

Государственный комитет РСФСР  
по делам науки и высшей школы

Самарский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева

МЕТАЛЛУРГИЯ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  
И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания  
к лабораторным работам

Самара 1991

Составители: А.И.Заббаров, Е.М.Минаев,  
М.Ф.Калышенко, В.С.Уварова

УДК 621.74:629.7 (075.8)

Металлургия, литейное производство и технология кон-  
струкционных материалов:Метод.указания /Самар.авиаци.ин-т;  
Сост. А.И.Заббаров и др. Самара, 1991. 44 с.

В данных указаниях приведены методики выполнения лаборатор-  
ных работ по курсам "Металлургия и литейное производство" и "Тех-  
нология конструкционных материалов". Предназначены для студентов  
технологических специальностей авиационных вузов. Работа подго-  
товлена на кафедре "Технология металлов и авиаматериаловедение".

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Самарского ордена Трудового Красного Знамени  
авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензент В.Р.К а р г и н

# Лабораторная работа I

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

**Ц е л ь   р а б о т ы:** освоение методики определения и изучение некоторых физических и технологических свойств металлических порошков.

### КРАТКИЕ 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, микротвердость, удельную поверхность, пикнометрическую плотность, состояние кристаллической решетки.

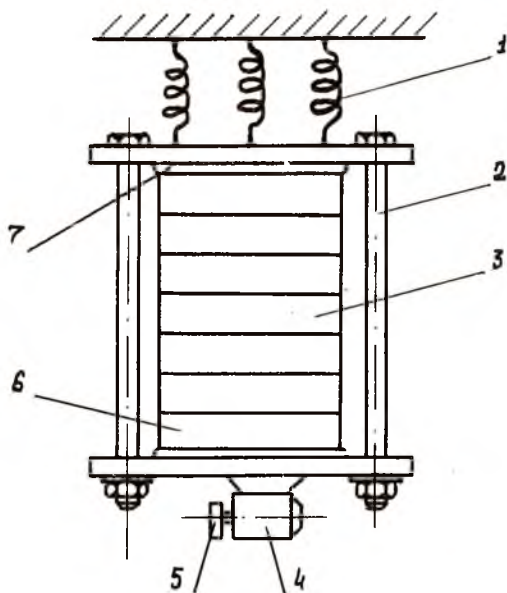
Технологические свойства порошков определяются насыпной массой, сыпучестью, прессуемостью, спекаемостью.

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

Так как различные порошки характеризуются широким диапазоном размеров частиц, то для определения гранулометрического состава применяют несколько методов: рассев порошка на стандартных ситах, измерение размера частиц в оптическом и электронном микроскопах, седимента-

ция и др. Наиболее широкое применение в практике порошковой металлургии получил метод рассева на ситах или ситовой анализ.

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



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

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

Т а б л и ц а I

## Перечень сит для рассева порошков

| Номер сетки | Номинальный размер стороны ячейки на просвет, мм | 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                  |

П р и м е ч а н и е. \* - число отверстий на один линейный дюйм сита.

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 объема 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 объем порошка до прессования в 2-3 и более раз превышает объем спрессованного изделия.

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

$$Q = V \gamma_k \varepsilon K_1 K_2,$$

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

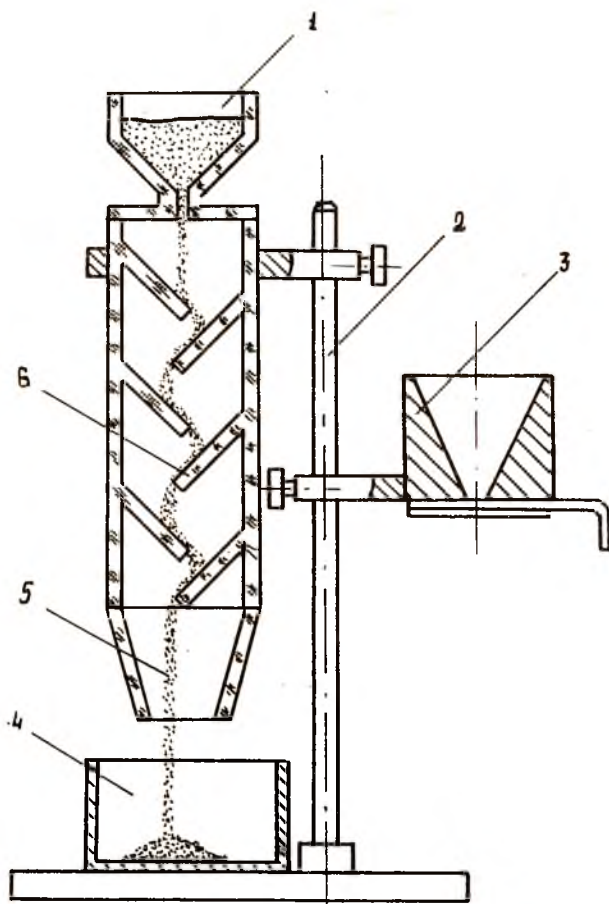
Насыпная масса определяется с помощью особого прибора – волюмометра. Порошок засыпают сверху через воронку. Под прибором устанавливают мерный стакан. Избыток порошка в стакане убирается пластиной и проба взвешивается. Насыпную массу определяют несколько раз и рассчитывают среднее значение (рис.2).

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

**3. Сыпучесть** характеризуется способностью порошка "сыпаться" (вытекать) из отверстий. На сыпучесть влияют такие факторы, как форма и размер частиц, состояние их поверхности, коэффициент трения. Разветвленная 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 ведет 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.



г и с. 2. Схема волюметра: 1-воронка для порошка; 2-стойка; 3-прибор для определения сыпучести порошков; 4-мерный стакан; 5-порошок; 6-перегородка

Сыпучесть порошков определяют на специальном приборе, совмещенном 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 ее определение.
5. Сыпучесть и ее определение.
6. Влияние свойств порошков на прессуемость и спекаемость.

### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Изучение методов определения размера частиц, насыпной массы и сыпучести порошков.
2. Овладение практикой определения некоторых физических и технологических свойств порошков различного происхождения.
3. Приобретение навыков исследовательской работы. Это достигается изучением одних и тех же свойств порошков различного происхождения (медный электролитический, железный восстановленный, стальной марки Х18Н15 распыленный), 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 отчета

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.

Т а б л и ц а 2

### Гранулометрический состав порошков

| Марка порошка | Содержание фракций, % |                        |                        |                        |                         |                        |                                 |
|---------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------|
|               | +0,16                 | $\frac{-0,16}{+0,125}$ | $\frac{-0,125}{+0,08}$ | $\frac{-0,08}{+0,063}$ | $\frac{-0,063}{+0,056}$ | $\frac{-0,056}{+0,04}$ | $\frac{-0,04}{\text{(поддон)}}$ |
|               |                       |                        |                        |                        |                         |                        |                                 |
|               |                       |                        |                        |                        |                         |                        |                                 |

Т а б л и ц а 3

### Насыпная масса и сыпучесть порошков

| Марка порошка | Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup> | Сыпучесть, кг/с |
|---------------|-----------------------------------|-----------------|
|               |                                   |                 |
|               |                                   |                 |
|               |                                   |                 |

П р и м е ч а н и е. 1 г/см<sup>3</sup> = 10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup> (СИ);  
1 г/с = 10<sup>-3</sup> кг/с (СИ).

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными определениями и методикой исследования.
2. Ознакомиться с аппаратурой для определения свойств порошков.

3. Определить гранулометрический состав порошков: железного восстановленного, стального марки ХІ8НІ5 распыленного или других. Для этого навеска каждого порошка в 100 г помещается в набор сит и встряхивается в течение 15-20 минут. После рассева 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 (100 г).

Фракция порошка, прошедшая, например, через сито 008, но оставшаяся на сите 0063, обозначается как  $-0,08$   
 $+0,063$  мм.

Результаты ситового анализа заносятся в табл. 2.

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

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

6. Дать объяснение полученным результатам.

#### Библиографический список

К и п а р и с о в С.С., Л и б е н с о н Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1972, 528 с.

Ф е д о р ч е н к о И.М., А н д р и е в с к и й Р.А. Основы порошковой металлургии. Киев: Изд-во АН УССР, 1963, 420 с.

## Лабораторная работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ СЕКУЩИХ

**Ц е л ь   р а б о т ы:** освоение методики определения удельной поверхности металлических порошков.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Удельная поверхность является важной физической характеристикой порошковых материалов. Ее 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 ее 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 удель-

ной 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, отнесенная к единице объема 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 исследуемого 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 расчетах предположение о распределении адсорбента в виде мономолекулярного слоя на поверхности частиц приводит к существенной ошибке. Такое предположение теоретически недостаточно обосновано, т.к. энергетическое состояние выступов и впадин на поверхности порошинок различно, в связи с чем и их локальная адсорбционная способность не будет одинаковой. Указанный недостаток — допущение о равномерном распределении адсорбента на поверхности объекта — присущ также методу БЭТ.

В основе фильтрационных методов лежит установленное соотношение между сопротивлением перетекания газа или жидкости через пористое тело и его удельной поверхностью. Наиболее распространенной является фильтрация газа при атмосферном давлении (метод Товарова) и в условиях разрежения (метод Дерягина). По сравнению с адсорбционными фильтрационные способы менее сложны и трудоемки, однако их результаты

зависят от пористости исследуемых проб порошка, а также формы и размера частиц.

Наряду с перечисленными физическими способами 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 учета внутренних пор частиц, а также то, что оценка удельной поверхности может проводиться вместе с другими металлографическими исследованиями (например, форма, размер и структура частиц порошка).

Определение величины удельной поверхности порошковых тел методом случайных секущих состоит в следующем. Приготовленный из порошка со связующим материалом микрошлиф просматривается под металлографическим микроскопом. Плоскость шлифа, рассекая частицы, позволяет наблюдать на 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 объем, необходимый для получения величины удельной поверхности, рассчитывается по числу точек пересечения секущих, так называемых узловых точек, приходящихся на сечение тех же частиц. Таким образом, определение поверхности и объема частиц производится для одних и тех же полей зрения.

Точность и надежность полученного результата зависят от общего числа подсчитанных точек и соотношения размера поршинки с ценой деления сетки окуляра. В ряде случаев, для не очень тонких порошков, можно ограничиться подсчетом 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, делает пробу еще менее представительной. Это означает, что метод случайных секущих при оценке поверхности дает результат, который может отклоняться от среднего, соответствующего достаточно представительной пробе, как в сторону завышения, так и занижения искомой величины. Абсолютное значение этого отклонения будет тем больше, чем менее представительной была проба.

Расчет удельной поверхности проводится по выражению

$$S_V = 2 \frac{\sum x}{\sum L},$$

где  $S_V$  - поверхность единицы объема порошка,  $\text{мм}^2/\text{мм}^3$ ;

$\sum x$  - число точек пересечения секущих с периметром сечения частиц;

$X$  - общее число узловых точек окулярной сетки;

$\sum$  - число узловых точек, приходящихся на сечение частиц порошка;

$L$  - суммарная длина всех секущих, т.е. всех взаимно перпендикулярных линий сетки окуляра, мм.

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

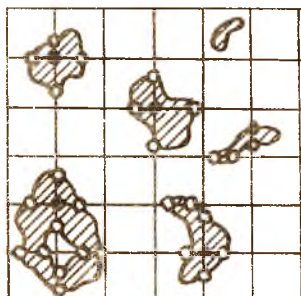


Схема поля зрения  
шлифа в микроскопе

Всего на рисунке изображено  $\sum = 4$  и  $\sum x = 28$  кружков. Общее число узловых точек  $X = 36$ . Величина  $L$  определяется ценой деления сет-

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 расчете участвуют данные обработки нескольких десятков полей зрения. Точки  $\sum$  изображены в виде светлых кружков, точки  $x$  - темных. Сечение крупной частицы внизу слева содержит внутреннюю пору, на которую приходится узловая точка. Она в расчет не принимается, т.к. не попадает на сечение самой частицы.

ки окуляра, которая зависит от увеличения микроскопа и рассчитывается по объект-микрометру.

Допустим, что цена деления сетки равна 0,02 мм. Тогда величина  $\angle$  составит (см. рис. I)  $0,02 \cdot 5 \cdot 12 = 1,2$  мм. Удельная поверхность порошка, рассчитанная по приведенному полю зрения, имеет вид

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

Так рассчитывается удельная поверхность для каждого поля зрения. Но для одного поля результат недостоверен. Для повышения точности определения обсчитывают несколько (иногда десятки) полей зрения до накопления не менее 100 точек  $x$ . Результаты расчета для каждого поля зрения и накопленной удельной поверхности сводят в таблицу, составленную по форме табл. I, в которой в качестве примера приведен расчет удельной поверхности электролитического порошка никеля. Исходными данными для расчета явились:  $\angle = 2,74$  мм;  $X = 121$  и  $X = 2X/\angle = 89 \text{ мм}^{-1}$ .

Т а б л и ц а I

Расчет "накопленной" величины удельной поверхности

| №<br>п/п | $x_i$ | $\sum_1^n x_i$ | $z_i$ | $\sum_1^n z_i$ | $S_i = k \frac{z_i}{x_i} (\text{мм}^{-1})$ | $S_{cp} = \frac{1}{n} \sum_1^n S_i (\text{мм}^{-1})$ | $S_V^H = k \frac{\sum_1^n z_i}{\sum_1^n x_i} (\text{мм}^{-1})$ |
|----------|-------|----------------|-------|----------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1        | 7     | 7              | 32    | 32             | 448                                        | 448                                                  | 448                                                            |
| 2        | 10    | 17             | 34    | 66             | 333                                        | 390                                                  | 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. I, наиболее стабильной величиной из  $S_i$ ,  $S_{cp}$  и  $S_H$  в зависимости от изменения соотношения  $z_i/x_i$  для разных полей зрения является величина  $S_H$  — накопленная удельная поверхность, определяемая по соотношению величин  $\sum_1^n z_i$  и  $\sum_1^n x_i$  для данного и всех предыдущих полей зрения.



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

$$s_g = s_v / d,$$

где  $s_g$  - поверхность единицы веса порошка;  
 $d$  - плотность материала частицы.

Для порошка никеля величина  $d$  равна  $8,9 \text{ г/см}^3$ , по приведенному примеру  $s_g = 514 \cdot 10^{-6} / 8,9 \cdot 10^{-3} \approx 0,06 \text{ м}^2/\text{г}$ , что изложено в работе [1].

### Контрольные вопросы

1. Обосновать важность величины удельной поверхности как физической характеристики порошковых материалов.

2. Дать качественную оценку влияния удельной поверхности на прессуемость и спекаемость металлических порошков.

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. Приемы повышения точности определения удельной поверхности методом секущих.

8. Что такое представительность пробы и ее значение в любом методе определения удельной поверхности порошковых материалов?

9. Что такое накопленная удельная поверхность?

10. Назначение окулярной сетки металлографического микроскопа.

11. Как определяется общая длина  $L$  всех секущих?

12. Чем отличаются величины  $\mathcal{L}$  и  $X$ ?

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

14. Смысл отсутствия в поле зрения микроскопа с окулярной сеткой точек  $\mathcal{L}$  при наличии точек  $\mathcal{L}$ ?

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: распыленных 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).

Т а б л и ц а 2

Выбор увеличения на микроскопе

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

### Содержание отчета

1. Краткое определение методов излучения 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).

Т а б л и ц а 3

Удельная поверхность металлических порошков

| Марка порошка<br>(метод получения) | Удельная поверхность           |                            |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                                    | $S_V, \text{мм}^2/\text{мм}^3$ | $S_S, \text{м}^2/\text{г}$ |
|                                    |                                |                            |

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 спеченных изделий.

#### Библиографический список

1. С а л т ы к о в С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970, 250 с.

2. К и п а р и с о в С.С., Л и б е н с о н Г.А. Порошковая металлургия. М.:Металлургия, 1972, 528 с.

## Лабораторная работа 3

### ЛИТЬЕ В РАЗОВЫЕ ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

**Ц е л ь   р а б о т ы:** изучение технологических основ изготовления разовых песчаных форм методами ручной формовки.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

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

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

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

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

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

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

Опоки - это жесткие металлические рамки (чугун, сталь, алюминий и другие сплавы), в которых набивают и уплотняют формовочную смесь.

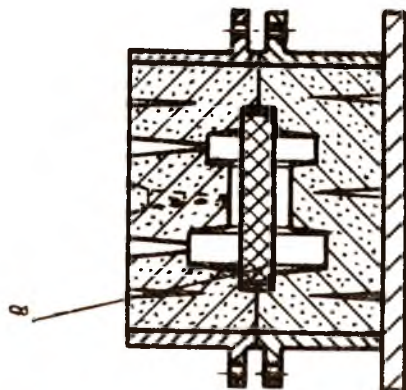
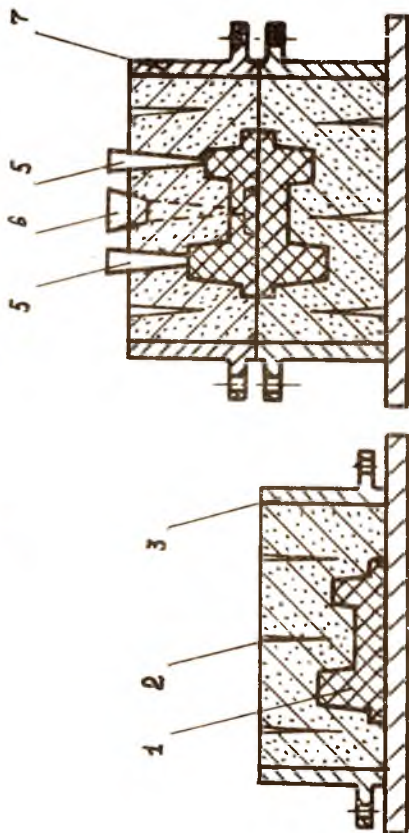
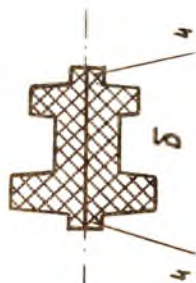
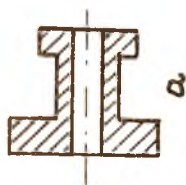
Для изготовления песчаных форм и стержней применяют формовочные и стержневые смеси. В их состав входят кварцевые пески, формовочные глины-крепители (сульфитная барда, жидкое стекло и др.), противопригарные добавки (графит, молотый уголь и др.), органические добавки (торф, древесные опилки и др.) и оборотная смесь, бывшая в употреблении. Различают облицовочные, наполнительные, единные, 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 формуют модели с плоской поверхностью, которые могут быть легко удалены из полуформы. Ниже рассмотрены последовательности операций 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.

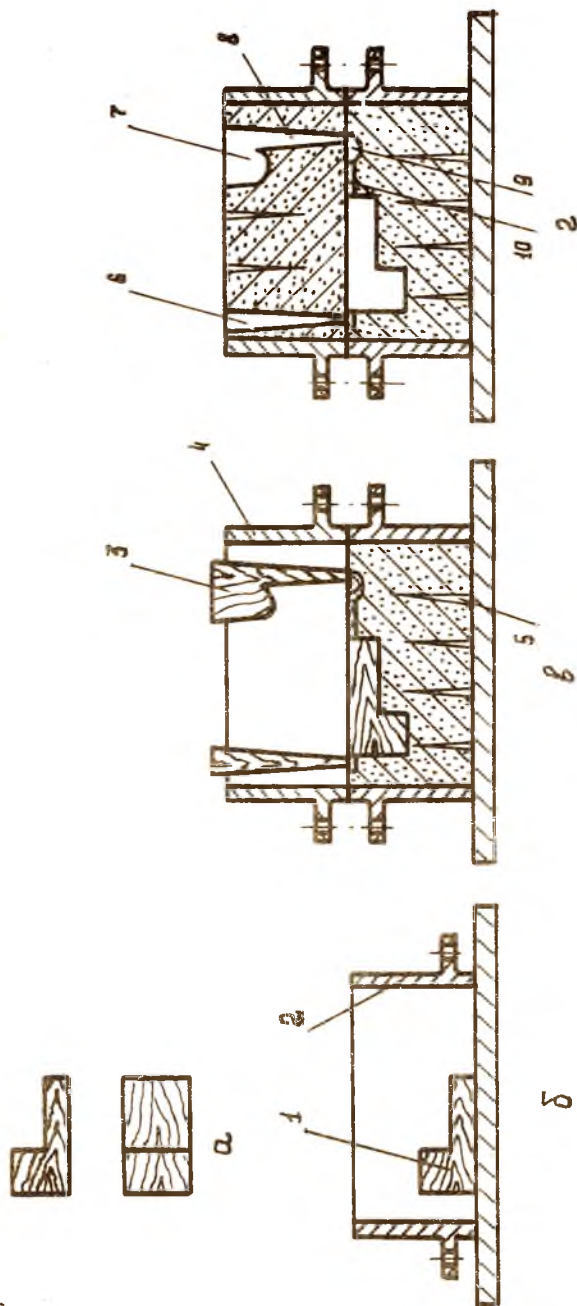


в

г

д

Р и с. 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



Р и с. 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

## Практическая часть работы

1. Изучение модельно-опочной оснастки.

2. Знакомство с различными типами формовочных и стержневых смесей.

3. Изучение процесса ручной формовки в двух опоках по разъемной и неразъемной моделям.

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

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

## Содержание отчета

1. Описание основных понятий (форма, типы форм, формовка, способы формовки).

2. Описание модельно-опочной оснастки (модели, опоки; стержневые ящики).

3. Описание формовочных и стержневых смесей.

4. Схемы формовки.

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с модельно-опочной оснасткой.

2. Ознакомление с формовочными и стержневыми смесями.

3. Изучение последовательности операций формовки.

## Библиографический список

Литейное производство /Под ред. И.Б.К у м а н и н а. М.:Машиностроение, 1971, 320 с.

Технология конструкционных материалов /Под ред.А.М.Д а л ь - с к о г о. М.:Машиностроение, 1985, 380 с.

## Лабораторная работа 4

### ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

**Ц е л ь   р а б о т ы:** изучение процесса литья в металлических формах (в кокиль).

### КРАТКИЕ 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 предназначаются только для разового использования. Песчаные стержни применяют преимущественно для получения чугунных и стальных отливок, металлические – для отливок из цветных сплавов.

Для удаления воздуха и газов из полости формы по плоскости разреза 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 получаются с более плотной мелкозернистой структурой, что существенно повышает свойства магниевых и алюминиевых сплавов. Вместе с тем в кокилях трудно получать тонкостенные отливки. Чугунные отливки, как правило, получаются 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 стойкости кокилей. При изготовлении стальных отливок кокили выдерживают не более нескольких десятков или сотен заливок. Это на два-три порядка меньше краткости использования кокилей при производстве отливок из алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов. Трудоемкость изготовления отливок в кокилях меньше, чем при лите в разовые формы, качество поверхности и точность размеров отливок выше, припуски на обработку меньше, условия труда лучше. В механизированных кокильных цехах изготавливают чугунные и стальные отливки массой до 160 кг и из цветных сплавов до 30 кг, в немеханизированных — соответственно до 14 и 0,5 кг. В кокилях можно получить чугунные прокатные валки с отбеленным твердым износостойким поверхностным слоем, а также плотные без рыхлостей с повышенными свойствами отливки из алюминиевых сплавов с широким интервалом температуры затвердевания.

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

С целью снижения трудоемкости изготовления и повышения стойкости кокили облицовывают слоем плакированной песчаной смеси, отверждаемой при нагреве. Для этого применяют нагреваемую модель. Модель точно, а внутренняя поверхность кокиля лишь приблизительно, воспроизводят очертания отливки. В зазор между моделью и кокилем, нагретыми до 250°C, 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

слои. Облицованные кокили применяют при производстве чугунных и стальных отливок. Литье в облицованные кокили сочетает преимущества способов литья в оболочковые формы и кокили. Преимущество этого способа растет с увеличением размеров изготавливаемой отливки.

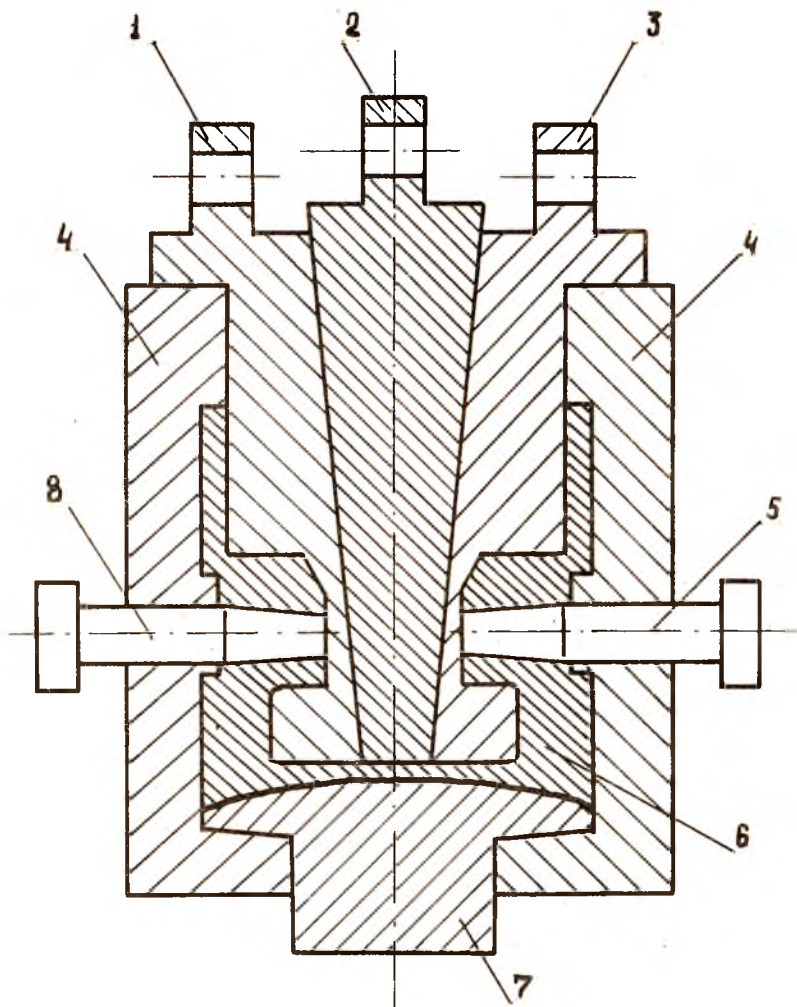
## ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ

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  $140-180^{\circ}\text{C}$  кокиль слоем толщиной  $0,3 - 0,8$  мм. Заключительная операция подготовки кокиля: нагрев его до температуры  $150-350^{\circ}\text{C}$ . 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  $350^{\circ}\text{C}$ , при толщине стенок  $10-20$  мм — до  $150-250^{\circ}\text{C}$ , для алюминиевых и магниевых отливок — до  $250-350^{\circ}\text{C}$ .

При сборке кокилей в определенной 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 показана схема кокиля для отливки поршней.



Кокиль для отливки поршня с разъемным металлическим стержнем:  
 1,3 - разъемные стержни; 2 - клинообразный фиксатор; 4 - оболочка кокиля; 5,8 - стержни для получения отверстий; 6 - отлитый 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 сплавов.
5. Достоинства и недостатки способа.
6. Экономическая целесообразность применения литья в кокиль.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

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

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

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку; кокили вытряхные и разъемные; 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, сборки кокиля, заливки металла, извлечения стержней и отливки.
3. Описание режимов подготовки кокиля к заливке и плавки 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 контроль ее качества (качество поверхности, точность размеров).
7. Результаты работы описать в отчете.

#### Библиографический список

- Литейное производство /Под ред. А.М.Михайлова М.: Машиностроение, 1987.
- Технология конструкционных материалов /Под ред. А.М.Дальского М.: Машиностроение, 1985.
- Кнорозов Б.В. Технология металлов. М.:Металлургия, 1974.
- Литейное производство /Под ред. И.Б.Куманина. М.:Машиностроение, 1971.

## Лабораторная работа 5

### ЛИТЬЕ В КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ПО ПОСТОЯННЫМ МОДЕЛЯМ

**Ц е л ь р а б о т ы:** изучение теоретических и технологических основ литья в керамические формы.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Керамическая форма – это разовая химически твердеющая форма, полученная из специальной жидкоподвижной смеси наливной формовкой с последующим 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.

Литье в керамические формы разработано в 1951 г. английскими учеными братьями Клиффордом и Нозлем Шоу и поэтому этот метод получил название Шоу – процесс. В отечественной промышленности метод называют также Шоу – процессом или литьем 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.Обсленцева и др.).

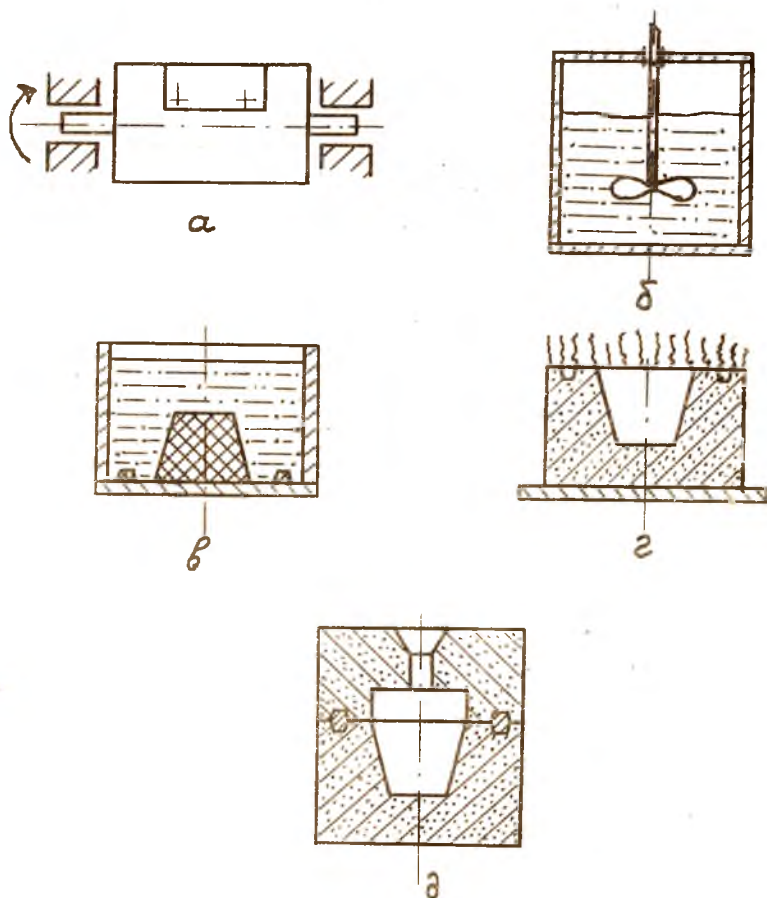
Литье в керамические формы применяют в единичном, средне- и мелкосерийном производстве отливок практически из любых цветных и черных металлов. Особенности Шоу – процесса позволяют получать, как правило, крупногабаритные детали больших масс. Большинство размеров их выполняется в одной полуформе, что приводит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

металлооснастки (штампы, пуансоны, пресс-формы, модельные плиты, элементы кокилей, стержневой и модельной оснастки);

турбин из жаро- и коррозионностойких 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  $\text{NaOH}$ .

Технологический процесс заключается в следующем (рис.1). Огнеупорные материалы (кварцевый песок и пылевидный кварц – маршаллит) подготавливаются и засыпаются в барабан, где тщательно перемешиваются



Р и с. 1. Схема процесса изготовления керамической формы



(рис. I, а). В гидролизере готовится этилсиликат. Гидролизованный этил-силикат подается в специальный бачок, добавляется водный раствор  $\text{NaOH}$  и при перемешивании засыпается смесь песка и маршаллита (рис. I, б). Приготовленная таким образом смесь выливается на модель, установленную в опоке на плите (рис. I, в). Через некоторое время смесь начинает затвердевать, после чего модель извлекается. Полуформу устанавливают на плиту и сразу поджигают спирт (рис. I, г). Таким же образом получают вторую полуформу. После прокалки полуформы собирают и форма готова для заливки металлом (рис. I, д).

Технология литья в керамические формы содержит элементы литья в песчаные формы: наличие разъема в формах, применение модельно-опочной оснастки и др. Принципиальное же отличие способа заключается в применении специальной формовочной смеси. Это позволяет получать четкий 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 используются при небольших сериях производства несложных отливок (орех, бук и др.). 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 готовые 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.

## П р и г о т о в л е н и е   ф о р м о в о ч н о й   с м е с и

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



В качестве огнеупорной составляющей применяют смесь кварцевого песка и маршаллита в соотношении 1:3. Предварительно песок и маршаллит прокачивают 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 водный раствор  $\text{NaOH}$ . Коагулятор ускоряет процесс огеливания гидролизованного этилсиликата. Формовочная смесь готовится следующим образом. В емкость заливают 100 объемных частей гидролизованного этилсиликата, затем 5 объемных 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 сразу же форма поджигается для удаления спирта и воды.

## Обжиг и прокачивание 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 прокачивании 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 прокачивания 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 прокачиваются при 900°C в течение 3 часов и подаются на заливку.

Формы средних размеров обжигают при 350°C в течение 3 час. Если форма предназначена для получения отливок с толщиной стенок менее 4 мм, то ее прокачивают при температуре 900°C. Формы больших размеров прокачивают при температуре 900°C в течение 5 час.

Если заливку производят в холодную форму, то после обжига или прокаливании полуформы охлаждают до нормальной температуры и подают на сборку. Для фиксирования полуформ на соединяемые поверхности наносится огнеупорный слой того же состава, что и формовочная смесь. Затем полуформы собирают и дают им возможность склеиться. Если заливка производится в горячую форму, то после ее сборки она нагревается в печи.

### З а л и в к а ,   в ы б и в к а   и   о ч и с т к а о т л и в о к

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

Собранную форму заливают металлом, как и песчаную. После охлаждения форму разбивают для извлечения отливки. Для удаления керамической массы из отливок сложной формы применяют растворение в ваннах с расплавленной каустической содой. Измельченную керамическую массу используют повторно. Удаление литников и очистка отливок производятся 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 (прокаливании) формы.
11. Роль микротрещин в керамических формах.
12. Качество отливок, получаемых литьем 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 отчета

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

### Порядок выполнения работы

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

### Библиографический список

И в а н о в В.Н., З а р е ц к а я Г.М. Литье в керамические формы по постоянным моделям. М.: Машиностроение, 1975, 136 с.

З а б б а р о в Р., М о с к в и ч е в Г.Г. Прогрессивные процессы выплавки и литья сталей и сплавов в авиастроении. КуАИ, Куйбышев, 1984, 74 с.

## Лабораторная работа 6

### ЛИТЬЕ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Ц е л ь р а б о т ы: изучение технологии литья охлаждаемых лопаток с реальными стержнями, моделями, формами и отливками лопаток I-й и 2-й ступеней.

#### КРАТКИЕ 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 ( $\pm 0,125$  мм на длине 25 мм) и высоким классом чистоты, требующих сложной и трудоемкой механической обработки, а также получения изделий из труднообрабатываемых сплавов. Такие детали обычно применяют в конструкциях и механизмах без предварительной механической обработки за исключением сопрягаемых поверхностей. Этот способ применяют, например, для получения турбинных лопаток авиационно-ракетных двигателей. Особенности этого способа литья: одноразовое использование моделей и керамической формы, отсутствие в форме разъемов. Это исключает образование перекосов и заливов. При этом стоимость отливок, полученных этим способом, значительно выше, чем при литье в другие формы. В промышленности применяют следующие 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 модели из формы;
- прокалка оболочек;
- заливка формы жидким металлом;
- выбивка отливки из формы, обработка отливки.

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

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, связующее и пластификатор. В качестве зернистого материала применяют электрокорунд. В состав связующего входят двуокись титана (25%), глинозем (75%). Пластификатор может состоять из парафина (90%) и полиэтилена (10%). Стержневая масса для лопаток I ступени турбореактивного двигателя состоит из 96% зернистого материала, 4% связующего и 15-16% пластификатора (сверх 100%). Нагретые до 130-170° исходные материалы смешиваются. После охлаждения смеси нарезаются куски размерами 50x50x10 мм. Прессование керамических стержней производится на гидравлическом прессе. При этом подогретая до 90-130°С 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  $1400^{\circ}\text{C}$  в течение 10–12 часов. Обожженные стержни покрывают лаком КО-815 и сушат на воздухе 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  $125\text{--}130^{\circ}\text{C}$ . Изготовление моделей производится свободной заливкой модельного состава в подогретую до  $50\text{--}55^{\circ}\text{C}$  металлическую пресс-форму. Перед заливкой модельного состава в пресс-форму устанавливается керамический стержень.

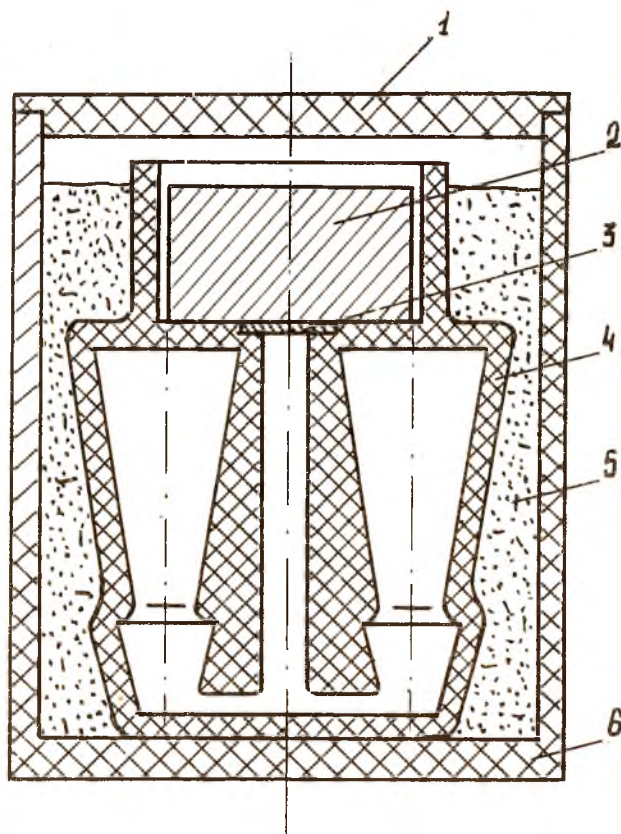
Аналогичным способом изготавливают модели элементов литниковой системы. Несколько моделей лопаток (чаще 4) и модель литниковой системы собираются в блок путем припаивания моделей горячим ножом.

#### Изготовление керамических оболочковых форм и подготовка их под заливку

Огнеупорная суспензия для изготовления керамических оболочек готовится на основе дистенсилиманита или электрокорунда. В гидролизированный этилсиликат засыпается электрокорунд мелких фракций (№ 7–25%, № 3–40%, № 5–35%) и перемешивается, затем на модельные блоки наносится огнеупорная суспензия. Указанная операция выполняется при помощи окунания блоков в суспензию. Покрашенный модельный блок обсыпается электрокорундом в пескосыпе с жидкокипящим слоем. Таким образом наносится несколько слоев (8–10) керамического покрытия в зависимости от размеров лопаток. Причем первый слой обсыпается электрокорундом № 20–25, второй и последующие – № 40–50. После нанесения каждого слоя производится сушка вакуумно-аммиачным способом с естественной сушкой на воздухе в течение 1–1,5 часов. Удаление модельного состава из керамических оболочек производится в горячей воде ( $90^{\circ}\text{C}$ ). После просушки оболочек при  $150\text{--}180^{\circ}\text{C}$  производится их прокалка при  $950^{\circ}\text{C}$  с выдержкой не менее 6 час. После прокали и охлаждения формы готовят к заливке. В литниковый ход чаши вставляют стопор из никелевой фольги (3 шт. толщиной 0,2 мм). Керамическая оболочка устанавливается в графитовую опоку. Пространство между стенками опоки и оболочкой заполняется графитовой крошкой (0,5–5 мм) с применением вибрации. В литниковую чашу

закладывается навеска шихты жаропрочного сплава ЖС6ФВМ для лопатки I ступени весом 2,4 кг. Литниковая чаша закрывается керамической крышкой, графитовая опока закрывается графитовой крышкой.

На рис. I показана форма, подготовленная для заливки.



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



# П л а в к а ,   з а л и в к а   и   к р и с т а л л и з а ц и я л о п а т о к   в   п е ч и   П М П - 2

Принципиальная схема печи приведена на рис. 2.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧИ ПМП-2

|                                  |                  |             |
|----------------------------------|------------------|-------------|
| Мощность Р, кВт                  | _____            | 530         |
| Максимальные температуры в зонах | $t$ , °С нагрева | 1600        |
|                                  | плавления        | 1700        |
|                                  | кристаллизации   | 1500        |
| Остаточное давление р, мм рт.ст. | _____            | $10^{-3}$   |
| Продолжительность выгрузки, мин  | _____            | 5...20      |
| Максимальные размеры формы, мм   | _____            | 150x200x500 |

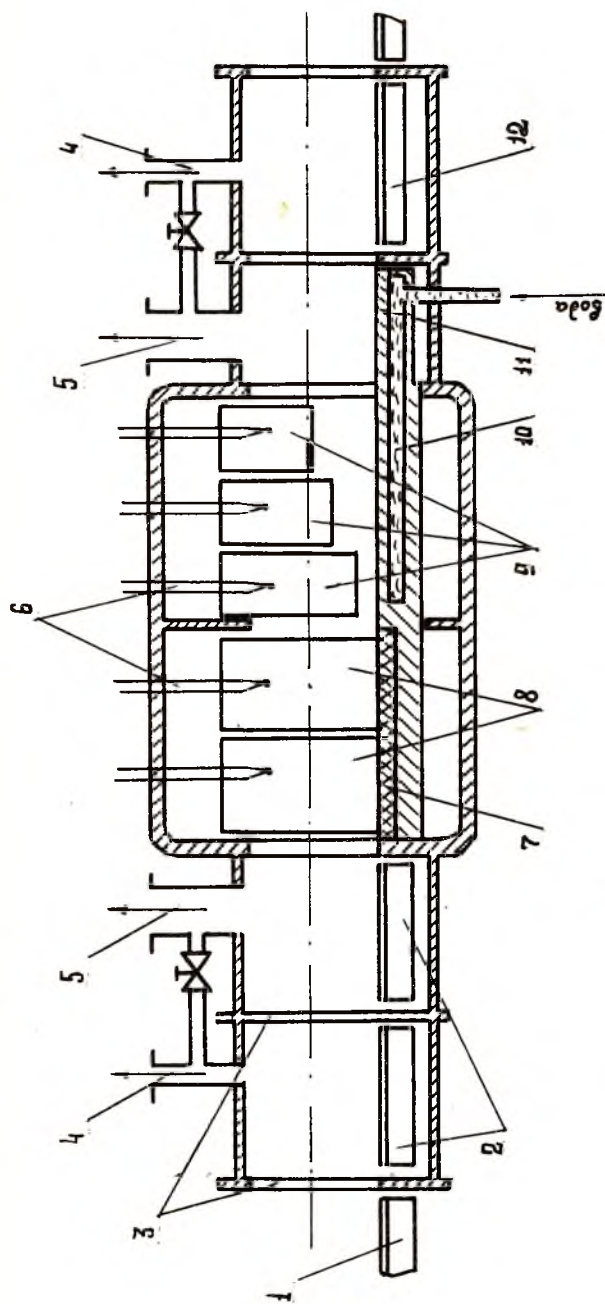
На приемный стол печи подается 5 графитовых опок с формами.

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 в таблице.

Рабочие температуры печи ПМП-2 по зонам

| З о н ы        | Т е м п е р а т у р а, °С |
|----------------|---------------------------|
| Нагрев         | 1300                      |
|                | 1420                      |
|                | 1520                      |
| Плавление      | 1560                      |
|                | 1560                      |
| Кристаллизация | 1500                      |
|                | 1500                      |
|                | 1470                      |
|                | 1400                      |



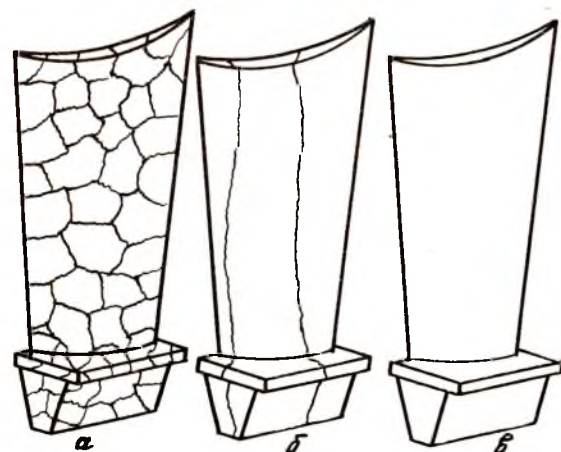


Р и с. 2. Схема печи ППП-2: I - стол для загрузки с механизмом проталкивания опок; 2 - столы форкамер; 3 - вакуумные затворы; 4 - патрубок создания вакуума механическими насосами; 5 - патрубок создания вакуума диффузионными насосами; 6 - термометры; 7 - стол с графитовым покрытием; 8 - нагреватели в зонах нагрева и плавления шихты; 9 - нагреватели зоны кристаллизации лопаток; 10 - водоохлаждаемый кристаллизатор; II - водоохлаждаемый стол; 12 - камера для загрузки опок

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

Обрезка литников, удаление стержней, контроль отливок

После охлаждения лопаток производится разрушение керамической оболочки. Лопатки от литников отрезаются вулканическим кругом. Контроль макроструктуры производится по эталонам после травления в реактиве хлорного железа и соляной кислоты ( $FeCl_3$  - 600 мл,  $HCl$  - 100 мл на 1 л воды, время травления - 60 мин). Кристаллы должны быть направлены параллельно оси лопатки, количество кристаллов - не более четырех. Из лопаток удаляют стержни. Нагретые до  $380-400^{\circ}C$  лопатки в вертикальном положении замком вверх загружают в расплав бифтористого калия ( $360 - 380^{\circ}C$  и выдерживают 50-70 мин). Затем лопатки промывают в воде ( $80 - 90^{\circ}C$ ), в водном растворе хлоросилици циркония, серной кислоты и уротропина (для снятия фторидной пленки) и снова в воде ( $70 - 80^{\circ}C$ ).



Если керамика остается, то процесс повторяется. Производится контроль лопаток следующими методами:  
рентгеновским (просвечивание) - 100%;  
люминесцентным - 100%;  
контролем геометрических размеров.

На рис. 3 приведены схемы лопаток.

Р и с.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 моделей 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 основ 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 макроструктуры литых лопаток и их свойств.

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку; исходные материалы для литья лопаток газовых турбин по выплавляемым моделям; промышленные образцы стержней, моделей, литейных форм и отливок лопаток; промышленные образцы лопаток после травления на макроструктуру (вскрытые и окончательно обработанные лопатки); схемы лопаток I и II ступеней (рис.3) и таблицу сравнительных свойств.

## Содержание отчета

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

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомление с теорией и краткое изложение основных ее положений в отчете.
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 структурами.
5. Оформление отчета.

## Библиографический список

Технология конструкционных материалов /Под ред. А.М.Д а л ь-с к о г о. М.: Машиностроение, 1985. С. 148-150.

Литейное производство /Под ред. И.Б.К у м а н и н а. М.:Машиностроение, 1971. С. 25-33.

Технология литейного производства /Ю.А.С т е п а н о в а и др. М.:Машиностроение, 1983. С. 5-73.

З а б б а р о в Р., М о с к в и ч е в Г.Г. Прогрессивные методы выплавки и литья сталей и сплавов в авиастроении /Куйбышев.авиацион.-т. Куйбышев, 1984. С. 36-44.

МЕТАЛЛУРГИЯ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  
И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Составители: З а б б а р о в Анатолий Игнатьевич,  
М и н а е в Евгений Михайлович,  
К а л ы ш е н к о Михаил Федорович,  
У в а р о в а Вера Сергеевна

Редактор Т.И.К у з н е ц о в а  
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к  
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать 30.10.91. Формат 60x84<sup>1</sup>/16.  
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.печ.л. 2,6.  
Усл.кр.-отт. 2,7. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 300 экз.  
Заказ № 4664 Бесплатно.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Тип.им.В.П.Мяги Самарского полиграфического  
объединения. 443099 Самара, ул.Венцека,60.