



В.Н. Бриш, А.В. Старостин, Н.И. Кулева
 Вологодский государственный университет
А.Н. Сизов
 Санкт-Петербургский государственный
 электротехнический университет «ЛЭТИ»
 им. В.И. Ульянова (Ленина)

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассмотрены методика и результаты проведения комплексных исследований свойств композиционных материалов на кафедре технологии машиностроения Вологодского государственного университета. Результатами проведенных работ являются полученные зависимости влияния состава смеси исходного материала на размеры полученных образцов. Результаты исследований позволяют уточнить заданные размеры пресс-форм для изготовления композиционных материалов различных составов.

Исследования, размерная точность, образец, прессование, состав смеси порошков.

Изучение проблем обеспечения качества машиностроительной продукции позволяет сделать вывод, что оно обеспечивается высоким уровнем подготовки специалистов, работающих на предприятиях. Необходим системный подход к решению проблем управления качеством и научный подход к решению вопросов технологии производства и контроля качества на всех этапах производства [1].

Качество подготовки и переподготовки инженерных кадров является главной задачей высших учебных заведений. Методы обеспечения качества связаны со многими дисциплинами, изучаемыми в вузе: «Технология конструкционных материалов», «Общая технология производства», «Технические измерения и приборы», «Методы обеспечения качества машиностроительной продукции», «Управление качеством», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Студенты специальности «Технология машиностроения» (конструкторско-технологическое направление) изучают дисциплину «Технология конструкционных материалов». Лабораторные работы «Исследование зависимости относительной плотности и размерной точности от усилия прессования и состава смеси порошков» проводятся в лаборатории порошковой металлургии и литейного производства.

Целями работы являются разработка методических подходов и получение результатов исследований свойств композиционных материалов, полученных при прессовании. Задачей исследования является получение образцов с заданными свойствами и геометрическими размерами из различных составов смесей порошков, удовлетворяющих требованиям технологического процесса (относительная плотность и пористость).

Следует отметить, что трёхстадийный технологический процесс получения материалов изделий методами порошковой металлургии включает:

1) производство порошков и их смесей на металлургических и специализированных предприятиях. При этом формируются технологические свойства (форма частиц, гранулометрический состав, прессуемость);

2) формование заготовок. Конечным результатом второй стадии является обеспечение оптимальных характеристик заготовок (относительная плотность, пористость, размерная точность) для последующего спекания. Определение этих характеристик является задачей исследования.

3) спекание (диффузионный отжиг). Изменение объема и размеров образца при термообработке не является задачей данной работы.

Первая часть лабораторных работ по прессованию образцов из металлических и неметаллических порошков и их смесей включает следующие технологические операции, влияющие на показатели точности размеров изделия: дозирование, смешивание порошков, заполнение и равномерное распределение порошка по объему пресс-формы, прессование и выпрессовку из матрицы полученных заготовок (образцов).

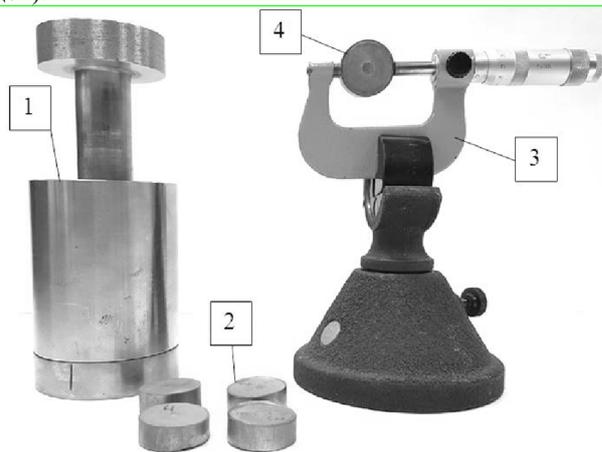


Рис. Пресс-форма (1), образцы (2), микрометр на стойке (3), образец в микрометре (4)

На рис. представлены пресс-форма, образцы и образец, установленный для измерения на микрометре со стойкой.

Погрешности изготовления по размерам возможны при нарушении скоростных режимов выпрессовки

образца при ручном управлении, что может привести к типичному браку в порошковой металлургии – скрытому расслою прессовок вследствие упругих деформаций образца после выпрессовки.

Составы смеси: железо-медь, железо-графит, железо-алюминий, медь-алюминий, медь-цинк.

Технологический процесс прессования включает операции смешивания порошков, засыпки их в пресс-форму, прессования по заданным режимам и выпрессовки образца из пресс-формы.

Тщательность смешивания порошков, равномерность их распределения по объему обеспечивает стабильность прочностных, размерных и эксплуатационных характеристик материала.

После засыпки порошка в пресс-форму (рис.) необходимо устранить неравномерность заполнения объема матрицы. Причиной такой неравномерности является угол естественного откоса сыпучих тел. На первой стадии прессования основным процессом, за счет которого повышается относительная плотность образца, является физическое уплотнение – перемещение, разворот и сближение частиц. Наряду с этим процессом имеет место и становится преимущественным процессом на втором этапе пластическая деформация частиц, обеспечивающая частичное заполнение пор. Заключительный этап может закончиться разрушением хрупких или наклепанных частиц и заполнением их обломками пор.

Одновременно с пластическими деформациями в образце имеют место и упругие деформации, приводящие к увеличению диаметра образца при выпрессовке.

Примечание: нарушение режимов прессования, в первую очередь, скорости прессования порошка и выпрессовки образцов, приводит к их разрушению из-за расслоя.

При прессовании железного порошка влияние добавок (второго компонента) порошков других металлов, сплавов и неметаллов на относительную плотность образцов различно и может способствовать:

- повышению относительной плотности вследствие большей пластичности, меньших размеров частиц порошка, низкой прочности или меньшего коэффициента трения второго компонента;

- понижению относительной плотности образцов при высоких твердости и коэффициенте трения второго компонента. Все эти особенности должны быть учтены в технологическом процессе.

Готовые образцы (в порошковой металлургии их называют «сырые», т.е. неспеченные, заготовки) упаковывают и передают в лабораторию метрологии на хранение для проведения следующих исследований.

Оценка размеров получившихся образцов выполняется в лаборатории метрологии и взаимозаменяемости и включает следующие этапы: выбор средств измерения с заполнением метрологической карты; ознакомление с методикой измерения; измерение размеров изготовленных образцов, измерение размеров пресс-формы (диаметра рабочей полости матрицы и диаметра пуансона); расчет значения изменения размеров образцов от состава смеси. Последним этапом работы является выявление зависимости изменения размеров образцов от состава и процентного соотно-

шения компонентов смеси, представленной в отчете по лабораторной работе в виде графиков и выводов.

1. Заполнение метрологической карты [2].

В метрологической карте вписаны все приборы и инструменты, применяемые в первой части работы: электронные весы ВЭУ-2 с ценой деления 0,5 г для дозирования порошков и весы MW-120 с ценой деления 0,01 г для взвешивания добавок, пресс П-50 с ценой деления 10 кН, штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм; и приборы, применяемые во второй части работы. Для измерения диаметра пуансона использован микрометр гладкий I класса, для измерения внутреннего диаметра матрицы – нутромер индикаторный (в данной работе рекомендуется нутромер ИНТО с погрешностью измерения $\Delta_{lim} = \pm 5$ мкм) с ценой деления 0,01 мм.

Для измерения диаметра образца используется микрометр I класса (желательно со стойкой).

Таким образом, в метрологическую карту входят шесть средств измерения. Все измерения проведены с учетом погрешности измерения.

2. Измерение размеров пресс-формы:

- Измерение действительного диаметра пуансона.

Измерение действительного диаметра пуансона необходимо для выявления износа пуансона. Измерение выполнено микрометром гладким I класса в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в трех сечениях по высоте. Далее вычисляется среднее арифметическое значение из шести результатов, при этом результаты измерения позволяют выявить величину износа и погрешности формы износа.

- Измерение диаметра отверстия матрицы.

Измерение диаметра отверстия матрицы необходимо для выявления износа матрицы. Измерения проводятся индикаторным нутромером ИНТО. Для измерения необходимо иметь струбину с боковиками и блок плиток, равный номинальному диаметру отверстия матрицы ($\Phi_{матрицы}$). Действительный размер отверстия матрицы записывается в форму результатов измерения (табл. 1).

3. Измерение диаметра образца d_1 .

Диаметр образца измерен микрометром гладким I класса на стойке (рис.) в 3-х сечениях и рассчитано среднее значение $d_{1ср}$ с учетом погрешности измерения микрометра I класса $\Delta_{lim} = \pm 0,008$ мм.

Можно использовать микрометр гладкий 0 класса с погрешностью $\Delta_{lim} = \pm 0,0055$ мм [1].

В таблице 1 в качестве примера представлены результаты исследования образцов смеси.

4. По результатам измерений строится график зависимости измерения размеров образца ($\Delta_{в}$) от состава смеси порошков. На рисунках таблицы 2 представлены полученные схемы зависимости при разных составах смеси порошков по результатам исследований.

5. Анализ причин и явлений, влияющих на увеличение или уменьшение размера образцов. Именно этот момент проведения анализа результатов своих исследований вызывает повышенный интерес. Таблица 2 составлена по результатам исследований, проведенных за последние 5 лет [3, 4].

Таблица 1

Результаты измерений

№ образца	Состав смеси, %		Диаметр отверстия матрицы ($\varnothing_{\text{матрицы}}$), мм	Диаметр образца d_1 (измерения в 3-х сечениях)			Действительный размер ($d_{\text{ср}}$) с учетом Δlim $d_{\text{ср}} = d_{1\text{ср}}$	Изменение размера образца (Δ_B) $\Delta_B = d_{\text{ср}} - \varnothing_{\text{матрицы}}$
	K_I	K_{II}		1	2	3		
1	98	2	29,947	30,53	30,54	30,48	30,525	0,578
2	96	4	29,947	30,56	30,54	30,53	30,535	0,588
3	94	6	29,947	30,58	30,61	30,58	30,575	0,628
4	92	8	29,947	30,57	30,6	30,61	30,585	0,638

$d_{1\text{ср}}$ – среднее значение из 3-х результатов измерения

Таблица 2

Изменение диаметра образца при снятии усилия прессования

1.	Cu + Zn	Медь – пластичный материал, цинк – хрупкий. Zn имеет шаровидные частицы, твердый по отношению к меди. Чем больше процент цинка, тем больше препятствий пластической деформации и уплотнения образцов.	Δ_B , мкм	
2.	Cu + Fe	Частицы железа очень крупные, препятствуют уплотнению порошка, размер при выпрессовке увеличивается. Чем больше железа, тем больше увеличивается размер.	Δ_B , мкм	
3.	Cu + Al	Чешуйчатые частицы Al-пудры представляют длинную тонкую (2 мкм) изогнутую пластину. Чем больше Al, тем выше относительная плотность, тем меньше изменение размеров.	Δ_B , мкм	
4.	Fe + Al	Модуль упругости Fe в 2,86 раза больше модуля упругости Al. Чем больше алюминия, тем меньше изменение размеров.	Δ_B , мкм	
5.	Fe + графит	Особый случай. Считается, что графит не влияет на изменение размера, так как служит своего рода смазкой, при которой снижаются упругие деформации.	Δ_B , мкм	

Результаты экспериментальных исследований:

- размеры образцов определяются степенью завершенности процессов, протекающих при прессовании, таких как: физическое уплотнение, пластическая деформация, разрушение частиц; графит – единственный из исследованных материалов, низкая прочность которого способствует получению беспористых образцов;

- выпрессовка образцов из матрицы пресс-формы сопровождается упругим последствием с увеличением размеров, которое, в первую очередь, определяется модулем упругости материалов; из этого следует вывод, что при проектировании пресс-форм для серийного и массового производства деталей, изготовленных из порошков, необходимо экспериментальное определение диаметров матрицы и пуансона.

При составлении композиционных смесей следует запомнить три закономерности объемного расширения образцов как результат последствия упругих деформаций:

- с повышением содержания компонентов с высоким модулем упругости (цинка и железа) в смеси размеры увеличиваются (п. 1, 2 табл. 2);
- с повышением содержания пластичных компонентов (алюминия, меди) размеры уменьшаются (п. 3, 4 табл. 2);

- с повышением содержания хрупких компонентов (графита) размеры практически не изменяются (п.5 табл. 2).

Дальнейшее проведение исследований, т.е. третья стадия технологического процесса – спекание (термическая обработка) с целью получения готовых деталей, требует не только специального оборудования, но и больших затрат по времени.

Литература

1. Бриш В.Н. Управление качеством: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов, А.В. Старостин: м-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2017. – 140 с.

2. Бриш В.Н. Метрология, стандартизация, сертификация: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов, А.В. Старостин. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 131 с.

3. Бриш В.Н. Методы обеспечения качества машиностроительной продукции: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов, А.В. Старостин. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 112 с.

4. Технические измерения и приборы. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Исследование зависимостей относительной плотности и размерной точности от усилия прессования и состава смеси порошков / сост. В.Н. Бриш, Н.А. Сигов. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – 15 с.

V.N. Brish, A.V. Starostin, N.I. Kuleva

Vologda State University

A.N. Sigov

Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin)

TECHNIQUE AND RESULTS OF RESEARCH OF PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

The article discusses the methodology and results of conducting comprehensive studies of the properties of composite materials at the Department of Mechanical Engineering Technology at Vologda State University. The results of this work are the obtained dependences of the influence of the composition of the mixture of the starting material on the dimensions of the obtained samples. The research results allow to specify the specified size of the press forms for the manufacture of composite materials of various compositions.

Research, dimensional accuracy, sample, pressing, powder mixture composition.