	9	10	10	11	12	14	15	16	-	—
	низ, бок	7	8	8	9	9	11	12	13	-	-
»5000 »6300	Верх	9	10	11	12	13	14	16	18	20	-
	низ, бок	7	8	9	9	10	11	13	15	17	-
»6300 » 10000	Верх	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
	низ, бок	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	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер								
		До 120	От 120 ДО	От 260 ДО	От 500 ДО	От 800 ДО	От 1250 ДО	От 2000 ДО	От 3150 до 5000	От 5000 ДО
1-ый класс точности										
До 120	Верх	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	5	6	-	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	4	4	-	-	-	-	-	-	-
»260»500	Верх	6	7	7	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	5	5	6	-	-	-	-	-	-
»500»800	Верх	7	8	9	10	-	-	-	-	-
	низ, бок	5	6	6	7	-	-	-	-	-
»800»1250	Верх	8	9	10	10	11	-	-	-	-
	низ, бок	6	7	7	7	8	-	-	-	-
»1250»2000	Верх	9	10	10	11	12	13	-	-	-
	низ, бок	7	7	8	8	9	9	-	-	-
»2000»3150	Верх	10	11	11	12	13	13	14	-	-
	низ, бок	7	8	8	9	10	10	11	-	-
»3150»5000	Верх	10	11	12	13	13	13	14	16	-
	низ, бок	8	8	9	9	10	10	11	13	-
»5000»6300	Верх	12	13	13	14	14	15	15	16	20
	низ, бок	9	9	10	10	11	11	12	14	16
2-ой класс точности										
До 120	Верх	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	4	5	-	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	3	3,5	-	-	-	-	-	-	-
»260»500	Верх	5	5	6	-	-	-	-	-	-
	низ, бок	3	4	4	-	-	-	-	-	-
»500»800	Верх	5	6	7	7	-	-	-	-	-
	низ, бок	4	4,5	5	5	-	-	-	-	-
»800»1250	Верх	7	7	8	8	9	-	-	-	-
	низ, бок	5	5	6	6	6	-	-	-	-
»1250»2000	Верх	8	8	9	9	9	10	-	-	-
	низ, бок	6	6	6	7	7	7	-	-	-
»2000»3150	Верх	9	9	10	10	11	12	12	-	-
	низ, бок	7	7	7	8	8	8	9	-	-
»3150»5000	Верх	10	10	11	12	12	13	13	16	-
	низ, бок	8	8	8	8	9	9	10	12	-

Окончание табл. 3

Наибольший габаритный размер детали	Положение поверхности и при заливке	Номинальный размер									
		До 120	От 120 ДО	От 260 ДО	СИ-500 ДО 800	От 800 Д	От 1250 Д	От 2000 Д	От 3150 Д	От 5000 ДО	
3-ий класс точности											
До 120	Верх	низ,	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	бок		4	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	низ,	5	6	-	-	-	-	-	-	-
	бок		4	5	-	-	-	-	-	-	-
»260 »500	Верх	низ,	6	8	9	-	-	-	-	-	-
	бок		5	6	6	-	-	-	-	-	-
»500 »800	Верх	низ,	7	8	10	11	-	-	-	-	-
	бок		5	6	7	7	-	-	-	-	-
»800»1250	Верх	низ,	9	10	11	12	13	-	-	-	-
	бок		6	7	8	8	9	-	-	-	-
»1250»2000	Верх	низ,	10	11	12	13	14	16	-	-	-
	бок		7	8	9	9	10	11	-	-	-
»2000 »3150	Верх	низ,	10	11	13	14	15	16	17	-	-
	бок		8	9	10	10	11	12	13	-	-
»3150»5000	Верх	низ,	12	13	14	15	16	17	18	20	-
	бок		9	10	11	11	12	13	14	16	-
»5000 »6300	Верх	низ,	14	14	15	16	18	20	21	23	25
	бок		-	10	11	12	13	14	15	17	20
»6300»10000	Верх	низ,	-	-	16	18	20	22	23	25	28
	бок		-	-	12	13	14	15	16	18	22

Таблица 4

Наибольшие припуски на механическую обработку отливок из цветных сплавов, мм

Наибольший габаритный размер детали	Группы припусков для производства отливок					
	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	
	металлических	Деревянных		Металлических	деревянных
До 20	1°30'	3°00'	Свыше 200 до 300	0°30'	0°30'
Свыше 20 до 50	1°00'	1°30'	Свыше 300 до 800	0°20'	0°30'
Свыше 50 до 100	0°45'	1°00'	Свыше 800 до 2000	0°15'	0°20'
Свыше 100 до 200	0°30'	0°45'	Свыше 2000	0°10'	0°15'

#### Примечания.

- 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.
- Уклоны местных небольших (бобышек, платков, планок, поясков) следует принимать 30 - 45°.
- В ребрах жесткости уклон следует делать до 5 - 8°.
- Формовочные уклоны литейных болванов нижней полуформы увеличиваются в 2 раза, а для верхней - в 4 раза по сравнению с данными таблицы.
- 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.

### 2.3. 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 вертикальных стержней различны (см. рис. 2). Их длина (высота) определяются по данным табл. 6, 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 $A$ , 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. (рис2).

## 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 стеклом 1, шлакоуловителя 2, питателя 3, выпора 4, прибыли 5. Их расположение относительно отливки 6 представлено на рис.3

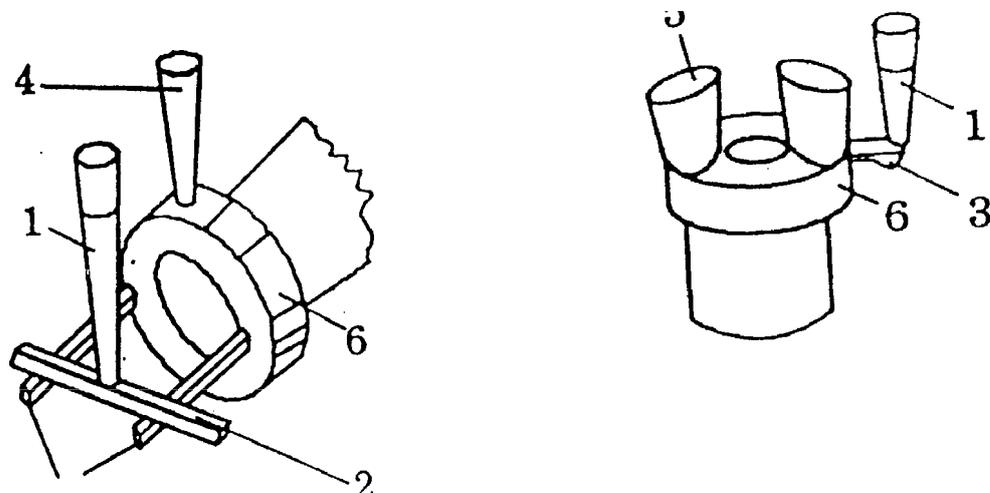


Рис.3.Литниковая система

Площади сечений обозначают следующим образом: питателя-  $F_p$ , шлакоуловителя-  $F_{шл}$ ; стояка-  $F_{ст}$ ; суммарные площади: питателей -  $\Sigma F_p$ , стояков -  $\Sigma F_{ст}$  и т. д.

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

для серого чугуна  $F_p:F_{шл}:F_{ст}=1:1:1,15$ ;  
 для ковкого чугуна  $F_p:F_{шл}:F_{ст}=1:1,2:1,3$ ;  
 для стального литья  $F_p:F_{шл}:F_{ст}=1:1,2:1,4$ .

Суммарная площадь сечения питателей, см<sup>2</sup>, равна

$$\Sigma F_n = \frac{G}{\mu \cdot t \cdot 0.31 \sqrt{H_{cp}}}$$

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 - 10-100%);  $\mu$  -коэффициент сопротивления литейной формы течению металла, выбираемый по таблице (8);  $H_{cp}$  - средний расчетный напор жидкого металла, см, определяемый по формуле

$$H_{cp} = H_{ст} - \frac{h_e^2}{2h_0}$$

$H_{ст}$ - 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;  $h_e$  — часть высоты от уровня питателя до наиболее высоко расположенной точки отливки, см;  $t$  - оптимальная продолжительность заливки, с.

Для стального и чугунного литья продолжительность заливки рассчитывается по формуле

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

где  $\delta$  - 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 8

Значение коэффициента  $\mu$ .

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

\* 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°.

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 [2,7,8] определяются по очертаниям и размерам отливки с учетом очертаний стержневых знаков и их размеров. 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, располагаемых по разьёму.

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 (0,4-1,8)
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 [7,8] 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)

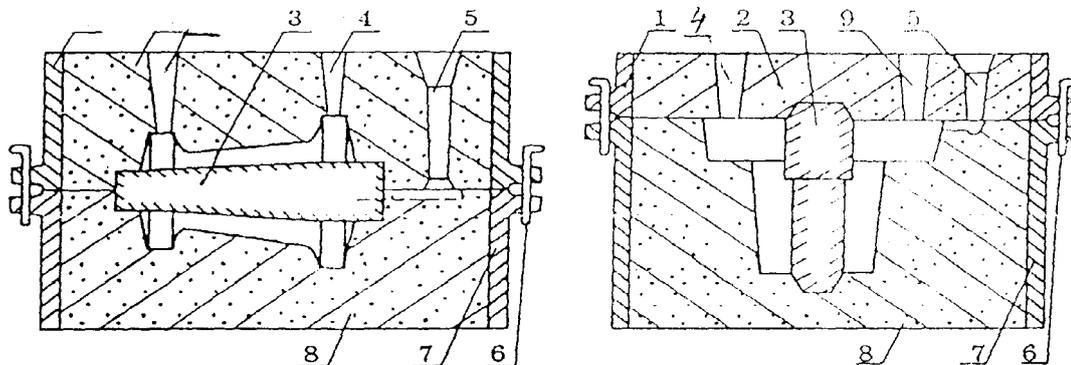


Рис.4. Эскизы литейных форм в сборе: 1-верхняя опока; 2-верхняя полуформа; 3-стержень; 4-выпор; 5-стояк; 6-штырь; 7-нижняя опока; 8-нижняя полуформа; 9-прибыль.

## 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 контура и знаковые части стержня;
- 4) рассчитать элементы литниковой системы
- 5) привести размеченный чертёж 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-ой вариант и 1-ый класс точности. Для алюминиевых сплавов класс точности не приводится и номера 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
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$L_1$	$L_2$	$L_3$				
1.1.1.	100	50	30	70	6	145	10	10	Серый чугун	Машинный	Массовый	1
1.2.2.	150	100	80	120	8	195	12	12	-11-	Ручной	Серийный	2
1.3.3,	200	150	130	170	10	240	14	14	-11-	Машинный	Массовый	3
1.4.1.	250	200	180	220	12	290	15	15	Углеро-дистая сталь	Ручной	Индивидуальный	1
1.5.2.	300	250	230	270	14	340	16	16	-11-	Машинный	Массовый	2
1.6.3.	350	300	280	320	16	395	18	18	-11-	Ручной	Серийный	3
1.7.	400	350	330	370	12	445	16	16	Алюми-ниевый сплав	Машинный	Массовый	-
1.8.	450	400	380	420	14	495	15	15	-11-	Ручной	Индивидуальный	-
1.9.	500	450	430	470	12	545	14	14	-11-	Машинный	Массовый	-
1.10.	550	500	480	520	14	595	12	12	-11-	Ручной	Серийный	-

### Деталь № 2 (рис.1)

№ задания	Размеры деталей, мм							Материал отливки	Способ формовки	Характер пр- ва	Класс точности
	$0,$	$O_3$	$1>4$	$H_1$	$H_2$	$H_3$					
2.1.1.	60	20	40	100	70	10	30	Серый чугун	Машинный	Массовый	1
2.2.2.	100	60	80	140	110	50	70	-11-	Ручной	Серийный	2
2.3.3.	140	100	120	180	150	90	110	-11-	Машинный	Массовый	3
2.4.1.	180	140	160	220	190	130	150	Углеро-дистая сталь	Ручной	Индивидуальный	1
2.5.2.	220	180	200	260	230	170	190	-11-	Машинный	Массовый	2
2.6.3.	260	220	240	300	270	210	230	-11-	Ручной	Серийный	3
2.7.	300	260	280	340	310	250	270	Алюми-невый сплав	Машинный	Массовый	-
2.8.	340	300	320	380	350	290	310	-11-	Ручной	Индивидуальный	-
2.9.	380	340	360	420	390	330	350	-11-	Машинный	Массовый	-
2.10.	420	380	400	460	430	370	390	-11-	Ручной	Серийный	-

## 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. - Самара: СГАУ, 1995. 35с.

### Лабораторная работа №10

#### "Моделирование процессов обработки давлением на слоистых образцах".

**Цель работы:** изучение основных процессов О.М.Д.

#### **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 и осуществляется она путем силового воздействия на заготовку, в результате которого за счет перераспределения к размерам и форме готовой детали.

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 волками 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 волками, 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.1б). При винтовой прокатке вследствие расположения валков под углом друг к другу прокатываемый металл, кроме вращательного, получает еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений которая точка заготовки движется по винтовой линии(рис 1в).Винтовую прокатку широко применяют для получения пустотельных трубных

заготовок из различных металлов.

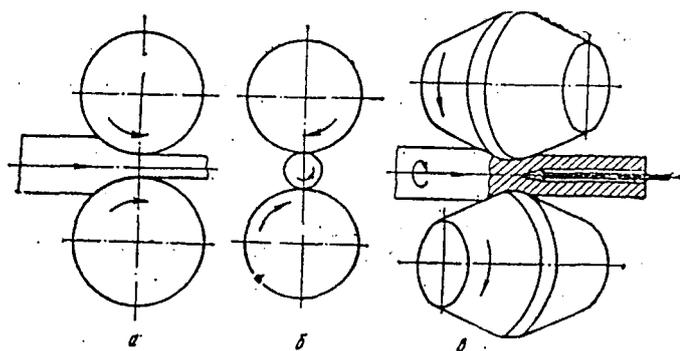


Рис.1 Основные способы прокатки а- продольная; б- поперечная; в- винтовая

**Прессование** - процесс пластического деформирования холодного или нагретого металла путем его выдавливания из замкнутой полости (контейнера) через отверстие (матрицу), получается при этом пруток, трубу или профиль, соответствующим сечению матрицы (рис.2)

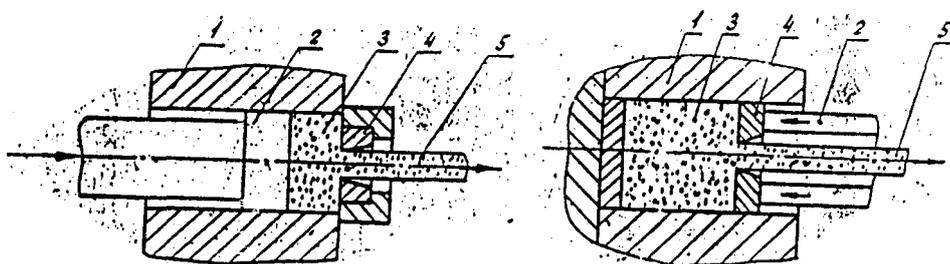


Рис.2. Схемы прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методами:

1 - контейнер; 2 - пуансон; 3 - заготовка; 4- матрица; 5 готовый пруток

Существуют два метода прессования- прямой и обратный. При прямом прессовании движение пуансона пресса и истечение металла через матрицу происходят в одном направлении (рис.2а). 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 аколених профилей.

**Волочением**- называют процесс протягивания заготовок через постепенно сужающееся отверстие инструмента - волона (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 5-10мм, тонкостенные трубы, фасонные профили и т. д.

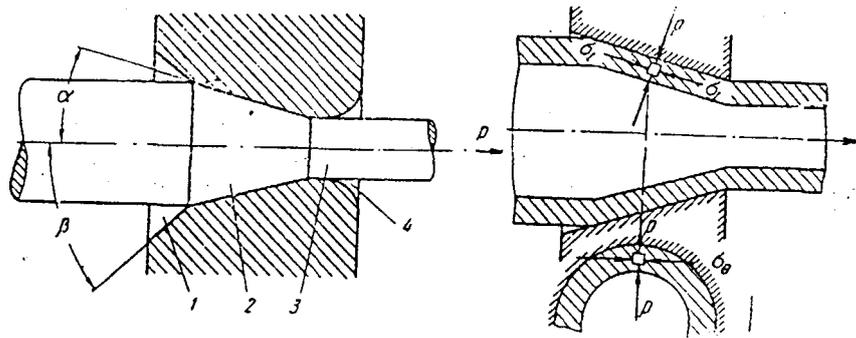


Рис.3 Схема процесса волочения:

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.4а). При горячей штамповке течение металла ограничено стенками рабочей полости (ручья) штампа и производит 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.

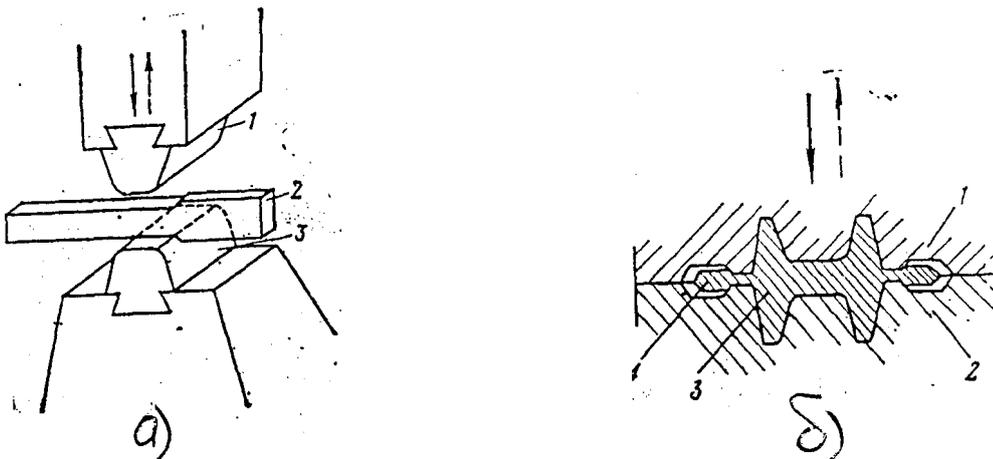


Рис.4. Обработка металлов ковкой и горячей штамповкой:

а- сводная ковка: б- горячая объемная штамповка:

- |                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| 1-верхний боек | 1- верхний ручей штампа         |
| 2- заготовка   | 2- нижний ручей                 |
| 3- нижний боек | 3- штамповка; 4- об.пой (отход) |

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

**Холодная штамповка** производится в соответствующих станках без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла (паклеколе). 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 листовая металл, однако, это не исключает возможность применения прутков проволоки, труб и профилей (рис.5).

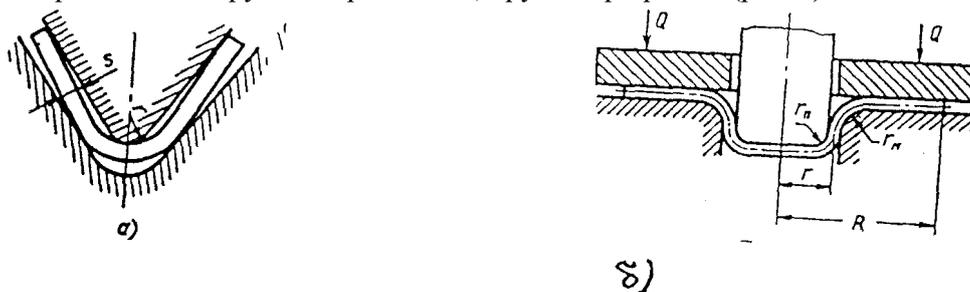


Рис.5 Листовая штамповка:

а-гибкая, 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 условие постоянства объёма заготовки и прореформированного 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** (рис. 1) абсолютно высокая величина деформации составляет:

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

$$\text{а относительная } \Delta = \Delta h / h_0 = (h_0 - h_1) / h_0 = 1 - h_1 / h_0,$$

где  $h_0$  - начальная высота заготовки

$h_1$  - конечная толщина проката

**В процессах прессования** и волочения (рис.23) часто используют показатель деформации - вытяжку.  $\lambda$  - это отношение величины площади поперечного сечения заготовки  $F_0$  к площади поперечного сечения готового изделия -  $F_k$

$\lambda = F_0 / F_k * 100\%$  При волочении (рис.3) степень деформации может характеризоваться также коэффициентом обжатия.

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

Для оценки величины деформации при ковке и горячей штамповке используют коэффициент уковки, который для случая штамповки (рис.3б) 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 (рис.6б) может быть оценена коэффициентом вытяжки  $m$  или обратной величиной  $K$ -степенью вытяжки  $m=d/D$ ,  $k=D/d=1/m$ , где  $D$ - диаметр исходной заготовки

$d$  -диаметр полой заготовки

Рассмотренные выше способы оценки деформации приведены в предположении равномерности деформации ко всему объему 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 поверхности инструмента и деформируемой заготовке;
- 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 характеру 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.**

##### ***В задачи лабораторной работы входит:***

- методом моделирования на пластине определить картину течения в диаметральном сечении слоистого образца в процессах осадки, прессования и штамповки;
- установить и описать визуально неравномерность деформации по сечению образца;
- определить показатели общей деформации для всех видов испытаний.

##### **Порядок выполнения работы.**

Все опыты моделирования технологических процесса к 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  $\delta_0 = 2,5 - 3,5$  мм. диаметром 20 мм..

Общая начальная высота образцов  $h_0$  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 плоско - параллельными плитками на степень деформации  $E_n=50/55\%$  ( $\Delta h=15\text{мм.}$ ).  
До конечной высоты

рис.7 Исходный образец  $h_k=15\text{ мм.}$

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:

$$\xi_n = \frac{H_0 - H_k}{H_0} \cdot 100\%$$

$H_0$ -начальная высота в мм

$H_k$  фактическая (измеренная штангенциркулем) конечная высота в мм

Для количественной оценки неравномерности деформации определяют степень деформации в каждом из слоев образца по его оси. Если толщина слоя до деформации равна  $h_0$ , а после деформации  $h_n$ , то степень деформации слоя составляет:

$$\xi = \frac{h_0 - h_n}{h_0} \cdot 100\%$$

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

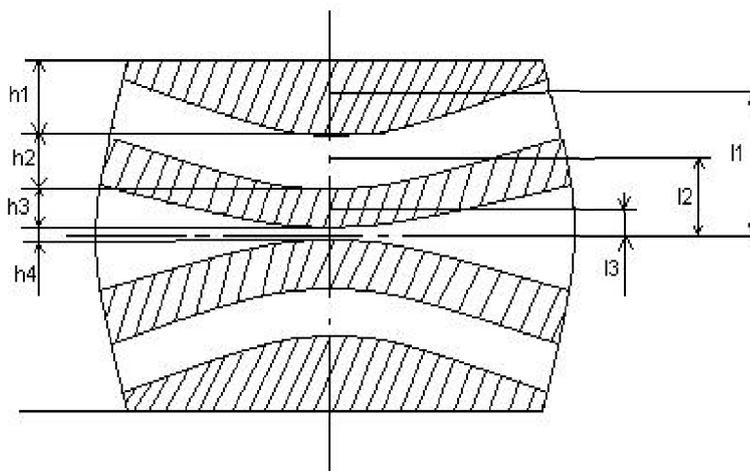
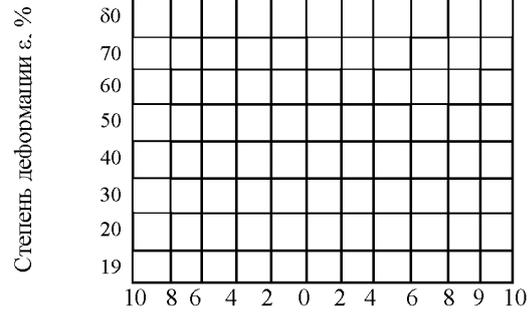


Рис 8. Схема замера высоты слоев осажённого образца

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

Таблица 1.

№ слоя	1	2	3	4
$h_0$ мм				
$H_n$ мм				
$\xi = h_0 - h_n / h_0 * 100\%$				
$H_0$ мм				
$H_k$ мм				
$\xi_n = H_0 - H_k / H_0 * 100\%$				



Расстояние вдоль оси образца от центра до середины слоя, мм

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 извлекаются 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 показания-вытяжки  $\lambda$

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

$D_0$  - исходный диаметр заготовки  $d$  мм

$d_k$  - диаметр отпрессованного прутка в мм

Для определения степени неравномерности при прессовании может служить величина

$$\lambda = l_i / l_0 * 100\%$$

$l_0$  и  $l_i$  -расстояние между поперечными слоями до и после деформации (рис 10). Замер расстояний между слоями производится штангенциркулем.

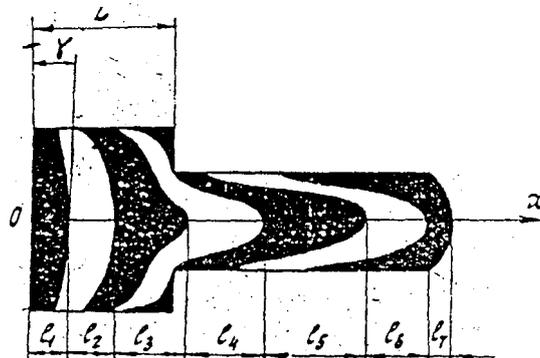


Рис. 10 Схема замеров деформированных слоев при прессовании

Результаты замеров и вычислений заносятся в таблицу 2, а затем строится график зависимости  $\lambda = f(x)$

Таблица 2

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

**Объёмная штамповка** производится на ручном прессе в специальном открытом штампе, состоящем из верхнего и нижнего ручья. Штамповка производится до неполного смыкания плоскостей разъёма на 2,5-3 мм. Перед деформированием производится смазка ручьёв штампа машинным маслом. После штамповки деформированная заготовка извлекается из полостей инструмента и разрезается вдоль продольной оси тонким коксом 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.

#### IV. Содержание отчёта

Отчёт о работе должен включать:

- краткое описание и эскизы процессов обработки давлением, реализованных в данной лабораторной работе;
- эскизы картины сечения слоистых образцов в операциях осадки, прессования и штамповки;
- описания неравномерности деформации и причин её возникновения в различных процессах;
- протокол записей измерения и расчётов с построением графиков, отражающих неравномерность деформации;
- общие выводы

#### Инструмент, оснастка и материалы.

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

#### Библиографический список.

1. А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк и другие. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для ВУЗов, - второе под. Перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990, 352 с.
2. И.К. Суворов. Обработка металлов давлением. Изд. 2 – е, перераб. и доп. Учебник для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1975, 384 с.
3. Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьяков и другие. Технология металлов. М.: Metallургия, 1978, 904 с.