

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО МЕДЬ-НИОБИЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ИНСТРУМЕНТА

Зайцев Е.Ю.¹, Спириин А.В.¹, Крутиков В.И.¹, Паранин С.Н.¹,
Заяц С.В.¹, Колеух Д.С.¹

¹) Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
E-mail: jzaizew@gmail.com

STUDY OF A MATERIAL BASED ON A NANOSTRUCTURED COPPER- NIOBIUM ALLOY FOR THE DEVELOPMENT OF MAGNETIC PULSE TOOLS

Zaytsev E.Yu.¹, Spirin A.V.¹, Krutikov V.I.¹, Paraniin S.N.¹,
Zayats S.V.¹, Koleukh D.S.¹

¹) Institute of Electrophysics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The results of study of samples made of finely dispersed Cu-Nb by powder method are given. Comparative tests of materials stability under the generation of magnetic fields up to 40 Tl of microsecond duration are carried out.

Основной проблемой при генерации импульсных сильных магнитных полей (СМП) является деградация и разрушение проводящих материалов в условиях совместного силового и термического воздействия импульсного тока и магнитного поля, что особенно характерно для материалов индукторов на основе алюминия и меди. Эффективными для таких применений могут быть специальные сплавы, сочетающие в себе высокую проводимость и прочностные характеристики, например, наноструктурный композит Cu-Nb. В работе [1] показано, что катушки из данного материала в виде структурированного провода способны многократно генерировать СМП до 70 Тл субсекундной длительности. Однако данных по его использованию для генерации быстрых СМП не найдено. Как правило, для этих целей используют массивные одновитковые индукторы или концентраторы магнитного потока, что сложно реализовать из провода, но может быть реализовано, например, порошковым способом. Целью работы является получение порошковым способом объемных образцов из мелкодисперсного композита Cu-Nb, исследование свойств и поведения материала в полях до 40 Тл микросекундной длительности в сравнении с образцом коммерческого провода прямоугольного сечения (2x8 кв.мм) – шиной, из волокнистого композита Cu-18%Nb производства ООО «НПП «Наноэлектро» [2].

Микрокомпозиционный провод диаметром 0,18 мм, измельченный на фрагменты, подвергали помолу в шаровой мельнице. Компактные образцы в виде дисков диаметром до 32 мм с относительной плотностью до 97% получали магнитно-импульсным прессованием и последующим отжигом в вакууме при

температуре около $800^{\circ}\text{C}/1$ ч. Испытания материалов в СМП проводили в индукторной системе с концентратором потока, содержащим тестовые образцы размером $2 \times 8 \times 30$ мм из порошка и коммерческой шины.

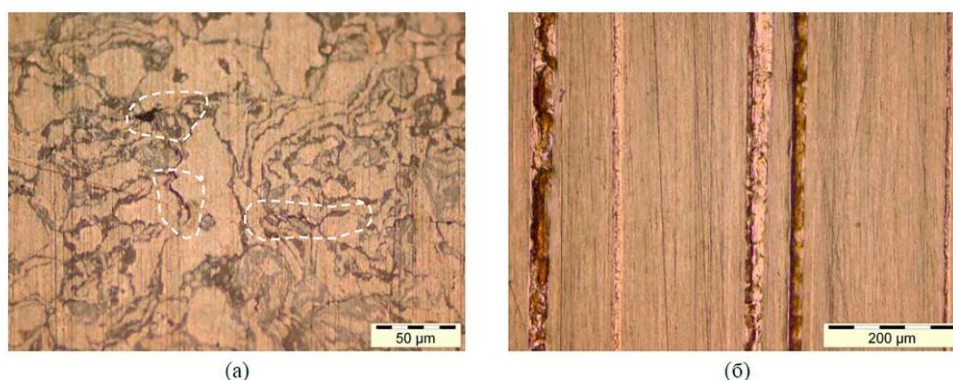


Рис. 1. Оптические изображения поверхности порошкового образца (а) и шины (б) после 50 импульсов СМП 40 Тл. На (а) пунктиром показаны области с микротрещинами.

Комплексный анализ данных о свойствах полученных образцов из порошка композита свидетельствует об их близости к свойствам структурированного провода. Исследование методом АСМ показало, что у порошковых образцов после отжига вплоть до температуры около 800°C сохраняется волокнистая структура, определяющая высокую прочность исходного материала. Тем не менее, порошковые образцы после отжига при максимальной температуре все же имеют удельное сопротивление на 30% больше (около $3 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$), чем у исходного провода после отжига, а также более высокую микротвердость, что может быть обусловлено наличием примесей, вносимых помолом, а также наличием (до 7 масс.%) оксидных фаз компонентов композита. После 50 импульсов поля 40 Тл с полупериодом 15 мкс образцы характеризовались целостностью, но имели различный характер и степень деградации рабочей поверхности (рисунок 1). У порошкового образца разрушение начиналось с образования микротрещин по границам зерен, соответствующих частицам исходного помольного порошка, в образце шины изменения происходят, в основном, в достаточно толстых медных прожилках между жилами из медь-ниобиевого композита. В ходе дальнейших испытаний образце из порошка выдержал около 80 импульсов СМП, шина – не менее 120.

Работа выполнена при частичном финансировании грантов РФФИ (20-58-00029 Бел_а, 20-21-00050 Росатом)

1. A. Lagutin, K. Rosseel, F. Herlach, J. Vanacken, Y. Bruynseraede. Development of reliable 70 T pulsed magnets // Meas. Sci. Technol. 2003. Vol. 14. pp. 2144-2150.
2. ООО «НПП» Нанозлектро» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. компании. Москва, Россия. URL: <http://www.naelco.ru> (дата обращения: 24.02.2022).