

УДК 621.77

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

## ПРЕССОВАНИЕ СМЕСИ ПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА И ХЛОРИДА НАТРИЯ

Пористые порошковые материалы применяются в различных отраслях народного хозяйства. Наиболее известно их использование в качестве фильтров, подшипников скольжения, огнепреградителей и активных глушителей шума. Пористые порошковые материалы применяются также в качестве фитилей тепловых труб, электродов аккумуляторных батарей и в системах испарительного охлаждения [1]. В последнее время из порошков титана и нитиола начали изготавливать пористые спинальные и ортопедические имплантаты. Наличие пористости позволяет уменьшить значения модуля упругости имплантатов до значений характерных для костной ткани, что позволяет равномерно распределить нагрузку в протезе [2]. Кроме того, костная ткань врастает в пористую поверхность имплантата, обеспечивая его естественную фиксацию [3].

Основными операциями технологии изготовления пористых материалов являются формование порошковой заготовки и ее спекание. Формование может осуществляться с приложением давления или без его приложения [1]. При этом наиболее распространенным способом формования является прессование порошков или порошковых смесей в закрытых матрицах.

Для повышения пористости материалов к исходным порошкам добавляют порообразующие наполнители (порообразователи): парафин, карбонат, карбамид, углекислый аммоний, нитрат аммония, некоторые сорта пластмасс и др. [1]. Выгорая, разлагаясь или восстанавливаясь при нагреве, наполнители образуют дополнительную пористость, которая может достигать 75 % [4]. Недостатками большинства порообразователей является то, что при удалении они образуют продукты распада вредные для обслуживающего персонала и окружающей среды. Кроме того, некоторые из них, например, углекислый аммоний, являются нестабильными даже при комнатной температуре, что приводит к разрушению прессовок даже при незначительной выдержке на воздухе [5]. Поэтому недавно было предложено использовать в качестве порообразователя хлорид натрия. Относительно высокая температура плавления позволяет использовать этот порообразователь не только при холодном формовании, но и при формовании с нагревом, например, при инъекционном формовании [6]. Однако закономерности прессования порошковых смесей, содержащих данный порообразователь, до настоящего времени не изучались.

Целью работы является изучение основных закономерностей прессования порошковой смеси, содержащей хлорид натрия.

В качестве исходных материалов использовались водораспыленный порошок железа (ГОСТ 9849–86) и порошок хлорида натрия (ГОСТ 13830–97). На рис. 1 показана морфология частиц этих порошков. Исходные порошки рассеивали на ситах и выделяли для экспериментов фракцию 63–125 мкм для порошка железа и фракцию 0,5–1 мм для порошка хлорида натрия. Так как плотность железа и хлорида натрия существенно отличаются ( $7,874 \text{ г/см}^3$  и  $2,165 \text{ г/см}^3$ , соответственно), то для предотвращения сегрегации к смеси их порошков добавлялся керосин в количестве 1 % по массе. Смешивание осуществлялось вручную в течение 15 минут отдельно для каждого образца, что обеспечивало визуальное равномерное распределение компонентов. Были приготовлены 2 смеси, содержащие 20 % и 40 % хлорида натрия (по объему).

Прессование смесей осуществляли в цилиндрической матрице диаметром 16,8 мм. Для сравнения отдельно прессовали порошки железа и хлорида натрия. Массу навески определяли в зависимости от вида прессуемого порошка. Так для раздельного прессования порошков железа и хлорида натрия брали 18 г и 6 г порошка, соответственно. Масса навески для образцов

с объемным содержанием NaCl 20 % составляла 18 г (16,8 г железа, 1,2 г хлорида натрия). Масса образцов с 40 % NaCl составляла 15 г (12,6 г железа, 2,4 г хлорида натрия). Так как высота образцов не превышала их диаметра, то применялось одностороннее прессование. Давление изменялось в диапазоне от 100 до 800 МПа с шагом 100 МПа. При удалении прессовок из матрицы фиксировали усилие выпрессовки. Затем образцы обмеряли и взвешивали, после чего рассчитывали относительную плотность неспеченных прессовок и напряжение выпрессовки. При этом теоретическую плотность материала смеси определяли по формуле:

$$\rho = (1-x) \cdot \rho_{Fe} + x \cdot \rho_{NaCl}, \quad (1)$$

где  $x$  – содержание хлорида натрия в смеси,  $\rho_{Fe}$  – плотность железа,  $\rho_{NaCl}$  – плотность хлорида натрия.

Давление выпрессовки  $\sigma_e$  рассчитывали по формуле:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{\pi \cdot d \cdot h}, \quad (2)$$

где  $P_e$  – усилие выпрессовки;  $d, h$  – диаметр и высота образца.

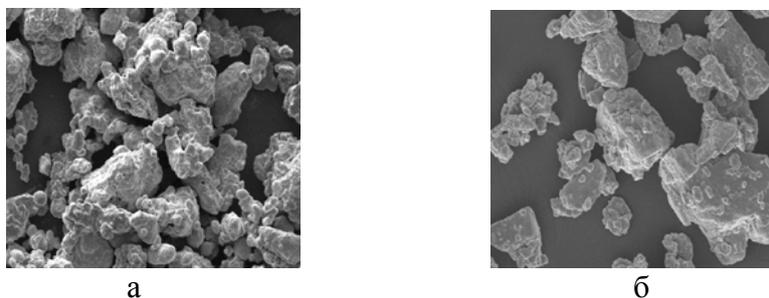


Рис. 1. Морфология частиц порошков железа (а) и хлорида натрия (б)

На рис. 2 показаны кривые уплотнения исходных порошков и их смесей с различным содержанием порообразователя.

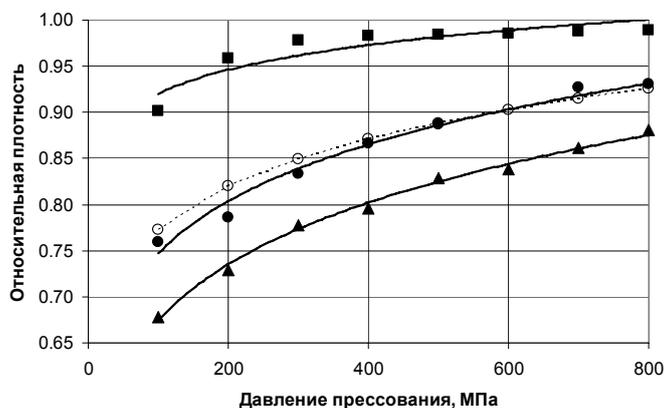


Рис. 2. Кривые уплотнения образцов различного состава:

■ – порошок хлорида натрия; ▲ – порошок железа; ● – смесь 40 % NaCl – 60 % Fe; ○ – значения, рассчитанные по правилу смесей

Из рис. 2 следует, что при одинаковом давлении порошок хлорида натрия уплотняется намного больше чем порошок железа. Соответственно, уплотнение смеси повышается при увеличении в ней содержания NaCl. При этом оказалось, что кривые уплотнения смесей можно рассчитать по формуле (1), в которой вместо теоретической плотности железа и хлорида натрия необходимо подставлять плотность, определенную при соответствующем давлении прессования их порошков на рис. 2.

На рис. 3 показаны зависимости напряжения выпрессовки образцов от давления прессования.

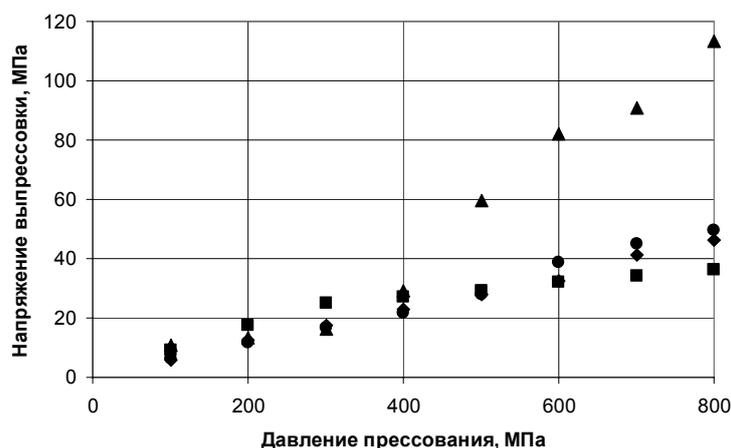


Рис. 3. Зависимость напряжения выпрессовки от давления прессования для порошковых образцов:

- – порошок хлорида натрия; ▲ – порошок железа; ◆ – смесь 40 %NaCl – 60 %Fe;
- – смесь 20 %NaCl – 80 %Fe

Из рис. 3 следует, что при давлении прессования выше 400 МПа напряжение выпрессовки образцов из хлорида натрия существенно ниже напряжения выпрессовки образцов из порошка железа. По-видимому, это объясняется значительно меньшей прочностью при сдвиге частиц порошка NaCl по сравнению с частицами порошка железа. Интересно, что при содержании хлорида натрия в их смеси в количестве 20 %, напряжение выпрессовки остается невысоким.

### ВЫВОДЫ

1. Порошок хлорида натрия хорошо прессуется и уплотняется при одинаковых давлениях значительно больше чем порошок железа. Соответственно, с повышением содержания NaCl в смеси этих порошков, плотность прессовок при равных давлениях возрастает. При содержании хлорида натрия 20 % и 40 % соответствующие кривые уплотнения можно рассчитывать по правилу смесей.

2. При содержании более 20 % хлорида натрия в смеси напряжение выпрессовки существенно ниже, чем при выпрессовке образцов из железа. Это объясняется невысокой прочностью частиц хлорида натрия на сдвиг.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь П. А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, В. К. Шелег. – Минск : Высшая школа, 1987. – 164 с.
2. Imwinkelried T. Mechanical properties of open-pore titanium foam / T. Imwinkelried // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2007. – V. 81A. – P. 964–970.
3. Levine B. A. New era in porous metals : Applications in orthopedics / B. A. Levine // *Advanced Engineering Materials*. – 2008. – V. 10. – P. 788–792.
4. Порошковая металлургия. Технология, свойства, области применения : справочник. – К. : Наукова думка, 1985 – 624 с.
5. Green strength of powder compacts provided for production of highly porous titanium parts / Laptev A., Vyal O., Bram M. et al. // *Powder Metallurgy*. – 2005. – V. 48. – P. 358–364.
6. Production of highly porous Near-Net-Shape NiTi components for biomedical applications / Köhl M., Bram M., Buchkremer H-P., Stöver D. et al. // *Proceedings of the Fifth International Conference of Porous Metals and Metallic Foams, DEStech Publications. Inc., 2007. – P. 295–298.*

Руденко Н. А. – аспирант ДГМА;  
Лаптев А. М. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТиТОМ ДГМА;  
Попивненко Л. В. – ассистент кафедры МТО ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: laptev@dgma.donetsk.ua