

УДК 621.762.4.043

Руденко Н. А.
Лаптев А. М.
Попивненко Л. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЯ РАЗМЕРОВ СПЕЧЕННЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ СОСТАВА ЖЕЛЕЗО-МЕДЬ-БИКАРБОНАТ АММОНИЯ

К основным характеристикам спеченных пористых проницаемых материалов принято относить размеры пор и коэффициенты проницаемости. Именно они закладываются в основу выбора пористого материала для практического использования в различных областях техники [1]. Однако в процессе эксплуатации эти материалы подвергаются определенным нагрузкам. Поэтому далеко не второстепенное значение имеют прочностные свойства спеченных пористых проницаемых материалов. В существующих технологических процессах очистки газов и жидкостей максимальный перепад давления обычно не превышает 6 МПа [2]. Такой механической нагрузке удовлетворяют спеченных пористых проницаемых материалов с пределом прочности при изгибе 30–40 МПа [3].

Для повышения прочностных свойств спеченных пористых проницаемых материалов из порошков железа в шихту вводят различные добавки. Благодаря этим добавкам в процессе спекания сглаживается рельеф пор, повышается прочность и проницаемость. Наиболее эффективно введение в порошок железа порошок меди или раствор хлорной меди ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [4]. Медь значительно повышает прочность пористого железа, благоприятно влияет на его спекаемость и позволяет регулировать изменение размеров при усадке в процессе спекания, что и определило широкое применение ее в качестве легирующего элемента в двойных и многокомпонентных сплавах железа.

Целью данной работы является установление влияния содержания меди и бикарбоната аммония на прочность и изменение размеров спеченных пористых образцов.

В качестве исходных материалов для экспериментальных исследований были использованы порошки водораспыленного железа, электролитической меди и бикарбоната аммония.

Порошок железа марки ПЖР 3.200.28 (ГОСТ 9849-86) был изготовлен на Броварском заводе порошковой металлургии (Украина) распылением расплава водой высокого давления (10 МПа). Частицы порошка имеют неправильную форму, с многочисленными мелкими выступами. Электролитический порошок меди был получен электролизом на заводе «Уралэлектромедь» (г. Верхняя Пышма, Россия). Марка порошка МПС-1, ГОСТ 4960-75. Частицы порошка меди электролитической имеют ярко выраженную дендритную форму. В качестве порообразователя использовали порошок бикарбоната аммония NH_4HCO_3 , ТУУ 6-04687873.025-95. Частицы бикарбоната аммония составляли кристаллы неправильной формы.

В качестве исходных материалов для приготовления порошковых смесей использовались вышеописанные порошки железа, меди и бикарбоната аммония. Предполагалось, что объемное содержание порообразователя составляло 50 %, остальное – металлическая составляющая (табл. 1). При составлении смесей изменялось массовое соотношение порошков железа и меди в металлической составляющей.

Для образцов, содержащих бикарбонат аммония, расчет навесок выполняли следующим образом:

$$m_{ci} = m_{Fe} + m_{Cu} + m_{pf}, \quad (1)$$

где m_{cm} – масса смеси, г; m_{Fe} – масса навески железного порошка, г; m_{Cu} – масса навески медного порошка, г; m_{pf} – масса порошка бикарбоната аммония, г.

$$m_{Fe} = \rho_{Fe} \cdot X_{Fe} \cdot V^l. \quad (2)$$

Таблица 1

Содержание металлических компонентов в смесях

Название смеси	Металлическая составляющая	
	Fe	Cu
Смесь 1	90	10
Смесь 2	80	20
Смесь 3	100	0

$$m_{Cu} = \rho_{Cu} \cdot X_{Cu} \cdot V^l, \quad (3)$$

где $\rho_{Fe} = 7,874$ г/см³ – плотность порошка железа; X_{Fe} – долевое содержание железа в смеси по массе; $\rho_{Cu} = 8,93$ г/см³ – плотность порошка меди; X_{Cu} – долевое содержание меди в смеси по массе; V^l – объем порошковой смеси Fe-Cu, мм³:

$$V^l = V_{\Sigma} \cdot X_{Fe-Cu}, \quad (4)$$

где V_{Σ} – задаваемый объем прессовки, мм³; X_{Fe-Cu} – объемное содержание металлической компоненты в смеси (0,5).

Аналогично рассчитывается масса порообразователя:

$$m_{pf} = V_{pf} \cdot \rho_{pf}, \quad (5)$$

где V_{pf} – объем порообразователя в смеси, мм³:

$$V_{pf} = V_{\Sigma} \cdot X_{pf}, \quad (6)$$

где V_{Σ} – задаваемый объем прессовки, мм³; X_{pf} – объемное содержание порообразователя в смеси (0,5); $\rho_{pf} = 1,586$ г/см³ – плотность порошка порообразователя.

Смешивание осуществляли вручную в течение 15 минут для всех образцов. С целью повышения однородности смешивания в смеси добавляли 1 % керосина (по массе) [5]. Однородность смеси контролировали визуально.

Прессование порошковых смесей. Для изучения изменения размеров образцов после спекания смеси прессовали в цилиндрической матрице с внутренним диаметром 16,8 мм по односторонней схеме прессования. С этой целью навески порошков выбирали таким образом, чтобы соотношение высоты к диаметру не превышало единицы.

В ходе эксперимента давление прессования изменяли в диапазоне 100–800 МПа с шагом 100 МПа. В процессе эксперимента фиксировали усилие прессования (P_{np}) и усилие выпрессовки ($P_{выпр}$). Полученные образцы взвешивались и обмерялись. Затем рассчитывали давление выпрессовки ($p_{выпр}$) и относительную плотность образцов ($\rho_{отн}$):

$$p_{выпр} = \frac{P_{выпр}}{\pi \cdot d \cdot h}; \quad (7)$$

$$\rho_{отн} = \frac{m}{0,785 \cdot d^2 \cdot h \cdot \rho_{см}}, \quad (8)$$

где m – масса прессовки, г; d – наружный диаметр прессовки, мм; h – высота прессовки, мм; $\rho_{см}$ – плотность смеси:

$$\rho_{см} = 0,5 \cdot \rho_{Fe-Cu} + 0,5 \cdot \rho_{pf}; \quad (9)$$

$$\rho_{Fe-Cu} = \frac{1}{\frac{X_{Fe}}{\rho_{Fe}} + \frac{X_{Cu}}{\rho_{Cu}}}. \quad (10)$$

Прессование выполняли на гидравлической испытательной машине сжатия модели МС-500 усилием 500 кН без смазки рабочих поверхностей пресс-инструмента.

Спекание прессовок. Согласно рекомендациям [6] в процессе спекания железомедных материалов, при содержании медной компоненты до 30 % (по массе), оптимальным является температурный интервал 1050–1150 °С. Для повышения прочностных свойств изготавливаемых

изделий было принято решение, что процесс спекания будет осуществляться в присутствии жидкой фазы. Поэтому спекание осуществляли при $t = 1150$ °С. Спекание прессовок проводили в течение 1 часа в восстановительной среде СО. Нагрев осуществляли со скоростью 7 °С/мин и с выдержкой при 850 °С в течение 30 минут. Образцы охлаждали сначала вместе с печью до 300 °С, а затем вне рабочей зоны печи до комнатной температуры. После спекания образцы обмеряли и взвешивали. Затем рассчитывали относительную плотность спеченных прессовок, а также величины объёмной $v_{об}$ и линейной усадки в осевом l_h и диаметральном l_d направлениях по следующим формулам:

$$\rho_{отн}^{cn} = \frac{m_{cn}}{0,785 \cdot d_{cn}^2 \cdot h_{cn} \cdot \rho_{Fe-Cu}}, \quad (11)$$

где m_{cn} – масса спеченной прессовки, г; d_{cn} – диаметр спеченного образца, мм; h_{cn} – высота спеченного образца, мм.

$$v_{об} = \frac{V - V_{cn}}{V}, \quad (12)$$

где V и V_{cn} – объём прессовки и спеченного изделия соответственно, см³:

$$V = 0,785 \cdot d^2 \cdot h; \quad (13)$$

$$V_{cn} = 0,785 \cdot d_{cn}^2 \cdot h_{cn}; \quad (14)$$

$$l_d = \frac{d - d_{cn}}{d}; \quad (15)$$

$$l_h = \frac{h - h_{cn}}{h}. \quad (16)$$

Аналогично готовили смеси для испытания на прочность. Образцы для испытаний на прочность при изгибе и твердость прессовали в прямоугольной матрице с размерами в плане $55,2 \times 10,2$ мм. В ходе эксперимента давление прессования изменяли в диапазоне 200–600 МПа с шагом 100 МПа. После спекания образцы испытывали на прочность при трехточечном изгибе согласно ГОСТ 25282-93 [7].

Анализ результатов экспериментов. На рис. 1 представлены кривые уплотнения исследуемых порошковых смесей.

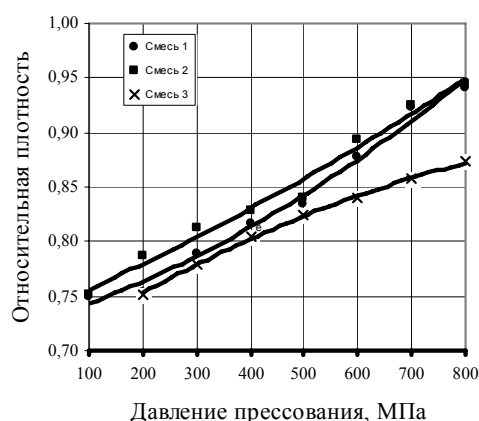


Рис. 1. Кривые уплотнения исследуемых порошковых смесей

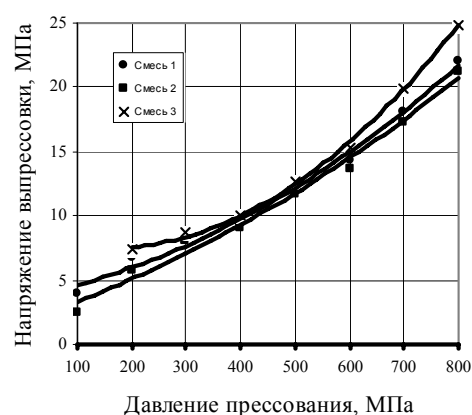


Рис. 2. Кривые выпрессовки для исследуемых смесей

Из рис. 1 видно, что с ростом давления прессования относительная плотность образцов для всех смесей увеличивается. При фиксированных значениях давления прессования и с ростом содержания медной компоненты уплотняемость смесей повышается. Это объясняется тем, что медь в сравнении с железом обладает более высокими пластическими свойствами.

На рис. 2 представлены кривые выпрессовки для исследуемых порошковых смесей.

Согласно рис. 2, с ростом относительной плотности образцов давление выпрессовки увеличивается для всех смесей. При фиксированных значениях относительной плотности и с ростом содержания медной компоненты в смеси давление выпрессовки уменьшается. Это связано с тем, что с повышением содержания медной компоненты в смеси для получения образцов одной и той же плотности требуется меньшее давление прессования, а, следовательно, боковое давление, распирающее стенки матрицы, будет меньшим.

На рис. 3 представлена зависимость объемной усадки исследуемых образцов от давления прессования.

Согласно рис. 3, с увеличением давления прессования порошковых навесок для прессовок, содержащих медь, объемная усадка незначительна, т. е. присутствие меди стабилизирует изменение объема образцов. Это хорошо согласуется с данными работ [5, 6].

Зависимость относительного линейного роста исследуемых образцов по диаметру от давления прессования порошковых смесей представлена на рис. 4.

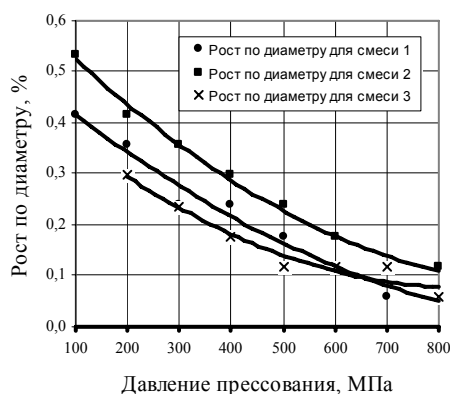


Рис. 3. Зависимость относительной объемной усадки исследуемых образцов от давления прессования

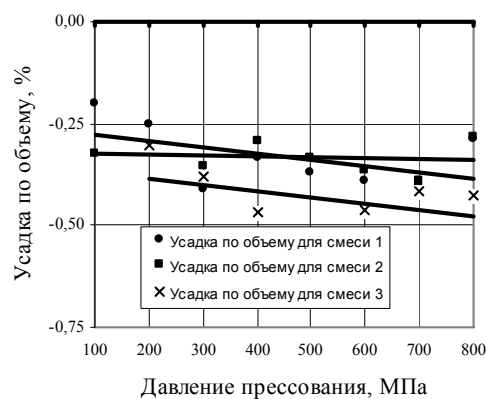


Рис. 4. Зависимость относительного линейного роста исследуемых образцов по диаметру от давления прессования порошковых смесей

Из рис. 4 видно, что с увеличением давления прессования порошковых навесок и с уменьшением содержания медной компоненты в смеси рост образцов по диаметру уменьшается. Отметим, что при одинаковых величинах давления прессования прессовок рост образцов по диаметру из смеси 3 в среднем в 1,32 раза меньше, чем рост образцов по диаметру из смеси 1 и примерно в 1,65 раза меньше, чем рост образцов по диаметру из смеси 2. Вместе с тем, изменение диаметра всех образцов было незначительным.

Зависимость относительного линейного роста исследуемых образцов по высоте от давления прессования порошковых смесей представлена на рис. 5.

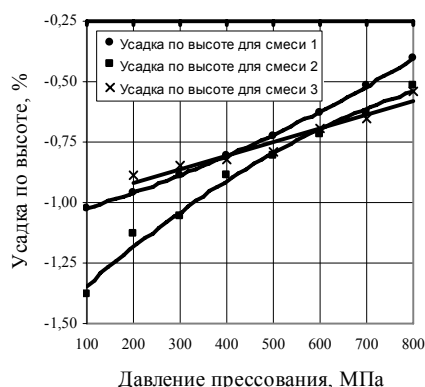


Рис. 5. Зависимость относительного линейного роста исследуемых образцов по высоте от давления прессования порошковых смесей

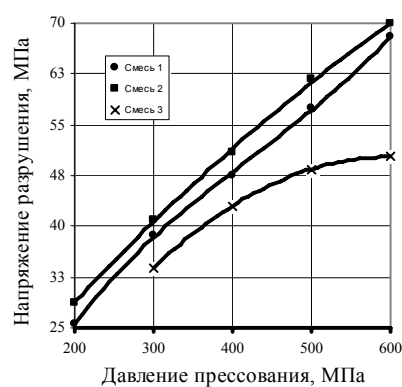


Рис. 6. Зависимость влияния давления прессования на предел прочности при изгибе спеченных изделий

Как видно из рис. 5, с увеличением давления прессования и с уменьшением содержания медной компоненты в смеси порошковых навесок усадка образцов по высоте также уменьшается.

Зависимость влияния давления прессования на предел прочности при изгибе спеченных изделий представлена на рис. 6.

Как видно из рис. 6, с увеличением давления прессования и с увеличением содержания медной компоненты в смеси прочность спеченных образцов растет. Это объясняется влиянием меди, которая играет роль легирующей добавки.

ВЫВОДЫ

С ростом давления прессования относительная плотность образцов всех составов увеличивается. При фиксированных значениях давления прессования и с ростом содержания медной компоненты уплотняемость смесей повышается. Это объясняется тем, что медь в сравнении с железом обладает более высокими пластическими свойствами.

С ростом относительной плотности образцов давление выпрессовки увеличивается. При фиксированных значениях относительной плотности и с ростом содержания медной компоненты в смеси усилие выпрессовки уменьшается. Это объясняется тем, что с повышением содержания медной компоненты в смеси для получения образцов одинаковой плотности требуется меньшее давление прессования, а, следовательно, боковое давление, распирающее стенки матрицы, будет меньшим.

При спекании прессовок системы железо-медь-бикарбонат аммония происходит объемная усадка образцов. Величина объемной усадки незначительна для всех смесей. Вместе с тем присутствие меди стабилизирует изменение объема.

Изменение линейных размеров образцов при спекании имеет одинаковый характер. Независимо от содержания меди в смеси происходит рост образцов по диаметру и усадка по высоте. При одинаковом давлении прессования наибольшие изменения линейных размеров наблюдаются у образцов, содержащих больше медной компоненты.

С увеличением давления прессования и с увеличением содержания медной компоненты в смеси прочность спеченных образцов увеличивается во всех случаях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шибряев Б. Ф. Пористые проницаемые спеченные материалы / Б. Ф. Шибряев. – М. : Металлургия, 1982. – 168 с.
2. Баишта Г. М. Машиностроительная гидравлика : справ. пособие / Г. М. Баишта. – М. : Машиностроение, 1975. – 696 с.
3. Витязь П. А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, В. К. Шелег. – Минск : Вышэйшая школа, 1987. – 164 с.
4. Пористые проницаемые материалы : справочник / Под ред. С. В. Белова. – М. : Металлургия, 1987. – 334 с.
5. Производство спеченных изделий. Учебник для техникумов / Либенсон Г.А. – М.: Металлургия, 1982. – 256 с.
6. Джонс В. Д. Прессование и спекание / В. Д. Джонс. – М. : Мир, 1965. – 404 с.
7. ГОСТ 25282-93. Порошки металлические. Метод определения прочности прессовок. Введ. 1.01.1997. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 12 с.

Руденко Н. А. – аспирант ДГМА;

Лаптев А. М. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТиТОМ ДГМА;

Попивненко Л. В. – ст. преп. кафедры МТО ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: RudenkoNataliia@gmail.com