

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ММС
академик РАН
_____ В. Е. Панин

Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу

**ПОРОШКОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И
ИЗДЕЛИЯ**

Томск

УДК 621.762; 621.064.07

Процессы порошковой металлургии: Метод. указ. по выполн. лаб. работ по курсу “Порошковые композиционные материалы и изделия” для студентов направления 22.04.01 — Материаловедение и технологии материалов — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 32 с.

Составители: доц., канд. техн. наук Б.Б. Овечкин,
канд. техн. наук С.В. Матренин

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры ММС

Зав. кафедрой
академик РАН _____ В. Е. Панин

Правила работы в лаборатории порошковой металлургии

Лабораторные работы проводятся с целью закрепления теоретических знаний, полученных студентами на лекциях, ознакомления их с технологическими приемами порошковой металлургии и привития им необходимых практических навыков.

При подготовке к лабораторным работам студент обязан ознакомиться с теорией рассматриваемого процесса или явления и с методикой проведения работы. Перед началом работ студент подвергается тестовому или устному контролю, после чего получает необходимые для выполнения работы исходные данные. Результаты выполненной работы проверяются преподавателем, и на их основании составляется отчет, анализируются данные, делаются выводы.

Во время работы в лаборатории студент обязан бережно обращаться с приборами и оборудованием, выполнять правила техники безопасности, а по окончании работы убрать поле себя рабочее место.

В связи со специфическими особенностями порошковой металлургии (токсичность и пирофорность порошков, взрывоопасность газовых сред, использование токов большой мощности и т.п.) при выполнении лабораторных работ по порошковой металлургии студент обязан:

1. проводить любые работы только после инструктажа по технике безопасности и росписи в специальном журнале;
2. выполнять лабораторную работу в строго установленные сроки, последовательности, с материалами и оборудованием, указанными в описании данной работы или преподавателем;
3. прежде, чем приступить к работе, ознакомиться с приборами и устройствами, используемыми для ее выполнения, и с правилами выполнения работы;
4. выполнять работу в застегнутой на все пуговицы одежде с забранными волосами; при необходимости использовать резиновые перчатки, брезентовые рукавицы, защитные очки и т.п.;
5. при обнаружении неполадок в оборудовании и приборах немедленно прекратить работу и доложить преподавателю или лаборанту.

При работе с порошками:

1. Все операции (просев, взятие навески, смешивание порошков, их дозировку в пресс-формы и т.п.) производить в помещении с хорошей вентиляцией, обращая особое внимание на то, чтобы не пылил порошок и не попадал бы на кожу лица и рук.
2. Порцию порошка брать с помощью совков, ложек.
3. При измельчении, смешивании и просеве порошков следить за

герметичностью оборудования. При возможности производить мокрое смешивание.

4. По окончании работы тщательно убрать рабочее место. Просыпавшийся на пол порошок смести влажной щеткой, а со стола - влажной тряпкой.

5. Хранить порошки в закрытой стеклянной или металлической таре, навески – в бумажных пакетах.

При работе на прессах исследование прессуемости порошков, а также прессование образцов и различных изделий в лаборатории, проводятся на гидравлических прессах, на которых прессование осуществляется в пресс-формах между подвижным столом пресса и неподвижной траверсой. Давление регистрируется с помощью специального приспособления. Детали пресс-форм (матрица, пуансоны, вкладыши и т.п.) изготавливаются из закаленной на высокую твердость инструментальной стали, поэтому все они очень тверды и хрупки и при неправильной технологии прессования могут разрушиться. При этом осколки, как правило, разлетаются во все стороны и могут травмировать людей, находящихся в помещении. В связи с этим при работе на прессах необходимо строго соблюдать следующие правила:

1. на лабораторном столе собрать пресс-форму, для чего в матрицу вставить нижний пуансон, засыпать в полость матрицы навеску порошка и вставить верхний пуансон;

2. собранную пресс-форму, поддерживая нижний пуансон, перенести на стол пресса и установить ее в центре стола, опустить предохранительный щиток;

3. с помощью электропривода дать необходимое по манометру давление на пуансон и выполнить прессование;

4. снять давление, установить пресс-форму на выпрессовочное кольцо и, прикладывая давление на верхний пуансон. Вытолкнуть прессовку из пресс-формы;

5. перенести все детали пресс-формы и спрессованный брикет на лабораторный стол, тщательно очистить и протереть детали пресс-формы и провести необходимые измерения на брикете.

Лабораторная работа №1

Определение технологических свойств порошков

Цель работы: Научиться определять насыпную плотность, плотность после утряски, текучесть, прессуемость металлических порошков.

Оборудование и материалы: волюмометр или стандартная воронка для определения насыпной плотности порошков, штатив, стальной мерный стакан объемом 25 см^3 , мензурка объемом 50 см^3 , прибор для определения плотности после утряски, мензурка объемом 20 или 10 см^3 , воронка для определения текучести порошков, гидравлический пресс, пресс-форма, микрометр, штангенциркуль, весы с погрешностью взвешивания до $0,05 \text{ г}$, секундомер, порошки меди, железа, алюминия.

Краткое теоретическое введение

Насыпной плотностью порошка называется плотность свободнонасыпанного порошка. Насыпная плотность выражает способность частиц порошка к укладке и зависит от удельной плотности данного металла и фактического заполнения порошком определенного объема. Плотность укладки частиц порошка в объеме зависит от дисперсности, формы и удельной поверхности частиц. Так как насыпная плотность является очень важной характеристикой, оказывающей влияние на технологию изготовления, то она указывается во всех технических условиях на металлические порошки, а метод ее определения стандартизирован.

Насыпная плотность определяется с помощью прибора, называемого волюмометром (рис.1), обеспечивающим одинаковые условия засыпки.

Засыпка порошка в волюмометр ведется через большую приемную воронку (1). Из малой воронки (2) частицы порошка падают на систему пластин. С последней пластины

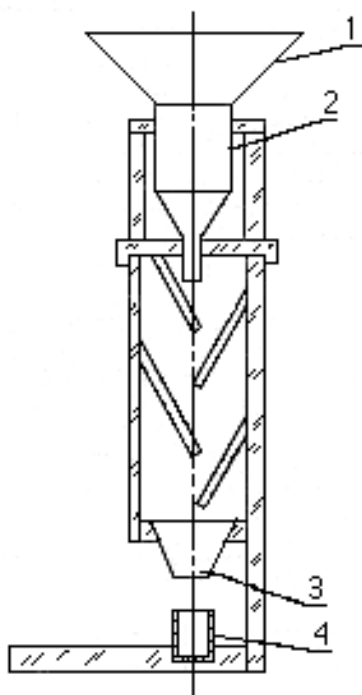


Рис.1. Схема волюмометра

частицы порошка через воронку скатываются в мерный стакан (4) емкостью 25 см^3 , который устанавливается на расстоянии $22 \pm 0,5 \text{ мм}$ от торца воронки (3), направляющей порошок в стакан. Стакан заполняют порошком до верха с некоторым избытком, который снимается пластиной из алюминия или покровным стеклышком до уровня стенок.

Для порошков с хорошей текучестью насыпную плотность определяют с помощью установки, изображенной на рис.2. Установка состоит из стандартной воронки (2), закрепляемой на штативе (1) и мерного стакана (3).

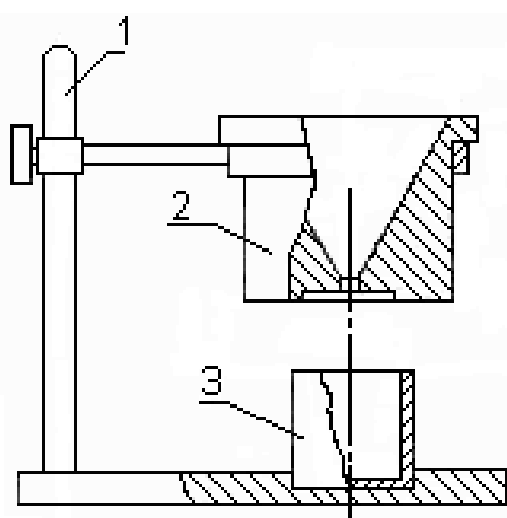


Рис.2. Установка для определения насыпной плотности

Плотность после утряски определяет способность порошка к уплотнению при утряске, что является важным при конструировании пресс-форм.

Плотность утряски определяется путем утряски определенного количества порошка и непосредственного отсчета этого объема в делениях мензурки. Для этой цели порцию порошка помещают в мензурку с небольшим поперечным сечением и устанавливают на прибор с механическим встряхивателем с частотой $100-300 \text{ мин}^{-1}$. После

проведения эксперимента определяют объем утряски и массу порошка.

Текучестью называется способность порошка заполнять собой объем определенной формы. Текучесть является очень важной, сложной комплексной характеристикой, зависящей от плотности порошков, гранулометрического состава, формы, состояния частиц и т.п.

Основными факторами, влияющими на текучесть порошков, являются трение и зацепление частиц друг о друга, затрудняющие перемещение частиц. В связи с этим она понижается при уменьшении размеров частиц, увеличении удельной их поверхности, шероховатости и усложнении формы. Значительно понижается текучесть влажного порошка. Наличие окисной пленки, наоборот, улучшает текучесть, так как она чаще всего снижает коэффициент трения и, сглаживая рельеф, уменьшает удельную поверхность. Отжиг порошков в защитных

атмосферах за счет агломерирования частиц, сглаживания их поверхности и понижения влажности повышает текучесть.

Текучесть порошков определяется скоростью истечения порошка через выходное отверстие носика воронки диаметром 2,5 мм. Для этой цели просушенная навеска порошка в 50 г насыпается в воронку с углом конуса 60° и носиком, срезанным под прямым углом на расстоянии 3 мм от конуса воронки. Перед засыпкой порошка выходное отверстие воронки закрывается заглушкой. Снизу подставляется цилиндр-уловитель. После наполнения воронки порошком открывают носик воронки и одновременно включают секундомер.

Порядок выполнения работы

1. В течение 30 мин. студенты изучают методическое пособие, делая необходимые записи.

2. Определить насыпную плотность исследуемых порошков, для чего собрать установку для определения насыпной плотности в соответствии с рис.1, отмерить 50 см^3 исследуемого порошка с помощью мензурки. Затем взвесить стальной мерный стакан, установить стакан под воронку, высыпать пробу порошка в воронку.

После полного истечения порошка удалить избыточное количество порошка однократным движением алюминиевой пластины или предметного стекла. Взвесить стакан с порошком.

Вычислить массу порошка по формуле:

$$m = m_2 - m_1,$$

где m_2 – масса стакана с порошком, г;

m_1 – масса пустого стакана, г.

Вычислить насыпную плотность исследуемого порошка по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = m/25.$$

Произвести испытания на каждом из исследуемых порошков 3 раза, насыпную плотность определить как среднее арифметическое:

$$\rho_{\text{нас ср}} = (\rho_{\text{нас1}} + \rho_{\text{нас2}} + \rho_{\text{нас3}})/3, \text{ г/см}^3.$$

3. Определение плотности порошков после утряски. Насыпать 25 см^3 исследуемого порошка в мензурку, установить ее в держатель встряхивателя и провести испытание до прекращения изменения объема порошка.

Плотность после утряски вычисляют по формуле:

$$\rho_{\text{ут}} = m/V, \text{ г/см}^3,$$

где m – масса навески порошка, г;

V – объем после утряски, см³.

Плотность утряски определяется как среднее арифметическое результатов трех испытаний.

4. Определение текучести порошков.

Установить воронку для определения текучести на штатив, закрыть отверстие, высыпать навеску порошка 50 г в воронку, открыть отверстие и одновременно включить секундомер. Определить время полного истечения порошка через воронку, вычислить текучесть по формуле:

$$v=m/t, \text{ г/с.}$$

Испытание провести не менее 3-х раз, вычислить среднее значение текучести.

Лабораторная работа №2 Определение гранулометрического состава порошков методом ситового анализа

Цель работы: Научиться определять гранулометрический состав металлических порошков методом ситового анализа.

Оборудование и материалы: комплект сит, виброустановка, весы, порошки железа, меди, алюминия.

Краткое теоретическое введение

Размер частиц порошка является очень важной характеристикой. Величина частиц, и особенно так называемый набор зернистости, т. е. соотношение количеств частиц разных размеров (фракций), выраженное в процентах, входят в технические условия на порошки в качестве обязательного требования. От размера частиц порошков в сочетании с другими свойствами зависит насыпная плотность, усадка при спекании и механические свойства готовых изделий.

При спекании прессовок из мелких порошков обычно наблюдается усадка, т.е. уменьшение размеров изделий, а при спекании прессовок из крупных порошков, наоборот, иногда происходит рост, т.е. увеличение размеров. Поэтому, комбинируя в определенных пропорциях различные фракции крупности порошка, стараются получить такую смесь, которая обеспечивала бы минимальное изменение изделий при спекании.

Порядок выполнения работы

1. В течение 30-ти минут студенты изучают методическое

указание, делая необходимые записи.

2. Для проведения ситового анализа сита устанавливаются друг над другом. Наверху помещается сито с самыми крупными ячейками, а внизу — с самыми мелкими. Для анализа берется навеска порошка в 50 г, которая насыпается на верхнее сито и просеивается с помощью вибратора в течение 10—15 мин.

3. После просева каждая фракция порошка взвешивается.

4. Вычислить процентное содержание каждой фракции по формуле:

$$X = (m_n / \Sigma m_n) \cdot 100\%,$$

где m_n – масса определенной фракции.

5. Результаты анализа записать в таблицу

Фракция частиц	Содержание фракции X, %
+250	
-250+200	
-200+160	
-160+125	
-125+008	
-008+0063	
-0063+0045	

Для каждого порошка ситовый анализ проводят не менее двух раз и считают среднее арифметическое результатов параллельных измерений.

Выводы представить в виде таблицы и в виде графиков распределения размера частиц.

Лабораторная работа №3

Определение гранулометрического состава порошков микроскопическим методом

Цель работы: Научиться определять гранулометрический состав порошков ускоренным микроскопическим методом «секущих».

Оборудование и материалы: оптический микроскоп, объект-микромметр, порошки железа, меди, алюминия.

Краткое теоретическое введение

Анализ гранулометрического состава порошков путем

непосредственного измерения размеров частиц является весьма кропотливым и трудоемким методом. В связи с этим нередко используют ускоренный микроскопический метод, так называемый метод «секущих». По этому методу определяют размеры лишь только тех частиц, которые пересекаются линейкой окуляр-микрометра, при этом записываются только линейные размеры «сечений» частиц.

После подсчета всех зерен шкала окуляр-микрометра поворачивается на некоторый угол, и вновь производится подсчет. Всего на каждом поле подсчет производится при трех-пяти секущих. Общее количество измеренных частиц должно быть не менее 200.

Полученные данные в делениях шкалы окуляр-микрометра пересчитываются в микрометрах и заносятся в таблицу, где в качестве итога представляется процентный состав порошка по фракциям.

Пересчет в микрометрах производится с помощью объект-микрометра, который представляет собой небольшую стеклянную пластинку со шкалой. Цена деления шкалы указывается в паспорте объект-микрометра (обычно она равна 0,01 мм).

Для измерения цены деления окуляр-микрометра на столике микроскопа укрепляют объект-микрометр и рассматривают его шкалу в микроскопа. Перемещая столик микроскопа, совмещают первые штрихи обеих шкал, а затем находят вторую пару совпавших штрихов. Цена деления окуляр-микрометра определится по формуле:

$$a_1 = (a_2 \cdot n_2) / n_1,$$

где a_2 – цена деления шкалы объект-микрометра (0,01мм), n_2 – число делений шкалы объект-микрометра, n_1 – число делений шкалы окуляра в пределах совпавших штрихов.

Порядок выполнения работы

1. Навеску порошка массой 10 г тщательно перемешать, небольшое количество перенести на предметное стекло и поместить на стол микроскопа.

2. Навести микроскоп на резкость. Подобрать увеличение таким образом, чтобы наибольшие частицы занимали до 3 – 5 делений шкалы окуляр-микрометра.

3. Измерить размеры и подсчитать количество частиц, лежащих на шкале окуляра в следующем порядке: <1 дел., 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 дел., данные внести в таблицу.

Таблица

№ поля	№ сечения	Количество частиц				
		<1 дел. мкм	1-2 дел.	2-3 дел.	3-4 дел.	4-5 дел.
1	1					
	2					
	3					
2	4					
	5					
3	6					
	7					
	8					
4	9					
	10					
	11					
12						
Количество частиц каждой фракции n						
d_{cp} , мкм						
V_{ϕ} , мкм ³						
$V_{общ}$, мкм ³						
X, %						

4. Поворачивая шкалу, повторить измерения в 3 – 4 ее положениях, затем повторить пп.1 – 4 на 3 – 4 полях зрения.

5. Определить цену деления шкалы окуляра, пересчитать размеры частиц в мкм, внести в таблицу.

6. Вычислить средний размер частиц каждой фракции по формуле:

$$d_{cp} = (d_{min} + d_{max})/2, \text{ мкм}$$

где d_{min} и d_{max} - предельные размеры частиц данной фракции, затем

средний объем одной частицы фракции:

$$V_{ч} = d_{cp}^3, \text{ мкм}^3,$$

средний объем всех частиц каждой фракции:

$$V_{\phi} = nV_{ч}, \text{ мкм}^3,$$

и общий объем всех частиц всех фракций:

$$V_{общ} = \sum V_{\phi}, \text{ мкм}^3.$$

7. Определить гранулометрический состав порошка по формуле:

$$X = (V_{\phi}/V_{общ})/100\%.$$

Лабораторная работа № 4
Определение пикнометрической плотности порошков

Цель работы: научиться определять плотность порошков пикнометрическим методом.

Оборудование и материалы: пикнометр, пикнометрическая жидкость (керосин, бензол и т. п.), дистиллированная вода, весы, вакуумный эксикатор, вакуумный насос, металлические порошки.

Краткое теоретическое введение

Фактическая плотность частиц порошка значительно отличается от плотности, вычисленной на основе рентгенографических данных при определении кристаллической решетки материала порошка. Это различие в плотности объясняется наличием в металле порошка значительной внутренней пористости, дефектами кристаллических решеток, присутствием окислов и т. п. Фактическую плотность порошков определяют пикнометрическим методом.

Пикнометрическая плотность порошков определяется на пикнометре, который представляет собой мерный сосуд с определенным объемом (5, 10, 25, 50 мл).

Перед определением проверяют объем пикнометра и взвешивают массу чистого сухого пикнометра m_1 . Затем определяют плотность пикнометрической жидкости в качестве которой могут быть использованы жидкости, хорошо смачивающие металл частиц порошка и одновременно инертные к нему, обладающие стабильной плотностью и минимальными значениями таких характеристик, как упругость паров, вязкость, поверхностное натяжение, размер молекул. Обычно в качестве жидкостей, удовлетворяющих этим требованиям, применяются керосин, бензол, бензоловый спирт.

При определении плотности пикнометрической жидкости ее вначале подвергают вакуумной дегазации, а затем заливают в пикнометр до мерной риски и вместе с пикнометром взвешивают (m_2). Тогда плотность жидкости определится по формуле:

$$\rho_{\text{ж}} = (m_2 - m_1) / V_{\text{п}}, \text{ г/см}^3,$$

где $V_{\text{п}}$ — объем пикнометра.

Пробу порошка просушивают, а затем на 1/2—2/3 ею заполняют сухой и чистый пикнометр и вновь взвешивают (m_3). После этого оставшийся свободный объем пикнометра заливают пикнометрической жидкостью, не доливая ее до мерной риски пикнометра. Пикнометр с порошком и жидкостью помещают в вакуумный эксикатор, в котором он выдерживается до тех пор, пока не прекратится выделение газов,

адсорбированных порошком. В результате вакуумирования уровень жидкости в пикнометре понизится. После окончания дегазирования пикнометрическая жидкость доливается до мерной риски пикнометра и он с порошком и жидкостью взвешивается (m_4). Определение пикнометрической плотности порошка производится по формуле:

$$\rho_{\text{п}} = (m_3 - m_1) / V_{\text{п}} - ((m_4 - m_3) / \rho_{\text{ж}}), \text{ г/см}^3$$

Порядок выполнения работы

1. Определить объем пикнометра, его массу, вычислить плотность пикнометрической жидкости.
2. Прокалить пробу порошка, заполнить ею пикнометр, взвесить.
3. Залить в пикнометр с порошком пикнометрическую жидкость и, поместив в вакуумный эксикатор, откачать адсорбированные в порошке газы. Долить до мерной риски пикнометр пикнометрической жидкостью, взвесить пикнометр с порошком и жидкостью.
4. По формуле определить пикнометрическую плотность.

Лабораторная работа № 5

Влияние давления прессования на уплотнение брикета

Цель работы: изучить закономерности уплотнения порошковых материалов в стальной пресс-форме.

Оборудование и материалы: гидравлический пресс, пресс-форма, весы лабораторные, микрометр, штангенциркуль, порошки.

Краткое теоретическое введение

Прессуемостью металлических порошков называется способность порошка под влиянием сжимающих усилий образовывать брикет заданной и минимально допустимой плотности. Прессуемость металлических порошков является важнейшей технологической характеристикой, она является функцией пластичности металла и зависит от способности порошка к обжатию и уплотнению в процессе прессования, т.е. уплотняемости, способности сохранять форму после выпрессовки из пресс-формы — формуемости. Хорошая уплотняемость порошков облегчает процесс прессования, так как требуется меньшее давление порошков для достижения заданной плотности, а при хорошей формуемости получаются более прочные, несыпавшиеся заготовки.

Существенное влияние на прессуемость порошков оказывают

размеры и форма частиц. Чем меньше частицы и чем более развита их поверхность (например, электролитические порошки), тем, как правило, хуже их уплотняемость. Однако прочность прессовок из мелких порошков, особенно при их сильно развитой поверхности, оказывается значительно более высокой, чем прочность прессовок, изготовленных из крупнозернистого порошка того же металла. Порошки правильной формы и с гладкой поверхностью частиц имеют хорошую уплотняемость, но не обеспечивают хорошей формуемости и достаточной прочности из разных по величине частиц, обладают большой насыпной плотностью и обеспечивают максимальную прочность прессовок. Оптимальное соотношение между мелкими и крупными частицами определяется расчетным или опытным путем.

Большое влияние на прессуемость порошков оказывает твердость металла частиц. Чем выше твердость металла порошков, тем требуется большее давление прессования. Отжиг порошков снижает твердость металла и значительно повышает уплотняемость и формуемость.

Характеристикой уплотняемости порошков является диаграмма прессования, построенная в координатах «плотность-давление прессования» (рис.3). Эта зависимость в общем виде может быть выражена монотонной кривой с характерными участками: 1 - быстрое нарастание плотности за счет более плотной упаковки частиц порошка и устранения арочного эффекта; 2,3 – дальнейшее постепенно замедляющееся увеличение плотности с ростом давления прессования, обусловленное деформацией самих частиц порошка.

Формуемость порошка характеризуется интервалом плотности, ограниченным значениями минимальной и максимальной плотности, при котором брикет не имеет разрушений после извлечения из пресс-



Рис.3 Диаграмма прессования

формы.

Из аналитических зависимостей достаточно просто и точно связывающих плотность с давлением прессования можно выделить уравнение М.Ю.Бальшина.

$$\lg P = -m \lg \beta + \lg P_{\max}$$

или

$$\lg P = -m \lg \theta + \lg P_{\max}$$

где P - давление прессования; МПа.

P_{\max} - расчетное максимальное давление, необходимое для получения беспористого материала, МПа;

β - относительный объем прессовки; %

θ - относительная плотность; %

m - показатель прессуемости, зависящий от свойств порошка.

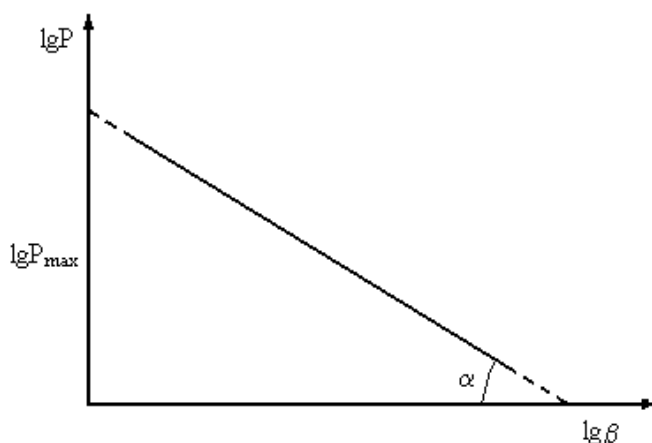


Рис.4. Зависимость относительного объема от давления прессования

Графически это уравнение выражается прямой линией (рис.4). Из графика видно, что показатель прессуемости « m » численно равен $\operatorname{tg} \alpha$.

Таким образом, о характере прессуемости порошка в каждом конкретном случае следует судить по диаграммам прессуемости и по характеру кривой $\lg \beta = f(\lg P)$.

Порядок выполнения работы

1. Взвесить по 5 навесок порошков меди и железа массой 4 г, алюминия – 2 г. Спрессовать порошки в пресс-форме при давлениях 100, 150, 200, 300, 500 МПа, предварительно рассчитав нужное усилие прессования по формуле:

$$F = P \cdot S, \text{ МН,}$$

где P – давление прессования, МПа;

S – площадь прессования, м^2 .

С помощью штангенциркуля или микрометра определить размеры, массу, вычислить объем и плотность полученных образцов по

формулам:

$$\rho_{\text{п}} = m/V_{\text{п}}, \text{ г/см}^3,$$
$$\theta = (\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{т}}) \cdot 100\%,$$

где m – масса прессовки, г,

$V_{\text{п}}$ – объем прессовки, см^3 ,

$\rho_{\text{т}}$ – теоретическая плотность, г/см^3 .

2. Определить относительный объем.

Учитывая, что массы навесок одинаковы, имеем:

$$\beta = \frac{V_{\text{п}}}{V} = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{п}}} \frac{m_{\text{п}}}{m} = \frac{1}{\Theta}, \text{ в долях.}$$

где V – объем беспористого образца, г/см^3 ;

$m_{\text{п}}$, m – массы навесок, г.

3. На основании экспериментальных и расчетных данных построить диаграммы уплотнения порошков $\theta=f(P)$ и $\lg\beta=f(\lg P)$, из угла наклона прямой $\lg P = -m \lg \beta + \lg P_{\text{max}}$ определить показатель прессуемости m , численно равный $\text{tg}\alpha$.

В выводах необходимо проанализировать влияние давления прессования на уплотняемость и формуемость металлических порошков.

Лабораторная работа № 6

Распределение плотности по объему спрессованного брикета

Цель работы: показать распределение плотности по высоте брикета, влияние на это распределение смазки, отношения высоты к диаметру, метода прессования (одно и двухстороннее).

Оборудование и материалы: гидравлический пресс, пресс-форма, металлическая фольга, микрометр, весы, порошки железа, меди, алюминия, моторное масло.

Краткое теоретическое введение

При прессовании металлических порошков в пресс-форме наблюдается неравномерное распределение плотности по объему спрессованного брикета. Это связано в первую очередь с наличием трения порошка о стенки пресс-формы. Причем, неравномерность распределения плотности наблюдается как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. При одностороннем прессовании каждый выше лежащий слой порошка оказывается плотнее, чем нижележащий (при нагружении верхним пуансоном). Кроме того, происходит изгиб слоев порошка в спрессованном брикете, в

соответствии с которым плотность верхнего слоя увеличивается от центра к периферии, нижнего – от периферии к центру.

Неравномерное распределение плотности по объему брикета является нежелательным явлением, потому что вызывает неравномерную усадку и коробление при спекании и может привести к браку.

Уменьшить неравномерность распределения плотности по объему прессовок позволяет использование смазки при прессовании, уменьшение отношения высоты брикета к его диаметру (h/d), а также использование метода двухстороннего прессования.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить по 4 навески каждого из исследуемых порошков (железа и меди по 1,5 г, алюминия – 1 г), поместить их в пресс-форму, тщательно выравнивая поверхность порошка и разделяя их фольгой.

2. Провести прессование под давлением 200 - 400 МПа.

3. После выпрессования брикета, его взвешивают, измеряют общую высоту H и диаметр d . Зарисовывают расположение в нем прокладок. Затем брикет разделяют на отдельные части (по прокладкам), которые нумеруют, зарисовывают форму каждой части, начиная с ближайшей от пуансона. Измеряют высоту каждой части h_n по центру, периферии. Вычисляют плотность всего брикета и каждой отдельной части брикета.

4. Расчеты сводятся в таблицу, по данным которой строится график зависимости плотности от расстояния до пуансона.

5. Смазать пресс-форму маслом и провести аналогичные исследования влияния смазки на распределение плотности по объему брикета, а также вида прессования (двухстороннее).

6. Эксперименты провести 3 раза, полученные результаты усреднить.

В выводах следует рассмотреть распределение плотности по высоте брикета, влияние на это распределение смазки, отношения h/d , метода прессования.

Лабораторная работа № 7

Определение затрат усилия прессования на трение порошка о стенки пресс-формы

Цель работы: определить затраты усилия прессования на внешнее трение в зависимости от высоты брикета и давления

прессования для различных металлических порошков.

Оборудование и материалы: пресс, пресс-форма, измерительный микроскоп, металлические порошки.

Краткое теоретическое введение

Наличие внешнего трения (трения порошка о стенки пресс-формы) приводит к потере давления прессования, которое может достигать 30 - 40 % от общего усилия прессования и зависит от свойств порошков, отношения высоты к диаметру образцов, состояния поверхности полости пресс-формы. При всех прочих равных условиях потеря усилия прессования на преодоление трения порошка о стенки пресс-формы пропорциональна коэффициенту трения порошка о них.

Введение в порошок смазки, позволяет существенно понизить коэффициент трения и тем самым сократить потери усилия прессования на преодоление сил трения.

Вводимые в порошок смазки, делятся на инертные и активные. Инертные - те, которые не взаимодействуют с порошками, снижают трение между порошком и стенками матрицы, практически не оказывают заметного влияния на трение между частицами. Введение смазки способствует уменьшению неравномерного распределения плотности по объему брикета и тем самым повышает его среднюю плотность.

Поверхностно-активные смазки взаимодействуют с прессуемым порошком, проникая в микропоры и микротрещины за счет действия капиллярных сил. При этом возникают расклинивающие усилия, которые облегчают деформацию частиц или их разрушение. Эти вещества, например, олеиновая кислота, более заметно снижают давление прессования, необходимое для достижения заданной плотности брикета, чем инертная смазка.

Передача усилия при прессовании порошков может быть представлена схемой (рис.5), где P - усилие прессования, P_1 - часть усилия прессования, передаваемая порошку и доходящая до нижнего торца брикета, P_2 - часть усилия прессования, передаваемая матрице за счет трения частиц о ее поверхность.

Измерение усилий в данной работе производится методом вдавливания стальных шариков в подкладки из материала с известной твердостью. Усилие прессования P , приложенное от пуансона к брикету, частично передается силами трения брикета о стенки пресс-формы на матрицу. В результате на прокладке (6), на которую опирается матрица, остаются отпечатки трех шариков (7). Общая площадь этих отпечатков обозначается через ΣS_2 . Другая часть усилия

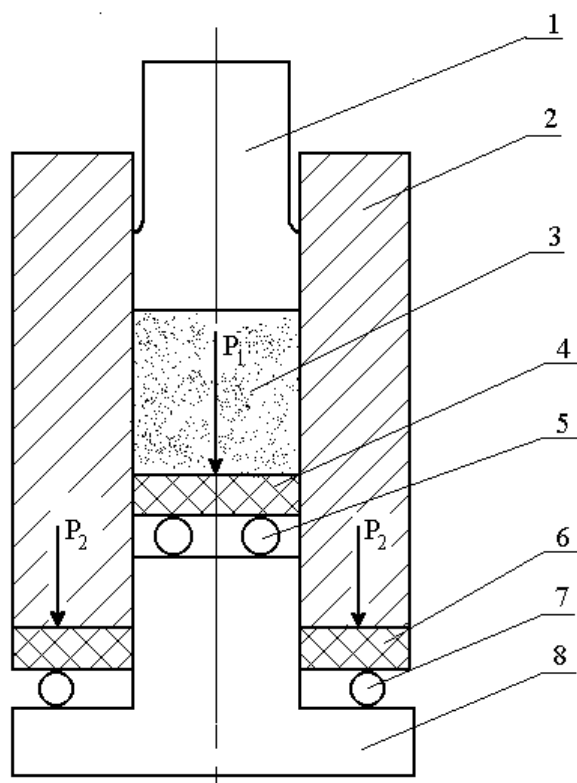


Рис.5. Схема пресс-формы: 1,8 – пуансоны; 2 – матрица; 3 – порошок; 4,6 – медные прокладки; 5,7- стальные шарики

передается через брикет на другую прокладку (4), которая в свою очередь опирается на три шарика (5) с общей площадью их отпечатков ΣS_1 .

Относительная потеря усилия прессования на внешнее трение соответственно будет равна

$$\Delta P_{\text{тр}}/P = P_2/P.$$

При условии равенства прокладок можно заменить значения усилий P_1 и P_2 соответствующими общими площадями отпечатков ΣS_1 и ΣS_2 . Тогда

$$\Delta P_{\text{тр}}/P = \Sigma S_2 / \Sigma S_1 + \Sigma S_2.$$

Порядок выполнения работы

1. Собрать пресс-форму по схеме, спрессовать брикеты при давлениях 50, 100, 200, 300 МПа.

2. После выпрессовывания брикета из пресс-формы с помощью измерительного микроскопа измерить диаметр отпечатков на кольцевой и сплошной (под пуансоном) пластинках.

3. Рассчитать суммарную площадь отпечатков в мм^2 , затем вычислить значения P_1 и P_2 и относительную потерю усилия прессования $\Delta P_{\text{тр}}/P$, %.

4. Испытания провести 3 раза, по полученным данным рассчитать среднее значение потерь.

5. Полученные результаты свести в таблицу, построить графики зависимости $\Delta P_{тр} / P = f(P)$.

В выводах студент должен проанализировать влияние различных добавок на величину относительной потери усилия прессования при различных давлениях прессования.

Лабораторная работа № 8

Определение упругого последействия и усилия выталкивания после прессования

Цель работы: изучить влияния давления прессования на величину упругого последействия и усилия выталкивания.

Оборудование и материалы: пресс, пресс-форма, микрометр, порошки железа, меди, алюминия.

Краткое теоретическое введение

Явление увеличения размеров спрессованного брикета при выпрессовывании из пресс-форм под действием упругих сил называется упругим последействием.

Основная доля упругого расширения реализуется непосредственно после выпрессовки брикета из матрицы, однако некоторое увеличение размеров может происходить в течение нескольких часов и дней после выпрессовки. Упругое последействие по высоте брикета выражено сильнее, чем в поперечном направлении. Это связано с большим значением вертикального давления по сравнению с боковым.

Величина упругого последействия зависит от свойств прессуемого порошка (размера, формы и состояния поверхности частиц, содержания окислов, механических свойств материала частиц порошка, давления прессования, наличия и вида смазки и др.).

Количественно величина упругого расширения может быть определена как относительное изменение линейных размеров по высоте и в радиальном направлении:

$$\delta_h = ((h_1 - h_0) / h_0) \cdot 100\%,$$

$$\delta_d = ((d_1 - d_0) / d_0) \cdot 100\%,$$

где h_0 и d_0 - высота и диаметр брикета, находящегося в пресс-форме под действием давления прессования, мм, h_1 и d_1 , - высота и

диаметр прессовки после выпрессовывания из матрицы, мм.

Знание закономерностей упругого последействия спрессованных брикетов необходимо при проектировании пресс-форм.

Величина усилия, необходимая для выталкивания брикета из пресс-формы P_v определяется силами трения брикета о стенки матрицы, которые зависят от коэффициента трения порошка о матрицу и от бокового давления. Таким образом, давление выталкивания зависит от упругого последействия, проявляющегося после снятия нагрузки до выталкивания брикета.

Если бы в спрессованном брикете в пресс-форме после снятия давления не было объемных изменений, то усилие выталкивания равнялось бы величине потери усилия в конце процесса прессования на трение порошка о стенки матрицы

Приближение к этим условиям возможно для пластичных металлов с невысокой твердостью, частицы которых при прессовании сильно деформируются и взаимозаклиниваются. Действие сил упругого последействия ослаблено невысокой твердостью, что обуславливает малые напряжения на контактных участках.

Так, усилия на верхнем и нижнем торцах не равны. Затрата усилия прессования на преодоление внешнего трения выражается уравнением

$$\ln P_0 / P_h = \ln P_0 - \ln P_h = 4f \zeta (h/d),$$

где P_0 , P_h – усилия на верхнем и нижнем торцах брикета, d, h – диаметр и высота брикета, ζ – коэффициент бокового давления, f – коэффициент трения порошка о матрицу. Усилие выталкивания P_v не равно затрате усилия прессования на внешнее трение $P_{тр}$. Для хрупких и твердых материалов P_v может быть в несколько раз меньше, чем $P_{тр}$. Для мягких и пластичных металлов P_v на 10-25 % меньше $P_{тр}$.

Усилие выталкивания снижается с уменьшением отношения $H:D$ и при применении смазок.

Порядок выполнения работы

1. Спрессовать из железного порошка образец методом одноосного статического прессования при давлениях 100 МПа. Высоту прессовки под давлением определить по измерительной линейке пресса.

2. Определить относительное изменение размеров брикета и усилие выталкивания после выпрессовки из матрицы.

3. Повторить п.1,2 при давлениях 150, 200, 300, 500 МПа.

4. Построить графики зависимости упругого последействия и усилия выталкивания от давления прессования.

5. Повторить пп. 1-4 для медного и алюминиевого порошков.

6. Эксперименты провести 3 раза, рассчитать средние значения упругого последействия и усилия выталкивания.

В выводах необходимо отразить, как влияет на упругое последействие (по высоте и диаметру), в т.ч. для разных материалов, давление прессования, а также давление прессования на усилие выталкивания.

Лабораторная работа № 9

Гидростатическое прессование порошков

Цель работы: изучить зависимости относительной плотности брикета от давления, показать характер распределения плотности по объему.

Оборудование и материалы: гидростат УВД-7, резиновые контейнеры, весы, установка для гидростатического взвешивания, порошок меди.

Краткое теоретическое введение

Наиболее распространенные на практике методы формования порошковых материалов в жестких пресс-формах имеют ряд существенных недостатков:

- а) неравномерность распределения плотности (пористости) прессовок по объему изделия,
- б) ограниченная возможность и сложность изготовления крупногабаритных изделий,
- в) трудность получения качественных прессовок сложной формы.

Указанные выше недостатки вызывают низкие механические свойства изделий из металлических порошков. Поэтому для устранения их осваиваются новые методы прессования порошковых материалов: гидростатическое прессование, прокатка порошков, динамическое (взрывное, высокоскоростное, гидроимпульсное) прессование и др.

Одним из перспективных методов формования является гидростатическое прессование. Основным преимуществом этого метода является возможность изготовления заготовок с равномерно распределенной плотностью. Кроме того, отсутствие внешнего трения порошка о стенки инструмента позволяет получать крупногабаритные изделия, причем размеры изделий ограничены только размерами камеры высокого давления.

Получение более высоких плотностей при гидростатическом

прессовании в сравнении с прессованием в жестких пресс-формах объясняется отсутствием внешнего трения, различными условиями деформации частиц, характером перемещения частиц под действием всестороннего равномерного сжатия.

Гидростатическое прессование обычно проводится в резиновых, полиуретановых и других гибких оболочках. Так как порошку, заключенному в такую эластичную оболочку, трудно придать заданную геометрическую форму, часто применяют дополнительные металлические обоймы (гильзы), в которые помещают эластичную оболочку, а края выводят за пределы гильзы. Для обеспечения равномерной плотности обойму с порошком подвергают вибрации на специальном стенде. Жидкость, передающая давление, должна быть химически инертной к материалу обоймы, уплотнениям, эластичной оболочке. Чаще всего это различные масла, глицерин и др.

Порядок выполнения работы

1. Порошок засыпается в резиновый контейнер, который закрывается резиновой крышкой и помещается в гидростат. Прессование производится при давлениях 500, 100, 150, 200, 300 МПа. После окончания прессования контейнер извлекается из камеры гидростата, из него извлекают брикет.

2. Измеряется общая высота и диаметр брикета; брикет взвешивается на весах и рассчитывается средняя плотность. После этого он разделяется на 3 части по высоте и определяется плотность каждой из них.

Результаты работы сводятся в таблицу, по данным которой строятся графики зависимости плотности от давления прессования.

В выводах следует отразить влияние гидростатического прессования на распределение и плотности по объему спрессованного брикета.

Лабораторная работа № 10

Спекание однокомпонентных систем

Цель работы: исследовать влияние гранулометрического состава порошков, давления прессования, температуры спекания и времени изотермической выдержки на плотность, пористость, коэффициент усадки, твердость, микроструктуру спеченных брикетов.

Оборудование и материалы: виброустановка для рассева порошков, набор сит, пресс, пресс-форма, вакуумная печь, прибор для определения твердости, оптический микроскоп, весы, микрометр,

железный порошок.

Краткое теоретическое введение

Спекание однокомпонентных металлических систем, происходящее полностью в твердой фазе, является одним из наиболее простых и распространенных процессов в практике порошковой металлургии.

При нагревании брикетов удаляются адсорбированные газы, влага, смазочные и связующие вещества и другие летучие примеси, восстанавливаются окисные пленки, если спекание производится в восстановительной атмосфере. Это приводит к образованию контактов между соприкасающимися частицами.

При дальнейшем повышении температуры атомы приобретают достаточно высокую подвижность и перемещаются так, что свободная энергия системы понижается, то есть с выступов в углубления, впадины. В объеме брикета это приводит к сглаживанию поверхности частиц, росту металлических контактов, сфероидизации пор. Однако, поверхностная диффузия, способствуя увеличению и упрочнению межчастичных контактов, сфероидизации пор, не обеспечивает усадку спекаемого тела. Заращение пор при спекании может происходить путем объемной диффузии в результате наличия градиента вакансий. Основным механизмом усадки при спекании является ползучесть (крип). Она может осуществляться путем движения дислокаций и перемещением вакансий. Степень реализации каждого из этих процессов зависит от природы вещества, температуры, напряжений.

Скорость усадки на разных стадиях спекания различна. Характерной особенностью кинетики усадки является высокая ее скорость в начальные моменты и постепенное замедление во время изотермической выдержки. Другой важной особенностью процесса усадки является то, что после изотермической выдержки, когда усадка практически прекратилась, при дальнейшем повышении температуры снова наблюдается увеличение скорости усадки.

Обычно температура спекания находится в пределах

$$T_{\text{сп}} = (0,7 - 0,8) T_{\text{пл}}$$

Режим спекания определяется температурой и временем выдержки. Чем выше температура, тем короче может быть выдержка. Как правило, температура, и время выдержки выбираются в каждом конкретном случае в зависимости от требуемых свойств готовых изделий.

Большое влияние на свойства готовых изделий оказывает атмосфера спекания. Часто в качестве газовой среды применяется очищенный водород или более дешевые восстановительные газы

(диссоциированный аммиак, конвертированный природный газ, генераторный газ и др.), а также инертные газы. Хорошие результаты обеспечивает спекание в вакууме. Иногда (например, для благородных металлов) спекание можно производить без защитной атмосферы. В ряде случаев можно производить спекание в контейнерах с древесным углем, графитом, отработанным карбюратором. В этом случае образующаяся в контейнере окись углерода обеспечивает защиту прессовок от окисления.

Порядок выполнения работы

1. Под руководством преподавателя изучить устройство и принцип работы вакуумной печи.

2. Произвести рассев железного порошка по фракциям менее 50 мкм (мелкий), от 160 мкм до 200 мкм (крупный), до 200 мкм (смесь).

3. Приготовить по одной навеске порошков мелкой и крупной фракции и 8 навесок смеси.

4. Спрессовать по одному образцу из смеси при давлениях 100, 200, 500 МПа. Спрессовать 5 образцов из смеси и по одному образцу из мелкой и крупной фракции при давлении прессования 300 МПа. Образцы взвесить, обмерить микрометром, пронумеровать, данные внести в таблицу.

5. Загрузить 4 образца, спрессованные из смеси при давлении прессования 100, 200, 300, 500 МПа и образцы, спрессованные из мелкой и крупной фракций порошка при давлении 300 МПа в вакуумную печь и провести спекание по следующему режиму: скорость нагрева – 10 град/мин, температура спекания $t_{\text{сп}} = 1200^{\circ}\text{C}$, время изотермической выдержки $\tau = 1$ ч, охлаждение с печью.

6. Выгрузить спеченные образцы.

7. Произвести спекание оставшихся 4 образцов, спрессованных из смеси при давлении прессования 300 МПа последовательно по следующим режимам:

1) $t_{\text{сп}} = 1050^{\circ}\text{C}$ - $\tau = 1$ ч,

2) $t_{\text{сп}} = 1350^{\circ}\text{C}$ - $\tau = 1$ ч,

3) $t_{\text{сп}} = 1200^{\circ}\text{C}$ - $\tau = 0,5$ ч,

4) $t_{\text{сп}} = 1200^{\circ}\text{C}$ - $\tau = 2$ ч.

8. Спеченные образцы обмерить, взвесить, подсчитать их плотность и усадку. Измерить твердость образцов, изготовить микрошлифы, на которых с помощью микроскопа исследовать размеры, форму, распределение пор. Измерения проводить по 3 раза,

усредненные данные внести в таблицу.

9. По результатам исследования образцов № 1–4 делаются выводы о влиянии давления прессования, образцов № 3, 5, 6 – о влиянии гранулометрического состава, образцов № 3, 7, 8 – о влиянии температуры спекания и образцов № 3, 9, 10 – о влиянии времени изотермической выдержки на свойства после спекания.

Таблица

№ образ.	Гран. состав	$P_{пр}$, МПа	$t_{сп}$, °С	τ , ч	ρ , г/см ³	$(\Delta h/h_{пр}) \times 100\%$	НВ (HRB)
1	смесь	100	1200	1			
2	смесь	200	1200	1			
3	смесь	300	1200	1			
4	смесь	500	1200	1			
5	мелкий	300	1200	1			
6	крупный	300	1200	1			
7	смесь	300	1050	1			
8	смесь	300	1350	1			
9	смесь	300	1200	0,5			
10	смесь	300	1200	2			

Все результаты сводятся в таблицу и оформляются в виде графиков и фотографий.

В отчете представить блок-схему вакуумной печи, подробные выводы о влиянии гранулометрического состава, давления прессования, режимов спекания на физико-механические характеристики спеченных образцов.

Расчет среднеквадратичной ошибки измерения

При определении различных характеристик (твердости, предела прочности и т.п.), особенно спеченных металлов и сплавов, наблюдается большой разброс значений измеряемых величин. Поэтому с целью получения достоверных данных определяют возможное отклонение этих величин от их среднего значения.

Если обозначить число измерений через n , значение каждого единичного измерения через a_i ($i=1,2,3,\dots, n$), то действительное (среднеарифметическое) значение

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}.$$

Разность $\Delta a_i = a_i - \bar{a}$, называемая абсолютным отклонением (погрешностью), может быть как положительной, так и отрицательной; алгебраическая сумма всех отклонений равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n \Delta a_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n \bar{a} = n a_i - n \bar{a} = 0.$$

Величина $\frac{\Delta a_i}{\bar{a}} \cdot 100$ называется относительным отклонением и выражает собой степень точности единичного измерения в процентах.

Из теории вероятности следует, что вычисленное среднеарифметическое значение \bar{a} тем ближе к истинному значению измеряемой величины a , чем меньше так называемое среднеквадратичное отклонение:

$$\Delta \bar{a} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}}.$$

Следовательно, величина $\Delta \bar{a}$, представляющая собой среднеквадратичную ошибку, позволяет оценить степень точности, достигнутой в данной серии измерений.

Контрольные вопросы

1. Какие физические свойства порошков определяют их насыпную плотность и текучесть?
2. От чего зависит прессуемость порошков?
3. Как влияют пластические свойства порошков на их прессуемость?
4. В чем состоит влияние смазок на процесс прессования?
5. Что является причиной неравномерного распределения плотности по объему спрессованного брикета?
6. Как улучшить распределение плотности при прессовании порошков
7. Как влияют свойства порошков на потери давления на внешнее трение?
8. В чем состоит действие поверхностно-активных смазок при прессовании?

9. Как связаны потери на внешнее трение с величиной усилия выталкивания?
10. Чем вызывается упругое последствие?
11. Как влияют свойства порошков на упругое последствие и усилие выталкивания?
12. Как влияют смазки на упругое последствие и усилие выталкивания?
13. Каковы преимущества гидростатического прессования?
14. Чем объясняется большая плотность прессовок при одинаковых давлениях, полученных гидростатическим прессованием, по сравнению с прессованием в стальных пресс-формах?
15. Что является движущей силой спекания порошковых тел?
16. Каков механизм твердофазного спекания?
17. Как влияет гранулометрический состав на плотность спеченных образцов?
18. Что вносит больший вклад в активацию спекания: повышение температуры спекания или увеличение времени изотермической выдержки?

Список литературы

Основная литература

1. В.Н. Анцифоров, Г.В. Бобров, Ш.К. Дружинин и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1987. - 792 с.
2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1991. - 432 с.
3. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. М.: Металлургия, 1986. - 208 с.
4. Композиционные материалы. Справочник /Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др.; Под общ. ред. Васильева В.В., Тарнопольского Ю.М. М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.
5. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1987. - 208 с.
6. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии: В 2 т./ Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий -- М.: МИСиС, 2001 -- ISBN 5-87623-078-2

Дополнительная литература

1. Либенсон Г.А. Производство спеченных изделий. М., 1982.
2. Теплухин Г.Н. Порошковые материалы. Л., 1984.

Структура отчета по лабораторной работе и правила его оформления

Отчет является документом, свидетельствующим о выполнении задания студентом и должен включать:

- титульный лист согласно приложению А;
- программу и календарный план выполнения работы;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- цель работы;
- основную часть (обоснование и постановка задачи, характеристика объекта изучения, методика работы, описание и (или) чертежи установки (прибора), результаты опытов (измерений), обработка результатов, оценка погрешностей и анализ источников ошибок, обсуждение результатов);
- выводы;
- список использованной литературы;
- приложения.

При оформлении отчета следует, как правило, руководствоваться требованиями СТП ТПУ 2.5.01-99.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Форма титульного листа отчета по лабораторной работе

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИФВТ

Кафедра – Материаловедение в машиностроении

Лабораторная работа № 1

Определение технологических свойств порошков

Отчет

Дисциплина: «Порошковые композиционные материалы и изделия»

Исполнитель(и)

студент(ы), номер группы

(подпись) И.О.Фамилия

(дата)

Руководитель

(должность, ученая степень, звание)

(подпись) И.О.Фамилия

(дата)

Томск – 20__

Содержание

1.	Лабораторная работа №1 Определение технологических свойств порошков	5
2.	Лабораторная работа №2 Определение гранулометрического состава порошков методом ситового анализа	8
3.	Лабораторная работа №3 Определение гранулометрического состава порошков микроскопическим методом	9
4.	Лабораторная работа № 4 Определение пикнометрической плотности порошков	12
5.	Лабораторная работа № 5 Влияние давления прессования на уплотнение брикета	13
6.	Лабораторная работа № 6 Распределение плотности по объему спрессованного брикета	16
7.	Лабораторная работа № 7 Определение затрат усилия прессования на трение порошка о стенки пресс-формы	17
8.	Лабораторная работа № 8 Определение упругого последействия и усилия выталкивания после прессования	20
9.	Лабораторная работа № 9 Гидростатическое прессование порошков	22
10.	Лабораторная работа № 10 Спекание однокомпонентных систем	23
11.	Контрольные вопросы	27
12.	Список литературы	28
13	Структура отчета по лабораторной работе и правила его оформления	29

ПРОЦЕССЫ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Составители: Борис Борисович Овечкин
Сергей Вениаминович Матренин