

УДК 621.762.4

Рябичева Л. А.
Негрей Ю. А.
Белошицкий Н. В.
Войнова Е. В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Ведущее место среди медных сплавов занимают алюминиевые бронзы. Они применяются в виде двойных (медь – алюминий) и многокомпонентных сплавов с добавками железа, марганца, никеля [1]. Свойства бронз существенно улучшает дополнительное легирование их железом, марганцем и никелем. По антифрикционным свойствам они уступают оловянным бронзам и потому не нашли широкого применения в узлах трения. Однако в работах [2–4] показано, что в подшипниках скольжения применение находят твердые смазки, которые с течением времени образуют на контактируемых поверхностях защитные пленки, благодаря чему сохраняется работоспособность узлов трения. Имеющиеся в настоящее время исследования по созданию новых порошковых материалов посвящены изучению процессов спекания и образующихся при этом вторичных фаз, влияющих на механические свойства [5]. Высокая вязкость алюминия, низкий предел текучести и низкая плотность, а также наличие на частицах оксидной пленки создают особые условия для прессования [6]. В связи с расширением применения порошковых алюминиевых бронз интерес представляет изучение процесса прессования порошковой шихты на основе меди легированной алюминием.

Целью работы является исследование процессов прессования и спекания медно-алюминиевой порошковой шихты, анализ влияния алюминия на структуру и физико-механические свойства прессовок.

В качестве исходного материала выбран медный порошок марки ПМС-1, легирование которого осуществляли алюминиевым порошком фракции 0,16–0,05 мм, полученным из отходов алюминия Д16 при производстве трубки методом конформ [7]. Медный порошок легировали 4 % и 10 % алюминия. Порошки увлажняли раствором глицерина в спирте и смешивали. Прессовки диаметром и высотой 24 мм получали двусторонним прессованием в пресс-форме с плавающей матрицей (рис. 1) на гидравлическом прессе ПД-476 силой 1600 кН. В процессе прессования производили остановку пресса для определения плотности и структурной деформации. Тензометрическим методом записывали индикаторные диаграммы изменения силы в зависимости от хода пуансона.

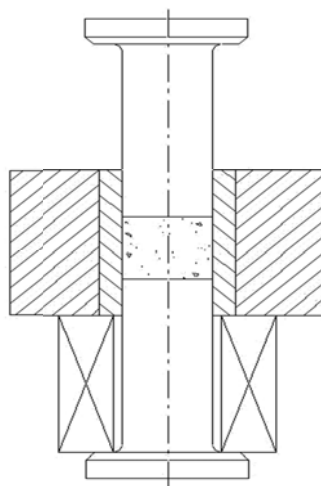


Рис. 1 – Пресс-форма для изготовления прессовок

Спекание прессовок из медного порошка осуществляли в среде генераторного газа (72 % H_2 , 21 % CO , 5,5 % CO_2 , 1,5 % H_2O) по ступенчатому режиму: нагрев до 100–120 °С, 200–220 °С, 300–320 °С, 400–420 °С, 500–520 °С и 600–620 °С с выдержкой при каждой температуре 30 мин., подъем до температуры спекания 950 °С и выдержка 0,5 ч. [8]. Спекание прессовок из легированного порошка выполняли также по ступенчатому режиму в среде генераторного газа: осуществляли нагрев до 300 °С с выдержкой 15 мин.; нагрев до 500 °С выдержкой 20 мин.; нагрев до 700 °С с выдержкой 30 мин.; охлаждение с печью до 650 °С далее на воздухе. Такой режим спекания выбран с целью уменьшения роста и обеспечения структурных превращений. Согласно фазовой диаграмме [9], в прессовках с 4 % Al при 300 °С и выше образуется α -твердый раствор, который сохраняется на всех ступенях нагрева. В меди растворяется до 7,4 % Al при 1035 °С, 9,4 % Al при 565 °С и около 9,0 % Al – при комнатной температуре. В прессовках с 10 % Al при нагреве на первой ступени появляется α - твердый раствор и α_2 -фаза в результате перитектоидного превращения. При нагреве выше 350 °С появляется γ_2 -фаза, и выше 550 °С β -фаза. β -фаза – это электронное соединение Cu_3Al с электронной концентрацией 3/2, имеет ОЦК решетку. При 565 °С происходит эвтектоидное превращение $\alpha + \gamma_2 \rightarrow \beta$; γ_2 -фаза на основе электронного соединения Cu_9Al_4 с электронной концентрацией 21/13. После спекания по приведенному режиму в отличие от жидкофазного спекания [9] размеры прессовок увеличились незначительно: диаметр – на 0,02 мм, высота – на 0,04 мм. Выполнен анализ содержания кислорода в прессовках после спекания на газоанализаторе «Леко». Среднее содержание кислорода составило 0,011 %.

После спекания плотность прессовок определяли гидростатическим методом согласно ГОСТ 25281-82, изучали структуру на микроскопе МИМ-8 и измеряли твердость на твердомере Бринелля.

На рис. 2 показаны индикаторные диаграммы прессования медного порошка марки ПМС-1, и порошка ПМС-1, легированного 4 и 10 % Al. Как видно, наибольшая сила, равная 362 кН, при наименьшем ходе пуансона 53 мм получена при прессования медного порошка. При этом средняя плотность прессовок составила 8,09 г/см³.

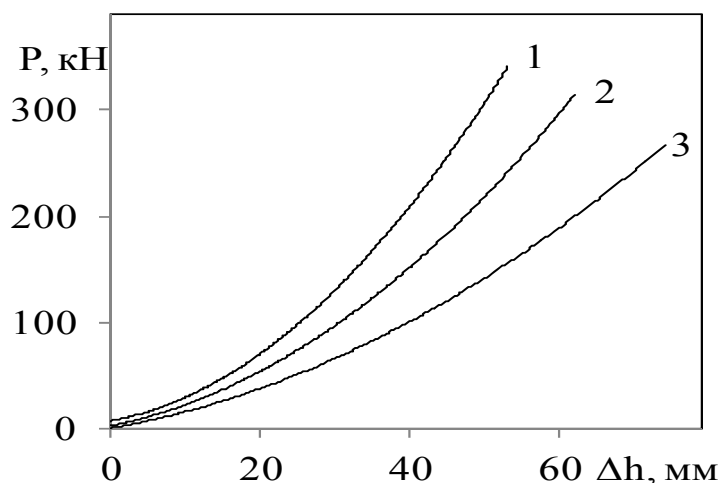


Рис. 2. Индикаторные диаграммы прессования порошковых материалов: 1 – ПМС-1; 2 – ПМС-1-4%Al; 3 – ПМС-1-10%Al

Легирование алюминием порошковой шихты обеспечивает понижение силы деформирования, но увеличение хода пуансона, что объясняется более низкой насыпной плотностью шихты, низким пределом текучести частиц алюминия (100 МПа) и высокой вязкостью [7]. Присутствие оксидных пленок и степень их сплошности существенно влияют на образование ювенильных контактов. Прочность оксидной пленки определяется ее ресурсом пластичности, степенью деформации частиц и пределом текучести материала основы [10]. В местах разрушения оксидных пленок формируется физический контакт между частицами.

Несмотря на низкий предел текучести алюминия, наличие оксидных пленок способствует уменьшению плотности прессовок с ростом концентрации алюминия в порошковой шихте (рис. 3). Если плотность медного порошка при высоте прессовки 24 мм составила $8,09 \text{ г/см}^3$, то плотность ПМС-1+10 % Al $6,44 \text{ г/см}^3$.

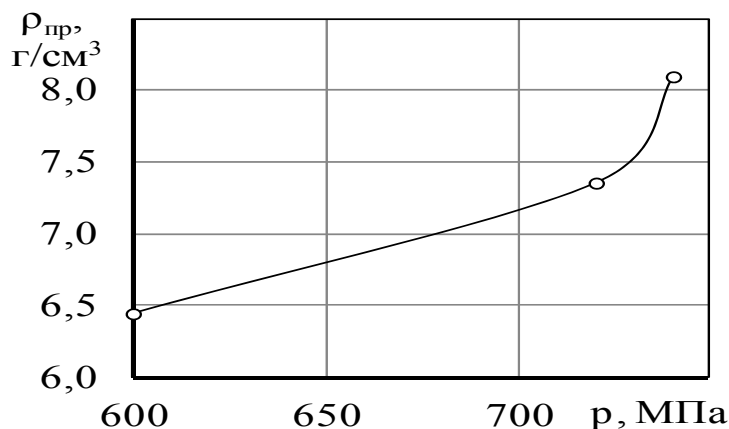


Рис. 3. Влияние содержания алюминия на плотность прессовок

При прессовании прессовок одновременно происходит уплотнение и структурная деформация (рис. 4). Степень структурной деформации ε_c определяли по формуле:

$$\varepsilon_c = \frac{H_0 - H_k}{H_0},$$

где H_0 , H_k – начальная и конечная высота прессовки.

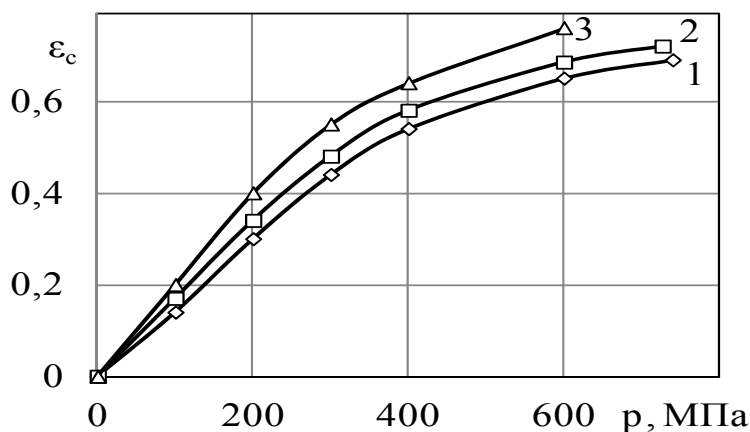


Рис. 4. Зависимость степени структурной деформации от давления прессования для материалов:

1 – ПМС-1; 2 – ПМС-1–4 %Al; 3 – ПМС-1–10 %Al

Степень структурной деформации при прессовании порошковой шихты различного химического состава различна. Уплотнение шихты из порошковой меди ПМС-1 происходит при большей степени структурной деформации (рис. 4). Упрочнение шихты алюминием приводит к уменьшению структурной деформации, причем, чем больше алюминия в шихте, тем структурная деформация меньше вследствие увеличения концентрации оксидов алюминия в шихте.

Если учитывать, что все прессовки из различной по химическому составу шихты прессовались на одинаковую высоту, то их плотность зависит от степени структурной деформации (рис. 5). С увеличением степени структурной деформации плотность прессовок увеличивается, причем у медного порошка ПМС-1 более интенсивно.

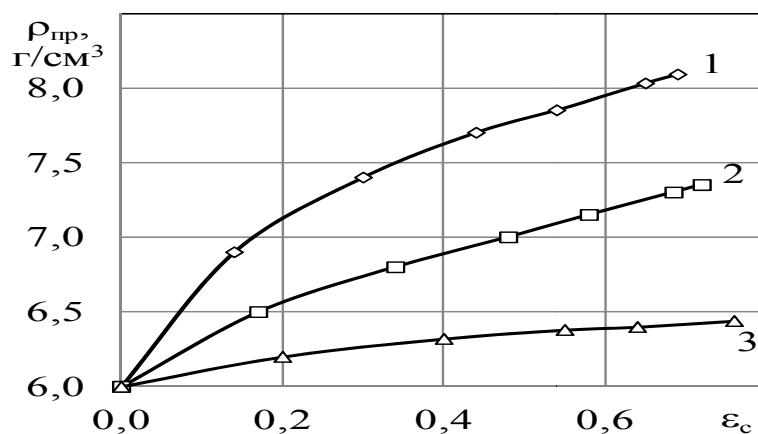


Рис. 5. Зависимость плотности прессовок от степени структурной деформации:
1 – ПМС-1; 2 – ПМС-1–4 %Al; 3 – ПМС-1–10 %Al

Изучение микроструктуры показало, что структура прессовки из медного порошка ПМС-1 характеризуется большой раззернистостью с наличием пор по границам частиц (рис. 6, а). Структура прессовок из Cu+4 %Al представляется собой медную основу с наличием α-твердого раствора и отсутствием четкой границы между частицами алюминия (рис. 6, б). С увеличением содержания в меди до 10 % алюминия в структуре одновременно с медью и α-твердым раствором появляются интерметаллиды типа Cu₃Al (рис. 6, в) [11].

Средняя твердость после спекания прессовок из медного порошка составляет НВ 40, Cu+4 %Al – НВ 51,3, Cu+10 %Al – НВ 65,5. Очевидно, образование гомогенного α-твердого раствора равномерно упрочненного интерметаллидами типа Cu₃Al и наличие оксидов алюминия способствует повышению твердости материала.

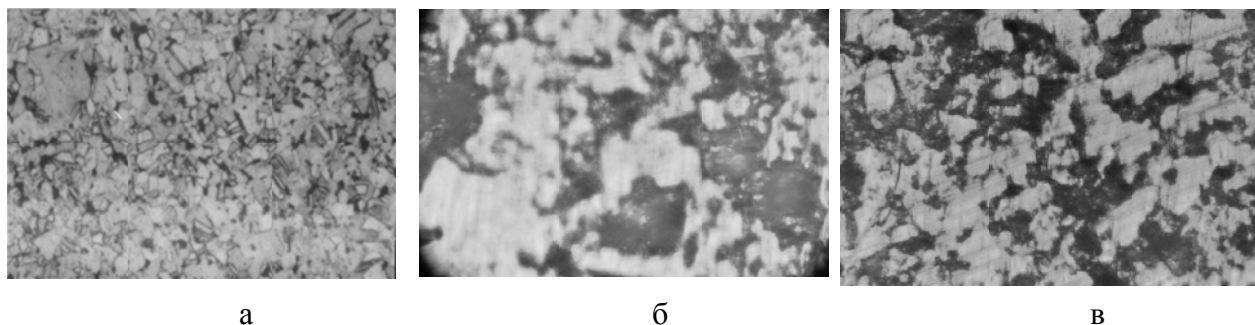


Рис. 6. Микроструктура прессовок из медного порошка:
а – ПМС-1 (×500); б – ПМС-1 +4 %Al; в – ПМС-1 +10 %Al (×1440)

ВЫВОДЫ

Установлено, что процесс прессования порошковой шихты на основе меди зависит от ее химического состава. С увеличением концентрации алюминия в шихте сила прессования уменьшается, а ход пуансона увеличивается при прессовании образцов одинаковой высоты. При этом плотность прессовок уменьшается.

С ростом давления прессования увеличивается плотность прессовок за счет увеличения структурной деформации, причем у порошковой меди более интенсивно. При большей величине структурной деформации плотность прессовок, содержащих 10 % алюминия меньше, что связано с наличием оксидной пленки на поверхности частиц алюминия, которая препятствует сращиванию частиц.

В результате спекания медно-алюминиевых прессовок образуется α-твердый раствор упрочненный интерметаллидами и оксидами алюминия, что обеспечивает повышение твердости порошкового материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колачев Б. А. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов* / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
2. Манукян Н. В. *Технология порошковой металлургии*. / Н. В. Манукян. – Ереван : Айастан, 1986. – 232 с.
3. Машиков А. Д. *Пористые антифрикционные материалы*. / А. Д. Машиков. – М.: Машиностроение, 1968. – 430 с.
4. Федорченко И. М. *Композиционные спеченные антифрикционные материалы* / И. М. Федорченко, П. И. Пугина // Киев : Наукова думка, 1980. – 404 с.
5. Алаян А. А. *Медноалюминиевые сплавы, полученные методом порошковой металлургии* / А. А. Алаян, А. Ю. Сулейман // Изв. НАН РАН и ГИУА. Сер. ТН. 2000. Т. VIII. – С.164–169.
6. Дорофеев Ю. Г. *Влияние кинетики механохимической активации порошков алюминия на процессы горячего доуплотнения* / Ю. Г. Дорофеев, Е. Н. Безбородов, С. Н. Сергеенко // Физика и химия обработки материалов. – 2002. – № 4 – С. 79–81.
7. *Технология получения порошка из алюминиевой стружки* / Л. А. Рябичева, Н. В. Белошицкий, А. И. Добрыднева, Е. В. Войнова // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2013. – № 1 (14). – С. 211–216.
8. Пат. 12618 А Україна, МПК 7 F41G3/16 B22F3/16. *Спосіб виготовлення цільних виробів із порошку міді* / Рябичева Л. О., Циркін А. Т., Никитін Ю. М., Білошицький М. В., Авсеньова Н. В. № 200508199; Заявлено 22.08.05.; Опубл. 15.02.06., Бюл. № 2.
9. Ханес М. *Структура двойных сплавов* / М. Ханес, К. Андерко // М.: Металлургиздат, 1962. – 357 с.
10. Савицкий А. П. *Влияние пористости на объемные изменения прессовок Al-Cu при жидкофазном спекании* // А. П. Савицкий, Г. Н. Романов // Порошковая металлургия. – 1987. – № 7. – С. 22–26.
11. Морозов А. С. *Влияние степени окисленности на структуру и свойства материала, полученного электрическим спеканием стружкового порошка алюминиевой бронзы* / А. С. Морозов, А. И. Райченко [и др.] // Порошковая металлургия. – 1987. – № 10. – С. 44–48.

REFERENCES

1. Kolachev B. A. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh metallov i splavov* / B. A. Kolachev, V. I. Elagin, V. A. Livanov. – M.: MISIS, 1999. – 416 s.
2. Manukjan N. V. *Tehnologija poroshkovej metallurgii*. / N. V. Manukjan. – Erevan : Ajastan, 1986. – 232 s.
3. Mashkov A. D. *Poristye antifrikcionnye materialy*. / A. D. Mashkov. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 430 s.
4. Fedorchenko I. M. *Kompozicionnye spechennye antifrikcionnye materialy* / I. M. Fedorchenko, P. I. Pugina // Kiev : Naukova dumka, 1980. – 404 s.
5. Alajan A. A. *Mednoaljuminiyevye splavy, poluchennye metodom poroshkovej metallurgii* / A. A. Alajan, A. Ju. Sulejman // Izv. NAN RAN i GIUA. Ser. TN. 2000. T. VIII. – S.164–169.
6. Dorofeev Ju. G. *Vlijanie kinetiki mehanohimicheskoy aktivacii poroshkov aljuminija na processy gorjachego douplotnenija* / Ju. G. Dorofeev, E. N. Bezborodov, S. N. Sergeenko // Fizika i himija obrabotki materialov. – 2002. – № 4 – S. 79–81.
7. *Tehnologija poluchenija poroshka iz aljuminievoj struzhki* / L. A. Rjabicheva, N. V. Beloshickij, A. I. Dobrydneva, E. V. Vojnova // Resursozberegajuchi tehnologii virobництва ta obrobki materialiv u mashinobuduvanni : zb. nauk. pr. – Lugans'k : Vid-vo SNU im. V. Dalja. – 2013. – № 1 (14). – S. 211–216.
8. Pat. 12618 A Ukraina, MPK 7 F41G3/16 B22F3/16. *Sposib виготовлення шхильних виробів із порошку міді* / Rjabicheva L. O., Cirkin A. T., Nikitin Ju. M., Biloshic'kij M. V., Avsen'ova N. V. № 200508199; Zajavleno 22.08.05.; Opubl. 15.02.06., Bjul. № 2.
9. Hanes M. *Struktura dvojnyh splavov* / M. Hanes, K. Anderko // M.: Metallurgizdat, 1962. – 357 s.
10. Savickij A. P. *Vlijanie poristosti na ob'emnye izmenenija pressovok Al-Cu pri zhidkofaznom spekanii* // A. P. Savickij, G. N. Romanov // Poroshkovaja metallurgija. – 1987. – № 7. – S. 22–26.
11. Morozov A. S. *Vlijanie stepeni okislennosti na strukturu i svojstva materiala, poluchennogo jelektricheskim spekaniem struzhkovogo poroshka aljuminievoj bronzy* / A. S. Morozov, A. I. Rajchenko [i dr.] // Poroshkovaja metallurgija. – 1987. – № 10. – S. 44–48.

Рябичева Л. А. – д-р техн. наук, проф. ВНУ им. В. Даля
 Негрей Ю. А. – аспирант, ВНУ им. В. Даля
 Белошицкий Н. В. – канд. техн. наук, доц. ВНУ им. В. Даля
 Войнова Е. В. – студент ВНУ им. В. Даля

ВНУ им. В. Даля – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: ryabic@gmail.com

Статья поступила в редакцию 27.12.2013 г.