

При больших нагрузках углубление лунки под смазочный материал практически отсутствует.

Так же в работе рассмотрены контактные параметры: контактное давление, контактное касательное напряжение, статус контакта. Проведено сравнение материалов на распределение максимальных значений контактных параметров, а так же построено деформирование ячейки периодичности в зависимости от уровня давления.

Для каждого из материалов были построены зависимости основных значений контактных параметров, а именно: статус контакта, контактное давление и контактное касательное напряжение. Материалы № 4 и 5 имеют наибольшие значения контактного касательного напряжения, по сравнению с остальными материалами, отличающиеся в 1,5-2 раза, что связано со значительными зонами прилипания. Наилучшими контактными характеристиками обладают материал № 1 и 6, при 90 МПа, более 50% контактной поверхности находятся в зоне проскальзывания, что существенно уменьшает контактное касательное напряжение. Распределение максимальных значений контактного давления в зависимости от уровня нагрузки показывает, когда значительная часть лунки входит в контакт с жестким штампом, при значительном деформировании лунки под смазочный материал. Так для материалов № 4 и 5 перераспределение максимальных значений контактного давления происходит при 30-40 МПа, а у других материалов при 50-60 МПа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00903).*

#### **Список литературы**

1. Kamenskih A.A., Trufanov N.A. Regularities Interaction of Elements Contact Spherical Unit with the Antifrictional Polymeric Interlayer // Friction and Wear. – 2015. – Vol. 36, № 2. – Pp. 170-176.
2. Adamov A.A., Kamenskikh A.A., Nosov Yu.O. Deformational behavior of the flat sliding layer of the spherical bearing // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 10, № 5. – Pp. 99–107.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ 304-L**

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [yuxiaolin@mail.ru](mailto:yuxiaolin@mail.ru)

Нержавеющая сталь AISI 304-L обладает превосходной коррозионной стойкостью и формуемостью и, следовательно, широко используется в промышленности в качестве конструкционного материала, а также в качестве деталей двигателя в аэрокосмической промышленности. Изделия, изготавливаемые технологией порошковой металлургии, рассматриваются в настоящее время в качестве перспективных конструкционных материалов в области материаловедения [1]. В работе исследовали три группы образцов: 1 – образцы из исходного порошка, 2 и 3 – из порошков предварительно механоактивированных в течение 1 и 5 минут соответственно.

Механическая активация порошков была проведена в планетарной шаровой мельнице центробежного типа АГО-2. Порошковую смесь смешали в механическом смесителе типа «Пьяная бочка» в течение 24 часов. После образцы были сформованы методом холодного одноосного прессования при давлении 255 МПа. Спекание было проведено при температуре 1300 °С в течение 2 часов в вакууме. Пористость образцов были определена с помощью «Анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел SIAMS 700tm». Металлографический анализ проведён на лабораторном микроскопе «ЛабоМет-И».

Рентгенофазовый анализ порошка проведен на рентгеновском дифрактометре Rigaku, UltimaIV. Микротвердость образцов была измерена на микротвердомере ПМТ-3.

Исследования нетравленной поверхности образцов позволяют оценить наличие пор, их количество, размер, форму и распределение в объеме образца. Как видно из таблицы 1, у 2 группы образцов выявили самую высокую пористость. Средний размер пор после 1 минуты активации увеличивается, затем, при 5 минут активации, уменьшается. 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 больше. Следовательно, нет явной зависимости количества, размера и формы пор от времени механоактивации. Влияние механической активации на усадку во время спекания - незначительно.

Таблица 1 – сводная таблица параметров исследуемых образцов

Время механической активации, мин	0	1	5
Усадка, %	0,05%±0,01	0,02%±0,01	0,03%±0,01
Пористость, %	2,47%±0,26	6,31%±4,45	2,84%±0,30
Средний диаметр пор, мкм	2,9±0,3	3,8±0,4	2,5±0,3
Средний диаметр зерна, мкм	14,7±1,9	14,6 ±2,8	11,9±2,4
Микротвердость, МПа	2657±160	2733±151	4094±461

Для металлографического исследования поверхность образцов травили раствором азотной и плавиковой кислоты. Изображения травленных поверхностей, спеченных образцов приведены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что структура спеченного образца довольно неоднородная. На структурах 2 и 3 группы видны двойники, что характерно для аустенитной структуры [2]. Методом случайных секущих рассчитали средний размер зерна. Данные показывают, что средний размер зерна, таблица 1, постепенно уменьшается после механической активации. Это связано с измельчением размера частиц порошка после механической активации.

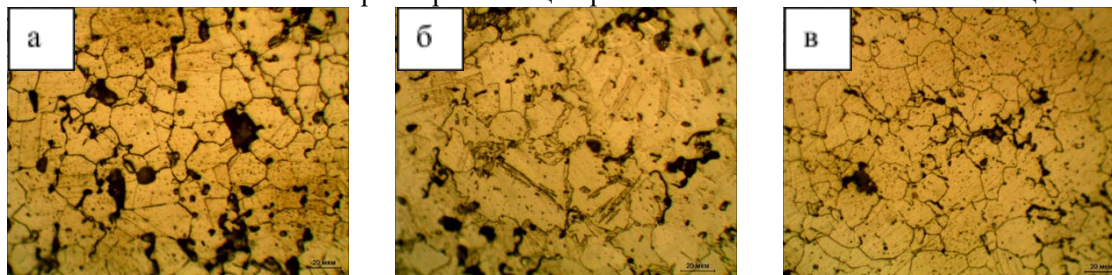


Рисунок 1 – Структура поверхности травленных спеченных образцов:  
а) без активации, б) активация на 1 минуту, в) активация на 5 минут

Феррит и аустенит по металлографии сложно отличить. Для более точного определения фазового состава был проведен рентгенофазовый анализ спеченных образцов. Фрагмент дифрактограммы представлен на рисунке 2а. После спекания механическая активация приводит к изменению фазового состояния образцов: образцы без активации структуры соответствуют ОЦК( $\alpha$ -Fe), после активации – ОЦК( $\alpha$ -Fe) и ГЦК( $\gamma$ -Fe) [3].

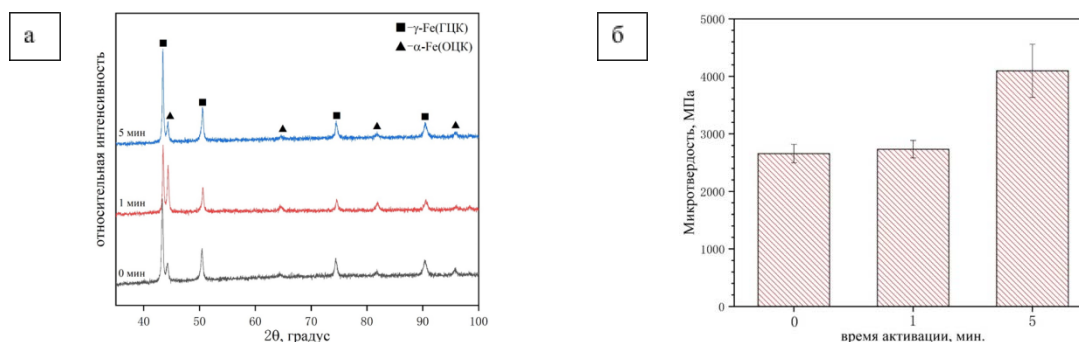


Рисунок 2 – Характеристики исследуемых партий образцов при разном времени механической активации: а) фрагмент дифрактограммы спеченных образцов; б) зависимость среднего диаметра зерен от времени активации

Из рисунка 2а видно, что с увеличением времени активации повышается величина микротвердости спеченных образцов: в 1,5 раза для образцов после длительной механоактивации в течение 5 минут и составила 2600 МПа.

Предварительная механоактивация порошка оказывает большое влияние на спеченные образцы: меняются структурно фазовый состав и соответственно и свойства.

#### Список литературы

1. Скипин А.А., Юй Сяолин и др. Исследование структуры и свойств порошковой стали 304-L // Международная научно-техническая молодежная конференция «Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения». – 2019. – С. 53–55.
2. Xu Tianhan, He Song. Simulation of effect of twin boundary on mechanical property of  $\alpha$ -Fe, 2017, 37(1): 73-79.
3. Vaulina O. Yu., Darenskaia E. A [et al.] Influence of mechanical activation of steel powder on its properties, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 175 012038.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ НА ОСНОВЕ Nb-Ti СПЛАВА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЕЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДОМ АСМ

*БНТЫМАКОВА А.С.*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН  
E-mail: [aklima.int@mail.ru](mailto:aklima.int@mail.ru)

Сплав Nb-Ti в течение последних сорока лет занимает особое положение в технике прикладной сверхпроводимости. Токонесущая способность сверхпроводника зависит от его микроструктуры, то есть, формы, размеров и объемного содержания частиц, выделившихся при распаде твердого раствора. Сверхпроводящие кабели используются в основном в тяжело нагруженных условиях эксплуатации, в связи с этим была исследована структура сверхпроводящего кабеля после проведения механического испытания методом атомно-силового микроскопа Solver PRO - 47Н.

В работе представлены результаты исследований сверхпроводящего кабеля на основе Nb-Ti сплава  $\varnothing$  1.3 мм после механического испытания на растяжение до разрушения (Испытательная машина Walter+Bai AG LFM-125 max усилие до 125 кН).