

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Высшая школа физики и технологий материалов

СВОЙСТВА ПОРОШКОВ И МЕТОДЫ ИХ ФОРМОВАНИЯ

Методические указания
к лабораторным работам

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2026

Составители:

С.В. Ганин, С.Ю. Кондратьев, С.А. Котов, П.А. Кузнецов, Р.А. Паршиков, А.М. Золотов,
В.В. Давыдов, Т.С. Кудрявцева, А.В. Харузин, А.Д. Жуков.

Свойства порошков и методы их формования: Методические указания к лабораторным работам / Сост. С.В. Ганин, С.Ю. Кондратьев, С.А. Котов, П.А. Кузнецов, Р.А. Паршиков, А.М. Золотов, В.В. Давыдов, Т.С. Кудрявцева, А.В. Харузин, А.Д. Жуков. – СПб.: ФГАОУ ВО СПбПУ, 2024 – 67 с.

Представлены методические указания для выполнения лабораторных работ по определению свойств порошков, наиболее часто используемых в порошковой металлургии.

Предназначены для студентов Высшей школы физики и технологий материалов ФГАОУ ВО СПбПУ.

ВВЕДЕНИЕ

Порошковая металлургия - область науки и техники, охватывающая производство порошков металлов, их оксидов или сплавов, ряда других сыпучих материалов, а также изделий различного назначения из них. Порошковые материалы представляют собой совокупность частиц, находящихся во взаимном контакте и обладающих различными свойствами.

Методы порошковой металлургии позволяют создавать материалы со свойствами, которые не могут быть получены по традиционным технологиям. Например, псевдосплавы металлов, которые не могут сосуществовать в расплавленном состоянии, композиционные материалы из смесей металлов и неметаллов, высокопористые материалы, твердые сплавы, порошковые самосмазывающиеся подшипники, изделия медицинского назначения и т.д.

Эти методы могут быть использованы для изготовления изделий различного функционального назначения с минимальной или без последующей, поскольку позволяют осуществлять точную дозировку исходного материала и максимально приблизить форму и размеры заготовки к форме и размерам готового изделия.

Обобщенный технологический процесс производства деталей методами порошковой металлургии включает в себя следующие процессы и операции:

- производство исходных порошков;
- подготовительные операции;
- формование заготовок;
- спекание сформованных заготовок;
- дополнительную обработку.

Типовая технология производства изделий методами порошковой металлургии включает в себя процессы и операции, показанные в виде схемы на рис.1.

Производство исходных порошков осуществляется преимущественно на специализированных предприятиях. Основными способами их получения являются физико-механические (механическое измельчение (размол), распыление расплавов металла, обработка резанием) и физико-химические (электролиз растворов или расплавов солей, восстановление из оксидов, диссоциация карбониллов). Способ производства оказывает определяющее влияние на комплекс физико-химических, технологических и физико-механических свойств, характеризующих порошковые материалы.

К физико-химическим свойствам порошков относят химический состав, средний размер частиц, форму и микрорельеф их поверхности, гранулометрический состав (т.е. процентное содержание в порошке частиц различных размерных фракций), пикнометрическую плотность материала частиц, удельную поверхность (площадь поверхности всех частиц в единице массы или объема порошка).

Основными технологическими свойствами порошков являются: насыпная плотность (плотность порошка в свободно насыпанном состоянии), плотность утряски (наибольшая плотность порошка, которая может быть достигнута без

деформирования частиц), текучесть (способность перемещения порошка под действием силы тяжести), уплотняемость (способность к уменьшению занимаемого объема и повышению плотности при увеличении давления), формуемость (способность порошка сохранять приданную ему в результате прессования форму после снятия давления).



Рис.1 Типовая технология производства изделий методом порошковой металлургии

Все последующие технологические операции (подготовительные операции, формование, спекание и дополнительные виды обработки), как правило, выполняют на специализированных предприятиях, выпускающих изделия и детали из порошков.

Подготовительные операции

Подготовительные операции включают в себя сушку (при температуре 100-150⁰ С), отжиг, рассев и смешивание. Отжиг проводят при температуре $(0,4-0,6)T_{пл}$ в восстановительной или нейтральной газовой атмосфере с целью стабилизации свойств порошка и восстановления оксидов, образующихся во время хранения и транспортировки. Операцией отсева обеспечивают требуемый гранулометрический состав исходных порошков, Смешивание применяют для получения шихты заданного химического и гранулометрического состава, введения технологических добавок, равномерного распределения компонентов смеси по объему.

Формование

Формование заключается в придании порошку формы, размеров, плотности (пористости) и механической прочности, необходимых для последующего изготовления изделия.

Различают методы формования, при которых формирование структуры изделия определяется плотностью укладки частиц, а также методы формования, связанные с пластическим деформированием материала частиц при приложении давления.

К первой группе методов относят вибрационное уплотнение, спекание в насыпном состоянии, формование заготовок из суспензий. Давление к порошкам не прикладывают.

Ко второй группе относят многочисленные виды формования, различающиеся технологическими особенностями получения изделий требуемой

формы, достигаемым уровнем свойств. Например, длинномерные изделия типа лент, полос, стержней получают прокаткой порошков или выдавливанием (экструзией). Штучные детали или заготовки — прессованием в жестких матрицах, изделия сложной формы, больших габаритов, изделия из труднодеформируемых материалов и с равномерным распределением свойств — изостатическими методами формования подвижными средами — жидкостью под высоким давлением, газом при высоких температурах, эластичными материалами.

Скорость приложения нагрузки может носить статический характер, высокоскоростной (горячая объемная штамповка, гидродинамическое прессование) или импульсивный (магнитно-импульсное, электрогидроимпульсное, взрывное прессование).

Основным параметром всех методов формования является давление, прикладываемое к порошковому материалу, его величина оказывает определяющее влияние на плотность прессуемого изделия.

Количественная связь между плотностью и давлением прессования зависит от свойств порошкового материала и условий формования. Её определяют экспериментально и обычно представляют в виде таблицы, графика в координатах "плотность прессовки — давление прессования" (так называемые кривые уплотняемости) или аппроксимирующих выражений, например, типа:

$$\rho = \rho_0 + ap^b$$

где ρ и p — текущие значения плотности прессовки и давления прессования;

ρ_0 — плотность порошка в исходном состоянии при $p = 0$ (насыпная плотность или плотность утряски);

a и b — константы.

С увеличением давления прессования текущее значение плотности прессовки стремится к теоретическому значению плотности компактного материала, но на практике в большинстве случаев не достигает его из-за интенсивного упрочнения прессуемого материала и ограничений по допустимой величине прикладываемого давления, обусловленных прочностью инструмента и оборудования (исключения составляет методы взрывного и горячего изостатического прессования).

Прочность прессовок зависит от прочности соединения между частицами. Она возрастает с ростом плотности прессуемого изделия за счет увеличения числа и общей площади межчастичных контактов. Однако, интенсивный наклеп металла приконтактных областей и наличие оксидов на поверхности частиц порошка препятствует образованию между ними прочных металлических связей. Образование таких связей возможно только в результате взаимной диффузии материала соседних частиц. Наиболее интенсивно диффузионные процессы протекают при высоких температурах. Поэтому основным способом повышения уровня свойств спрессованных заготовок за счет совершенствования контактов является спекание.

Спекание

Спекание заключается в нагреве спрессованной заготовки до температуры $(0,75 - 0,9) T_{пл}$ основного компонента порошковой смеси и кратковременной или длительной (в пределах нескольких часов) выдержки при этой температуре. Из-за развитой внутренней поверхности пористых прессовок и интенсивного окисления большинства металлов при нагреве, спекание изделий из порошков металлов проводят в безокислительных условиях, преимущественно в среде восстановленных газов (водорода, диссоциированного аммиака), в вакууме или нейтральной атмосфере (азот, аргон). Спекание оксидных систем проводят на воздухе.

Спекание сопровождается изменением исходных размеров прессовок, обусловленным процессами массопереноса материала частиц и их сближением, увеличением размеров закрытых пор под действием давления заключенного в них воздуха *в результате температурного расширения, изменением параметров в кристаллической решетке материала частиц в результате взаимодействия компонентов порошковой смеси.*

Явление изменения размеров спекаемого изделия носит общее название "усадка". Усадка бывает как положительной (т.е. приводящей к уменьшению объема и повышению плотности пористого тела), так и отрицательной.

Количественно она оценивается отношением изменения линейных размеров или объема спрессованного изделия, произошедших в результате спекания (Δl , ΔV), к исходному значению соответствующего параметра (l_0 , V_0).

$$\Delta_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%, \Delta_v = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\%$$

Для большинства металлов величина усадки лежит в пределах нескольких процентов и должна учитываться при проектировании инструмента для прессования изделий.

Дополнительная обработка

Дополнительная обработка спечённых заготовок проводится для достижения требуемого уровня физико-химических и механических свойств, других эксплуатационных характеристик, точности размеров, формы и качества поверхности изделия. К операциям дополнительной обработки относятся холодная и горячая обработка давлением, обработка резанием, термообработка, нанесение покрытий, пропитка маслом и т.п.

В подавляющем большинстве случаев производство порошковых материалов осуществляется на предприятиях химического или металлургического профиля, а остальные операции – на машиностроительных предприятиях и на предприятиях, специализирующихся на выпуске изделий из порошков.

Методы получения порошков и подготовительные операции оказывают определяющее влияние на физико-химические и технологические свойства порошковых материалов. Эти свойства наряду с параметрами процессов

формования, спекания и дополнительной обработки определяют физико-механические и эксплуатационные характеристики готового изделия.

Знание технологических свойств порошков и основных закономерностей процессов формования является необходимым условием правильной разработки технологического процесса, проектирования оснастки и выбора оборудования.

Целью данного курса лабораторных работ является овладение методиками определения основных технологических свойств порошковых материалов и практическое изучение влияния условий прессования порошков в жестких пресс-формах, как основного метода формования, на свойства спрессованных заготовок.

<i>Работа 1.</i> Определение насыпной плотности и плотности утряски порошковых материалов	9
<i>Работа 2.</i> Определение гранулометрического состава порошков ситовым методом	13
<i>Работа 3.</i> Определение уплотняемости порошковых материалов	16
<i>Работа 4.</i> Определение пористости и плотности изделий из порошковых материалов	19
<i>Работа 5.</i> Исследование процесса измельчения порошковых материалов в конусной инерционной дробилке	29
<i>Работа 6.</i> Определение коэффициента бокового давления при прессовании порошковых материалов	33
<i>Работа 7.</i> Упругое последствие прессовок из металлических порошков	38
<i>Работа 8.</i> Изучение процессов формования и спекания образцов из порошков оксида цинка	43
<i>Работа 9.</i> Исследование механических свойств спеченных порошковых материалов	45
<i>Работа 10.</i> Определение физико-механических свойств порошковых материалов методом испытания на срез	53
<i>Работа 11.</i> Изучение процесса измельчения стружки (прокатной окалины) в конусной инерционной дробилке	57
<i>Работа 12.</i> Изучение процессов прокатки лент из порошковых материалов с различными свойствами	61
<i>Работа 13.</i> Получение изделий со специальными свойствами путем напрессовки порошкового слоя на внутреннюю поверхность втулки	64

Работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ И ПЛОТНОСТИ УТРАСКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомление с технологическими характеристиками порошковых сыпучих материалов – насыпной плотностью и плотностью утряски; овладение стандартными методиками определения указанных характеристик на практике.

Общие сведения

Насыпная плотность порошкового материала относится к наиболее важным технологическим характеристикам. Она характеризует плотность порошкового материала в состоянии свободной насыпки и равна массе единицы объема порошка в этом состоянии. Насыпная плотность зависит от плотности материала частиц, плотности их укладки, которая в свою очередь является функцией гранулометрического состава порошка, размера и формы частиц, шероховатости их поверхности, наличия технологических добавок. У порошков одного и того же металла насыпная плотность тем больше, чем крупнее частицы порошка и чем более компактной формой они обладают.

Насыпная плотность указывается во всех технических условиях на порошки и подлежит обязательному входному контролю. Методика ее определения стандартизирована. В соответствии с ГОСТ 19440-94 она определяется взвешиванием порции порошка, взятой из пробы не менее $10 - 150 \text{ см}^3$, заполняющей мерную емкость точно фиксированного объема. Равномерное разрыхление порошкового материала перед заполнением мерной емкости обеспечивается пропуском его через волюмометр, представляющий собой прямоугольный сосуд с наклонными полками, входной и выходной воронками. Применение волюмометра обязательно при определении насыпной плотности мелкодисперсных порошков, порошков, склонных к слеживанию, образованию комков.

Насыпная плотность порошков с хорошей текучестью может определяться засыпкой порошка в мерную емкость через воронку с выходным отверстием диаметром 5 мм.

Состояние свободной насыпки является состоянием неустойчивого равновесия для пространственной структуры порошкового материала, характеризующейся наличием арочных образований, макропор, случайным расположением частиц. Приложение внешнего вибрационного воздействия к объему порошкового материала вызывает нарушение первоначальных контактов между частицами, способствует увеличению их подвижности. В этих условиях под действием силы тяжести частицы порошка занимают наиболее устойчивые положения, образуя более компактную и более упорядоченную укладку. В силу этого плотность порошкового материала повышается и достигает некоторой постоянной величины, называемой плотностью утряски.

Плотность утряски соответствует наибольшему значению плотности порошкового материала, которое достигается без заметной пластической деформации или разрушения частиц.

Методику определения этой характеристики регламентирует ГОСТ 25279-93. В соответствии с этой методикой навеска порошка массой 50 – 100 г засыпается в мерный сосуд или мензурку объемом 25 – 100 см³ и подвергается вибрационному воздействию в вертикальном направлении с частотой 1,5 – 5 Гц с амплитудой $3 \pm 0,2$ мм в специальном устройстве. При этом наблюдается понижение уровня порошка в сосуде. Аналогичный результат может быть получен легким постукиванием мерного сосуда с порошком по твердой горизонтальной поверхности. Встряхивание проводится до тех пор, пока не прекратится изменение объема исследуемой порции порошка.

Технологическое оснащение

Порошки металлов (по выбору преподавателя):

порошок железный ПЖ4М2 ГОСТ 9849 – 86

порошок медный ПМС-1 ГОСТ 4960-2009 и др.

Мерный сосуд.

Волюмометр.

Весы электронные лабораторные (погрешность взвешивания не более 0,005 г).

Инструмент мерительный с ценой деления шкалы не более 0,01 мм.
Вибрационное устройство.

Последовательность выполнения работы

1. Определение насыпной плотности порошка

С помощью штангенциркуля измерить диаметр d_c и глубину h_c внутренней полости мерного стакана.

Определить массу m_c пустого мерного стакана с точностью до 0,05 г.

Мерный стакан установить под выходное отверстие волюмометра или воронки, причем расстояние между верхней кромкой стакана и выходным отверстием должно быть около 25 мм.

Отобрать пробу порошка с таким расчетом, чтобы ее объем превосходил объем мерного стакана, и высыпать ее в волюмометр или в воронку.

Не встряхивая мерный стакан с порошком, избыток порошка срезать ребром стеклянной или алюминиевой пластины, прижимая её к кромке стакана (во избежание рассыпания порошка из мерного стакана после удаления избытка, стакан слегка обстукивают для понижения уровня порошка).

Определить массу m_{cn} стакана с порошком.

Вычислить массу порошка m_{nn} в мерном стакане:

$$m_{nn} = m_{cn} - m_c. \quad (1.1)$$

Рассчитать объём мерного стакана V_c по формуле:

$$V_c = 0,25\pi d_c^2 h_c. \quad (1.2)$$

Рассчитать величину насыпной плотности порошка ρ_n :

$$\rho_n = m_{nn} / V_c \quad (1.3)$$

Внимание! Опыты по определению насыпной плотности выполнить трижды.

Рассчитать среднее значение насыпной плотности порошка

$$\bar{\rho}_n = \frac{1}{3}(\rho_{n1} + \rho_{n2} + \rho_{n3}) \quad (1.4)$$

Рассчитать величины абсолютного $\Delta\rho_n$ и относительного $\Delta\rho_n / \bar{\rho}_n$ отклонений значений насыпной плотности порошка в каждом опыте от среднего значения, и, если относительное отклонение превышает 0,02, серию опытов повторить.

2. Определение плотности утряски

Приготовить навеску порошка массой $m_{nm} = 50$ г с погрешностью взвешивания не более 0,01 г.

Высыпать навеску порошка в мензурку и произвести встряхивание мензурки до прекращения понижения уровня порошка в ней.

По делениям на стенке мензурки определить объем V_m , занимаемый порошком.

Рассчитать плотность утряски ρ_m порошка по формуле:

$$\rho_m = m_{nm} / V_m \quad (1.5)$$

Внимание! Пункты 1 - 4 выполнить 3 раза.

Рассчитать среднее значение плотности утряски $\bar{\rho}_m$ по результатам трёх опытов:

$$\bar{\rho}_m = \frac{1}{3}(\rho_{m1} + \rho_{m2} + \rho_{m3}) \quad (1.6)$$

Рассчитать величины абсолютного $\Delta\rho_m$ и относительного $\Delta\rho_m / \bar{\rho}_m$ отклонений значений плотности утряски порошка в каждом опыте от среднего значения.

Если величина относительного отклонения превышает 0,05 при использовании мерного сосуда объемом 100 см³ или 0,03 при использовании сосуда объемом 25 см³ — серию опытов повторить. Результаты измерений и расчетов внести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Насыпная плотность и плотность утряски порошка

Материал и марка порошка: _____									
$d_c =$ _____ мм, $h_c =$ _____ мм, $V_c =$ _____ см ³ , $m_c =$ _____ г									
№	m_{nn}	ρ_n	$\bar{\rho}_n$	$\Delta\rho_n / \bar{\rho}_n$	m_n <i>утр</i>	$\rho_{утр}$	$\bar{\rho}_m$	$\Delta\rho_m / \bar{\rho}_m$	Примечание
	г	г/см ³	г/см ³	-	г	г / см ³	г / см ³	-	
1									
2									
3									

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Эскиз оснастки с указанием характерных размеров, используемых при расчетах.

3. Таблица с исходными данными, результатами измерений и расчетов.

4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Основные характеристики сыпучих порошковых материалов, используемые в технологических расчетах.

2. Назначение волюмометра при определении насыпной плотности порошков.

Библиографический список

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]]; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987.- 792 с.

2. ГОСТ 19440-94. Порошки металлические. Определение насыпной плотности.

3. ГОСТ 25279-93. Порошки металлические. Определение плотности после утряски.

Работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКОВ СИТОВЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: Определение гранулометрического состава порошков ситовым методом и анализ его компонентов.

Общие сведения

Гранулометрический состав является одной из основных характеристик порошков. Следует различать размер частиц порошка и гранулометрический состав.

Традиционным методом контроля однородности и дисперсности сыпучих и порошковых материалов является ситовой анализ. Данный вид анализа регламентируется ГОСТ 6613-86, ГОСТ 3584-5. Сущность метода заключается в том, что порошок просеивают на Виброприводе или Ротапе через ситовой анализатор, в котором сита с разным размером ячейки установлены последовательно друг над другом, вверху сита с наибольшей ячейкой, к низу размер ячейки сита уменьшается. Ситовый анализ позволяет определить размер частиц,

отделить частицы разного размера друг от друга и вычислить количественное соотношение частиц различной дисперсности.

Ситовый анализ также позволяет оперативно и с минимальными техническими затратами получить информацию о гранулометрическом составе многокомпонентного порошкового материала. Однако, данный вид анализа требует значительных временных затрат, поскольку после каждого просева необходимо вручную произвести подсчет и подготовить оборудование к следующей пробе. Сита в анализаторе следует регулярно проверять на предмет изменения размера ячейки, так как из-за взаимодействия с порошком они склонны «разнашиваться». Существенный недостаток метода в том, что он не позволяет обнаруживать фракции менее 50 мкм. Кроме того, для проведения анализа требуется достаточно большое количество исследуемого порошка, при фракции 0,1-3,0 мм масса пробы 25-300 г.

Методами, которые позволяют выявить частицы любого размера, в том числе дисперсностью менее 50 мкм, являются метод седиментации, лазерное сканирование и электронная микроскопия.

Сущность метода лазерного сканирования заключается в том, что образец порошка помещается в проточную кювету исследовательской установки. В проточной кювете порошок просвечивается лазерным лучом; попадая в луч света, частицы начинают рассеивать его, угловая зависимость интенсивности рассеянного света определяется размерами частиц. Измерение интенсивности рассеянного на различные углы света производится при помощи набора светочувствительных детекторов.

Ситовой метод гранулометрического анализа порошкообразных материалов, получивший наибольшее распространение в горно-обогатительной практике, заключается в рассеве на наборе сит с различными размерами отверстий общей пробы анализируемого материала.

В результате ситового анализа получают продукты различных классов, которые взвешиваются, а отмытые шламы после сушки присоединяют к последнему тонкому классу и тоже взвешивают.

Результаты анализа могут быть представлены в виде таблицы, в которой приводится выход классов в процентах, либо в виде гистограмм, либо графиков (частная кривая, интегральные (суммарные) кривые по плюсу или по минусу) в которых по оси абсцисс отложены величины размеров зерен, а по оси ординат откладывается процентное содержание отдельных фракций.

Технологическое оснащение

Порошки металлов (по выбору преподавателя),

Весы электронные лабораторные (погрешность взвешивания не более 0,005 г).

Вибрационное устройство.

Последовательность выполнения работы

Взять исходный порошок и измерить его массу до проведения испытаний.

Полученные значения записать в рабочую тетрадь.

Проверить правильность установки сит в вибрационном устройстве.

Навеску порошка засыпать в вибрационное устройство.

Включить вибрационное устройство и пропустить порошок через него.

Определить значения каждого остатка m_c на всех ситах и занести полученные значения в тетрадь.

Составить диаграмму распределения порошка по фракциям.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Дать описание различных методов определения гранулометрического состава.

3. Таблицы с исходными данными, результатами измерений и расчетов.

4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Методы определения гранулометрического состава порошковых материалов.

2. Как влияют случайные и систематические ошибки на количество опытов и точность измерений?

Библиографический список

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987.- 792 с.

Работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПЛОТНЯЕМОСТИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомление и овладение стандартными методиками определения уплотняемости медного и железного порошков.

Общие сведения

Прессуемостью металлических порошков называется способность порошка под влиянием сжимающих усилий образовывать брикет заданной и минимально допустимой плотности. Прессуемость металлических порошков является качественной, но важнейшей технологической характеристикой, она является функцией пластичности металла и зависит от способности порошка к обжатию и уплотнению в процессе прессования. Количественными характеристиками являются уплотняемость (характеризуется зависимостью плотности от давления) и формуемость (способность сохранять форму после выпрессовки из пресс-формы (рис. 3.1). Хорошая уплотняемость порошков облегчает процесс прессования, так как требуется меньшее давление порошков для достижения заданной плотности, а при хорошей формуемости получают более прочные, неосыпающиеся заготовки, а также высокопористые изделия.

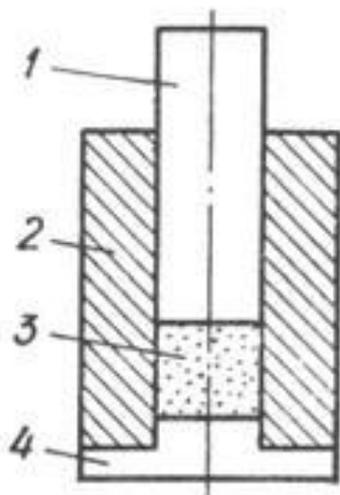


Рис. 3.1. Схема пресс-формы: 1 – верхний пуансон, 2 – матрица, 3 – порошок, 4 – нижний пуансон.

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 крупнозернистых порошков того же материала. 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 частиц порошков. Чем выше твердость, тем требуется большее давление прессования. Отжиг порошков снижает твердость частиц и значительно повышает уплотняемость и формуемость.

Характеристикой уплотняемости порошков является диаграмма прессования, построенная в координатах «плотность-давление прессования» (рис. 3.2). Эта зависимость в общем виде может быть выражена асимптотой (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, ограниченными значениями минимальной и максимальной плотности, при котором брикет не имеет разрушений после извлечения из пресс-формы.



Рис. 3.2. Диаграмма прессования

Технологическое оснащение

Порошок железный и медный.

Весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,005 г.

Инструмент мерительный (штангенциркуль, микрометр) с ценой деления шкалы не более 0,01 мм.

Подставка для гидростатического взвешивания.

Пресс-форма, состоящая из верхнего пуансона, нижнего пуансона, матрицы, бандажного кольца и держателя.

Пресс ПСУ-50.

Последовательность выполнения работы

Вся бригада испытывает один и тот же порошок, прикладывая к нему разные давления, самостоятельно загружая и разгружая пресс-форму.

Сборка пресс-формы.

Засыпка порошка одной массы в пресс-форму.

Подача давления на верхний пуансон пресс-формы.

Извлечение заготовки из пресс-формы, путем выдавливания на прессе.

Замер параметров заготовки при данной нагрузке.

Перевести усилие прессования в давление.

Повторять тоже самое при различных значениях давлений.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткая теоретическая часть по прессуемости порошков.
3. Таблицы с исходными данными, результатами измерений и расчетов.
4. Построение кривых уплотняемости.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит уплотняемость порошковых материалов?
2. С какими трудностями можно столкнуться в ходе выполнения данной работы?
3. Какой порошок уплотняется лучше? (Ответ обосновать)

Библиографический список

1. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии : учеб. для

вузов по специальности "Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия" : [в 2 т.] / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. М. : МИСИС, 2001-2002. Т. 2: Формование и спекание. 2002. – 318 с.

2. ГОСТ 18898-89 (ИСО 2738-87). Изделия порошковые. Методы определения плотности содержания масла и пористости.

3. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 384 с.

4. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987. - 792 с.

Работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ И ПЛОТНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомление и овладение стандартными методиками определения пористости и плотности изделий из порошковых материалов и расчета погрешности.

Общие сведения

Исследование свойств изделий из порошков начинается с определения их плотности и пористости. У деталей конструкционного назначения обычно определяют только общую или интегральную *пористость* Π . Количественно она определяется соотношением объема пор V_n и общего объема V пористого тела:

$$\Pi = \frac{V_n}{V} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

Величина пористости может быть рассчитана, если известны значения плотности материала порошкового изделия ρ и плотность компактного материала аналогичного химического состава ρ_k :

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_k}\right) \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Отношение $\frac{\rho}{\rho_k}$ носит название *относительной плотности* и обозначается буквой θ .

При расчетах величины относительной плотности пористых тел из порошков металлов значения ρ_k условно принимается равным максимальной (теоретической) плотности данного металла, хотя реальная плотность частиц порошка отличается от теоретической из-за наличия внутренних пор и пленки оксидов на поверхности. (Теоретическую плотность железа принимает равной 7,65 г/см³, меди — 8,93 г/см³, алюминия — 2,7 г/см³, никеля — 8,9 г/см³).

Если порошковый материал представляет собой смесь порошков материалов с различной плотностью, то теоретическую компактную плотность такой смеси рассчитывают по формуле:

$$\rho_{kc} = \frac{\rho_{k1}\rho_{k2}\dots\rho_{kn}}{c_1\rho_{k2}\rho_{k3}\dots\rho_{kn} + c_2\rho_{k1}\rho_{k3}\dots\rho_{kn} + c_n\rho_{k1}\rho_{k2}\dots\rho_{k(n-1)}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

Где $\rho_{k1}, \rho_{k2} \dots \rho_{kn}$ — теоретические плотности отдельных компонентов смеси;

c_1, c_2, c_3 — процентное содержание компонента в смеси.

Различают открытую и закрытую пористости.

Открытая пористость складывается из объемов сквозных и тупиковых пор, *закрытая пористость* определяется объемом замкнутых пор, не имеющих выхода на поверхность изделия. Соотношение между этими составляющими общей пористости имеет большое значение для изделий, у которых наличие пор является необходимым условием их работы, например, для фильтров, электродов аккумуляторов, самосмазывающихся подшипников, катализаторов и т.п., а также для конструкционных деталей, подвергающихся пропитке маслом или расплавами металлов.

Преобладание того или иного вида пор зависит от формы и размеров частиц порошка, величины общей пористости. Практически принято считать, что при общей пористости более 20 % на долю закрытой приходится не более 1 - 3 %, а при общей пористости менее 10 % все поры становятся изолированными или тупиковыми.

Существуют различные методы определения пористости: расчетный метод, метод гидростатического взвешивания, метод пропитки, металлографический и рентгенографический. Наибольшее распространение получили два первых метода.

Расчетный метод (ГОСТ 18898 – 89) заключается в определении

плотности пористого материала путем взвешивания и замера линейных размеров и применяется для определения пористости Π изделий простой формы:

$$\Pi = 1 - \frac{m}{V \rho_k} \quad (4.4)$$

Для определения пористости изделий сложной формы, расчет объема которых по линейным размерам затруднителен, применяется *метод гидростатического взвешивания* (ГОСТ 18898 – 89). Этот метод основывается на том, что объем тела, помещенного в жидкость, равен отношению массы вытесненной жидкости к ее плотности. В качестве жидкости для гидростатического взвешивания обычно используется дистиллированная вода, плотность которой принимается в расчетах равной единице.

Для того, чтобы исключить возможность попадания жидкости в поры изделия, оно предварительно пропитывается расплавленным парафином или на его поверхность наносится тонкий слой лака или вазелина.

В этом случае пористость Π рассчитывается по формуле:

$$\Pi = 1 - \frac{m_1}{(m_2 - m_3) \rho_k}, \quad (4.5)$$

где m_1 — исходная масса пористого изделия, m_2 и m_3 — масса изделия после нанесения покрытия или пропитки, определенная взвешиванием на воздухе и в воде.

Определение пористости *методом пропитки* заключается в определении объема жидкости, заполнившей поры в материале в результате принудительной фильтрации или пропитки в вакууме. Метод позволяет определить соотношение открытой и закрытой пористости, распределение пор по размерам, ряд других параметров и осуществляется на специальных установках.

Металлографический и рентгенографический методы основаны на определении размеров просветов между частицами пористого материала.

Технологическое оснащение

Цилиндрический пористый образец.

Весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,005 г.

Инструмент мерительный (штангенциркуль, микрометр) с ценой деления шкалы не более 0,01 мм.

Вода дистиллированная (ГОСТ 6709-72)

Парафин (ГОСТ 23683—89)

Вазелин медицинский (ГОСТ 3582-84)

Лак.

Подставка для гидростатического взвешивания.

Стакан.

Капроновая нить или подвеска.

Последовательность выполнения работы

1. Определение пористости расчетным методом

Определить массу m исследуемого образца взвешиванием на воздухе на аналитических весах с точностью до 0,01 г

Определить размеры образца, необходимые для расчета его объёма V_p .

Вычислить расчётную плотность ρ_p материала образца по формуле:

$$\rho_p = \frac{m}{V_p}. \quad (4.6)$$

По известному значению компактной плотности материала ρ_k исследуемого образца рассчитать его относительную плотность θ_p по формуле:

$$\theta_p = \rho_p / \rho_k. \quad (4.7)$$

Рассчитать общую пористость образца P_p :

$$P_p = 1 - \theta_p. \quad (4.8)$$

2. Определение пористости методом гидростатического взвешивания

Определить массу m исследуемого образца взвешиванием на воздухе с точностью до 0,01 г.

Поверхность образца покрыть тонким слоем вазелина, излишки удалить.

Определить массу образца после обработки m_o взвешиванием на воздухе.

Установить на весы подставку и стакан с дистиллированной водой, как показано на рис. 4.1.

Образец обвязать капроновой нитью, проволочкой или, если размеры образца малы, поместить в специальную подвеску. После этого исследуемый образец подвесить на коромысло весов и полностью погрузить в дистиллированную воду.

Определить вес образца с нитью или подвеской в воде $m_{онв}$.

Образец удалить и определить вес нити или подвески в воде $m_{нв}$.

Плотность образца ρ_z , определенную методом гидростатического взвешивания, вычислить по формуле:

$$\rho_z = \frac{m}{m_o - (m_{онв} - m_{нв})}. \quad (4.9)$$

Относительную плотность θ_z и пористость P_z образцов при гидростатическом методе определения, вычислить по формулам, применяемым в расчетном методе.

Полученные данные внести в Таблицу 4.1 и в Таблицу 4.2.

ВНИМАНИЕ! Для получения точных результатов при гидростатическом взвешивании необходимо выполнять следующие условия:

Тщательно покрывать вазелином всю поверхность образца. (Отсутствие надежной изоляции внутренних пор от жидкости приводит к получению заниженных значений объема образца. Проявляется постоянным повышением веса образца в процессе гидростатического взвешивания).

Следить за тем, чтобы образец не касался стенок стакана с дистиллированной водой, а чашка весов или ее подвеска — стакана или подставки.

Длину нити для подвешивания образца выбирать таким образом, чтобы при всех положениях коромысла весов образец не касался дна стакана и не находился вблизи поверхности жидкости, во избежание действия сил поверхностного натяжения.

Избегать прилипания пузырьков воздуха при погружении образца в жидкость к его поверхности, особенно в местах крепления нити.

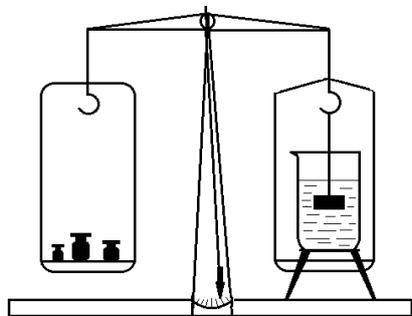


Рис. 4.1. Схема гидростатического взвешивания.

Из-за сильного влияния, оказываемого на уровень механических и эксплуатационных свойств изделий из порошков величины пористости

или плотности, последние необходимо определять с максимально возможной точностью. Точность определения плотности и пористости зависит в основном от качества выполняемых измерений.

Качество результатов измерений оценивают величиной абсолютной ошибки, имеющей ту же размерность, что и измеряемая величина, и относительной, представляющей собой отношение абсолютной ошибки к измеряемой величине и обычно выражаемой в процентах:

$$\Delta\chi_{\text{отн}} = \frac{\Delta\chi}{\chi} 100\%, \quad (4.10)$$

где $\Delta\chi$, $\Delta\chi_{\text{отн}}$ — абсолютная и относительная ошибки соответственно,
 χ — измеряемая величина.

Ошибки измерения подразделяют на систематические и случайные.

К *систематическим* относят ошибки, величина которых одинакова во всех измерениях, проводящихся одним и тем же методом с помощью одних и тех же измерительных приборов.

При определении плотности расчетным методом величина систематической ошибки определяется классом точности измерительных приборов — микрометра, штангенциркуля, весов. Максимальная ошибка измерительных приборов указывается на самом приборе или в паспорте.

Случайные ошибки обусловлены причинами, действие которых неодинаково в каждом опыте и не может быть учтено.

Погрешность измерений, связанная со случайными ошибками, оценивается в результате многократного повторения опыта. Точность измерения определяется величиной наибольшей ошибки.

Если систематическая ошибка является определяющей, т.е. её величина существенно больше случайной, то измерение достаточно выполнить один раз. Если определяющей является случайная ошибка, то измерение следует проводить несколько раз, чтобы случайная ошибка среднего арифметического измеренных величин стала меньше систематической, т. е. чтобы последняя определяла окончательную ошибку результата.

Случайная ошибка измерений оценивается с помощью средней квадратичной ошибки (стандартной ошибки, стандарта) или средней арифметической ошибки.

Средней квадратичной ошибкой называется величина S_n :

$$S_n = \sqrt{\frac{(\bar{\chi} - \chi_1)^2 + (\bar{\chi} - \chi_2)^2 + \dots + (\bar{\chi} - \chi_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{\chi} - \chi_i)^2}{n-1}}, \quad (4.11)$$

где n — число проведенных измерений,

χ_i — значение измеряемой величины, полученное в результате i -го измерения, $\bar{\chi}$ — среднее значение измеряемой величины:

$$\bar{\chi} = \frac{\chi_1 + \chi_2 + \chi_3 + \dots + \chi_n}{n} = \frac{\sum \chi_i}{n}, \quad (4.12)$$

$(\bar{\chi} - \chi_i) = \Delta \chi_i$ — абсолютная погрешность i -го измерения.

Средняя арифметическая ошибка вычисляется по формуле:

$$r_n = \frac{|\bar{\chi} - \chi_1| + |\bar{\chi} - \chi_2| + \dots + |\bar{\chi} - \chi_n|}{n} = \frac{\sum |\chi_i - \bar{\chi}|}{n}. \quad (4.13)$$

При достаточно большом числе измерений (практически больше 30)

$$S = 1,25 \text{ или } r = 0,80S$$

Если число измерений мало, среднюю арифметическую ошибку следует рассчитывать по формуле:

$$r_n = \frac{\sum |\bar{\chi} - \chi_i|}{\sqrt{n(n-1)}}. \quad (4.14)$$

Если определяемая величина измеряется не непосредственно, а рассчитывается на основании результатов прямых измерений, то погрешность ее измерения определяется следующим образом:

$$1. \text{ Если } Z = \chi + Y, \text{ то } S_z = \sqrt{S_\chi^2 + S_y^2}. \quad (4.15)$$

2. Если $Y = A * \chi + B$, где A и B — постоянные величины, то $\Delta Y = A * \Delta \chi$.

$$3. \text{ Если } Y = \chi_1 \chi_2 \chi_3, \text{ то } S_y^2 = (\chi_1 \chi_2 S_{\chi_3})^2 + (\chi_1 \chi_3 S_{\chi_2})^2 + (\chi_2 \chi_3 S_{\chi_1})^2. \quad (4.16)$$

Относительная ошибка рассчитывается по формуле:

$$\frac{S_y^2}{Y^2} = \frac{S_{\chi_1}^2}{\chi_1^2} + \frac{S_{\chi_2}^2}{\chi_2^2} + \frac{S_{\chi_3}^2}{\chi_3^2}. \quad (4.17)$$

4. Если $Y = \chi_1 / \chi_2$, то

$$S_y^2 = \frac{S_{\chi_1}^2}{\chi_2^2} + \left(\frac{\chi_1}{\chi_2}\right)^2 S_{\chi_2}^2. \quad (4.18)$$

Выражение для относительной ошибки имеет вид

$$\frac{S_y^2}{Y^2} = \frac{S_{\chi_1}^2}{\chi_1^2} + \frac{S_{\chi_2}^2}{\chi_2^2}. \quad (4.19)$$

Например, относительная ошибка при определении плотности материала расчетным методом — взвешиванием и обмером образца в

форме прямоугольного параллелепипеда рассчитывается по следующей формуле:

$$\left(\frac{S_\rho}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{S_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2, \quad (4.20)$$

где $\rho = \frac{m}{abc}$ — плотность материала, m, a, b, c — масса и линейные размеры граней образца.

В приведенных выше формулах за истинное значение измеряемых величин принимается их среднее арифметическое значение, например $\chi_1 = \bar{\chi}_1$.

При однократном измерении вместо среднеквадратичной ошибки в формулы следует подставлять значения абсолютной ошибки.

Например, $\chi_1 = \bar{\chi}_1$

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta \chi_1}{\chi_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \chi_2}{\chi_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta \chi_n}{\chi_n}\right)^2 \quad (4.21)$$

При определении плотности и пористости деталей из порошков должен применяться мерительный инструмент (штангенциркуль, микрометр) с ценой деления шкалы не более 0,01 мм, лабораторные весы с погрешностью взвешивания не более 0,005 г.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание различных методов определения плотности и пористости порошковых материалов.
3. Таблицы с исходными данными, результатами измерений и расчетов.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Методы определения пористости изделий из порошковых материалов.
2. Как влияют случайные и систематические ошибки на количество опытов и точность измерений?

Библиографический список

1. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии : учеб. для вузов по специальности "Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия" : [в 2 т.] / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. М. : МИСИС, 2001-2002. Т. 2: Формование и спекание.

2002. – 318 с.

2. ГОСТ 18898-89 (ИСО 2738-87). Изделия порошковые. Методы определения плотности содержания масла и пористости.

3. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 384 с.

4. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987. - 792 с.

Определение плотности и пористости расчетным методом

Материал:.....													$\rho_k = \dots\dots\dots \text{г} / \text{см}^3$				
№	d	d _{ср.}	Δd	S _d	h	h _{ср.}	Δh	S _h	m	m _{ср.}	Δm	S _m	ρ_p	$\Delta\rho_p/\rho_p$	S _{ρp} /ρp	Θ _p	Π _p
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	г	г	г	г	г / см ³	-	-	-	%
1																	
2																	
3																	
Измерительный инструмент				Класс точности				Предел измерения				Цена деления			Погрешность измерения		
Штангенциркуль																	
Микрометр																	
Весы																	

Таблица 4.2

Определение плотности и пористости методом гидростатического взвешивания

Материал:.....													$\rho_k = \dots\dots\dots \text{г} / \text{см}^3$									
№	m	m _{ср.}	Δm	S _m	m ₀	m _{ср.0}	Δm_0	S _{m0}	m _{0нв}	m _{0нв} ⁻	$\Delta m_{0нв}$	S _{m0нв}	m _{пв}	m _{пв} ⁻	$\Delta m_{пв}$	S _{mпв}	ρ_g	$\Delta\rho_g/\rho_g$	S _{ρg} /ρg	Θ _g	Π _g	
	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г / см ³	-	-	-	%	
1																						
2																						
3																						
Измерительный инструмент				Класс точности				Предел измерения				Цена деления				Погрешность измерения						
Весы																						

Работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНУСНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ДРОБИЛКЕ

Цель работы: выявление взаимосвязи между параметрами работы дробилки и выходом порошка заданных фракций.

Общие сведения

Конусная инерционная дробилка (рис. 5.1) предназначена для измельчения хрупких материалов различной прочности в непрерывном режиме. Можно добиться степени сокращения крупности материала в 5–10 раз. Таким образом, иногда удается заменить две стадии дробления или стадию дробления и измельчения на одну технологическую операцию или существенно понизить среднюю крупность мелкодробленого материала.

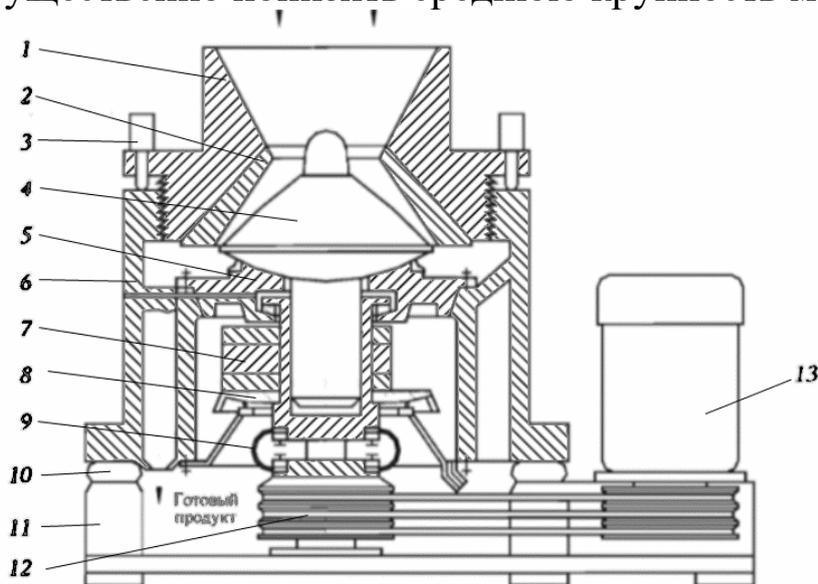


Рисунок 5.1-Схема конусной инерционной (вибрационной) дробилки, где 1 – наружный конус, 2 – броня наружного корпуса, 3 – гидродомкрат, 4 – внутренний конус, 5- сферическая опора, 6 – корпус, 7 – дебалансный ротор-вибратор, 8 – подшипник ротора-вибратора, 9 – эластичная муфта, 10 – резиновый амортизатор, 11– металлическая опора, 12- клиноременная передача, 13 – электродвигатель

Классифицируются конусные дробилки **крупного, среднего и мелкого** дробления (табл. 5.1, 5.2)

Таблица 5.1. Классификация конусных дробилок и их характеристики

Модель	КСД-1200Гр	КСД-1200Т	КМД-1200Гр	КМД-1200Т
Производительность в открытом цикле при дроблении материала средней твердости до 4%, м³/ч	83-125	46-100	50-65	30-55
Диаметр основания дробящего конуса, мм	1200	1200	1200	1200
Размер загружаемых кусков, мм	150	100	80	40
Размер разгрузочной щели, мм	20-50	10-25	5-15	3-12
Мощность электродвигателя, кВт	75	75	75	75
Габаритные размеры, мм	2180 x 2180x 3035	2180 x 2180x 3035	2180 x 2180x 3035	2180 x 2180x 3035
Масса дробилки без электрооборудования, Т	21	21	21	21

Модель	КСД-2200Гр	КСД-2200Т	КМД-2200Гр	КМД-2200Т
Ширина приемной щели, мм	350	275	140	100
Наибольший размер кусков питания, мм	300	250	110	85
Ширина разгрузочной щели, мм	30-60	15-30	10-20	5-15
Диаметр основания дробящего конуса, мм	2200	2200	2200	2200
Производительность при дроблении кристаллических материалов средней крепости с влажностью до 4% в открытом цикле, м³/ч, не менее	360-610	180-360	220-260	160-220
Мощность приводного электродвигателя, кВт	250	250	250	250
Масса собственно дробилки, т	87,5	88	88	88

Таблица 5.2. Применение конусных дробилок

Обработка воды и почвы	Экзотермические порошки	Катализатор
Флюс для сварки электродного покрытия	Производство ферро фосфора и ферромolibдена	Термическая обработка отливок в литейных цехах
Огнеупорные смеси	Экзотермические порошки	Сырье для гранулирования
Пигменты и прекурсор оксида железа	Прокатная окалина	Намагничивающий синергетический компонент
Материал для дорожного строительства	Шихтовая смесь для спекания	Брикетирование
Защита от электромагнитного излучения	Цветное стекло	Порошок для порошковой металлургии
Минеральная вата	Отрицательный электрод щелочных аккумуляторных батарей	Фрикционный материал
Цементный клинкер	Тяжелые конструкции/весовые агрегаты	Композитные противовесы для стиральной машины

Конусные дробилки широко используются в нерудной промышленности для дробления камня на щебень, получения искусственного песка, подготовки сырья для цементных мельниц, производства удобрений и химического сырья.

КИД60

Дробилка конусная инерционная КИД-60 предназначена для сухого и мокрого дробления и измельчения в открытом и замкнутом циклах хрупких и охрупченных материалов любой прочности и твердости: алмазов, твердых сплавов, керамики, стройматериалов, отходов электроники, компонентов лекарств, растительных материалов.

Производитель: Асorn. Страна производства: Россия

Диаметр основания дробящего конуса – 60 мм

Наибольший размер кусков питания – 5 мм

Производительность (в зависимости от размера рабочей щели и свойств перерабатываемого материала), не более – 10 кг/час

Крупность дроблёного продукта – 0,2 мм

Мощность привода – 0,55 кВт

Габаритные размеры, длина*ширина*высота – 350*230*380 мм

Масса – 30 кг

Дробилка содержит наружный и внутренний дробящие конусы. Оба конуса защищены бронями, поверхности которых образуют постепенно сужающуюся к разгрузке камеру дробления.

Плюсы:

- отсутствие холостого хода;
- это дробящий агрегат непрерывного действия;
- возможность получать как очень мелкие, так и крупные фракции в зависимости от задачи;
- эффективность рабочего процесса;

Недостатки:

- повышенная энергоёмкость;
- значительное количество мелких фракций на выходе из дробилки;
- заклинивание дробилки в случае попадания слишком твёрдой породы;
- сложно контролировать зазор;
- много летящей пыли.

Технологическое оснащение

Порошковый материал для измельчения.

Весы лабораторные.

Инструмент мерительный.

Конусная инерциальная дробилка КИД-60.

Вибропривод.

Порядок выполнения работы

Перед дроблением необходимо поломать большие куски измельчаемого материала для предотвращения заклинивания дробилки.

Произвести замеры массы материала до дробления.

Дробление производили на конусной инерционной дробилке с диаметром у основания 60 мм.

После дробления необходимо произвести повторный замер массы порошка.

Подсчитать потери массы при дроблении и сделать запись в тетрадь.

Проанализировать, с чем связаны такие потери массы, а также предложить свои варианты, как этого можно было бы избежать.

Увеличить зазор в дробилке и повторить проделанные операции.

Полученный порошок просеять в виброприводе, следуя правилам отсева.

По полученным значениям построить гистограмму распределения порошка по фракциям.

Сделать выводы (записать плюсы и минусы данного метода)

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема КИД-60.
3. Таблицы с исходными данными, результатами измерений и расчетов.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Сущность метода дробления прокатной окалины в конусной инерциальной дробилке?
2. С какими трудностями вы столкнулись в процессе работы?
3. Какие решения помогут решить данные проблемы?

Библиографический список

1. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии : учеб. для вузов по специальности "Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия" : [в 2 т.] / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. М. : МИСИС, 2001-2002. Т. 2: Формование и спекание. 2002. – 318 с.
2. ГОСТ 18898-89 (ИСО 2738-87). Изделия порошковые. Методы определения плотности содержания масла и пористости.
3. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 384 с.
4. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987. - 792 с.

Работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомление и овладение методикой определения коэффициента бокового давления при прессовании порошков.

Общие сведения

Давление, прикладываемое к порошковому материалу, передается во всех направлениях, в том числе и в направлении, нормальном к направлению прессования. Однако, из-за межчастичного трения, трения порошка о рабочие поверхности инструмента, давление в поперечном направлении, так называемое боковое давление, меньше прикладываемого. *Боковое давление* зависит от величины нормального давления, свойств порошкового материала, условий прессования.

Способность материала передавать прикладываемое давление в поперечном направлении характеризуется коэффициентом бокового давления ν :

$$\nu = \frac{p_{\bar{b}}}{p_o} \leq 1, \quad (6.1)$$

где $p_{\bar{b}}$ и p_o — боковое и прикладываемое давление соответственно.

Коэффициент бокового давления порошков металлов изменяется от 0,2 (для вольфрама) до 0,8 (для свинца) и возрастает с увеличением пластичности металла и плотности прессовки. С увеличением дисперсности и окисленности частиц порошка коэффициент бокового давления уменьшается.

При прессовании изделий в жестких пресс-формах боковое давление воспринимается матрицей, поэтому для ее прочностного расчета необходимо значение величины коэффициента бокового давления.

Для экспериментального определения коэффициента бокового давления необходимо одновременно фиксировать величины нормального и бокового давлений. При прессовании в жестких пресс-формах нормальное давление задается по силоизмерителю пресса или по давлению масла в системе главного гидроцилиндра.

О величине бокового давления можно судить по величине деформации стенок матрицы, которая регистрируется с помощью индикаторов, датчиков перемещения или тензодатчиков сопротивления.

В данной лабораторной работе боковое давление регистрируется с помощью тензодатчика, наклеенного на измерительный винт (рис.6.1).

В исходном положении винт вворачивается в отверстие в стенке матрицы и фиксируется в этом положении с помощью контргайки. В процессе нагружения измерительный винт сжимается, что приводит к изменению величины электрического сигнала, снимаемого с тензодатчика и фиксируемого на регистрирующем устройстве. Для одновременной регистрации нормального давления датчик аналогичной конструкции устанавливается в верхнем пуансоне. Для того чтобы установить зависимость между величиной электрического сигнала, снимаемого с тензодатчика, и прикладываемым давлением, перед началом экспериментов и после их окончания производится тарировка датчиков. Тарировка заключается в нагружении датчика известным усилием с одновременной регистрацией сигнала.

На основании результатов тарировки строится тарировочный график в координатах $H = H(p)$. Для каждого датчика должен быть построен свой тарировочный график.

Тарировка датчиков проводится в процессе нагружения и разгрузки. За истинное значение отклонения H принимается среднее арифметическое

их значений, полученных при увеличении и уменьшении прикладываемого давления.

Тарировочный график позволяет любому значению H_i найти соответствующую ему величину давления.

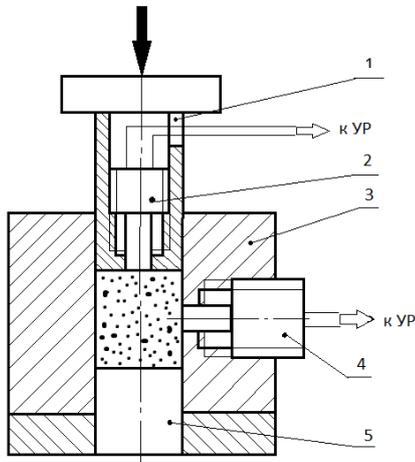


Рис. 6.1. Принципиальная схема измерительной оснастки
1 – верхний пуансон, 2 – датчик осевого давления, 3 – матрица, 4 – датчик бокового давления, 5 – нижний пуансон. *Примечание:* УР – устройство регистрации.

Технологическое оснащение

Порошковый материал.

Весы лабораторные.

Инструмент мерительный.

Матрица с датчиками давления.

Консистентная смазка или парафин.

Раствор стеарата цинка в ацетоне.

Устройство регистрации сигналов датчиков.

Гидравлический пресс.

Последовательность выполнения работы

Результаты измерений и расчетов заносить в таблицу 6.1.

Измерить диаметр отверстия матрицы d , мм и рассчитать массу навески порошка m , г по формуле

$$m = 0,79d^3\rho_k, \quad (6.2)$$

где $\rho_k, \text{г/см}^3$ — теоретическая плотность компактного материала.

Вычислить площадь поверхности прессования по формуле

$$S = 0,79d^2 \quad (6.3)$$

Рассчитать усилие прессования P , кН, соответствующее удельным усилиям p , равным 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 МПа.

Определить глубину камеры засыпки h , мм по формуле:

$$h = \frac{m}{\rho_n S}, \quad (6.4)$$

где $\rho_n, \text{г/см}^3$ — насыпная плотность порошкового материала.

Собрать оснастку так, чтобы датчик бокового давления находился на равном расстоянии (приблизительно $h/2$) от торцов верхнего и нижнего пуансонов.

Проверить работу датчиков. Установить датчики в исходное положение. С помощью контргайки зафиксировать винт.

Произвести тарировку датчиков. В полость матрицы поместить эластичный контейнер с жидкостью или заполнить матрицу консистентной смазкой, расплавленным парафином и т.п. Вставить верхний пуансон и подвести к нему траверсу прессы.

Включить регистрирующее устройство. Включить насос гидростанции и осуществить медленное нагружение до усилий, определенных в п.3. По достижении требуемого усилия сделать выдержку в течении 3–5 с, после чего продолжить нагружение до следующих значений усилия. По достижении максимального усилия плавно снижать давление, делая выдержки при тех же значениях усилия, что и при нагружении.

После окончания тарировки датчиков, не меняя их положения, жидкость из полости матрицы вылить, пуансоны и матрицу протереть досуха и смазать рабочие торцы пуансонов и стенки матрицы раствором стеарата цинка в ацетоне.

Приготовить навеску исследуемого порошка в соответствии с п.1 и засыпать в матрицу.

Произвести нагружение в соответствии с п.7.

После разгрузки спрессованный материал удалить.

Пункты 9, 10 и 11 повторить 2 раза.

Произвести повторную тарировку датчиков.

На основании полученных данных построить тарировочные графики. Определить соответствующие значения p и p_0 и величину v для различных значений p (за действительное значение принять среднее арифметическое результатов 3-х опытов).

По результатам опытов построить графики $p_0 = p_0(p)$, $v = v(p)$.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Эскиз оснастки и краткое описание опыта.
3. Таблица с исходными данными, результатами измерений и расчетов (см. табл.6.1).
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Виды датчиков, используемых при измерении давлений в порошковых материалах.
2. Как тарировочный график используется при проведении опытов?
3. В каких расчетах используется коэффициент бокового давления?

Библиографический список

1. Петросян, А. С. Порошковая металлургия и технология композиционных материалов : [учебник для вузов] / А. С. Петросян ; Государственный инженерный университет Армении. Ереван : Авторское издание, 2007.- 240 с.
2. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010.- 384 с.
3. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии : учеб. для вузов по специальности "Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия" : [в 2 т.] / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. М. : МИСИС, 2001-2002. Т. 2: Формование и спекание. 2002. - 318 с.
Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987. - 792 с.

Определение коэффициента бокового давления при прессовании порошка

Таблица 6.1

$d = \text{--- мм}, S = \text{--- мм}^2, \rho_k = \text{--- г/см}^3, m = \text{--- г}, h = \text{--- мм}, \rho_n = \text{--- г/см}^3$																						
p	P	$H_{от}$	$H_{бт}$	1					2					3								
				$\frac{H}{o}$	p_o	$\frac{H}{\bar{o}}$	$p_{\bar{o}}$	ν	$\frac{H}{o}$	p_o	$\frac{H}{\bar{o}}$	$p_{\bar{o}}$	ν	$\frac{H}{o}$	p_o	$\frac{H}{\bar{o}}$	$p_{\bar{o}}$	ν	$\overline{p_o}$	$\overline{p_{\bar{o}}}$	$\overline{\nu}$	
М Па	к Н	м м	м м	м м	М Па	м м	М Па	-	м м	М Па	м м	М Па	-	м м	М Па	м м	М Па	-	МП а	М Па	-	
50																						
10 0																						
15 0																						
20 0																						
25 0																						
30 0																						
35 0																						
40 0																						
45 0																						
50 0																						
55 0																						
60 0																						

Работа 7

УПРУГОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ПРЕССОВОК

Цель работы: установление зависимости между величинами давления прессования и упругого расширения у прессовок различных порошков металлов, а также определение влияния вида смазки на величину упругого расширения.

Общие сведения

При прессовании порошка его частицы и в особенности их приконтактные зоны испытывают значительные деформации,

приводящие к возникновению больших внутренних напряжений, которые растут по мере увеличения давления. В процессе прессования эти напряжения уравниваются силами реакции, возникающими в инструменте.

Снятие давления, а также последующая выпрессовка изделия из матрицы приводят к изменению условий равновесия. Реализация высоких внутренних напряжений, сопровождающаяся снятием упругих деформаций частиц, приводит к увеличению расстояний между ними и размеров прессовки в целом. *Увеличение объема V спрессованного изделия или его линейных размеров l под действием внутренних напряжений называется упругим последствием.*

Величина упругого последствия определяется зависимостями:

$$\delta_v = \frac{V_1 - V_0}{V_0} 100\% \quad (7.1)$$

или

$$\delta_l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%, \quad (7.2)$$

где V_0 , l_0 и V_1 , l_1 — объем и линейный размер изделия до снятия давления и после выпрессовывания соответственно.

Изменения линейных размеров изделия, вызванные упругим последствием в различных направлениях неодинаковы, что обусловлено неодинаковыми условиями деформации прессовки в различных направлениях, а также упругой деформацией матрицы.

Наиболее важное значение для практики имеет упругое расширение, т.е. изменение поперечных размеров прессовки, величина которого должна учитываться при определении размеров инструмента. Не учёт изменения размеров прессовки в поперечном направлении может потребовать проведения дополнительной механической обработки.

Увеличение размеров прессовки в направлении прессования может в два и более раз превышать ее упругое расширение, однако его величина обычно не учитывается, поскольку высотные размеры изделия легко корректируются в процессе прессования.

Величина упругого последствия зависит от свойств порошкового материала и условий прессования. Как правило, уменьшение размеров частиц, увеличение содержания оксидов, высокая твердость материала частиц, а также увеличение давления прессования приводит к увеличению упругого последствия. Напротив, предварительный отжиг в восстановительной среде и применение смазки (в особенности

поверхностно-активных веществ) способствуют его уменьшению.

Изменение размеров изделия в результате упругого последействия протекает при нормальных условиях в течение нескольких часов или дней. Однако основная его часть происходит непосредственно после выпрессовывания. Это обстоятельство используется в практике прессования для удаления спрессованного изделия с зеркала матрицы при прессовании в автоматическом режиме. Наличие упругого последействия позволяет легко извлекать стержни, формирующие отверстия в прессовках после выпрессовывания из матрицы.

Технологическое оснащение

Порошки металлов.

Стеарат цинка, ацетон технический (ГОСТ 2768-84), вазелин медицинский (ГОСТ 3582-84).

Весы лабораторные (погрешность взвешивания не более 0,005 г).

Инструмент мерительный с ценой деления шкалы не более 0,01 мм.

Пресс-форма для прессования цилиндрических образцов.

Пресс гидравлический с силоизмерительным устройством.

Последовательность выполнения работы

В работе используются чистые порошки двух металлов, отличающихся пластическими свойствами, а также смеси одного из порошков с инертной смазкой (машинное масло, керосин) и активной смазкой (порошкообразный стеарат цинка).

Во избежание появления задиров на инструменте при прессовании чистых порошков перед каждым опытом рабочие поверхности инструмента смазывать раствором стеарата цинка в ацетоне.

Результаты всех измерений и расчетов занести в таблицу 7.1.

Измерить диаметр матрицы (или пуансона) d и рассчитать площадь прессования S и величину полного усилия P , необходимого для прессования с давлением 100, 200, 300, 500, 700 МПа.

Рассчитать массу m навески порошка по формуле

$$m=0,79 d^3 \rho_k, \quad (7.3)$$

где ρ_k — теоретическая плотность компактного материала (изменение величины ρ_k порошка в связи с введением смазки не учитываем).

Приготовить по 15 навесок каждого порошка.

Собрать оснастку и спрессовать образцы с усилием по п.1 (3 образца

на точку). Прессование проводить по схеме двустороннего нагружения, для чего после предварительной подпрессовки с давлением $40 \div 50$ МПа удалить подставку из-под матрицы.

Образец выпрессовать и измерить его диаметр d_1 .

Рассчитать величину упругого расширения по формуле

$$\delta_d = \frac{\bar{d}_1 - d}{d} 100\%, \quad (7.4)$$

считая, что исходный диаметр прессовки равен диаметру матрицы.

Построить графики зависимости $\delta_d = \delta_d(P)$ для исследованных порошковых материалов.

Рассчитать относительную плотность образцов и построить график зависимости $\delta_d = \delta_d(\theta)$.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Краткое описание эксперимента.
3. Эскизы оснастки и образца
4. Таблицы с исходными данными, результатами измерений и расчетов (см. табл.7.1).
5. Графики зависимостей величины упругого последствия от усилия прессования и относительной плотности прессовки.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Понятие – упругое последствие при прессовании порошков.
2. В каких расчетах используется величина упругого последствия?
3. Какие факторы влияют на величину упругого последствия?

Таблица 7.1

$d =$ мм; $S =$ мм ² ; $\rho_k =$ г/см ³ ; $m =$ г										
№	p	P	d_l	\bar{d}	δ_d	h	\bar{h}	\bar{V}	$\bar{\rho}$	$\bar{\theta}$
п/п	МПа	кН	мм	мм	%	мм	мм	мм ³	г/см ³	

Библиографический список

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов/[В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987. - 792 с.
2. А. В. Гоциридзе, П. А. Кузнецов, Э. Е. Юргенсон. Технология производства изделий из порошков: Учеб. пособие. – СПб: Изд-во ПИМаш, 2012. – 152 с.

Работа 8

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВАНИЯ И СПЕКАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЦИНКА

Цель работы: анализ процессов прессования и спекания порошков оксида цинка.

Общие сведения

Порошковая металлургия, как метод получения изделий со специальными свойствами, предусматривает широкое использование не только порошков металлов, но и их оксидов. Они находят применение в электротехнике, приборостроении, машиностроении, медицине и других отраслях народного хозяйства. Процесс получения изделий из оксидов интересен как с точки зрения формования заготовок, так и с точки зрения их спекания. Многие из оксидов обладают плохой формуемостью, и поэтому получение изделий из них возможно только при введении в шихту пластифицирующих добавок или связующих компонентов. В то же время спекание оксидов не требует защитной атмосферы печи, и производится на воздухе, что существенно упрощает технологический цикл.

Одним из оксидов, находящих широкое применение в промышленности, является оксид цинка. Оксид цинка относится к классу полупроводниковых соединений. Он выпускается серийно, марок ХЧ, ЧДА, Ч. Соответствующие марки порошков содержат большие или меньшие количества различных примесей. Общее содержание оксида цинка в порошке должно быть не менее 99%. Небольшое изменение в химическом составе приводит к изменению свойств порошка в процессе его формования и, особенно, спекания.

По сравнению со многими другими порошковыми материалами, в частности металлами, для формования оксида цинка требуются сравнительно невысокие давления. Интересно влияние температуры спекания на усадку оксида цинка, которая может достигать 40%.

Технологическое оснащение:

Пресс ПСУ-50.

Печь для спекания порошковых заготовок.

Пресс-форма.

Измерительный инструмент.

Порошок оксида цинка.

Последовательность выполнения работы

Изучается принцип работы пресс-формы. Измеряется внутренний

диаметр, рассчитывается площадь поперечного сечения .

Рассчитываются усилия прессования, исходя из заданных давлений (30, 60, 90, 120, 150 МПа). Прессуются по шесть образцов при каждом давлении. Навеска одного образца составляет 20 г.

Изучаются основные положения при работе на прессе ПСУ-50.

Производится прессование образцов при рассчитанных усилиях. Выпрессовка образцов идет вверх из-за достаточно низкой прочности сырых заготовок.

Производятся замеры геометрических параметров, определяется масса образцов. Рассчитывается плотность ρ и пористость Π .

Строится зависимость толщины, плотности и пористости образцов от давления прессования.

Производится спекание образцов при температурах 900, 1000 и 1200°C и времени спекания (выдержка при данной температуре) 1 ч.

Охлаждение образцов осуществляется вместе с печью или вне печи.

Определяются геометрические параметры после спекания и их масса.

Рассчитываются плотность и пористость.

Определяется усадка образцов по диаметру и высоте. Делается вывод об изменении линейных размеров в результате спекания.

Усадка вычисляется по формуле

$$\delta_d = \frac{\bar{d}_1 - d}{d} 100\% \quad (8.1)$$

где \bar{d}_1 - линейный размер после прессования; d_1 - линейный размер после спекания.

Определяется суммарная усадка после спекания по объему.

Строится зависимость толщины, плотности, пористости и усадки от исходного давления прессования и температуры спекания.

Результаты экспериментов заносятся в таблицу.

Параметры образцов из порошка оксида цинка после формования и спекания

Прессование						Спекание						
н/п	P	m, d,	h,	$\bar{\rho}_i$,	г/П,	m, d, h,	$\bar{\rho}_i$,	П,	δ			
	МПа	г	мм	мм	см ³	%	г	мм	мм	г/см ³	%	%

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Краткое описание экспериментов.
3. Таблица с исходными данными, результатами измерений и расчетов

(см. табл.8.1).

4. Выводы.

Выводы по работе должны содержать анализ процессов формования и спекания порошка оксида цинка.

Контрольные вопросы

1. Как влияет процесс спекания на плотность и геометрические параметры прессовок.
2. Описать области применения порошков оксида цинка.

Работа 9

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомление с процессом спекания спрессованных заготовок и установление зависимости твердости прессовок от пористости после спекания.

Общие сведения

Механические свойства спрессованных порошковых заготовок (предел прочности на растяжение, относительное удлинение, ударная вязкость) зависят от величины пористости и увеличиваются при её уменьшении. Прочность прессовок определяется прочностью контактов между частицами. При холодном прессовании прочность контактов обусловлена только механическим сцеплением частиц. Вследствие недостаточной прочности таких изделий их невозможно использовать в качестве деталей машин.

Основным способом повышения уровня свойств спрессованной заготовки является спекание, которое обеспечивает образование прочных связей между частицами порошка в результате увеличения подвижности атомов при повышении температуры. По ГОСТ 17359-82 спекание определяется как нагрев и выдержка порошковой формовки при температуре ниже точки плавления основного компонента, с целью обеспечения заданных механических и физико-химических свойств. *Спекание* может происходить в условиях, когда частицы не изменяют свое агрегатное состояние (*твердофазное спекание*), а также сопровождаться образованием жидкой фазы в результате расплавления наиболее

легкоплавких компонентов (*жидкофазное спекание*).

Нагрев спрессованного изделия активизирует процесс массопереноса (поверхностная и объемная диффузия, вязкое течение, перенос материала через газовую фазу и др.), в результате, наряду с повышением прочности контактов, происходит увеличение их площади.

При этом происходит сближение частиц, уменьшение линейных размеров и объема спекаемого тела, называемое усадкой. Количественно *усадка* δ характеризуется относительным изменением линейных размеров или объема:

$$\delta_l = \frac{\Delta l}{l_0}; \quad \delta_v = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (9.1)$$

Усадку необходимо учитывать при проектировании оснастки для прессования. Ее величина зависит от материала и плотности прессовки, температуры, скорости нагрева, продолжительности изотермической выдержки. Поскольку интенсивность диффузионных процессов возрастает с повышением температуры, спекание проводят при температурах в интервале (0,75-0,9) $T_{пл}$. Рекомендуемые интервалы температур спекания порошков чистых металлов приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1
Температура спекания порошков чистых металлов

Металл	$T_{сп}, ^\circ C$	Металл	$T_{сп}, ^\circ C$	Металл	$T_{сп}, ^\circ C$
Алюминий	480-520	Магний	480-520	Тантал	2200-2400
Бериллий	1050-1200	Медь	750-950	Титан	1200-1300
Ванадий	1400-1500	Никель	1050-1150	Хром	1350-1500
Железо	1100-1200	Палладий	1100-1200	Цирконий	1300-1450
Иридий	1800-1950	Платина	1250-1400		
Кобальт	1050-1150	Серебро	650-750		

Спекание металлов проводится в условиях, обеспечивающих безокислительный нагрев - в защитных или восстановительных средах. При нагреве изделий до 100 - 150 $^\circ C$ происходит удаление пара и газов, испарение или выгорание технологических добавок. По достижении температуры (0,4-0,5) $T_{пл}$ начинаются процессы восстановления оксидов, в результате чего происходит замена неметаллических контактов между частицами на металлические. При температуре (0,75-0,9) $T_{пл}$

восстановление оксидов заканчивается, контакты между частицами становятся чисто металлическими и протекают процессы, приводящие к усадке изделия, повышению его плотности.

Продолжительность *изотермической выдержки* составляет несколько часов и определяется свойствами материала, массой и средней плотностью изделия. С увеличением дисперсности порошка процесс спекания ускоряется, повышаются механические свойства изделия, увеличивается усадка. Уменьшению усадки способствует предварительный отжиг порошка в восстановительной среде. Меньшая усадка наблюдается у изделий, имеющих большую плотность. Усадка искажает форму неравноплотного изделия после спекания.

Большое влияние на процесс спекания оказывают свойства *защитной среды*, в качестве которой используются инертные газы (аргон, азот, гелий), водород, конвертированный природный газ, диссоциированный аммиак. Последний, представляющий собой смесь молекул водорода и азота, получил наиболее широкое применение. Области применения защитных сред приведены в таблице 9.2. Безокислительные условия спекания обеспечивают нагрев изделия в вакууме. *Спекание порошковых изделий осуществляется в специализированных проходных или камерных электрических печах.* Для спекания небольших партий деталей обычно используются печи камерного типа. В этом случае изделия загружаются в контейнер из нержавеющей стали, в который подается защитный газ.

Таблица 9.2.

Виды защитных сред для спекания

Защитная газовая среда	Область применения
Водород	Спекание изделий из порошков металлов, образующих трудновосстановимые оксиды, бериллия, ванадия, кремния, марганца, хрома, циркония, а также из порошков твердых сплавов.
Диссоциированный аммиак	Заменитель водорода. Не рекомендуется при спекании хромистых сталей, коррозионно-стойких сталей, а также сплавов, содержащих титан или молибден, в связи с возможным образованием хрупких нитридов.
Генераторный газ	Науглероживание или цементация спеченных

	изделий.
Конвертированный природный газ	Получение порошков восстановлением оксидов, а также при спекании порошков углеродистых сталей.
Эндотермический газ	Спекание порошковых изделий на основе углеродистых сталей.
Экзотермический газ	Спекание порошковых изделий на основе цветных металлов.

На предприятиях с массовым производством спекание производится в проходных печах. Эти печи имеют три зоны: входную, высокотемпературную и охлаждения. Во входной зоне нагрев осуществляется с невысокой скоростью, чтобы избежать резкого повышения напряжений в прессовке. В высокотемпературной зоне, где деталь нагревают до температуры спекания, проводят изотермическую выдержку. В зоне охлаждения детали охлаждаются до температуры, исключаяющей их окисление на воздухе.

Спекание в вакууме осуществляется в специальных вакуумных печах, где создается разрежение $10^{-3} - 10^{-4}$ мм рт. ст., а температура может превышать 2500°C . Спекание в восстановительных газах и вакууме позволяет достичь более высокого уровня свойств изделий, чем при спекании в нейтральной газовой среде.

Применяются также *защитные порошкообразные засыпки* из материалов, имеющих высокие температуры плавления и не взаимодействующих со спекаемым материалом (кварцевый песок, глинозем, шлиф-зерно, асбест и т.п.). Как правило, защитные засыпки применяются параллельно с защитными газовыми средами.

При *твердофазном спекании* многокомпонентных материалов понижение уровня свободной энергии происходит также за счет выравнивания концентраций элементов в системе в результате процессов гетеродиффузии.

Многокомпонентные материалы могут образовывать в процессе спекания жидкую фазу, если оно проводится при температуре выше температуры плавления легкоплавкого компонента. *Жидкофазное спекание* протекает более интенсивно, нежели твердофазное, что позволяет получать, практически, беспористые изделия, однако такое интенсивное уплотнение сопровождается значительными изменениями размеров.

Появление брака при спекании обусловлено нарушением режимов

проведения этой операции. Наиболее часто встречающимися *видами брака* являются: недопекание, пережог, окисление, обезуглероживание и коробление.

В процессе спекания происходит диффузия атомов и соединение частиц с образованием металлических связей в зонах контакта. После спекания материал имеет достаточно высокую прочность, а при малой пористости — прочность, соизмеримую с прочностью компактных материалов. Если спеченные изделия подвергают пластическому деформированию, то плотность повышается и становится близкой к плотности компактного материала.

Из порошковых компонентов получают композиционные материалы для деталей машин и приборов; антифрикционные и фрикционные материалы; пористые, фильтрующие элементы; режущий инструмент.

В качестве *материалов для деталей машин* используют железный порошок с добавками графита и легирующих элементов (никель, хром, молибден и др.), а также порошок из углеродистых и легированных сталей. Могут быть использованы и порошки цветных металлов и сплавов. Детали машин из порошковых материалов успешно работают как при малых нагрузках (крышки, шайбы, кольца, втулки), так и при значительных, включая динамические (шестерни, храповики, кулачки). Прочность спеченных конструкционных материалов в значительной степени определяется технологией производства и в первую очередь зависит от достигнутой плотности.

Антифрикционные материалы должны иметь малый коэффициент трения и хорошую износостойкость. Данные материалы создают на основе порошков бронзы, меди. Они содержат твердые смазки (графит, сульфиды, пластмассы). Износостойкость порошковых материалов в несколько раз превышает износостойкость бронзы, баббита. Кроме того, спеченные материалы с заданной пористостью после пропитки в смазочных жидкостях могут длительное время работать без принудительной смазки (узлы трения электрических машин, текстильных машин). Металлопластмассовые материалы успешно работают в вакууме, агрессивных средах и в широком диапазоне температур от + 280 °С до – 200 °С.

Фрикционные материалы имеют большой коэффициент трения, высокую износостойкость и термостойкость, успешно работают в тормозных и передаточных устройствах различных машин. Широкое распространение получили материалы на основе железа с добавками асбеста; оксидов кремния, алюминия; карбидов хрома, бора, кремния.

Пористые фильтрующие элементы отличаются значительной прочностью, химической стойкостью, жаропрочностью по сравнению с традиционными материалами (ткань, сетки, керамика). Детали из спеченных фильтрующих материалов имеют широкий диапазон пористости и тонкости очистки. Для производства фильтров, способных работать в агрессивных средах и при высокой температуре, используют порошки из бронзы, коррозионно-стойкой стали, сплавов на основе никеля, титана.

Элементы *твердосплавного режущего инструмента* в виде пластин различной формы получают формованием и спеканием из порошкообразных карбидов вольфрама, титана, тантала и различных их сочетаний. В качестве связующего компонента используют кобальт, а также никель и молибден. Твердые сплавы имеют высокую твердость, износостойкость и теплостойкость до 1000 °С.

В лабораторной работе предлагается установить зависимость влияния пористости спеченных заготовок на механические свойства.

Технологическое оснащение

Спеченные образцы различной пористости.

Весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,005г.

Инструмент мерительный с ценой деления не более 0,01мм.

Прибор для измерения твердости по Бринеллю.

Микроскоп инструментальный.

Последовательность выполнения работы

Работа проводится на образцах, спрессованных до разной плотности и спеченных при соответствующей температуре в производственных условиях. Все измерения и результаты расчетов заносятся в таблицу 9.3.

Определяются масса m и размеры образцов до и после спекания.

Используя значения диаметров образцов после прессования и после спекания, рассчитывается величина линейной усадки δ_l по формуле (9.1).

Рассчитывается пористость спеченного материала Π , % как величина, обратная относительной плотности:

$$\Pi = (1 - \rho/\rho_k)100 \% = (1 - m/\rho_k V)100 \% \quad (9.2)$$

Производится определение твердости спеченных образцов на приборе Бринелля при диаметре шарика $D = 10$ мм и нагрузке $P = 10$ кН.

Измеряется диаметр отпечатка d_{omn} , мм на образцах и рассчитывается твердость HV по формуле:

$$HV = \frac{2000P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d_{omn}^2})}, \text{ МПа} \quad (9.3)$$

Строится и анализируется график зависимости твердости HV от пористости P , % спеченного материала.

Строится и анализируется график зависимости относительной линейной усадки δ_l от пористости P , % спеченного материала.

Изучается под микроскопом внутреннее строение спеченных брикетов.

На основе анализа литературы изучаются типовые изделия порошковой металлургии, их назначение и особенности технологии.

Оформляется отчет, делаются выводы по работе.

Таблица 9.3

Механические свойства спеченных образцов

№ о б р .	Диам етр d , мм	Высо та h , мм	Объём V , см ³	Мас са m , г	Порист ость, P , %	Диам етр d_{omn} , мм	Твёрдость HV , МПа	Усад ка δ_l

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание сущности физико-химических процессов спекания.
3. Таблица результатов измерений и расчетов (см. табл.9.3).
4. Расчет пористости спеченных образцов.
5. Расчет твердости образцов и относительной линейной усадки спеченных образцов.
6. Графики зависимости твердости и усадки от пористости спеченных образцов.
7. Выводы о влиянии пористости на прочность спеченных брикетов.

Контрольные вопросы

1. Сущность и назначение операции спекания.

2. Какие факторы влияют на пористость спеченных материалов?
3. Влияние пористости на механические свойства спеченных изделий.
4. В каких расчетах используется величина относительной усадки?

Библиографический список

1. А. В. Гоциридзе, П. А. Кузнецов, Э. Е. Юргенсон. Технология производства изделий из порошков: Учеб пособие. – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2012. -152с.
2. Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г.В.Комарницкий. Процессы порошковой металлургии. В 2 т. Т. 2. Формование и спекание: Изд-во МИСИС, 2002.- 319 с.
3. Р.Герман. Порошковая металлургия от А до Я. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство / Р.Герман – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 336с.
4. ГОСТ 17359-82. Порошковая металлургия. Термины и определения.
5. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 384 с.
6. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987.- 792 с.

Работа 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ИСПЫТАНИЯ НА СРЕЗ

Цель работы: ознакомиться с методикой и определить физико-механические свойства порошков методом испытания на срез.

Общие сведения

При прессовании порошков по мере увеличения давления увеличивается плотность брикета. В предельных случаях при очень больших давлениях плотность стремится к плотности компактного материала. Однако, такая плотность при холодном статическом прессовании практически недостижима. Плотность прессовки определяется основными физико-химическими свойствами порошка. В процессе консолидации порошка свойства изделия определяются физико-механическими свойствами прессовок. Эти свойства зависят от многих факторов, их определение регламентировано соответствующими государственными стандартами и методиками, обеспечивающими получение достоверных результатов.

Существуют испытания на растяжение, сжатие (осадку), изгиб. В основном, при испытаниях порошковых материалов наибольший интерес представляют прочностные характеристики и способность прогнозирования их разрушения. Разрушение является завершающей стадией деформации и происходит в результате возникновения и роста трещин, слияния микротрещин и, в конечном итоге, развития магистральной трещины до полного разделения тела, сопровождающегося разрывом межзатомных связей.

Большинство механических испытаний необходимо проводить на спеченных образцах. Поэтому представляет интерес разработка механических испытаний или технологических проб для неспеченных материалов. К таким методам относится испытание на срез.

Напряжение среза - сложная механическая характеристика, которая по-разному оценивается разными авторами. Самым существенным недостатком этой характеристики является то, что сдвиг в чистом виде осуществить сложно, а именно о сдвиговых напряжениях следует говорить, рассматривая срез. Установлено, что явление сдвига почти всегда сопровождается другими деформациями - сжатием и изгибом.

Срезающие нагрузки - нагрузки, вызывающие скольжение (сдвиг) одних частей материала относительно других в плоскости сечения под действием касательных напряжений t , когда эти напряжения достигают определенной критической величины T_k .

Характер разрушения порошковых материалов сложен. Кроме дефектов, присущих компактным материалам, в порошковых существуют специфические дефекты - поры, которые служат, с одной стороны, концентраторами напряжений, а с другой, - по границам пор могут накапливаться примеси и дефекты структуры. Расположение пор имеет хаотический характер, поэтому для получения достоверных данных

необходимо испытывать большое количество образцов.

Схема устройства для проведения испытаний на срез и общий вид образца представлены на рис. 10.1

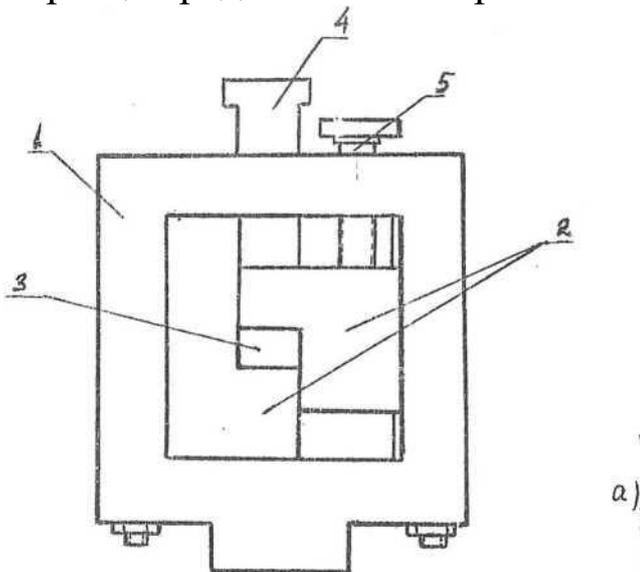


Рис.10.1. Устройство для проведения испытаний на срез:
1 - матрица; 2 - фиксаторы образца; 3 - образец; 4 - пуансон;
5 - винт перемещения фиксатора

Напряжение среза рассчитывается по формуле

$$t_{\text{ср.}} = Q_{\text{ср.}} / 2bh \quad (10.1)$$

где - $t_{\text{ср.}}$ - напряжение среза, МПа; $Q_{\text{ср.}}$ - усилие среза, кг или т; bh - сечения плоскостей среза, см².

Технологическое оснащение

Пресс ПСУ-50.

Устройство для испытания на срез.

Порошки металлов.

Измерительный инструмент.

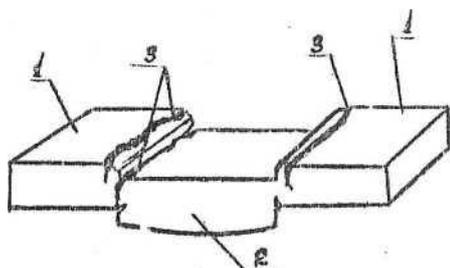


Рис. 10.2. Общий вид образца в процессе испытаний: 1 - неподвижная часть образца; 2 -- срезаемая часть образца; 3 ~ трещины

Несмотря на то, что срез - сложная характеристика физико-механических свойств, испытание на срез имеет ряд преимуществ. А, именно.

Испытанию на срез могут подвергаться образцы разной формы, что невозможно для испытаний на растяжение.

При построении кривой уплотняемости, после прессования, образцы прямоугольной формы могут быть подвергнуты испытанию на срез,

что повышает эффективность исследований.

Последовательность выполнения работы

Испытания проводятся на железном и медном порошках.

Делаются навески по 20 - 30 г в количестве по 15 штук каждого порошка, исходя из пяти точек различных давлений прессования и трех образцов на точку.

Прессуются прямоугольные образцы сечением 20x50 мм при давлениях в интервале 100-700 МПа.

Замеряются точные размеры образцов и их масса. Определяется плотность и пористость.

Полученные прессовки подвергаются испытанию на срез в ранее описанном устройстве. Фиксируется усилие, при котором происходит срез

Рассчитывается напряжение среза,

Проверяется плотность средней части образца и определяется, не произошло ли доуплотнения при срезе, что следует обязательно учитывать.

Строится график зависимости напряжения среза от плотности образца (или его средней части).

Делается вывод о сравнительных физико-механических свойствах железного и медного порошков.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Краткое описание методики определения физико-механических свойств порошков.

3. Таблица результатов измерений и расчетов процесса прессования и испытаний на срез.
4. Расчет характеристик образцов.
5. Расчет напряжения среза для различных порошков.
6. Графики зависимости напряжения среза от пористости образцов.
7. Выводы о влиянии пористости на прочность брикетов.

Контрольные вопросы

1. Сущность и назначение характеристики прочности при срезе.
2. Как пористость влияет на напряжение среза материалов?
3. Влияние пористости на механические свойства неспеченных изделий.

Библиографический список

1. А. В. Гоциридзе, П. А. Кузнецов, Э. Е. Юргенсон. Технология производства изделий из порошков: Учеб пособие. – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2012. -152с.
2. Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г.В.Комарницкий. Процессы порошковой металлургии. В 2 т. Т. 2. Формование и спекание: Изд-во МИСИС, 2002.- 319 с.
3. Р.Герман. Порошковая металлургия от А до Я. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство / Р.Герман – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 336с.
4. ГОСТ 17359-82. Порошковая металлургия. Термины и определения.
5. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 384 с.
6. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987.- 792 с.

Работа 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТРУЖКИ БРОНЗЫ В КОНУСНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ДРОБИЛКЕ

Цель работы: ознакомиться с процессом переработки стружки в конусной инерционной дробилке.

Общие сведения

Одним из основных направлений развития порошковой металлургии является утилизация отходов производства, в частности, стружки. Решение этого вопроса предусматривает не только экономию самих дефицитных и дорогостоящих материалов, но и возможность получения новых типов изделий методом порошковой металлургии.

После механической обработки одной из основных проблем является отмывка стружки от масла, СОЖ или каких-либо других органических веществ. В зависимости от характера загрязнения для отмывки применяются различные способы и реагенты. Это может быть очистка в ультразвуковом поле либо отмывка в растворах щелочей, бензина, керосина, ацетона, солярки. Выбор очистителя также обусловлен и безопасностью проведения процесса. В этом случае наиболее приемлемы керосин и солярка.

Отмытая стружка должна подвергнуться измельчению. Измельчение может проводиться в различных устройствах: мельницах, бегунах или дробилках, которые отличаются принципом действия, степенью измельчения исходного материала, производительностью и рядом других признаков.

Одним из перспективных видов измельчающего оборудования являются конусные инерционные дробилки (КИД). Дробилки типа КИД состоят из корпуса с внешним конусом со сферической опорой для внутреннего конуса, на валу которого размещен дебалансный вибратор (рис. 11.1). При вращении дебалансного вибратора создается центробежная сила, заставляющая внутренний дробящий конус совершать на сферической опоре вибрационное движение и обкатываться при вращении вокруг своей оси по внутренней поверхности наружного конуса. Классифицируются дробилки по диаметру основания нижнего конуса, мм: КИД-60, КИД-100, КИД-200, КИД-300 и т.д. Все эти дробилки отличаются размерами дробимого материала, который поступает в загрузочную щель,

производительностью, а также выходом определенных фракций.

В данной работе исследуется процесс измельчения стружки на дробилке КИД-60. Этот тип дробилок предназначен для мелкого дробления (измельчения) хрупких материалов со степенью сокращения до 30. В качестве исследуемого материала используется стружка бронзы (или другого материала согласно заданию) БрАЦ 10-6, полученная при обработке слитков методом резки.

Бронза БрАЦ 10-6 относится к алюминиевым и содержит 10 мас.% алюминия и 6 мас.% цинка. Ее отличительным свойством является эффект памяти формы. Разработка технологии получения порошка из стружки и дальнейшее его формование в изделия позволяет сэкономить весьма дефицитный материал.

Технологическое оснащение

Конусная инерционная дробилка КИД-60.

Ротап (или иное устройство для рассева порошков).

Стружка бронзы (или иного металла).

Весы (с точностью до второго знака после запятой).

Измерительный инструмент.

Микроскоп.

Последовательность выполнения работы

Для работы берется 200 г сухой, отмытой в бензине или керосине, стружки. На первой стадии работы определяется гранулометрический состав стружки, т.к. она представляет собой смесь из отдельных мелких частиц, завитков и спиралей различных размеров. Гранулометрический состав определяется на устройстве "Ротап" по известной методике. Произвольно из различных мест берется 100 г стружки, рассыпанной на бумаге. Навеска помещается в набор сит и производится рассев в течение 15 мин. Далее после отсева производится взвешивание остатка на ситах определенного номера. Отдельно описывается состав стружки с указанием крупных фракций, завитков, спиралей и т.д.

После определения гранулометрического состава стружки вся проба (200 г) собирается вместе. Следующим этапом работы является дробление на дробилке КИД-60, которое производится на максимальном зазоре между верхним и нижним конусами. При такой настройке дробилки измельчаемая стружка подвергается в рабочей зоне как истиранию, так и

ударным нагрузкам. Количество мелких фракций увеличивается вместе с увеличением производительности КИД-60. После дробления определяется гранулометрический состав полученного материала, выделяется фракция меньше 315 мкм и взвешивается.

Остаток пробы с размером частиц больше 315 мкм направляется на повторное дробление. Снова определяется гранулометрический состав, выделяется фракция меньше 315 мкм и взвешивается.

Остаток снова направляется на дробление, все остальные операции повторяются до 8 циклов.

Строится график зависимости суммарного выхода годного фракции меньше 315 мкм от количества циклов (выход годного в % определяется как отношение суммарного количества фракции меньше 315 мкм к общему количеству стружки, т.е. 200 г).

Производится сравнительное описание стружки и порошка по цвету и форме частиц после каждого цикла или через несколько циклов. Дается объяснение всем изменениям.

Строятся графические зависимости гранулометрического состава в виде гистограмм и дифференциальных кривых для стружки как после первого прохода, так и после последнего.

Делается вывод о влиянии режимов работы дробилки на выход годного определенной фракции, о производительности дробилки, а также о принципиальной возможности получения порошка из стружки бронзы (или другого металла).

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема установки.
3. Таблица с экспериментальными данными
4. Гистограмма, графики.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Описать принцип действия КИД-60.
2. Какой механизм разрушения твердых тел характерен для КИД.
3. Какие недостатки присущи порошкам, полученным механическим измельчением.

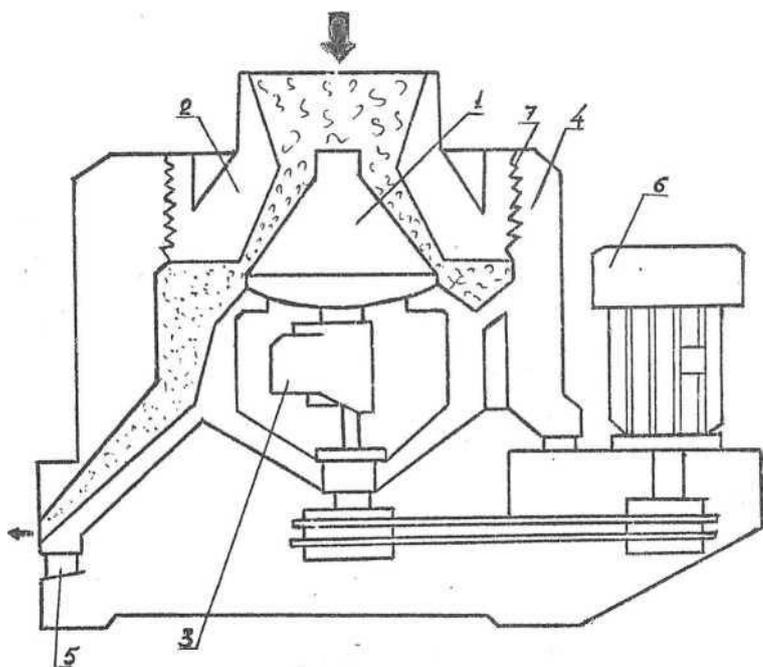


Рис. 11.1. Конусная инерционная дробилка: 1 - дробящий конус; 2 - наружный конус; 3 - ротор; 4 - корпус; 5 - эластичный амортизатор; 6 - электродвигатель; 7 - резьба наружного конуса.

Библиографический список

1. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии : учеб. для вузов по специальности "Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия" : [в 2 т.] / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. М. : МИСИС, 2001-2002. Т. 2: Формование и спекание. 2002. – 318 с.
2. ГОСТ 18898-89 (ИСО 2738-87). Изделия порошковые. Методы определения плотности содержания масла и пористости.
3. Гиршов В. Л. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки магистров образоват. обл. "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 384 с.
4. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / [В. Н. Анциферов [и др.]] ; под ред. Б. С. Митина. Москва : Металлургия, 1987. - 792 с.

Работа 12

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕНТ ИЗ ПОРОШКА ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА МЕТОДОМ ПРОКАТКИ

Цель работы: Изучение процесса прокатки лент из терморасширенного графита.

Общие сведения

В связи с интенсификацией технологических процессов, повышенными температурой и давлением, при которых они протекают, разнообразием используемых агрессивных сред в различных отраслях промышленности находят широкое применение новые конструкционные материалы. Одними из таких являются материалы на основе терморасширенного графита (ТРГ).

Исходным сырьем для получения ТРГ являются природные графиты различных месторождений. Природный графит имеет слоистую структуру. Связи в пределах одного слоя прочные. Связи в направлении, перпендикулярном плоскостям слоев, т.е. межплоскостные, более слабые. Это делает возможным внедрение различных ионов, при этом образуются межслойные (интеркалированные) соединения графита. Основными реагентами для получения таких соединений являются серная кислота с добавками окислителей: азотной кислоты, ее солей, хлоратов, перхлоратов, персульфатов и др. Возможна обработка природного графита газовой фторсодержащей средой (смесь фтора с фтористым водородом).

Интеркалированные соединения также можно получать и электрохимическим методом в электролитических ваннах. При образовании интеркалированных соединений межплоскостные расстояния в решетке увеличиваются. Анионы веществ-реагентов проникают в частицы графита по границам блоков и структурным дефектам. В результате в материале накапливается большая внутренняя энергия. Нагревание этих соединений приводит к быстрому испарению продуктов разложения межслойных соединений и расширению кристаллов графита в 10-300 раз с образованием ТРГ. Для разложения могут использоваться устройства косвенного нагрева: печи, индукционный нагрев, а также плазмо-химический метод - расширение в

потоке плазмы (аргоновой или азотной). При этом применение плазменного нагрева дает более высокую производительность.

Однако свойства ТРГ, полученного различными методами, существенно отличаются. Насыпная плотность ТРГ, полученного косвенным нагревом, составляет $0,03 \text{ г/см}^3$, а плазменным нагревом - $0,003 \text{ г/см}^3$. Такая низкая насыпная плотность обусловлена особой, весьма разветвленной формой частиц порошка ТРГ.

ТРГ обладает хорошей химической стойкостью ко многим агрессивным средам, термоустойчив как при низких, так и при достаточно высоких температурах (на воздухе до 500°C), не подвергается коррозии и имеет ряд других специальных свойств, обуславливающих его широкое применение в качестве прокладок и уплотнений, в нагревателях и теплозащитных экранах. Большинство изделий изготавливаются либо прессованием с приданием заданных размеров и форм, либо прокаткой в ленту.

Процесс прокатки лент осложняется двумя факторами. Порошок ТРГ имеет высокую адгезию к материалу валков. Ленты, полученные в процессе прокатки, плотно схватываются с валками. Для предотвращения этого явления прокатку следует проводить в обкладках. Причем, лабораторные исследования подтвердили, что одним из наиболее подходящих материалов обкладок является ватман. Второй фактор обусловлен трудностью получения лент с толщинами от $0,7 \text{ мм}$ и выше из-за низкой насыпной плотности. В этом случае следует применять способ получения многослойных лент.

Технологическое оснащение

Специализированный порошковый стан СПП-250.

Порошок ТРГГ.

Ватман.

Микрометр.

Последовательность выполнения работы

Вырезаются обкладки из ватмана шириной 40 мм , длиной $250-300 \text{ мм}$. Замеряется их толщина в трех местах.

Выставляется зазор между валками $\sim 0,5 \text{ мм}$.

Пара обкладок помещается вдоль валков и захватывается ими.

Засыпается порошок ТРГ между валками и производится его прокатка

в ленту.

Замеряются геометрические параметры, определяется масса и вычисляется плотность ρ_1 и пористость Π_1 . Плотность графита в компактном состоянии принимается равной $2,2 \text{ г/см}^3$.

Производится прокатка лент из порошков ТРГ с двумя парами обкладок. Определяются плотность ρ_2 и пористость Π_2 .

Производится прокатка лент из порошка РГ с тремя парами обкладок. Определяются плотность ρ_3 и пористость Π_3 .

Строится график зависимости ρ и Π от числа пар обкладок и от истинного зазора без учета деформации материала обкладок в процессе прокатки.

Производится совместная прокатка полученных лент и порошка РГ. Прокатка осуществляется следующим образом. Вдоль валков помещается пара обкладок. Посередине подается ранее прокатанная лента (с различной плотностью), а с двух сторон порошок ТРГ. Прокатке подвергаются все полученные ленты. Определяются их плотность и пористость.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. В теорчасти дается описание процесса получения ТРГ
3. Таблица с экспериментальными данными
4. Графики.
5. Выводы по работе.

Выводы по работе должны содержать анализ процесса прокатки одно- и многослойных лент из порошка РГ с применением обкладок.

Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой ТРГ.
2. Области применения ТРГ.
3. Особенности процесса деформации ТРГ.

Библиографический список

Источники информации искать в научных журналах и интернете.

Работа 13

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПУТЕМ НАПРЕССОВКИ ПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ ВТУЛКИ.

Цель работы: Изучить процесс напрессовки слоя порошка на внутреннюю поверхность втулки.

Общие сведения

Повышение надежности и долговечности машин, механизмов и приборов является актуальной проблемой для всех областей техники. Большинство решаемых вопросов связано с уменьшением износа трущихся элементов. Существует несколько путей для решения этой проблемы: либо создание новых антифрикционных материалов, либо покрытие изделий антифрикционными материалами.

Основными требованиями, предъявляемыми к антифрикционным материалам, являются низкий коэффициент трения и высокая износостойкость, высокая устойчивость к окислению при повышенных температурах и коррозионная стойкость при работе в агрессивных средах. Материалы, обладающие комплексом таких свойств, обладают долговечностью.

Среди большого количества антифрикционных материалов особое место занимают самосмазывающиеся материалы и покрытия. При их использовании узлы трения могут долгое время работать без подачи смазки извне. Роль твердых смазок выполняют графит, сульфиды, фториды и пр. Антифрикционные композиционные материалы должны иметь достаточно высокие прочностные показатели, для их повышения производят легирование. В зависимости от материала основы в качестве легирующих компонентов могут применяться медь, никель, хром, молибден.

Одним из наиболее распространенных классов антифрикционных материалов является железо - графит. Введение до 1,5 масс.% графита позволяет использовать материал для работы как в присутствии смазки, так и без нее. При содержании более 1,5 масс.% углерода и наличии графита в структурно-свободном состоянии антифрикционные свойства материала значительно увеличиваются. Введение меди существенно повышает прочность композиции железо - графит, благоприятно влияет

на процесс спекания. Количество меди может колебаться от 0,5 до 20 масс.%. В эту композицию может вводиться до 10 масс.% никеля. Введение добавок приводит к существенному повышению прочностных характеристик материалов на основе железо-графит.

Состав антифрикционного материала, масс.‰: железо - 87,5; графит - 2,5; медь - 5; никель - 5.

Исследованиями установлено, что для получения качественного изделия и повышения доли твердой смазки в шихте, отношение размеров частиц матрицы и частиц твердой смазки должно находиться в пределах 0,25-0,5.

Существенное влияние на свойства получаемого материала оказывает пористость. С увеличением пористости увеличивается количество смазки, подаваемой в зону трения, что соответственно приводит к увеличению длительности работы и предельно допустимой нагрузки, снижению температуры в зоне трения и времени приработки, а также к снижению прочности материала.

Последовательность выполнения работы

Приготавливается смесь порошков Fe - C - Cu - Ni заданного состава.

Строится кривая уплотняемости данной смеси и рассчитывается пористость.

Проводится изучение конструкции пресс-формы и принципа ее действия (рис.13. I).

Рассчитывается объем напрессовочного слоя шихты: измеряется высота втулки, расстояние между стенкой втулки и знаком.

Рассчитывается навеска шихты, необходимая для напрессовки, при следующих значениях пористости: 25, 20, 15%,

Проводятся четыре эксперимента:

1 - одностороннее прессование, П=15%;

2- 2-х ступенчатое (последовательное) прессование, П=15-25%,

Прессование производится до упора бурта пуансона в торец матрицы. Фиксируется усилие прессования (в случае двустороннего прессования - два усилия).

Производится выпрессовка заготовки изделия. Проводится внешний осмотр изделия.

Рассчитывается плотность и пористость напрессовочного слоя.

Изделия подвергаются спеканию в восстановительной атмосфере

(диссоциированный аммиак, вакуум, $T = 2$ ч, $P = 1150^{\circ}\text{C}$).

Замеряется плотность и пористость напрессованного слоя после спекания.

Результаты работы заносятся в таблицу, где фиксируются все геометрические параметры втулки, объем напрессованного слоя, масса навесок, давление прессования. В графе "Примечание" описываются результаты визуального осмотра после одно- и двустороннего прессования и спекания.

В заключении работы делается вывод о возможности получения изделий заданных параметров при одностороннем и двустороннем прессовании.

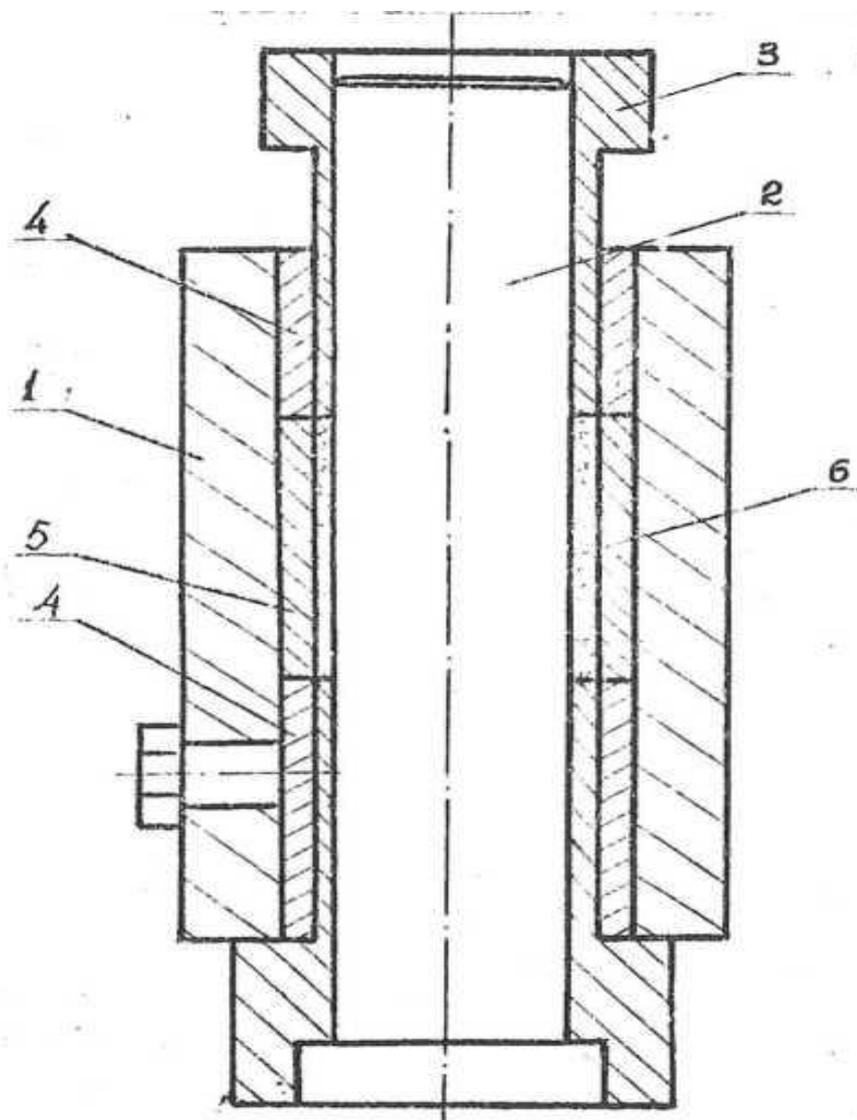


Рис.13.1. Оснастка для получения изделий с напрессованным внутренним антифрикционным слоем: 1 - матрица; 2 - стержень (знак); 3 - пуансон; 4 - втулки; 5 - изделие; 6 - антифрикционный слой

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. В теорчасти дается описание процесса напрессовки порошкового слоя на внутреннюю поверхность втулки.
3. Таблица с экспериментальными данными
4. Описание методов восстановления деталей.
5. Выводы по работе.

Выводы по работе должны содержать анализ процесса одно- и двухстороннего прессования.

Контрольные вопросы:

1. Какими методами можно восстановить детали.
2. Области применения методов напрессовки слоя порошка.
3. Особенности процесса деформации ТРГ.

Библиографический список

Источники информации искать в научных журналах и интернете.

