



УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СЛОИСТЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ Cu/Nb МЕТОДАМИ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ¹⁰⁾

• Д.Н. Клименко, Ю.Р. Колобов

НОиИЦ «Наноструктурные материалы и нанотехнологии»,

ул. Королева, 2а, Белгород, 308034, Россия, e-mail: klimenko@bsu.edu.ru, kolobov@bsu.edu.ru

Аннотация. Методом высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии исследована микроструктура слоистых наноконпозитов Cu/Nb, полученных вакуумной диффузионной сваркой с последующей прокаткой на воздухе при комнатной температуре.

Ключевые слова: наноламинаты Cu/Nb, микроструктура, высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия.

1. Введение. Слоистые композиционные материалы Cu/Nb, получаемые методом диффузионной прокатки или волочением, представляют большой практический интерес в связи с их уникальными свойствами. Уменьшение толщины слоев в данных материалах приводит к значительному изменению их физических, механических и других свойств. В частности, при толщине слоев порядка 11 нм (такие композиты относятся к классу наноламинатов) наблюдается повышение плотности критического тока более чем на два порядка по сравнению с чистым ниобием [1]. Кроме того, уменьшение расстояния между межфазными границами Cu/Nb приводит к значительному повышению радиационной стойкости данных наноконпозитов [2], что, в сочетании с высокой механической прочностью [3–5], делает перспективными такие материалы для широкого круга применений в качестве радиационноустойчивых материалов, а так же для изготовления высокопрочных сверхпроводящих магнитов.

На настоящий момент наиболее перспективным методом получения слоистых композитов Cu/Nb является вакуумная диффузионная сварка в сочетании с последующей многократной прокаткой на воздухе [6]. Работа посвящена исследованию микроструктуры наноламинатов методами высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии.

2. Материалы и методики. В работе исследованы наноконпозиты Cu/Nb, представляющие чередующиеся наноразмерные слои Cu и Nb, полученные методами вакуумной диффузионной сваркой с последующей холодной прокатки на воздухе. Приготовление данных композитов осуществляется путем повторения следующих операций: сбора пакета из определенного числа пластин, горячей прокатки пакета в вакууме и последующей прокатки на воздухе до толщины, равной первоначальной толщине одной исходной пластины, составляющей композит. При последующих циклах сборка пакета производится из пластин, полученных в ходе предыдущего цикла. Такая методика

¹⁰⁾Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» соглашение 14.132.21.1683



приготовления исследуемых слоистых композитов разработана в лаборатории материаловедения Института физики твердого тела РАН [6], там же были приготовлены экспериментальные образцы, исследовавшиеся в настоящей работе.

Исследования микроструктуры проводили на просвечивающем электронном микроскопе «Technai G²», в режимах «светлого» и «темного» полей, а так же режиме высококоразрешающей сканирующей просвечивающей микроскопии.

3. Результат эксперимента и их обсуждение. На рис. 1 представлено изображение поперечного сечения композита. Из приведенной на рис. 2 гистограммы распределения слоев по толщине видно, что многослойный композит представляет собой чередующиеся слои меди и ниобия, толщина которых изменяется в пределах от 10 до 50 нм. Средняя толщина слоя при этом составляет порядка 18 нм. Толщина слоев по длине образца остается примерно постоянной, однако в некоторых местах наблюдаются как значительные утолщения слоев, так и их разрывы

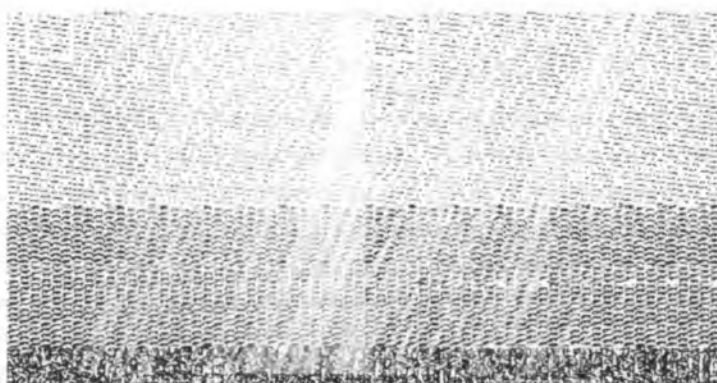


Рис. 1. Изображение наноламината Cu-Nb, получено в режиме сканирующей просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения: а) темнопольное изображение (с регистрацией высокоугловых рассеянных электронов); б) светловое изображение (в рассеянных электронах).

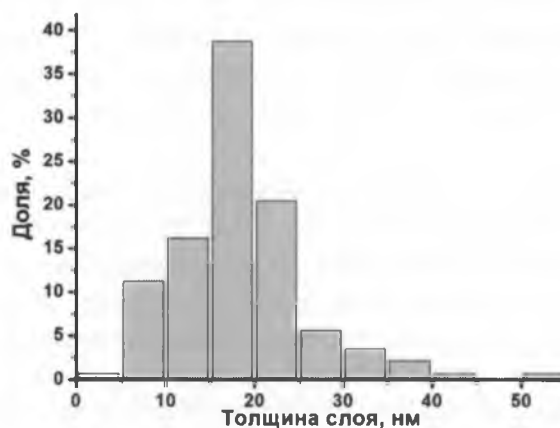


Рис. 2. Гистограмма распределения толщин слоев наноламината Cu/Nb. Средняя толщина слоев составляет 18 ± 1 нм.



4. Заключение. В рамках настоящей работы исследован нанопламинат системы Cu/Nb. Методами высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии было показано, что на межфазной границе Cu/Nb для данных композитов наблюдается ориентационное соотношение Kurdjumov–Sachs.

Литература

1. Карпов М.И., Коржов В.П., Внуков В.И., Волков К.В., Медведь Н.В. Сверхпроводящий критический ток в нанопламинате Cu-Nb // *Материаловедение*. – 2005. – №1. – С.43-47.
2. Misra A., Demkowicz M.J., Zhang X., Hoagland R.G. The radiation damage tolerance of ultra-high strength nanolayered composites // *JOM*. – 2007. – P.62-65.
3. Karasek K.R., Bevk J. High temperature strength of in situ formed Cu–Nb multifilamentary composites // *Scripta Met.* – 1979. – 13;4. – P.259-262.
4. Spitzig W. A., Pelton A.R., Laabs F.C. Characterization of the strength and microstructure of heavily cold worked Cu–Nb composites // *Acta Met.* – 1987. – 35;10. – P.2427–2442.
5. Verhoeven J.D., Downing N.L., Chumbley L.S., Gibson E.D. The resistivity and microstructure of heavily drawn Cu-Nb alloys // *J. Appl. Phys.* – 1989. – 65. – №3. – P.1293-1301.
6. Карпов М.И., Внуков В.И., Волков К.Г., Медведь Н.В., Ходос И.И., Абросимова Г.Е. Возможности метода вакуумной прокатки как способа получения многослойных композитов с нанометрическими толщинами слоев // *Материаловедение* – 2004 – №1. – С.48-53.
7. Марадудин Д.Н., Клименко Д.Н., Липницкий А.Г., Колобов Ю.Р. Расчеты анизотропии энергии межфазной границы Cu(111)/Nb(110) методом погруженного атома // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2010. – №3/2. – С.162-166.

STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF CU/NB LAYRED NANOCOMPOSITES BY TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY

D.N. Klimenko, Yu.R. Kolobov

Centre of nanostructural materials and nanotechnologies,
Koroleva St., 2a, Belgorod, 308034, Russia, e-mail: klimenko@bsu.edu.ru, kolobov@bsu.edu.ru

Abstract. The method of high-resolution transmission electron microscope is used to study the microstructure of layered nanocomposite Cu/Nb obtained by vacuum welding with subsequent rolling at room temperature.

Key words: Cu/Nb multilayer nanocomposites, microstructure, high-resolution transmission electron microscope.