УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОТЖИГА НА СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, А. И. ХАБИБУЛЛИН
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Реакционное механическое легирование, осуществляемое в атмосфере оксида азота N_2O, активирует окислительно-восстановительные превращения, имеющие место в композициях на основе системы Cu–Al–MoO_3, что приводит к снижению концентрации алюминия в твердом растворе на основе меди и, как следствие, увеличивает электропроводность материала. Однако, после завершения механического легирования, термодинамическое равновесие системы не достигается и фазовый состав гранулированных композиций существенно отличается от равновесного наличием алюминида Cu_9Al_4, оксидов Cu_2O и $CuMoO_4$. Было установлено, что дополнительная термическая обработка брикетированных гранулированных материалов, применяемая перед экструзией полуфабрикатов, повышает электропроводность композиционного материала, что свидетельствует об активизации фазовых превращений, приближающих систему к термодинамическому равновесию.

Кроме того, одним из важнейших качеств, определяющих эксплуатационные характеристики электроконтактного материала, является способность сохранять высокие прочностные свойства после продолжительного высокотемпературного воздействия. В связи с этим, целью данной работы являлось изучение влияния режима отжига на физико-механические свойства дисперсно-упрочненной меди.

Температура изменялась в пределах 600–1050 ^{0}C при продолжительности обработки, равной 0,5–8,0 ч. В качестве атмосферы использовались водород, аргон и вакуум. Основными целями отжига являются стабилизация структуры, свойств и дегазация. Оптимизация режима отжига осуществлена с применением центрального композиционного ортогонального планирования. При описании области оптимума параметрами являлись: предел прочности материала $\sigma_в$ и удельное электрическое сопротивление ρ; факторами – температура x_1, продолжительность отжига x_2. Средние значения параметров оптимизации, приведенные в матрице планирования, получены по результатам двух параллельных опытов.

Результаты измерений микротвердости гранулированных композиций, полученных после отжига в различных атмосферах, показали, что их влияние незначительно. По результатам исследований можно сделать вывод, что все исследуемые композиции сохраняют высокие механические свойства

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

после нагрева до температур $T \approx 0{,}85T_{пл}$ матрицы и являются типичными дисперсно-упрочненными материалами. Высокая стойкость против температурного воздействия обеспечивается образованием субмикро- или микрокристаллической структуры матрицы, обладающей развитой поверхностью границ зерен и субзерен. Эти границы являются эффективным барьером для движения дислокаций и, кроме того, наличие в структуре дисперсных включений вызывает дополнительное упрочнение. Избыточные фазы стабилизируют структуру матрицы при нагреве до высоких температур, что препятствует развитию диффузионных процессов и протеканию рекристаллизации.

Разупрочнение, наблюдаемое при температурах выше 850 °С, указывает на наличие структурных превращений, связанных с некоторым увеличением размера зерен и субзерен, а также коагуляцией и ростом избыточных фаз. Повышение температуры отжига сопровождается снижением удельного электрического сопротивления. Это явление обусловлено фазовыми и структурными превращениями, протекающими в композиции при развитии термически активируемых реакций внутреннего окисления алюминия. Указанный процесс уменьшает концентрацию алюминия в твердом растворе, что приводит к снижению электрического сопротивления. Таким образом, для стабилизации фазового состава, структуры и свойств механически легированных композиций обязательной операцией является отжиг, который может сочетаться с термомеханической обработкой. При этом имеют место развитие такие физико-химические процессы, как диффузия, рекристаллизация, растворение включений, выделение и рост новых фаз, и другие, способствующие переходу системы к равновесному или близкому к нему состоянию. Это обеспечивает стабильность структуры и свойств, являющуюся необходимым условием надежности и долговечности изделий, работающих в жестких температурно-силовых условиях.

Установлено, что оптимальными режимами отжига, обеспечивающими завершение реакций внутреннего окисления алюминия и образования дисперсных частиц упрочняющей фазы в медной матрице, являются: температура нагрева – 775–800 °С, время выдержки – 2–3 ч.

В результате исследований выявлен механизм фазовых превращений, происходящих в порошковой композиции в процессе её механообработки и при последующем отжиге. Показано, что они состоят из следующих этапов: растворения алюминия в медной основе; окисления меди кислородосодержащей газовой фазой; внутреннего окисления алюминия с образованием наноразмерных включений оксидов и нитридов и снижением концентрации атомов алюминия в твердом растворе меди.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета