

## ЖАРОПРОЧНЫЕ МЕДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ РЕАКЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Смирнов В.М., Шалунов Е.П.

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,  
г. Чебоксары, Россия,  
[vms53@inbox.ru](mailto:vms53@inbox.ru)

При создании современной техники требуются медные материалы, способные сохранять хорошую электро- и теплопроводность, высокие прочностные характеристики, износо- и дугоустойкость и другие физико-механические и эксплуатационные свойства при высоких температурах. Однако жаропрочные медные сплавы, упрочняемые за счет распада пересыщенного твердого раствора, уже достигли предела по рабочей температуре и трудно ожидать её существенного повышения за счет оптимизации состава и технологических режимов их получения. К тому же большинство жаропрочных медных сплавов с высокой рабочей температурой содержат бериллий, на который из-за высокой токсичности во многих странах вводится ограничение.

Одним из перспективных методов получения медных жаропрочных композиционных материалов с нанодисперсными частицами (оксидами и/или карбидами), обладающими высокой стабильностью в медной матрице до температуры плавления меди, является метод реакционного механического легирования [1]. Авторами настоящей работы было показано [2], что в результате высокоэнергетического размола в шаровой мельнице порошка меди с добавками порошка алюминия и графита и последующей горячей экструзии гранул можно получить нанокomпозиционный материал  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$  (графит). Температура рекристаллизации этих нанокomпозитов близка к температуре плавления меди и составляет 850...950°C.

В настоящей работе исследовали структуру и свойства композиционных материалов на основе меди, полученных путем реакционного механического легирования меди титаном и углеродом. Эксперименты проводились с использованием смеси порошков меди ПМС-1, титана ПТМ-А и графита ГК-3, которые обрабатывались в высокоэнергетическом аттриторе в среде воздуха. Полученные гранулы подвергались холодному компактированию в брикеты, которые затем нагревались до 800°C и с этой температуры экструдировались в прутки  $\varnothing 13$  мм.

Как показала расшифровка дифрактограмм, снятых на дифрактометре ДРОН-3М от анодного осадка прутков из композита  $\text{Cu-2,0Ti-0,25C}$ , основными дисперсными фазами, образовавшимися в медной матрице в результате механо-химического синтеза, являются карбиды титана  $\text{TiC}$ . Также на дифрактограммах проявляются самые сильные линии от титана и соединения  $\text{Cu}_3\text{Ti}$ . Но при этом практически отсутствуют рентгеновские линии от оксидов меди и титана, что указывает также на восстановительную роль углерода в данном технологическом процессе.

Структура композитов  $\text{Cu-TiC}$ , исследованная на сканирующем зондовом микроскопе фирмы NT-MDT методом атомной силовой микроскопии (АСМ) на шлифах, подготовленных электрополировкой, как видно из рисунка, является мелкозернистой. Размер зерен составляет 100...300 нм. Сканирование шлифа на более маленьких участках ( $1 \times 1$  мкм) указывает на наличие выраженной субзеренной структуры. Размеры субзерен (блоков) лежат в интервале 30...100 нм.

Медные нанокomпозиты  $\text{Cu-TiC}$  обладают более высокой прочностью при комнатной и повышенной (500°C) температурах (см. таблицу) по сравнению с нанокomпозиционными материалами  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$  (графит) торговой марки ДИСКОМ® при близких значениях электропроводности. Температура рекристаллизации нанокomпозитов  $\text{Cu-TiC}$  с уве-

личением содержания вводимых добавок титана и углерода увеличивается от 900°C до 950°C.

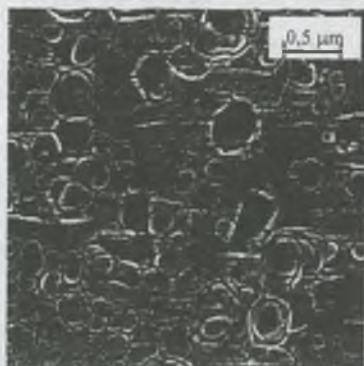


Рис. Структура композиционного материала Cu-2.0Ti-0,25C.  
Метод АСМ, в режиме «фаза»

Физико-механические свойства нанокompозитов Cu-TiC позволяют считать их перспективными материалами. например, для замены бериллийсодержащих бронз при изготовлении электродов для контактной сварки нержавеющей сталей, а также армирующих сеток и решеток железобетонных изделий.

Таблица. Зависимость физико-механических свойств медных нанокompозитов от состава

Материал	Твердость HV <sub>30</sub> , МПа	Электропроводность*, %	Предел прочности, МПа	
			при 20°C	при 500°C
ДИСКОМ® СО/70 (Cu-0,5Al-0,25C)	1850	48	717	154
Cu-2,0Ti-0,25C	2440	50		
Cu-3,0Ti-0,25C	2482	46	829	237
Cu-3,0Ti-0,45C	2462	47	791	-

\*- электропроводность по отношению к электропроводности чистой меди.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №12-03-97080-р\_поволжье\_а).

#### Список литературы

1. Slesar M., Jangg G., Besterci M. Festigkeit und Bruch dispersionsgehärteter Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Werkstoffe //Z. für Metallkunde. Band 72, 1981, Heft 6. S.423-427
2. Шалунов, Е.П., Смирнов В.М. Особенности формирования объемных наноструктурных материалов на основе меди методом реакционного механического легирования // Вестник Чувашского университета. Естественные и технические науки. 2009, №2. с. 291-299.