

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ
ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ

В. М. УТЯТКИН

Научный руководитель А. И. ХАБИБУЛЛИН
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Долговечность и надежность медных электроконтактных изделий, применяемых в электротехнике, могут быть многократно повышены применением для их изготовления композиционного материала – дисперсно-упрочненной меди, теория и технология производства которой разработаны и освоены в Белорусско-Российском университете. Известно, что механические свойства любого сплава возрастают в 8 раз при измельчении зерна от №1 до №14 (от 500 мкм до 2,5 мкм). Структура разработанной композиции характеризуется следующими параметрами: размер зерен основы $\leq 0,5$ мкм (т. е. в 5 раз меньше зерен самого мелкого размера – №14), размер блоков ≤ 50 нм. Кроме того, ультрамелкозернистая структура, стабилизируется тугоплавкими дисперсными частицами упрочняющей фазы (Al_2O_3 , размером ≤ 20 нм), что не позволяет расти зернам при нагреве до температур $0,8 T_{пл}$. (обычные сплавы теряют свои свойства при нагреве свыше $0,4 T_{пл}$). Указанная структура обеспечивает низкую скорость протекания рекристаллизационных процессов, высокие значения твердости и прочности при температурах от 20 до 850 °С. При относительной электропроводности, равной 80 % от меди, разработанный материал обладает твердостью более 240 НВ, пределом прочности $\sigma_b = 860$ МПа, $\sigma_b^{500} = 400$ МПа, относительным удлинением $\delta = 4-5$ % и температурой рекристаллизации не менее $0,85 T_{пл}$ основы.

Основные преимущества материала, предлагаемого для изготовления разрывных и скользящих контактов, электродов контактной точечной сварки, токоподводящих наконечников, применяемых в аппаратах для сварки проволокой в среде защитных газов, по сравнению с аналогами, заключаются в более высоких значениях твердости и горячей твердости, температуры рекристаллизации, жаропрочности, снижении эффекта прилипания брызг и сплавления с электродной проволокой, в равномерном распределении на большей поверхности катодных пятен, что в итоге снижает эрозионный и абразивный износ. Разработанный материал по комплексу физико-механических и эксплуатационных свойств значительно превосходит классический электротехнический материал, которым является бронза БрХЦр.

Технологический процесс получения токоподводящих наконечников включает в себя получение прутков из дисперсно-упрочненной меди и механическую обработку заготовок. Технологическая схема получения дисперсно-упрочненной меди, предназначенной для изготовления токоподводящих

наконечников, включает следующие стадии: выбор исходных компонентов и прогнозирование фазового состава материала; реакционное механическое легирование, приводящее к образованию дисперсно-упрочненной гранулированной композиции; холодное прессование брикетов и их термическая обработка; получение полуфабрикатов методом экструзии. Разработанная технология основана на том, что упрочняющая фаза (Al_2O_3 , AlN) не вводится в шихту, а образуется на стадиях механического легирования и отжига гранулированной композиции в результате механически и термически активируемой реакции взаимодействия металла, имеющего высокое сродство к кислороду (Al), и кислородосодержащего компонента.

Состав разработанной ранее базовой композиции включал в себя 0,8 % Al и 0,7 % O , вводимого с порошкообразными оксидами CuO (2,5 %) и MoO_3 (0,8 %). При условии полного взаимодействия между порошкообразными компонентами в процессе механического легирования должно образовываться 1,5 % оксида алюминия. Но, в реальности, полноты протекания реакций не наблюдается и около 0,15 % оставшегося алюминия растворяется в матрице. Так как образование твердого раствора приводит к значительным искажениям кристаллической решетки, а электропроводность является структурно чувствительной характеристикой, то наблюдается резкое снижение электропроводности (до 65 % от меди).

Целью исследований являлась разработка технологии, позволяющей повысить электропроводность указанного материала, без снижения механических свойств. Для окисления алюминия, перешедшего в твердый раствор и повышения электропроводности механическое легирование, в данной работе, производилось в окислительной газовой среде N_2O с различным избыточным давлением. В композицию входят: порошок меди (основа композиции), 3,6 г MoO_3 (0,8 %), 3,6 г Al (0,8 %), N_2O , заполняющий свободный объем помольной камеры и некоторое рассчитываемое количество CuO . Общий объем помольной камеры составляет 1,0 л. Объем, занимаемый шихтой и мелющими телами – 0,37 л, масса шихты – 440 г. Количество N_2O , занимающего свободный объем, определяется из пропорции

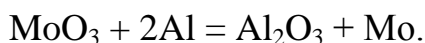
$$\frac{22,4л}{44г} = \frac{0,63л}{x},$$

откуда

$$x = \frac{44 \cdot 0,63}{22,4} = 1,24 г .$$

Условием, необходимым для достижения максимальной электропроводности композиции, является полное связывание алюминия в оксиды и нитриды.

Количество алюминия, окисляемого оксидом молибдена, рассчитывается исходя из уравнения:

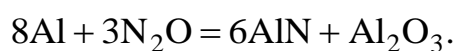


Из пропорции: $\frac{144}{3,6} = \frac{48}{x}$, находят количество алюминия, связанного оксидом молибдена:

$$x = \frac{54 \cdot 3,6}{144} = 1,35 \text{ г.}$$

Таким образом, 3,6 г оксида молибдена связывают 1,35 г алюминия.

Количество алюминия, окисляемого оксидом азота, рассчитывается исходя из уравнения:



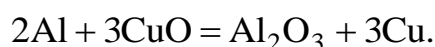
Из пропорции: $\frac{216}{x} = \frac{132}{1,24}$, находят количество алюминия, связанного оксидом азота:

$$x = \frac{216 \cdot 1,24}{132} = 2,03 \text{ г.}$$

Оставшееся количество алюминия, которое должно быть окислено оксидом меди, находится из разности:

$$3,6 - 1,35 - 2,03 = 0,22 \text{ г.}$$

Количество оксида меди, необходимое для окисления 0,22 г алюминия, определяется из уравнения:



Из пропорции: $\frac{54}{0,22} = \frac{240}{x}$, находят количество оксида меди, необходимого для окисления оставшегося алюминия:

$$x = \frac{0,22 \cdot 240}{54} = 0,98 \text{ г.}$$

что составляет 0,22 % в составе композиции.

Результаты экспериментов позволили установить механизм фазовых превращений, происходящих в процессе механического легирования в окислительной газовой среде и последующего отжига:

- 1) растворение алюминия в медной основе;
- 2) окисление меди кислородосодержащей газовой фазой;
- 3) последующее внутреннее окисление алюминия, вызывающее образование наноразмерных включений оксидов и нитридов.

Было выявлено, что при обработке шихты в атмосфере N_2O с оптимальным избыточным давлением (60 кПа) электропроводность материала по сравнению с результатами, полученными при обработке в изолированной среде, повысилась на 13 %.