

УДК 621.762

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

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ МЕДИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОРИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИКАРБОНАТА АММОНИЯ

Среди различных видов изделий, изготавливаемых методами порошковой металлургии, особое место занимают высокопористые проницаемые спеченные изделия. Свойства, технология производства и область применения высокопористых проницаемых спеченных изделий имеют особенности, которые выделяют их в отдельную группу. Эти прогрессивные изделия находят широкое применение в машиностроении, энергомашиностроении, медицине, авиационной, химической, нефтяной и металлургической отраслях промышленности. Технологический цикл производства высокопористых проницаемых спеченных материалов включает такие операции как подготовка порошков к прессованию (рассев, отжиг), гранулирование (при необходимости), смешивание компонентов, прессование брикетов, их спекание и механообработку [1].

Одним из основных свойств высокопористых проницаемых спеченных изделий является уровень их пористости. Для повышения пористости таких изделий в их состав вводят различные порообразователи: пластмассы, гидрокарбонат натрия, карбонат натрия, карбонат аммония, карбамид, карбонат, гидрокарбонат калия и др. [2–4]. Также важной характеристикой данных изделий является прочность. Для повышения прочностных свойств спеченных пористых проницаемых изделий из порошков железа в шихту вводят порошок меди или раствор хлорной меди ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [5]. 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. После прессования смеси порошковых материалов с порообразователями они удаляются из прессовок различными способами: путем испарения, терморазложения при спекании или растворения в жидкой среде (чаще всего в дистиллированной воде) [6]. При спекании отпрессованных брикетов в их теле образуются поры, размеры которых практически соответствуют размерам частиц порообразователя.

Известно, что при спекании пористых изделий происходит изменение их размеров: усадка или рост. Степень изменения размеров определяется природой порошковых материалов, условиями спекания (температура, применяемая защитная атмосфера) и уровнем пористости. Степень усадки при спекании образцов с высоким содержанием порообразующего вещества недостаточно изучена и описана в научной литературе.

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

Исходные порошковые материалы. 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 , ТУ У 6-04687873.025-95. Частицы бикарбоната аммония составляли кристаллы неправильной формы.

Приготовление порошковых смесей. 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.

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 |

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

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

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

$$m_{Fe} = \rho_{Fe} \cdot X_{Fe} \cdot V'; \quad (2)$$

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

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' – объем порошковой смеси Fe-Cu, мм³:

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

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). 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 ($P_{пр}$) 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 [7] в процессе спекания железомедных материалов, при содержании медной компоненты до 30 % (по массе), оптимальным является температурный интервал 1050–1150°C. Для повышения прочностных свойств изготавливаемых изделий было принято решение, что процесс спекания будет осуществляться при в присутствии жидкой фазы. Поэтому спекание осуществляли при $t=1150^\circ\text{C}$. Спекание прессовок проводили в течение 1 часа в восстановительной среде СО. Нагрев осуществляли со скоростью 7°C/мин и с выдержкой при 850°C в течение 30 минут. Образцы охлаждали сначала вместе с печью до 300°C, 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

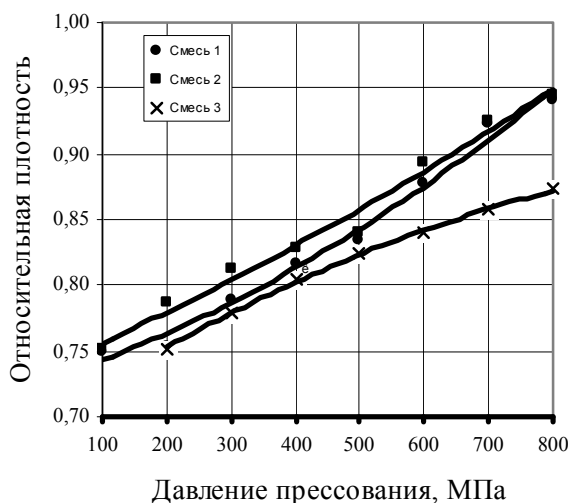


Рис. 1. Кривые уплотнения исследуемых порошковых смесей

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.

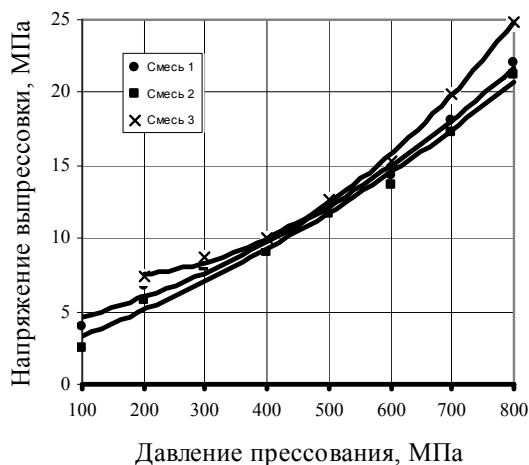


Рис. 2. Кривые выпрессовки для исследуемых смесей

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.

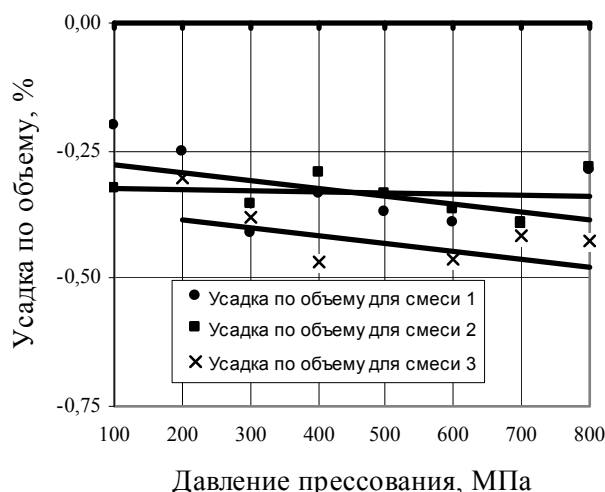


Рис. 3. Зависимость относительной объемной усадки исследуемых образцов от давления прессования

Согласно рис. 3, с увеличением давления прессования порошковых навесок для прессовок, содержащих медь, объемная усадка незначительна, т. е. присутствие меди стабилизирует изменение объема образцов.

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

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.

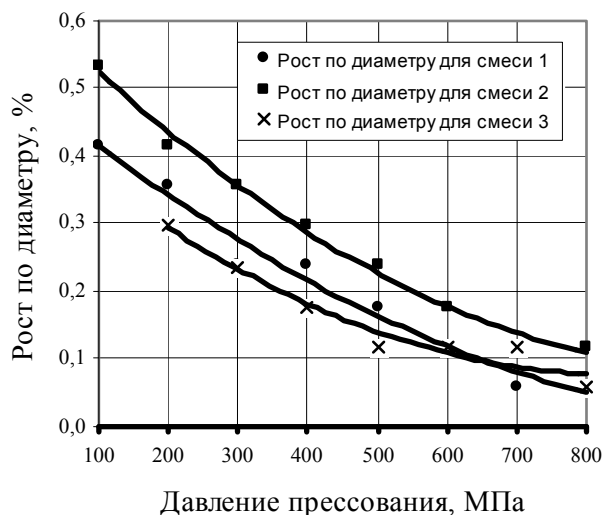


Рис. 4. Зависимость относительного линейного роста исследуемых образцов по диаметру от давления прессования порошковых смесей

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

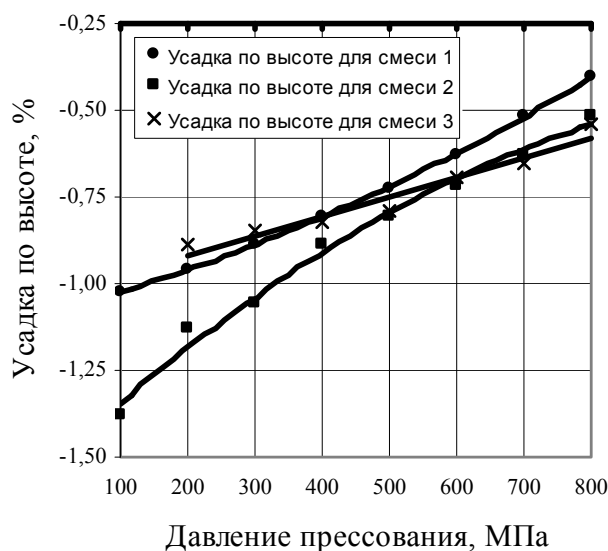


Рис. 5. Зависимость относительного линейного роста исследуемых образцов по высоте от давления прессования порошковых смесей

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

ВЫВОДЫ

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

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

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

4. 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 меди.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Bansiddhi A. *Shape – memory NiTi foams produced by solid – state replication with NaF* / A. Bansiddhi, D. C. Dunand // *Intermetallics*, 2007. – Vol. 15. – P. 1612–1622.
3. Li M. *Process and compressive properties of porous nickel materials* / M. Li, Y. Liu, J. W. Ye, L. F. Zhang, J. Li, M. J. Tu // *Powder Metallurgy*, 2006. – Vol. 49. – P. 114–116.
4. Michailidis N. *Establishment of process parameters for producing Al-foam by dissolution and powder sintering method* / N. Michailidis, F. Stergioudi // *Materials and Design*, 2011. – Vol. 32. – P. 1559–1564.
5. Neikov O. *Handbook of non-ferrous metal powders: technologies and applications* / O. Neikov [et. al.]. – Elsevier, 2009. – 634 p.
6. *Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов* / под ред. П. А. Витязя [и др.]. – М. : Металлургия, 1993. – 240 с.
7. Либенсон Г. А. *Производство спеченных изделий : учебник для техникумов* / Г. А. Либенсон. – М. : Металлургия, 1982. – 256 с.

REFERENCES

1. Vitjaz' P. A. *Poristye poroshkovyye materialy i izdelija iz nih* / P. A. Vitjaz', V. M. Kapcevich, V. K. Sheleg. – Minsk : Vyshhejschaja shkola, 1987. – 164 s.
2. Bansiddhi A. *Shape – memory NiTi foams produced by solid – state replication with NaF* / A. Bansiddhi, D. C. Dunand // *Intermetallics*, 2007. – Vol. 15. – P. 1612–1622.
3. Li M. *Process and compressive properties of porous nickel materials* / M. Li, Y. Liu, J. W. Ye, L. F. Zhang, J. Li, M. J. Tu // *Powder Metallurgy*, 2006. – Vol. 49. – P. 114–116.
4. Michailidis N. *Establishment of process parameters for producing Al-foam by dissolution and powder sintering method* / N. Michailidis, F. Stergioudi // *Materials and Design*, 2011. – Vol. 32. – P. 1559–1564.
5. Neikov O. *Handbook of non-ferrous metal powders: technologies and applications* / O. Neikov [et. al.]. – Elsevier, 2009. – 634 p.
6. *Formirovanie struktury i svojstv poristykh poroshkovykh materialov* / pod red. P. A. Vitjazja [i dr.]. – M. : Metallurgija, 1993. – 240 s.
7. Libenson G. A. *Proizvodstvo spechennykh izdelij : uchebnik dlja tehnikumov* / G. A. Libenson. – M. : Metallurgija, 1982. – 256 s.

Руденко Н. А. – канд. техн. наук ДГМА
Лаптев А. М. – д-р. техн. наук, проф. ДГМА
Попивненко Л. В. – ст. преп. ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: rudenkonataliia@gmail.com, laptev@dgma.donetsk.ua, leonid.popivnenko@yandex.ua

Статья поступила в редакцию 22.06.2014 г.