

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПАКТНЫХ И ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО МЕДЬ-НИОБИЕВОГО КОМПОЗИТА

Зайцев Е.Ю.<sup>1</sup>, Спири́н А.В.<sup>1</sup>, Заяц С.В.<sup>1</sup>, Кайгородов А.С.<sup>1</sup>, Парани́н С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: jzaizew@gmail.com

## STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMPACTED AND FIBROUS MATERIALS BASED ON NANOSTRUCTURED COPPER-NIOBIUM COMPOSITE

Zaytsev E.Yu.<sup>1</sup>, Spirin A.V.<sup>1</sup>, Zayats S.V.<sup>1</sup>, Kaygorodov A.S.<sup>1</sup>, Paranin S.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Electrophysics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

Mechanical properties of fibrous and powder materials based on nanostructured Cu-Nb alloy were studied as influenced by anneal temperature. At 800°C anneal, the UTS of powder materials (805–930 MPa depending on powder grade) is 1.5–1.7 times higher than of commercial wire, but with lower plasticity.

Композиты на основе Cu-Nb рассматриваются перспективными материалами для разработки систем многократной генерации сильных магнитных полей (СМП) благодаря сочетанию их высокой прочности и электропроводности. Материалы данного типа с наилучшими показателями прочности и электропроводности получают методами интенсивного пластического деформирования, например, волочением. При этом формируются наноструктурные волокна ниобия, распределенные в медной матрице [1]. Область применения материала, получаемого таким способом, в виде провода, – многовитковые соленоиды для генерации СМП субсекундной длительности [2]. Для создания же систем генерации “быстрых” СМП на основе массивных одновитковых индукторов провод оказывается непригодным. Поэтому основной задачей в своей работе мы ставили изготовление объемных образцов материалов из мелкодисперсного Cu-Nb композита порошковым способом и сравнение, в частности, их прочностных характеристик с образцами коммерческого провода прямоугольного сечения (шина 2x8 мм) [3] с близкими содержаниями фазы ниобия.

Для реализации подхода методом помола готовили порошки, используя в качестве исходного сырья микрокомпозиционный тонкий провод из Cu-18%Nb [3]. В процессе помола была выделена основная фракция порошка 20–64 мкм и небольшое количество фракции –20 мкм. Магнитно-импульсным прессованием [4] порошки компактировали в диски D 32 мм, отн. плотность достигала 97%. Отжиг компактов проводили в вакууме при температуре 500–850°C с выдержкой 1–3 ч. Условия получения и влияние температуры отжига компактных образцов

на фазовый состав, микроструктуру, электросопротивление и микротвердость изучены ранее в [5]. В настоящем докладе приведены данные по растяжению полученных материалов (предел прочности и отн. удлинение) в корреляции с микротвердостью. Растяжение тестовых пластинок с поперечным сечением 0,6–1 кв.мм и рабочей длиной 18–22 мм, подготовленных из спеченных порошковых образцов и шины, проводили при 20°C на компактной лабораторной установке с максимальным усилием до 1 кН при скорости отн. деформации 0,0016 1/с (точность измерений не хуже 0,5%).

На рисунке представлены зависимости предела прочности и микротвердости  $H_v$  материалов в зависимости от температуры отжига. С повышением температуры отжига от 500 до 850°C в результате релаксационных процессов твердость и предел прочности шины снижаются примерно вдвое, а порошковых образцов в 1,5 раза. При этом и твердость и прочность порошковых образцов после отжига при 800°C в 1,5 раза выше, чем у провода. Использование порошка более тонкого помола приводит к увеличению механических характеристик на 15%. Увеличение прочностных показателей с одновременным снижением относительного удлинения порошковых образцов при разрыве может говорить о влиянии на пластичность компонент композита вносимых примесей O, Fe, Cr, C и др., а также вторичных фаз на основе ниобия и меди, обнаруживаемых РФА [5]. Спекание порошковых материалов при 800–810°C в течение 1–1,5 ч можно считать приемлемым.

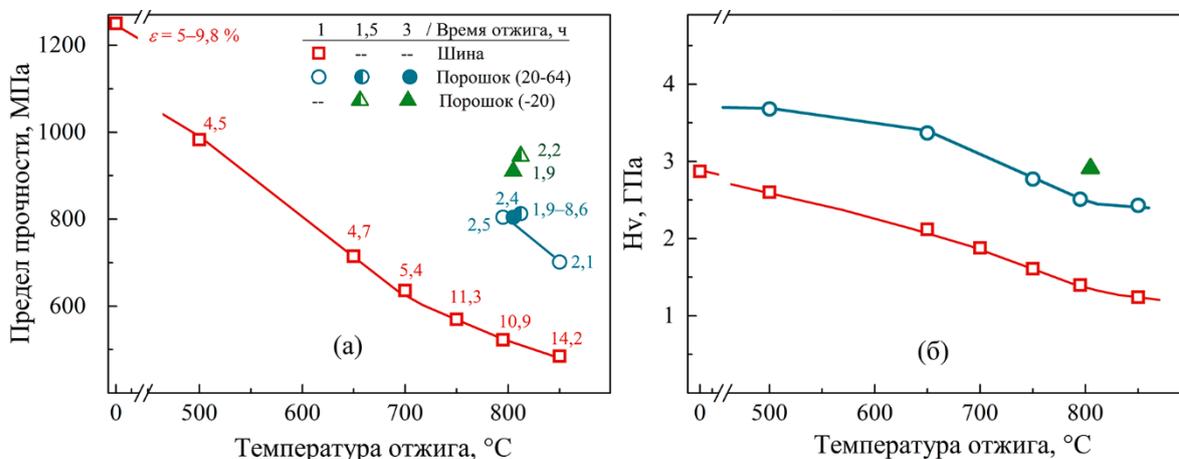


Рис. 1. Зависимость механических свойств материалов от температуры отжига: (а) – предел прочности ( $\epsilon$  – относительное удлинение при максимальном усилии), (б) – микротвердость по Виккерсу (Nanotest 600, нагрузка 1 Н).

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Госкорпорации «Росатом» в рамках научного проекта № 20-21-00050.*

1. Pantsyrny V., Shikov A., Vorobieva A. // IEEE Trans. on Appl. Supercond., 10(1), 1263 (2000).

2. Lagutin A., Rosseel K., Herlach F., Vanacken J., Bruynseraede Y. // Meas. Sci. Technol., 14, 2144 (2003).
3. ООО «Русатом МеталлТех» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. компании. Москва, Россия. URL: <http://rusmetaltech.ru> (дата обращения: 27.02.2023).
4. Bokov A.A., Boltachev G.S., Volkov N.B. et. al. // Tech. Phys., 58, 1459 (2013)
5. Zaytsev E., Spirin A., Krutikov V., Paranin S., Zayats S., Kaigorodov A., Koleukh D., Kebets A., // Proc. of EFRE–2022, Tomsk, Russia, 375-381 (2022)