

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Технология конструкционных материалов

Электронные методические указания к лабораторным работе по курсу
«Технология конструкционных материалов»

САМАРА

2012

Составители: **Заббаров Рахим,**
Черников Дмитрий Геннадьевич

Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к лаб. работам по курсу «Технология конструкционных материалов» / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. Р. Заббаров, Д. Г. Черников. - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,11 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт.диск (CD-ROM).

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы в рамках курса «Технология конструкционных материалов» для подготовки бакалавров по направлению 150400.62 «Металлургия» факультета ИТФ, обучающихся по бакалаврской программе «Обработка металлов давлением» в 4 семестре.

Учебное пособие разработано на кафедрах технологии металлов и авиационного материаловедения и автоматических систем энергетических установок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Темы и объемы работ

1. Влияние содержания углерода на механические свойства – 4 ч.
2. Изучение способов получения порошков металлов и их соединений – 4 ч.
3. Определение физико-технологических свойств порошков – 4 ч.
4. Литье в разовые песчаные формы. Способы формовки – 4 ч.
5. Литье лопаток ГТД – 4 ч.
6. Литье в керамические формы – 4 ч.

ТЕМА № 1:
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

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

Теоретические сведения

1. Определение и общая характеристика углеродистых сталей

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

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

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

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

Таблица 1

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

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

Примечания:

1. В сталях Ст1-Ст6 допускается не более 0,3% Cr; 0,3% Ni; 0,3% Cu; 0,3% As; 0,01% N.
2. В сталях, выплавленных из керченских руд, допускается до 0,15% As и 0,05% P.
3. В сталях, выплавленных в электропечах, допускается не более 0,012% N.

Чем больше цифра условного номера стали, тем выше в ней содержание углерода. В конце обозначения марки стоят буквы «кп», «пс», «сп», которые указывают на степень раскисления: «кп» – кипящая, «пс» – полуспокойная, «сп» – спокойная. Как правило, продукция из сталей обыкновенного качества поставляется в нормализованном состоянии (нагрев и выдержка при температурах выше фазовых превращений с последующим охлаждением на воздухе).

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

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

Таблица 2

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

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

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

Таблица 3

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

Марка стали	Содержание углерода, %	σ_B , Мпа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	HV , Дж/см ²	КСУ, Дж/см ²
		не менее				не более	
08	0,05-0,12	320	196	33	60	131	-
10	0,07-0,14	320	205	31	55	143	-
15	0,12-0,19	370	225	27	55	149	-
20	0,17-0,24	410	245	25	55	163	100
25	0,22-0,3	450	275	23	50	170	88
30	0,27-0,35	490	295	21	50	179	78
35	0,32-0,4	530	315	20	45	207	69
40	0,37-0,45	570	335	19	45	217(187)	59

45	0,42-0,5	600	355	16	40	229(197)	49
50	0,47-0,55	630	375	14	40	241(207)	38
55	0,52-6	650	380	13	35	255(217)	34
60	0,57-0,65	680	400	12	35	255(229)	30
70	0,67-0,75	730	430	9	30	269(237)	-

Примечания.

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

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

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

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

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

Таблица 4

Влияние углерода на механические свойства горячекатанных сталей

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

2. Теоретические основы влияния углерода на структуру и свойства стали

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

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

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

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

С увеличением углерода в структуре стали растёт содержание цементита. При содержании до 0,8%С сталь состоит из феррита и перлита, при содержании более 0,8%С в структуре стали кроме перлита появляется структурно-свободный вторичный цементит.

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

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

3. Методические указания по порядку выполнения и содержанию работы

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 5

Зависимость механических свойств от содержания углерода

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

Примечания.

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

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

После заполнения табл. 5 по стандартным данным студент строит графическую зависимость величины механических свойств углеродистых сталей от среднего содержания углерода. Рекомендуемая сетка для построения графика приведена на рис. 1.

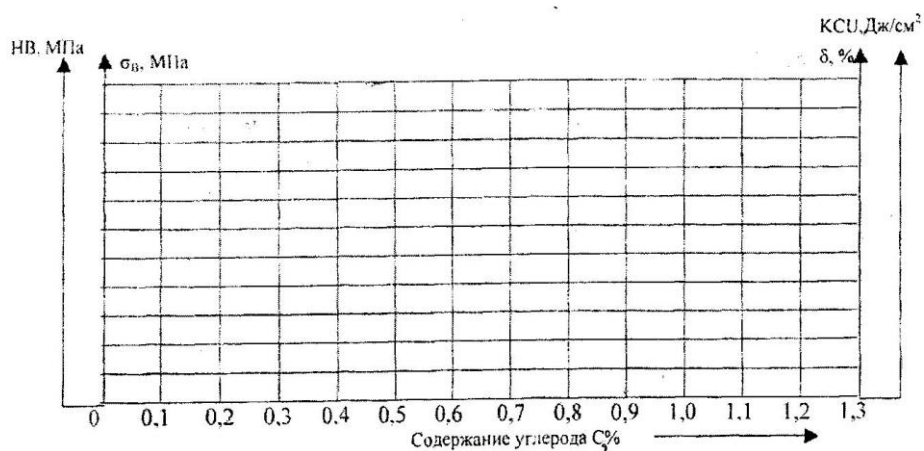


Рис. 1. Сетка для построения графика зависимости механических свойств от содержания углерода в стали

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

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

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

Предел прочности при растяжении

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

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

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

Вычисленные значения НВ, σ_B , δ и КСУ заносят в табл. 6

Таблица 6

Зависимость механических свойств от содержания углерода по эмпирическим формулам для отождженной стали

Марка стали	Содержание углерода		Механические свойства		
	По стандарту	Среднее	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твердость НВ, МПа

После заполнения таблицы 6 строят графики зависимости механических свойств от среднего содержания углерода по рекомендованной выше на рис. 1 сетке.

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

Контрольные вопросы

1. Какой максимальный процент углерода может содержаться в стали?
2. Какова маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества, качественных конструкционных сталей, инструментальных углеродистых сталей?

3. Какие вредные примеси содержатся в углеродистых сталях?
4. Что представляют собой испытания на растяжение?
5. Как вычисляется предел прочности σ_B , предел текучести $\sigma_{0,2}$ относительное удлинение δ ?
6. Дайте определение понятию «твёрдость».
7. Как находится твёрдость НВ по Бринеллю?
8. Что такое ударная вязкость, как вычисляется её значение?
9. Что такое феррит, цементит, перлит?
10. Какова структура стали при содержании углерода $C < 0,8\%$ и $C > 0,8\%$?
11. Почему при содержании углерода от 0 до 1 % происходит рост прочности и уменьшение пластичности?
12. Почему при содержании углерода более 1% уменьшается не только пластичность, но и прочность?
13. На сколько % возрастают прочность и твёрдость у качественных углеродистых сталей при увеличении среднего содержания углерода от 0,1 % до 0,6%?
14. На сколько % падает пластичность при увеличении среднего содержания углерода в углеродистых инструментальных сталях с 0,7% до 1,3%?
15. На сколько % уменьшается ударная вязкость у качественных конструкционных сталей при увеличении среднего содержания углерода с 0,25% до 0,5%.

Библиографический список

1. Журавлёв В.Н., Николаева О.Н. Машиностроительные стали: Справочник. 4-е изд. перераб. и доп. Машиностроение, 1992. 480 с.
2. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф. Материаловедение: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. СПб: Химиздат, 2002. 696 с.

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

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

5. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989.640 с.

ТЕМА № 2

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

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

Теоретические сведения

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

Классическая технология порошковой металлургии включает следующие основные стадии:

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

Все способы получения порошков можно условно разделить на две группы:

- физико-химические;
- механические.

Физико-химические способы

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

Восстановление окислов металлов

Метод основан на протекании реакции:



где В – восстановитель.

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

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

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

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

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

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

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

Электролиз

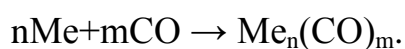
Сводится к разложению водных растворов или расплавленных солей металлов при пропускании постоянного электрического тока. Этот метод позволяет получать не только порошки чистых металлов, но и легированные порошки. Например: Fe–Cr, Fe–Ni, Fe–Ni–Cr и др.

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

Термическая диссоциация карбониллов

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

Метод основан на протекании следующей реакции:



Процесс складывается из двух стадий. На 1-й стадии при соответствующих температурах шихта обрабатывается СО и реакция идет

слева направо с выделением карбонила. На 2-й стадии карбонил подвергают термической диссоциации и реакция идет справа налево с выделением дисперсных порошков.

СВС-процесс

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

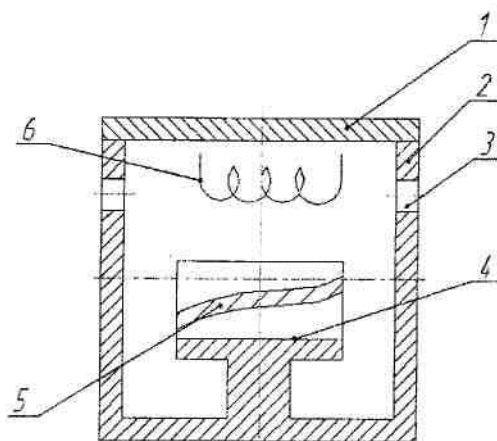


Рис. 1. Простейшая схема бомбы: 1 – крышка; 2 – корпус; 3 – смотровые окна; 4 – образец; 5 – фронт горения; 6 – воспламенительное устройство.

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

- 1) реагенты смешивают, например, Ti + C, а процесс ведут в вакууме или в среде аргона;
- 2) образцом служит один реагент, а процесс ведут в атмосфере другого реагента.

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

Механические способы получения порошков

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

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

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

Принципиальная схема процесса представлена на рис.2.

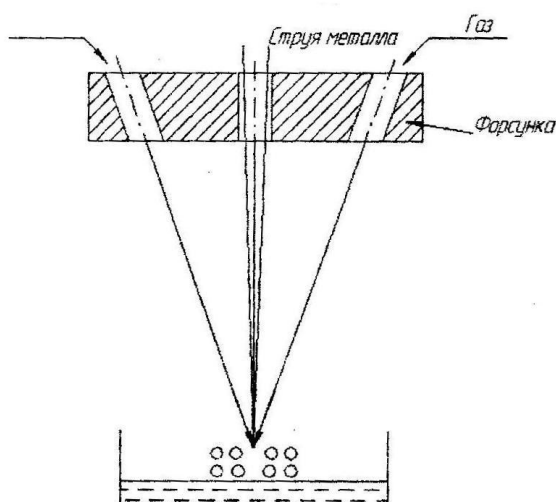


Рис. 2. Принципиальная схема процесса диспергирования

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

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

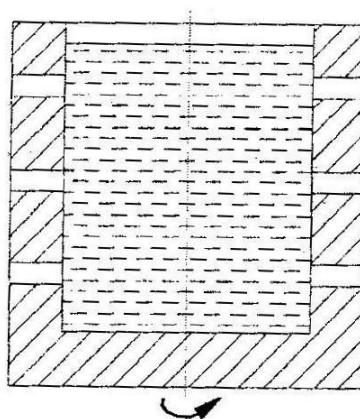


Рис. 3. Перфорированный стакан

Диспергирование твердого металла производится в вакууме электронным лучом или плазмой.

Форма частиц порошков

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

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

Контрольные вопросы

1. Классическая технология порошковой металлургии.
2. Физико-химические способы получения порошков.
3. Механические способы получения порошков.
4. СВС-процесс.
5. Распыление и грануляция.
6. От чего зависит форма и размер частиц порошка?
7. Типовые формы частиц порошка.

Практическая часть работы

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

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

Содержание отчета

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

Библиографический список

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

ТЕМА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

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

Теоретические сведения

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

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

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

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

установленное ниже имеет меньший размер ячеек, чем установленное выше. Рассев 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).

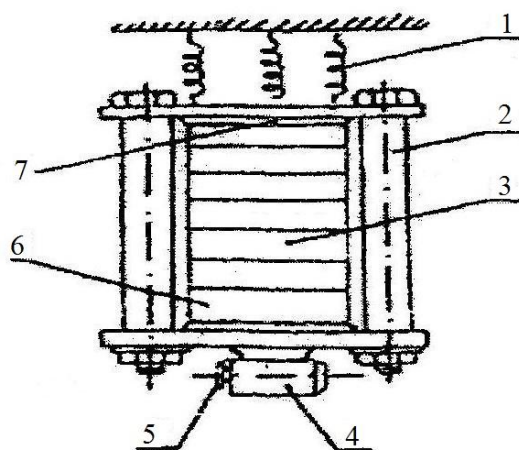


Рис.1. Схема вибровстряхивателя: 1 – пружинная подвеска; 2 – стягивающие болты; 3 – набор стандартных сит; 4 – электродвигатель; 5 – эксцентрик; 6 – поддон; 7 – крышка

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

Таблица 1

Перечень сит для отсева порошков

Номер сетки	Номинальный размер стороны ячейки	Номинальный диаметр проволоки, мм	Примерное число, меш*
08	0,800	0,300	20
05	0,500	0,220	30
045	0,450	0,180	40
0135	0,315	0,140	50
025	0,250	0,130	60
018	0,180	0,130	80
016	0,160	0,120	100
0125	0,125	0,090	120

01	0,100	0,070	140
0080	0,080	0,055	180
0063	0,063	0,045	225
0056	0,056	0,040	275
004	0,040	0,030	325

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

Ситовой анализ – основной метод определения гранулометрического состава в порошковой металлургии. Главный недостаток 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 спрессованного изделия.

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

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

где V – объём готового изделия;

γ_k – плотность компактного (беспористого) материала;

$\tau = \gamma_k / \gamma_n$ – относительная плотность, %;

K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие потери порошка при прессовании и спекании;

γ_n – насыпная масса порошка.

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

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

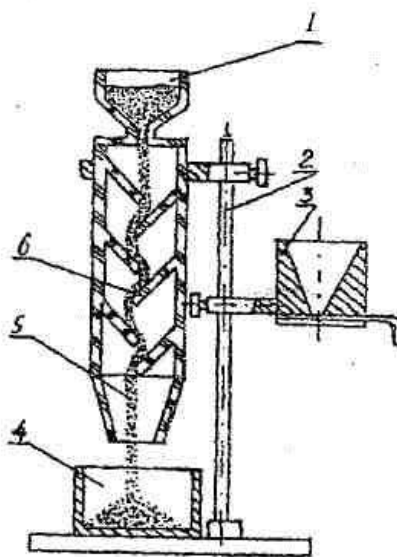


Рис.2. Схема волюмометра: 1 – воронка для порошка; 2 – стойка; 3 – прибор для определения сыпучести порошков; 5 – порошок; 6 — перегородка

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

Разветвлённая поверхность порошковых частиц, наличие адсорбированной влаги ухудшают сыпучесть порошка.

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

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

Сыпучесть порошков определяют на специальном приборе, совмещённом с волюмометром. Порцию порошка 50 – 100 г засыпают в конусную воронку с углом $6 \pm 0^\circ$. Диаметр отверстия обычно равен 4 мм. Отверстие закрывается специальной заслонкой, которая после заполнения воронки порошком открывается и одновременно включается секундомер. Таким образом, фиксируется время вытекания известной порции порошка. Сыпучесть (см. рис. 2) определяется отношением навески порошка (в граммах) ко времени вытекания порошка (в секундах).

Контрольные вопросы

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

Практическая часть работы

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

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

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

а) влияние метода получения порошков на их гранулометрический состав;

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

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

Материальное оснащение включает в себя: методическую разработку, приборы.

Содержание отчёта

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

2. Краткое описание методики определения свойств.

3. Схемы виброветряхивателя 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	-0,08	-0,063	-0,056	-0,04

		+0,125	+0,008	+0,063	+0,056	+0,04	(поддон)

Насыпная масса и сыпучесть порошков

Таблица 3

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

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными определениями и методикой исследования.

2. Ознакомиться с аппаратурой для определения свойств порошка.

3. Определить гранулометрический состав порошков: железного восстановленного, стального марки X18H15 распылённого или других. Для этого навеска каждого порошка 100 г помещается в набор сит и встряхивается в течение 15 – 20 минут. После отсева 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 $\begin{matrix} -0,08 \\ +0,063 \end{matrix}$ мм. Результаты ситового анализа заносятся в табл. 2.

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

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

6. Дать объяснение полученным результатам.

Библиографический список

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

ТЕМА № 4

ЛИТЬЕ В РАЗОВЫЕ ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ. ФОРМОВКА „

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

Теоретические сведения

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

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

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

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

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

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

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

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*, *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 операций при формовке в двух опоках (рис. 1, 2).

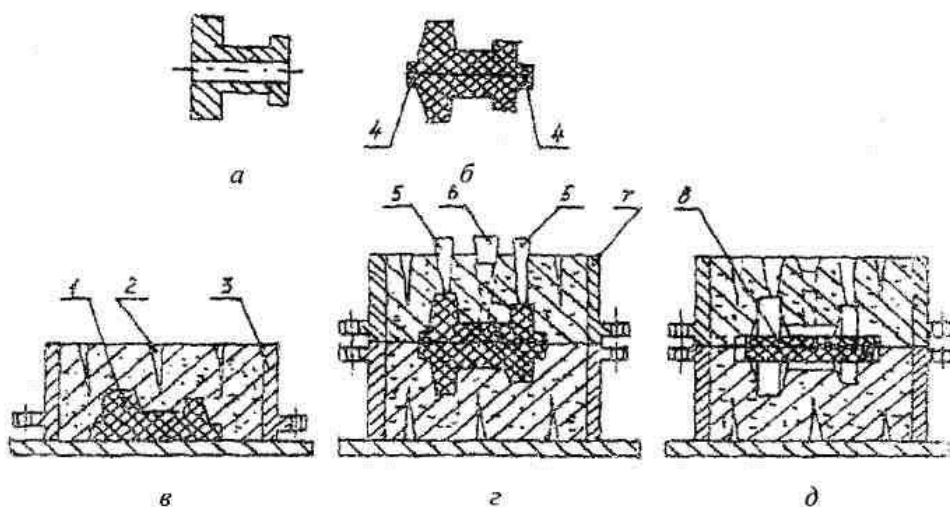


Рис. 1. Последовательность операций при формовке в двух опоках по разъемной модели: а – деталь; б – разъемная модель; в, г – изготовление нижней и верхней полуформ; д – форма в сборе; 1 - половина модели; 2 – вентиляционные каналы; 3 – нижняя опока; 4 – стержневые знаки; 5 – модели выпоров; 6 – модель литниковой системы; 7 – верхняя опока; 8 – стержень

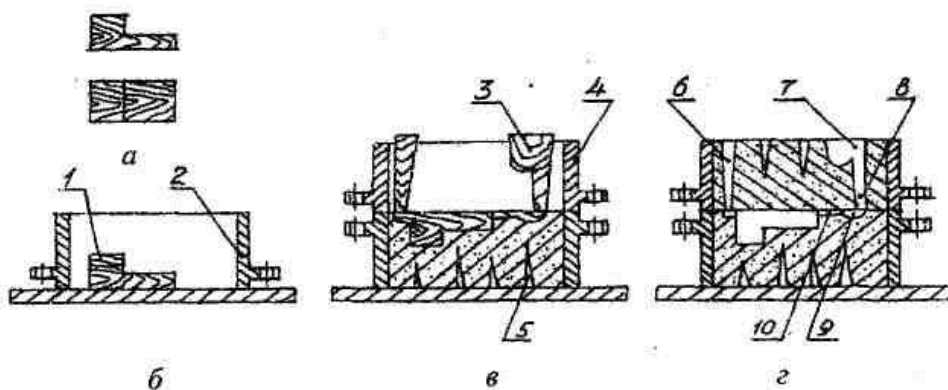


Рис. 2. Последовательность операций при формовке в двух опоках по неразъемной модели: а – модель отливки; б, в – изготовление нижней и верхней полуформ; г – форма в сборе; 1 – модель отливки; 2 – нижняя опока; 3 – модель литниковой системы; 4 – верхняя опока; 5 – вентиляционные каналы; 6 – выпор; 7 –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

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 разъёмной модели.
7. Последовательность операций ручной формовки в двух опоках по неразъёмной 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 разъёмной и неразъёмной моделям.

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

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

Содержание отчета

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

4. Схемы формовки.

Порядок выполнения работы

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

Библиографический список

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

ТЕМА № 5

ЛИТЬЕ ЛОПАТОК ГТД

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

Теоретические сведения

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

- а) по выплавляемым моделям, когда выплавляется модель из легкоплавких компонентов (парафин, стеарин, канифоль, церезин и др.);
- б) по выжигаемым моделям, когда модель из пенополистирола выжигается заливаемым металлом;
- в) по растворяемым моделям, когда разовая модель растворяется специальными составами.

Метод литья по выплавляемым моделям включает в себя следующие циклы:

- приготовление модельной массы;
- изготовление моделей и модельных блоков;
- изготовление керамической оболочки;
- выплавка моделей из формы;
- прокалка оболочек;
- заливка формы жидким металлом;
- выбивка отливки из формы, обработка отливок.

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

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

Изготовление керамических стержней

Стержни изготавливают запрессовкой стержневой массы в пресс-форму. В состав массы входят зернистый огнеупорный материал, связующий и пластификатор. В качестве зернистого материала применяют электрокорунд. В состав связующего входят двуокись титана (25%) и глинозём (75%). Пластификатор может состоять из парафина (90%) и полиэтилена (10%). Стержневая масса для лопаток I ступени турбореактивного двигателя состоит из 96% зернистого материала, 4% связующего и 15 – 16% пластификатора (сверх 100%). Нагретые до 130 – 170°С исходные материалы смешиваются. После охлаждения смеси нарезаются куски размерами 50x50x10 мм. Прессование керамических

стержней производится на гидравлическом прессе. При этом подогретая до 90 – 130°C смесь запрессовывается в металлическую форму при давлении прессования 30 – 50 кгс/см². После зачистки заусенцев стержни рихтуются в металлических драйерах. Для придания стержням механической прочности их обжигают в газовых печах при 1400°C в течение 10 – 12 часов. Обожженные стержни покрывают лаком КО-815 и сушат при комнатной температуре.

Изготовление моделей лопаток

Для изготовления моделей лопаток применяют различные модельные составы, например, карбамид (90%), селитра калиевая (10%). Смешивание этих материалов производится при температуре 125 – 130°C. Изготовление моделей производится свободной заливкой модельного состава в подогретую до 50 – 55°C металлическую пресс-форму. Перед заливкой модельного состава в пресс-форму устанавливают керамический стержень.

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

Изготовление керамических оболочковых форм

и подготовка их под заливку

Огнеупорная суспензия керамических оболочек готовится на основе дистенсилиманита или электрокорунда. В гидролизованый этилсиликат засыпается электрокорунд мелких фракций (№ 7 – 25%, № 3 – 40%, № 5 – 35%) и перемешивается, затем на модельные блоки наносится огнеупорная суспензия. Указанная операция производится путем окунания блоков в суспензию. Покрашенный модельный блок обсыпается электрокорундом в пескосыпе в жидкокипящем слое. Таким образом наносится несколько слоев (8 – 10) керамического покрытия в зависимости от размеров лопаток. Причем первый слой обсыпается электрокорундом № 20 – 25, второй и последующий – № 40 – 50. После нанесения каждого слоя производится сушка вакуумно-аммиачным способом с естественной сушкой на воздухе в течение 1 – 1,5

часов. Удаление модельного состава из керамических оболочек производится в горячей воде (90°C). После просушки оболочек при 150-180°C производится их прокалка при 950°C с выдержкой не менее 6 часов. После прокалики и охлаждения формы готовят к заливке. В литниковый ход чаши вставляют стопор из никелевой фольги (3 шт. толщиной 0,2 мм). Керамическая оболочка устанавливается в графитовую опоку. Пространство между стенками опоки и оболочкой заполняется графитовой крошкой (0,5 – 5 мм) с применением вибрации. В литниковую чашу закладывается навеска шихты жаропрочного сплава ЖС6ФВИ для лопатки I ступени весом 2,4 кг. Литниковая чаша закрывается керамической крышкой, графитовая опока закрывается графитовой крышкой.

На рис. 1 показана форма, подготовленная для заливки.

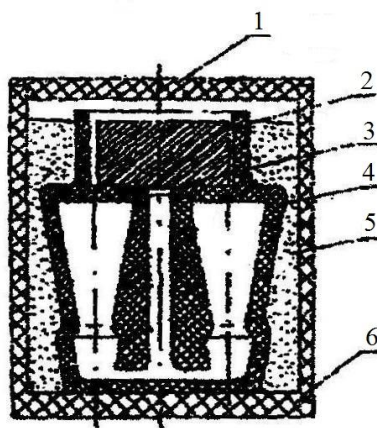


Рис. 1. Форма для литья лопаток: 1 – графитовая крышка; 2 – шихтовая заготовка; 3 – никелевая фольга; 4 – керамическая оболочка формы; 5 – графитовая засыпка; 6 – графитовая опока

Плавка, заливка и кристаллизация лопаток в печи ПМП-2

Принципиальная схема печи приведена на рис. 2.

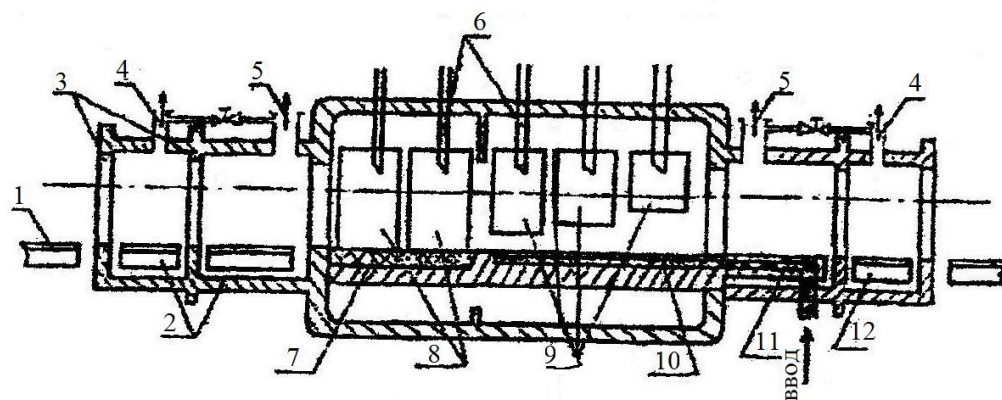


Рис.2. Схема печи ПМП-2: 1 – стол для загрузки с механизмом проталкивания опок; 2 – столы форкамер; 3 – вакуумные затворы; 4 – патрубок создания вакуума механическими насосами; 5 – патрубок создания вакуума диффузионными насосами; 6 – термопары; 7 – стол с графитовым покрытием; 8 – нагреватели в зонах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

Технические характеристики печи ПМП-2

Мощность P , кВт	530
Максимальная температура в зонах T , °С	
нагрева	1600
плавления	1700
кристаллизации	1500
Остаточное давление p , мм рт. ст.	0,001
Продолжительность выгрузки, мин	5...20
Максимальные размеры формы, мм	150x200x500

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

Рабочие температуры печи ПМП-2 по зонам

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

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

Обрезка литников, удаление стержней, контроль отливок

После охлаждения лопаток производится разрушение керамической оболочки. Лопатки от литников отрезаются вулканитовым кругом. Контроль макроструктуры производится по эталонам после травления в реактиве хлорного железа и соляной кислоты (FeCl_3 – 600 мм, HCl – 100 мл на 1 литр воды, время травления – 60 мин). Кристаллы должны быть направлены параллельно оси лопатки, количество кристаллов не более 4. Из лопаток удаляются стержни. Нагретые до 390 – 400°С лопатки в вертикальном положении загружают в расплав бифтористого калия (360 – 380°С и выдерживают 50 – 70 мин). Затем лопатки промывают в воде (80 – 90°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. Контроль лопаток производится следующими методами:

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

На рис. 3 приведены схемы лопаток.

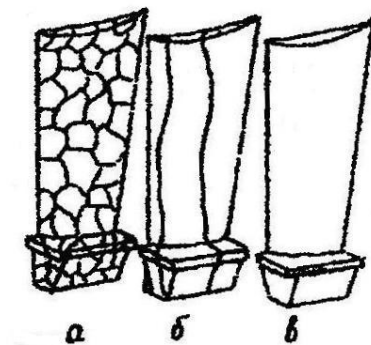


Рис. 3. Схема макроструктуры лопаток: а – равноосная, б – столбчатая, в – монокристаллическая

Контрольные вопросы

1. Сущность метода литья по выплавляемым моделям.
2. Разновидности методов литья по выплавляемым моделям, растворяемым 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. Прокатка оболочек и подготовка их к заливке.
8. Сравнение свойств лопаток со столбчатой и равноосной структурой.

Практическая часть работы

1. Изучение свойств литья по выплавляемым моделям.
2. Освоение конкретной технологии изготовления лопаток газовой турбины.
3. Практическое изучение операций технологии литья лопаток.
4. Изучение конструкции литых охлаждаемых лопаток.
5. Изучение микроструктуры литых лопаток и их свойств.

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

Содержание отчёта

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

Порядок выполнения работы

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

5. Оформление отчёта.

Библиографический список

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

ТЕМА № 6

ЛИТЬЕ В КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

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

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

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

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

Основа процесса – изготовление специальной жидкоподвижной керамической формовочной смеси. Эта смесь состоит из порошкообразного огнеупора, связующего и коагулятора. В качестве огнеупора применяют, как

правило, смесь кварцевого песка и маршаллита, связующим служит гидролизированный этилсиликат. Роль коагулятора выполняет 15%-й раствор NaOH.

Технологический процесс заключается в следующем (рис. 1). Огнеупорные материалы (кварцевый песок и пылевидный кварц - маршаллит) подготавливаются и засыпаются в барабан, где тщательно перемешиваются (рис. 1, а). В гидролизёре готовится этилсиликат. Гидролизированный этилсиликат подаётся в специальный бачок, 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 прокалки полуформы собирают и форма готова для заливки металлом (рис. 1, д)

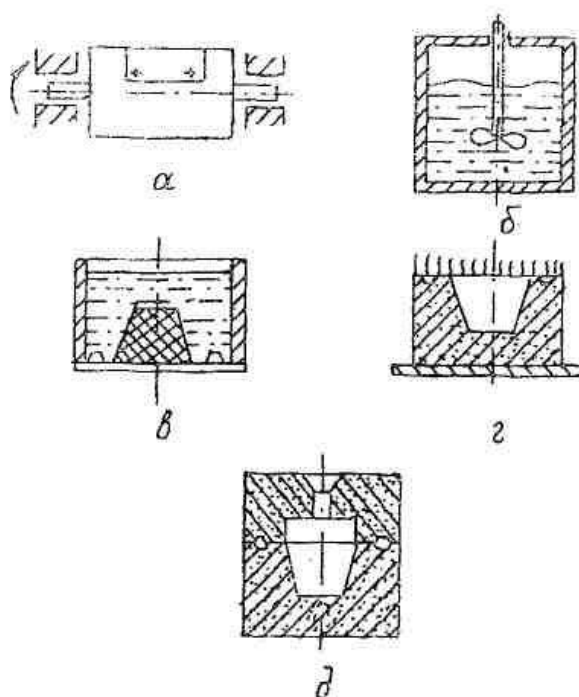


Рис. 1. Схема процесса изготовления керамической формы

Технология литья в керамические формы содержит элементы литья в песчаные формы: наличие разъёма в формах, применение модельно-опочной оснастки и др. Принципиальное же отличие способа заключается в применении специальной формовочной смеси. Это позволяет получать чёткий и точный опечаток 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 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 разъёму верхней и нижней полуформ. Ниже рассмотрены технологические особенности изучаемого процесса.

Приготовление формовочной смеси

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

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

Роль коагулятора играет 15%-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 резинообразное состояние, модель извлекается. После извлечения модели форма сразу же поджигается для удаления спирта и воды.

Обжиг и прокаливание форм

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

Процесс гидролиза этилсиликата сопровождается интенсивным выделением спирта. При поджигании спирт сгорает. Это вызывает растрескивание поверхности формы. Появляется сетка мелких 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°С в течение 3 часов и подаются на заливку.

Формы средних размеров обжигают при 350°С в течение 3 часов. Если форма предназначена для получения отливок с толщиной стенок менее 4 мм, то её прокаливают при температуре 900°С. Формы больших размеров прокаливают при температуре 900°С в течение 5 часов.

Заливка, выбивка и очистка отливок

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

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

Контрольные вопросы

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

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

Практическая часть работы

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

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

Содержание отчёта

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

Порядок выполнения работы

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

Библиографический список

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