

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00810.*

#### **Список литературы**

1. Wu Y., Isakov D., Grant P.S. Fabrication of composite filaments with high dielectric permittivity for fused deposition 3D printing // *Materials (Basel)*. 2017. Vol. 10. № 10. P. 1218 (1-10).
2. Зубцов С.С., Кремзер Р.А., Бадьин А.В., Дорожкин К.В. Экструдер филамента для 3d-принтера // *Труды пятнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов*. 2018. С. 137-139.
3. Gonzalez G. et al. Development of 3D printable formulations containing CNT with enhanced electrical properties // *Polym. (United Kingdom)*. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 109. P. 246–253.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ 03X18H11 ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ**

*ЮЙ СЯОЛИНЬ, И.Э. ВАСИЛЬЕВА, О.Ю. ВАУЛИНА*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

[kolgay@tpu.ru](mailto:kolgay@tpu.ru)

Изделия, изготавливаемые технологией порошковой металлургии, рассматриваются в настоящее время в качестве перспективных конструкционных материалов в области материаловедения. [1, 2]. Известно, что механическая активация приводит к увеличению запаса свободной энергии, что влияет на ускорение реакций между частицами и повышение свойств порошка. Активация измельчением, как новый способ ускорения физико-химических процессов, находит все более широкое применение [1]. Целью работы является – исследовать влияние механической активации на свойства порошковой стали 03X18H11.

Механическая активация порошков проводили в планетарной шаровой мельнице центробежного типа АГО-2. Порошковую смесь смешивали в механическом смесителе типа «пьяная бочка» течение 24 часов. Формовали образцы методом холодного одноосного прессования при давлении 255 МПа. Спекание проводили при температуре 1300°С в течение 2 часов в вакууме. Пористость образцов определяли с помощью «Анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел SIAMS 700тм». Металлографический анализ проводили на лабораторном микроскопе «ЛабoМет-И». Микротвердость образцов измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

Исследования нетравленной поверхности образцов позволяют оценить наличие пор, их количество, размер, форму и распределение в объеме образца [2, 3]. Нетравленная структура образца представлены на рисунке 1. На данных рисунках видно, что все образцы имеют определенную остаточную пористость после спекания. Распределение пор в спеченных образцах довольно неравномерное, однако средний размер пор практически не меняется, разброс значений в пределах ошибки, и равно 3,02 мкм, 4,61 мкм, 3,90 мкм для образцов без механической активации, с механоактивацией в течение 1 и 5 минут соответственно, таблица 1.

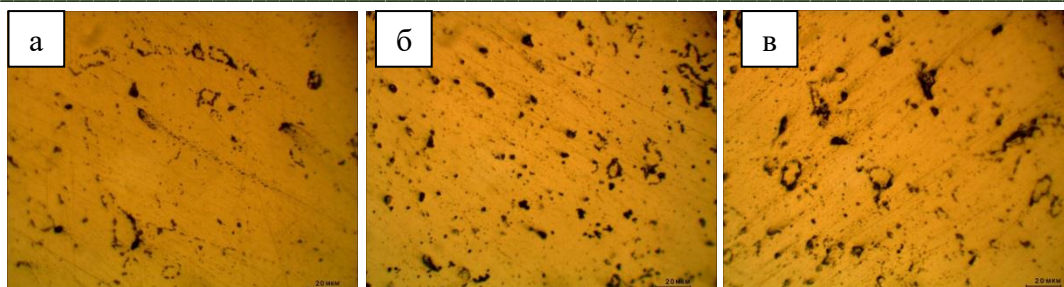


Рисунок 1 - Структуры поверхности нетравленных спеченных образцов:  
а – без активации, б – активация на 1 минуту, в – активация на 5 минут

Из рисунка 1 видно, что с увеличением времени механической активации количество и качество пор меняется. Для образцов без механической активации поры сгруппированы, для образцов с механоактивацией в течение 1 минуты – поры более равномерно распределены по всей поверхности. Для образцов с механоактивацией в течение 5 минуты – поры, как и для образцов без активации, сгруппированы, но размер и количество их стало больше. Большинство пор имеют размер от 1 до 7 мкм, 2% всех пор имеют размер меньше 1 мкм, также встречаются поры и большого размера до 20 мкм, таблица 1. Следовательно, нет явной зависимости количества, размера и формы пор от времени механоактивации.

Таблица 1 – Сводная таблица параметров исследуемых образцов

Время механической активации, мин	0	1	5
Усадка по объему, %	23,18±1,00	18,74±1,09	20,68±1,01
Пористость, %	3,02±0,09	4,61±0,13	3,90±0,11
Средний диаметр пор, мкм	3,86±0,60	3,43±0,45	3,08±0,88
Средний диаметр зерна, мкм	14,67±0,10	17,79±0,13	16,28±0,21
Микротвердость, МПа	2567±25	2733±17	4094±15

Для металлографического исследования поверхность образцов подвергли травлению царской водкой. Изображения травленных поверхностей спеченных образцов приведены на рисунке 2.

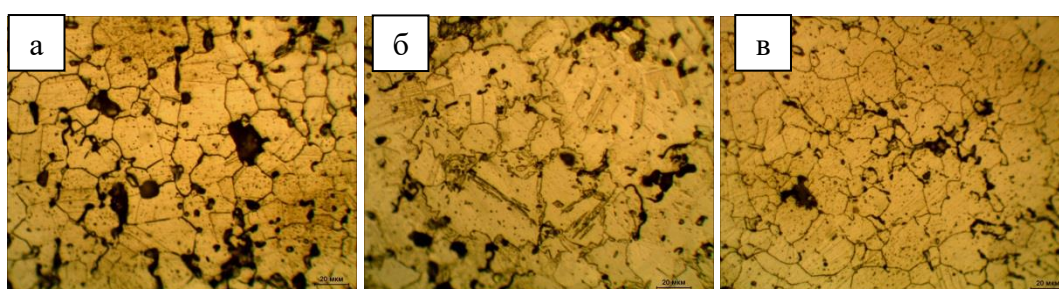


Рисунок 2 - Структура поверхности травленных спеченных образцов:  
а – без активации, б – активация на 1 минуту, в – активация на 5 минут

На рисунке 3 видна аустенитная структура. Больше всего двойников наблюдаются для образцов, спеченные из порошковой смеси после 1 минуты механоактивации. Зерна не равномерные, встречаются зерна и большие и совсем мелкие. С помощью метода случайных секущих был найден средний размер зерен в образцах: (14,67 ± 0,10) мкм, (17,79 ± 0,13) мкм, (16,28 ± 0,21) мкм для образцов без механической активации, с механоактивацией в течение 1 и 5 минут соответственно, таблица 1. Видно, что средний

размер зерна несколько увеличился после предварительной механической активации (на 10-20%).

Для оценки механических свойств спеченных образцов проводили измерение их микротвердости. Микротвердость образцов после 1 минуты механической активации не изменилась в сравнении с исходной микротвердостью. Однако для образцов после более продолжительной обработки (5 минут) микротвердость увеличилась в 1,5 раза. Очевидно, это связано с большим наклепом исходных частиц порошковой смеси во время длительной механической активации.

#### **Список литературы**

1. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука. 1986. 305 с.
2. Хань Лян, Ваулина О. Ю. Влияние механической активации на свойства и морфологию порошка инвара // VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» г. Томск, мая 2018г. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - С. 108-112.
3. Influence of mechanical activation of steel powder on its properties [Electronic resource] / O. Yu. Vaulina [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 175: Competitive Materials and Technology Processes (IC-CMTP4). - [012038, 4 p.].

### **ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ**

*Н.В. ТЕРЮКАЛОВА<sup>1,2</sup>, О.В. СИЗОВА<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [natali.teryukalova@gmail.com](mailto:natali.teryukalova@gmail.com)

Бериллиевые бронзы в связи с высокими показателями прочностных и антифрикционных свойств, а так же коррозионной стойкостью, все чаще применяют для изготовления деталей узлов трения ответственного назначения в различных областях машиностроения: для производства опор скольжения тяжело нагруженных агрегатов и устройств, в авиакосмической отрасли. Оптимальными эксплуатационными свойствами при этом обладают сплавы, содержащие около 2—2,5 % Be. Влияние режимов термообработки бериллиевых бронз на структуру и прочностные свойства бериллиевых бронз исследованы достаточно подробно, однако, структурные аспекты износостойкости бериллиевых бронз, к сожалению, обсуждаются недостаточно [1].

В настоящей работе исследовали трибологические характеристики бериллиевой бронзы БрБ2 в зависимости от ее структурного состояния. Исследования проводились в условиях сухого трения скольжения на цилиндрических образцах высотой 8,0 мм, нарезанных из горячекатаного прутка промышленного сплава диаметром 5,0 мм, подвергнутых далее закалке с 800<sup>0</sup>С в воду и закалке с последующим старением при 315<sup>0</sup>С в течение 2 часов. Микротвердость образцов после закалки составила 79,6 HV, после закалки и старения – 293 HV. Металлографические исследования проводили на лазерно-конфокальном микроскопе «LEXTECH OLS4000», частицы износа анализировали с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором «Genesis». Триботехнические испытания образцов в закаленном и состаренном состоянии проводили на триботестере фирмы «TRIBOTechnic» при нагрузке 20Н и скорости вращения образца 100 мм/с. Время испытания составило 4 часа, контртелом служил высокохромистый сплав 95Х18.