



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»

**РТУ МИРЭА**

---

Физико-технологический институт  
Кафедра цифровых и аддитивных технологий

---

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по проведению лабораторной работы

### **«Влияние давления прессования на плотность и пористость композита»**

**Направление:** 15.04.01 «Машиностроение»

**Дисциплина:** «Технологии пластического формоизменения  
порошковых материалов»

Москва 2021

Методические указания по  
выполнению лабораторных работ  
разработаны

к.т.н., доцент Морозов Ю.А.

---

*(степень, звание, Фамилия И.О. разработчиков)*

---

*(степень, звание, Фамилия И.О. разработчиков)*

## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ И ПОРИСТОСТЬ КОМПОЗИТА

**Цель работы:** изучить закономерности уплотнения металлических порошков в зависимости от давления компактирования при получении композитных материалов.

### Общие сведения

Получение композитного материала из порошковой шихты представляет собой процесс компактирования (прессования) заготовки необходимой формы, размеров и плотности.

Главное назначение компактирования – придание прессовкам из металлических порошков прочности, необходимой для сохранения формы во время последующих операций.

Данное свойство прессуемости является функцией пластичности металла и зависит от способности порошка к уплотнению и возможности получения более прочных, «неосыпающихся» заготовок.

Существенное влияние на прессуемость оказывают размеры и форма частиц порошка (рисунок 1). Чем меньше частицы, тем, как правило, хуже их уплотняемость. Однако прочность таких прессовок оказывается значительно более высокой, относительно крупнозернистого порошка того же металла.

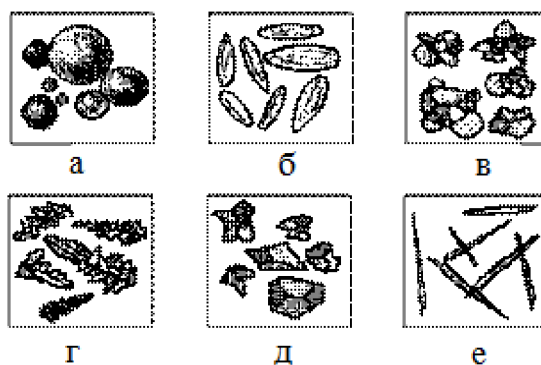


Рисунок 1 – Форма частиц порошков:  
сферическая (а); чешуйчатая (б); губчатая (в);  
дендритная (г); осколочная (д); игольчатая (е)

Порошки правильной формы и с гладкой поверхностью частиц имеют хорошую уплотняемость, но не обеспечивают хорошей формуемости и до-

статочной прочности из разных по величине частиц, обладают большой насыпной плотностью и обеспечивают максимальную прочность прессовок.

Оптимальное соотношение между мелкими и крупными частицами определяется расчетным или опытным путем. Большое влияние на прессуемость порошков оказывает твердость металла частиц. Чем выше твердость металла порошков, тем требуется большее давление прессования.

Зависимость плотности от давления компактирования можно выразить идеализированной кривой с тремя характерными участками (рисунок 2):

Наиболее интенсивное уплотнение происходит на первой стадии процесса (участок *A*), связанной с проскальзыванием частиц и их более плотной упаковкой при перемещении в ближайшие пустоты, без особого трения о поверхности соседних частиц.

По окончании первой стадии процесса получается упаковка, близкая к максимально плотной.

Вторая стадия (участок *B*) характеризуется замедлением увеличения плотности при возрастающем давлении компактирования, приводящему к появлению контактных сжимающих напряжений соседних частиц порошка и их упругой деформации.

Когда контактные напряжения превышают предел текучести, процесс уплотнения вступает в третью стадию (участок *C*). С этого момента пластическая деформация охватывает весь объем частицы, меняя ее форму. Происходит заполнение пор и уменьшение их объема.

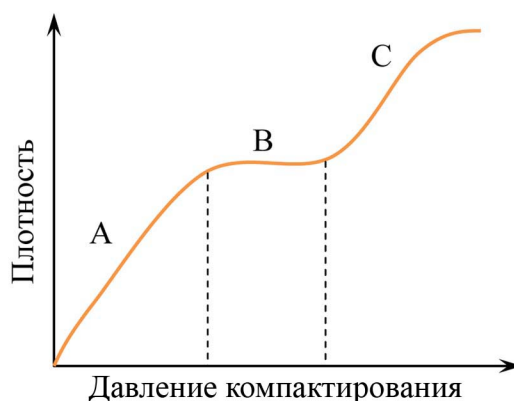


Рисунок 2 – Диаграмма компактирования

В реальных случаях вышеперечисленные стадии, как правило, накладываются друг на друга. Вследствие этого, зависимость плотности от давления становится близкой к логарифмической.

Из аналитических зависимостей достаточно просто и точно связывающих плотность с давлением компактирования может служить уравнение М.Ю. Бальшина

$$\lg q = -n \lg \bar{\rho}_n + \lg q_{\max}, \quad (1)$$

где  $q$  – давление компактирования (прессования), МПа;

$n$  – показатель прессуемости, зависящий от свойств порошка;

$\bar{\rho}_n$  – относительная плотность прессовки, определяемая концентрацией металлических порошков, %;

$q_{\max}$  – расчетное максимальное давление, необходимое для получения беспористого материала, МПа.

Графически это уравнение выражается прямой линией, угол наклона которой  $\operatorname{tg} \alpha$  численно равен показателю прессуемости  $n$  (рисунок 3).

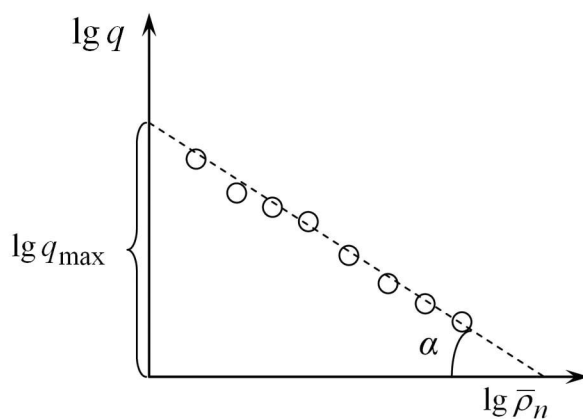


Рисунок 3 – Зависимость относительного объема от давления компактирования

Принимая во внимание, что силоизмерение гидравлического привода лабораторного пресса ПЮ 240-80 «Технос» контролируется манометром давления рабочей жидкости  $q_{\max} \leq 63$  МПа (630 bar), определяющим номинальное усилие  $P_{\max} \leq 2,4$  МН (240 т), следует привести указанные величины к давлению на пуансоне пресс-формы, увеличивающимся пропорционально уменьшению площади его поперечного сечения, относительно поршня гидроцилиндра, создающего толкающее усилие исполнительного механизма.

Например, при диаметре пуансона  $d = 20$  мм, приращение давления компактирования относительно манометрического давления пресса

$$\frac{q}{q_{\max}} = \frac{1}{F} \frac{P_{\max}}{q_{\max}} = \frac{4}{\pi 20^2} \frac{2,4 \cdot 10^6}{63} = 121,26,$$

где  $q$  – давление компактирования (прессования), согласно манометрического давления пресса, МПа;

$F$  – площадь прессования, мм<sup>2</sup>

$$F = \frac{\pi d^2}{4},$$

$d$  – диаметр пуансона, мм.

Таким образом, приращение давления компактирования на пуансоне будет весьма значительно, кратно 121,26 раз. В связи с этим можно ограничиться манометрическим давлением компактирования не более 15...20 МПа.

### **Оборудование, материалы, инструмент**

1. Гидравлический пресс ПЮ 240-80 «Технос» или лабораторный стенд «Пресс с ЧПУ»
2. Металлические порошки (медь, железо, никель).
3. Пресс-форма для компактирования.
4. Электронные мини-весы EKS 401.
5. Штангенциркуль типа ШЦ-1.

### **Методика выполнения работы**

1. Смешать металлические порошки в составе и объеме, заданным преподавателем. Например

**10% Cu ; 80% Fe ; 10% Ni ,**

рассчитать теоретическую плотность шихтовой насыпки, обеспечиваемую концентрацией  $K_i$  и физической плотностью  $\rho_i$  металлических порошков (таблица 1)

$$\rho = \sum K_i \rho_i = K_{Cu} \rho_{Cu} + K_{Fe} \rho_{Fe} + K_{Ni} \rho_{Ni}.$$

Таблица 1 – Физические свойства металлических порошков

№	Материал	Плотность $\rho_i$ , г/см <sup>3</sup>	Концентрация, $K_i$	Плотность шихтовой насыпки $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	Медь (Cu)	8,96		
2	Железо (Fe)	7,87		
3	Никель (Ni)	8,90		

2. Общую шихтовку разделить на три одинаковых по массе навески, засыпать в пресс-форму и скомпактировать на гидравлическом прессе при последовательно увеличивающихся давлениях 5; 10; 15 МПа (рисунки 3 и 4).



Рисунок 3 – Последовательность засыпки порошка в пресс-форму и установка на гидравлическом прессе

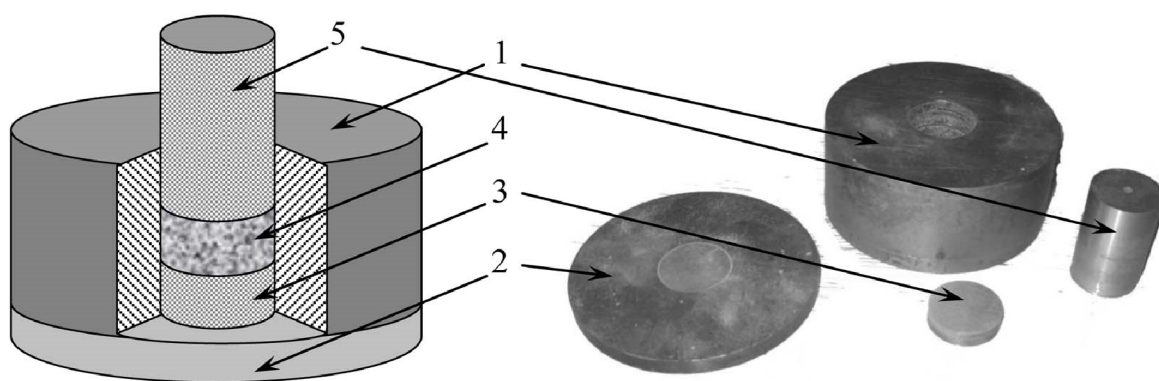


Рисунок 4 – Пресс-форма для компактирования:

1 – матрица; 2 – опорная площадка; 3 – заглушка; 4 – металлический порошок; 5 – пуансон

3. После прессования, извлечь заготовку – для этого из матрицы извлекается нижняя заглушка, пресс-форма устанавливается на выпрессовочное кольцо и прикладыванием давления на пуансон, заготовка проталкивается напровал вниз.

4. Далее, с помощью электронных мини-весов следует определить ее массу; с помощью штангенциркуля замерить ее высоту  $h$ , рассчитать объем и плотность (физическая и относительная) прессовок. Результаты занести в таблицу 2.

$$\rho_n = m/V_n \quad ; \quad \bar{\rho}_n = \rho_n/\rho,$$

где  $m$  – масса прессовки, г;

$V_n$  – объем прессовки, см<sup>3</sup>

$$V_n = \frac{\pi d^2}{4} h.$$



Таблица 2 – Влияние давления прессования на плотность композита

Манометрическое давление пресса $q_{\text{пресс}}$ , МПа			
Диаметр пуансона $d$ , мм			
Сила компактирования $P$ , кН			
Давление компактирования $q$ , МПа			
Масса прессовки $m$ , г			
Высота прессовки $h$ , мм			
Объем прессовки $V_n$ , см <sup>3</sup>			
Плотность композита - физическая $\rho_n$ , г/см <sup>3</sup> - относительная $\bar{\rho}_n$			

Учитывая, что массы навесок свободно насыпанного порошка и прессовки одинаковы  $m = m_n$ , можно определить относительный объем

$$\bar{V}_n = \frac{V_n}{V} = \frac{\rho}{\rho_n} \frac{m_n}{m} = \frac{1}{\bar{\rho}_n},$$

где  $V$  – объем беспористого образца, г/см<sup>3</sup>.

5. На основании экспериментальных и расчетных данных построить диаграмму уплотнения порошков

$$\bar{\rho}_n = f(q) \quad \text{и} \quad \lg \bar{\rho}_n = f(\lg q).$$



Из угла наклона прямой (1) диаграммы определить показатель прессуемости

$$n \cong \operatorname{tg} \alpha = \lg q / \lg \bar{\rho}_n .$$

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

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные факторы, влияющие на прессуемость порошков.
2. Как улучшить распределение плотности при прессовании порошков?
3. Объясните различие в прессуемости различных порошков.
4. Перечислите основные детали пресс-формы, в которой проводят прессование порошков.
5. Объясните характер изменения относительной плотности прессовки с ростом давления прессования.

## **Литература**

1. Адаскин А.М. Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов / А. М. Адаскин, А.Н. Красновский. – М.: Инфра-М, 2017. – 400 с.
2. Сосенушкин Е. Н. Технологические процессы и инструменты для изготовления деталей из пластмасс, резиновых смесей, порошковых и композиционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 300 с.
3. Галимов Э. Р., Абдуллин А. Л. Современные конструкционные материалы для машиностроения [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 268 с.