

суспензии Ф-4Д 50 и 60 масс %. Данные обстоятельства являются благоприятными для использования подобных мембран в методах очистки, а также в целях реконструктивной медицины.

#### **Список литературы**

1. Cui Z., Drioli E., Lee Y.M. Recent progress in fluoropolymers for membranes // Progress in Polymer Science. –Vol.39. – P. 164–198.

### **АКТИВИРОВАНИЕ МИКРОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ АСД-6М СВЧ-ОБЛУЧЕНИЕМ В СИНТЕЗЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ ЖЕЛЕЗА, МЕДИ, МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА**

*С.Н. ЛАВРОВ, А.П. ИЛЬИН*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
[snlavrov92@gmail.com](mailto:snlavrov92@gmail.com)

Интерметаллиды – химические соединения между, как минимум, двумя металлами, обладающие кристаллической структурой, отличной от структуры металлов образовавших интерметаллид [1]. Аллюминиды металлов уже нашли широкое применение в современной промышленности. Так малый вес и возможность работы при высоких температурах сделал перспективным применение аллюминиды титана для изготовления лопаток турбин двигателей гражданских самолётов. Образование аллюминидов лежит в основе упрочнения дюраллюминия при его искусственном старении. Интерметаллиды в системе Fe-Al обладают рядом полезных свойств. Так в работе [2] было показано высокое сопротивление аллюминидов железа износу.

При спекании порошковых систем интерметаллиды образуются путём СВЧ [1]. Низкая температура плавления и низкая, относительно других компонентов системы, плотность аллюминия делает актуальной задачу повышения его активности в процессах спекания. Известны различные методы повышения активности порошков металлов. В то же время часть этих методов требует введения в порошок различных примесей [3,4], другие требуют применения дорогостоящего и сложного в эксплуатации оборудования [5]. Одним из перспективных методов активирования порошков металлов является воздействие на них СВЧ-излучения [6].

Для анализа влияния СВЧ-облучения порошка аллюминия на продукты его спекания с порошками металлов был использован высокодисперсный порошок аллюминия АСД-6М. Были подготовлены смеси облучённого и не облучённого порошка АСД-6М с порошками железа Р-10, меди ПМС, молибдена ЭВП и вольфрама ПВ-2. Давление прессования составляло 15кгс/см<sup>2</sup>. Образцы спекались в муфельной печи с ограничением доступа воздуха. Температура образцов контролировалась при помощи термопары хромель-алюмель, фиксировались температуры начала СВЧ-процесса и его максимальный температурный эффект. Микроструктура спечённых образцов анализировалась методами СЭМ при помощи микроскопа СМ-12 на базе ТГУ. Микрофотографии образцов составов Fe-Al и Cu-Al представлены на рисунках 1-2.

На основании измерений размеров фрагментов структуры образцов были построены диаграммы распределения структурных фрагментов по размерам. Для образца состава Fe-Al с не облучённым аллюминием размер фрагментов варьировался от 0,92-5,2мкм. При этом 58% от общего числа измерений приходилось на интервал 1,53 - 2,75мкм.

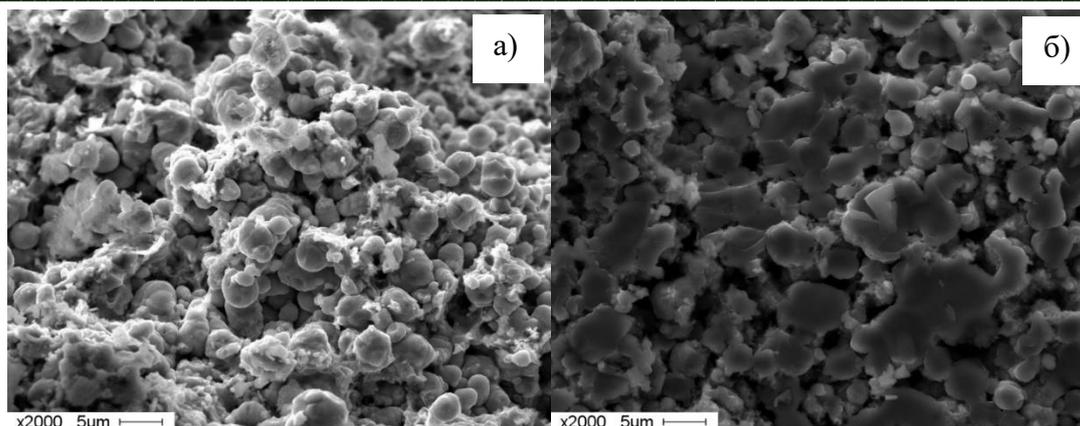


Рисунок 1 – Микрофотографии образцов состава Fe-Al: а) с не облучённым алюминием; б) с облучённым алюминием

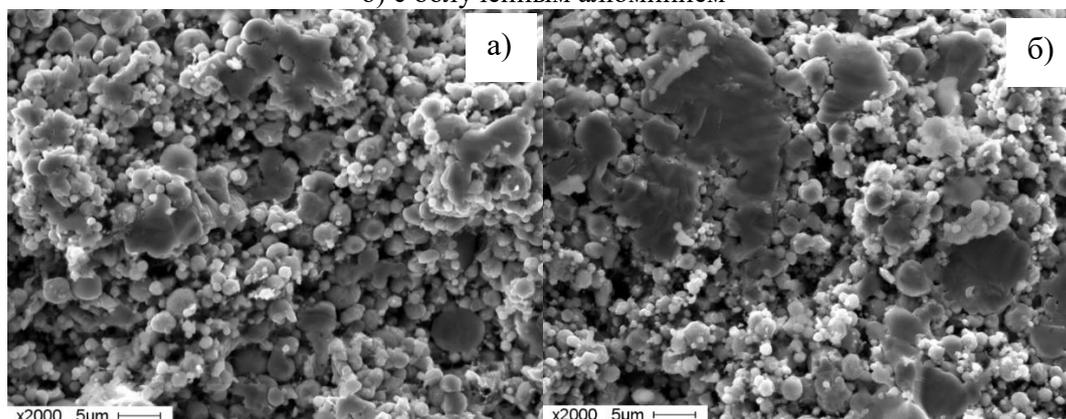


Рисунок 2 – Микрофотографии образцов состава Cu-Al: а) с не облучённым алюминием; б) с облучённым алюминием

Для образца состава Fe-Al с облучённым алюминием характерны размеры фрагментов 1,36 – 14,3 мкм. При этом 50% измерений находится в интервале 1,36-3,2 мкм. Для образца состава Cu-Al с не облучённым алюминием размер фрагментов варьировался от 0,65-9,15 мкм. При этом 66% от общего числа измерений приходилось на интервал 0,65 – 1,86 мкм. Для образца состава Cu-Al с облучённым алюминием характерны размеры фрагментов 0,63– 20,1 мкм. При этом 50% измерений находится в интервале 1,61-2,58 мкм.

На основании представленных микрофотографий можно сделать вывод о влиянии СВЧ-облучения микропорошка алюминия на качество спекания его с порошками других металлов. Для всех исследованных образцов было заметно увеличение размера фрагментов микроструктуры при использовании СВЧ-облучённого микропорошка алюминия вместо не облучённого.

#### Список литературы

1. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллидов - Издательство Томского университета 1989, 214 с.
2. <https://www.researchgate.net/publication/227116461>
3. Патент РФ 2086355
4. Nahma A., Gany A., Polovuori K. Combustion of activated aluminium, Combustion and Flame, 2006, V.145, p.464-480.
5. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Егоров И.С., Захарова М.А. Изменение термодинамических параметров нанопорошка алюминия после облучения потоком ускоренных электронов - Вестник Томского государственного университета. Химия. 2015. № 2. С. 6–13.

6. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия. А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, П.Ю. Чумерин, Ю.Г. Юшков, В.А. Ваулин, Б.А. Алексеев - Письма в ЖТФ, 2016, Т 42, В 7, с 17-22.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛАНАРНЫХ НАНОСТРУКТУР

*Е.А. ЛЕВЧЕНКО<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

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

Система уравнений, состоящая из динамического уравнения Гинзбурга-Ландау (1) для параметра порядка и уравнения на вектор-потенциал магнитного поля (2) [1] применена для математического моделирования сверхпроводящей фазы в магнитном поле в трехмерных Nb планарных наноструктурах:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = - \left( \frac{i}{k} \nabla + \vec{A} \right)^2 \cdot \Psi + \Psi - |\Psi|^2 \cdot \Psi \quad (1)$$

$$\sigma \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot i \cdot k} \cdot (\Psi^* \cdot \nabla \Psi - \Psi \cdot \nabla \Psi^*) - |\Psi|^2 \cdot \vec{A} - \nabla \times \nabla \times \vec{A} \quad (2)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} (\nabla \Psi, \vec{n}) &= 0, \\ \nabla \times \vec{A} &= \vec{B}_a, \\ (\vec{A}, \vec{n}) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $k$  – параметр Гинзбурга-Ландау,  $\vec{B}_a$  - приложенное к системе магнитное поле.

Моделирование двумя способами проведено в COMSOL Multiphysics. Первый способ заключается в записи исходной задачи в слабой форме. При этом граничные условия вводятся в систему с помощью вспомогательной переменной [2].

При моделировании вторым способом выделяется несколько областей. Первая область – область внутри сверхпроводника. В ней совместно решается система уравнений (1), (2). Вторая область – область, окружающая сверхпроводник. Размеры этой области определяются с учетом того, что на внешней границе области магнитное поле равно  $\vec{B}_a$ . В этой области решается только уравнение (2), при этом полагается, что  $\Psi = 0$  (т.к. в данной области отсутствуют куперовские пары). На границе двух областей учитывается непрерывность вектора-потенциала.

Оба способа моделирования дают одинаковые результаты, и могут быть использованы для разных целей. В первом подходе моделирование занимает меньше времени, второй способ позволяет построить картину магнитного поля как внутри сверхпроводника, так и в области, его окружающей.

На рисунке 1 показано распределение квадрата модуля параметра порядка для планарной структуры размерами  $5 \times 5 \times 0.5$  безразмерных единиц в сечении плоскостью  $z=0.5$ ,  $k=4$ . Шаг по времени от 0 до 300 безразмерных единиц равен 0.1, с 300 до 1500 – 1. Внешнее магнитное поле  $B_a=0.6$ .