

Дисперснотвердеющие порошковые бронзы для электродов контактной сварки

И. И. Иванова, Н. А. Крылова, С. И. Евлаш

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН
Украины, Киев, e-mail: inna@ipms.kiev.ua

Выбраны составы и разработана порошковая технология получения дисперснотвердеющих бронз систем Cu—Ni—Si, Cu—Co—Si. Исследованы прочностные свойства и горячая твердость полученных материалов при температурах 20—600 °С, проведены лабораторные сварочные испытания. Износостойкость при сварке данных материалов превышает таковую известных сварочных бронз БрНХК и БрХНбЦр.

Ключевые слова: электродные материалы, дисперснотвердеющие бронзы.

Предыдущие исследования, которые посвящены разработке материалов на основе меди, упрочненных наноразмерными частицами термодинамически устойчивых тугоплавких оксидов, показали, что такие материалы обладают достаточно высокой прочностью, электропроводностью, высокой температурой рекристаллизации, а также рядом физических свойств, позволяющих применять их в особых экстремальных условиях работы. Однако технология их получения довольно сложная и дорогостоящая, кроме того, увеличение дисперсности упрочняющей фазы до практически наноразмерной повышает не только прочность материала, но в определенной степени и его электросопротивление. Это обстоятельство не имеет особого значения в случае применения данных материалов в атомной или космической технике, где основной характеристикой является их устойчивость к охрупчиванию, однако оно весьма существенно при работе материалов в качестве сварочных электродов. Одним из главных достоинств разработанных в предыдущие годы дисперсноупрочненных материалов на основе меди была их высокая электропроводность, составляющая в ряде случаев 0,7—0,8 электропроводности меди. Дисперсность упрочняющей фазы в этом случае — 50—200 нм, прочность — достаточно высокая, до 300—400 °С.

Условия сварки и требования к внешнему виду изделия весьма различны в разных отраслях промышленности и делают затруднительным формирование единообразных требований к свойствам сварочных электродов. Обычно они носят технологический характер: высокая износостойкость электрода, отсутствие налипания на свариваемые изделия, прочность сварного соединения около 80% прочности свариваемого металла. Достаточно многочисленные работы по экспериментальному выбору составов электродных материалов позволили сформулировать основные требования к их физико-механическим свойствам, обеспечивающим технологические требования: электропроводность — не ниже 0,3—0,5 таковой Cu, твердость — 220—240 НВ, предел текучести — 500—600 МПа, температура рекристаллизации — 600—700 °С. Безусловно,

что сплав, обладающий указанным сочетанием характеристик, будет прекрасным сварочным материалом, однако, к сожалению, поставленные требования трудносовместимы — большинство легирующих элементов, повышающих прочностные характеристики меди, еще в большей степени повышают ее электросопротивление. Поэтому в каждом случае необходимо выбирать наиболее существенные свойства, обеспечивающие требуемые характеристики сварного шва и высокую износостойкость электрода. Разработанные ранее электроды из дисперсноупрочненной меди показали высокую износостойкость при сварке тонкостенных изделий в электронной и радиопромышленности, однако на сварочных операциях в машиностроении их стойкость оказалась значительно ниже. В данных условиях более высокой износостойкостью обладают высоколегированные жаропрочные бронзы.

Лучшие из существующих материалов сварочных электродов получены на основе двух типов бронз: Cu—Cr—Zr и Cu—Ni (Co)—Be с дополнительным легированием. Наиболее высокую износостойкость среди применяющихся в промышленности имеют бронзы типа БрКБТ. Однако в связи со значительным содержанием бериллия ее применение в ряде случаев ограничено по соображениям безопасности.

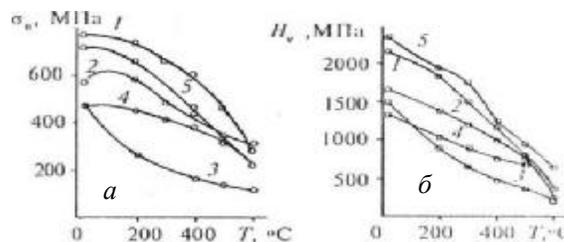
Определенный интерес вызвала система Cu—Ni—Cr (бронзы типа НХК). На ее базе разработана сварочная бронза БрНХКМгЦр [1], износостойкость которой при сварке находится на уровне сплава Мэллори 100 (США). В последние десятилетия в ряде стран применяется порошковая технология получения сварочных бронз [2]. Это направление, бесспорно, является перспективным, поскольку изготовление сложнолегированных литых бронз представляет значительные трудности — для обеспечения гомогенного распределения компонентов и требуемого фазового состава обычно требуется несколько технологических операций. Порошковая технология позволяет достаточно просто получить материал с высокой степенью гомогенности, кроме того, значительно уменьшить количество технологических операций при изготовлении электродов особенно малых диаметров (3—6 мм).

Задача проведенных исследований с точки зрения выбора материала заключалась в том, чтобы обоснованным легированием повысить прочностные свойства меди, сохранив при этом достаточно высокий уровень проводимости.

На основании литературных данных [3, 4] для исследований выбраны сплавы систем Cu—Ni—Si, Cu—Co—Si, Cu—Ni—Si—Cr. Основной особенностью указанных систем является значительное расширение области α -твердого раствора с повышением температуры. В результате соответствующей термомеханической обработки в структуре таких сплавов выделяются высокодисперсные фазы старения, в нашем случае Ni_2Si , Co_2Si , что вызывает значительное упрочнение матрицы.

Все легирующие элементы вводили в количестве, обеспечивающем образование необходимого объема данных соединений. С целью получения высокодисперсных гомогенных шихт применен высокоэнергетический размол смеси. Порошки размалывали на диспергаторе при соотношении шаров и порошка 5 : 1 на протяжении 5 ч. По данным химического и микрорентгеноспектрального анализов, при данном режиме

Зависимости предела прочности (а) и горячей твердости (б) электродных материалов от температуры испытаний: 1 — Cu—Ni—Si; 2 — Cu—Co—Si; 3 — Cu—Al₂O₃; 4 — БрХНбЦр; 5 — БрНХК.



размола шихта гомогенна на микроуровне. Из полученной шихты прессовали брикеты, которые затем подвергали горячему прессованию с температуры 900—925 °С. В качестве защитной среды применяли расплав борного ангидрида В₂О₃. После горячего прессования все перечисленные сплавы были практически в гомогенном состоянии, что было подтверждено микрорентгеноспектральным анализом.

Затем сплавы подвергали закалке при температуре 950—970 °С, обеспечивающей гарантированное получение однородного твердого α-раствора, а затем деформировали холодным волочением с обжатием 10—15% за проход с последующим старением. Температуру и выдержку при старении подбирали по данным измерений твердости НВ, удельного электросопротивления и микроструктурных исследований.

Исследования зависимостей кратковременных механических характеристик разработанных материалов от температуры испытаний в области 20—600 °С показали, что свойства данных сплавов во всем диапазоне температур превосходят свойства как литых, так и дисперсноупрочненных электродных материалов (рисунок). Наиболее высокими прочностными характеристиками обладают сплавы системы Cu—Ni—Si, причем их повышенные прочностные свойства сохраняются при температурах, превышающих температуру старения.

На рисунке приведены результаты измерения горячей твердости разработанных материалов в сравнении с таковой литых и дисперсноупрочненных материалов. Наиболее высокую горячую твердость имеет литая электродная бронза БрНХК, материал Cu—Ni—Si — несколько меньшую, но значительно превосходит таковую литой бронзы БрХНбЦр, а также дисперсноупрочненного материала, содержащего 10% (об.) дисперсной фазы Al₂O₃.

Металлографические исследования показали, что структура всех материалов имеет размер зерна 5—10 мкм с высокодисперсными включениями интерметаллидов. Сравнительные исследования электросопротивления разработанных и ряда существующих электродных материалов показали, что минимальным электросопротивлением на уровне бронзы БрХНбЦр обладает сплав Cu—Co—Si (таблица).

Проведены сравнительные сварочные испытания разработанных материалов с дисперсноупрочненными и литыми, применяющимися в промышленности. Испытания проводили на установке точечной контактной сварки УСКТМ 6000-3 с источником сварочного тока БПС.Р-2, укомплектованной программирующим устройством, обеспечивающим работу в автоматическом режиме при сварке ленты толщиной 100 мкм из никеля НП-2.

Электропроводность и сварочные характеристики разработанных материалов

Состав, % (об.)	Удельное электро-сопротивление, мкОм·см	Параметры режима сварки		Количество сварных точек	Потери массы электрода, г
		Усилие сжатия, Н	Сварочный ток, А		
Cu—1,6Co—0,4Si	2,8	75	380	20 000	0,00255
Cu—2,4Ni—0,6Si	4,2	75	332	18 000	0,00270
Cu—10Al ₂ O ₃	5,9	75	320	9000	0,01523
БрНХК	4,5	80	350	16 000	0,00325
БрХНбЦр	2,4	75	320	13 000	0,00283
БрХ07	2,5	70	300	3500	0,00545

В настоящее время общепризнанным показателем стойкости электродов является число сварных точек до момента увеличения контактной поверхности на 20%. Когда износ рабочей части электрода не сопровождается существенным увеличением ее диаметра, критерием износа может служить изменение массы электрода, вызванное переносом электродного материала на поверхность свариваемых металлов, а также потерями на разбрызгивание.

Из полученных данных можно сделать вывод, что износостойкость порошковых дисперсотвердеющих бронз значительно выше стойкости литых, а сплав Cu—1,6% Co—0,4% Si по износостойкости можно приравнять к сплаву Мэллори 100. Уровень массопереноса разработанных материалов несколько ниже аналогичных показателей литых сплавов.

Не отмечено четкой зависимости между износостойкостью при сварке и твердостью или электропроводностью дисперсотвердеющих бронз. Можно лишь заметить, что наиболее высокие сварочные характеристики имеет сплав Cu—1,6% Co—0,4% Si, удельное электросопротивление которого минимально, однако твердость ниже ряда других сплавов. Материал, обладающий наиболее высокой твердостью (Cu—3,2% Ni—0,8% Si), имеет несколько более низкие сварочные характеристики. Из изложенных данных можно сделать только предположительный вывод, что для достижения высокой стойкости при сварке материал должен обладать твердостью не ниже какого-то определенного значения (в нашем случае 1500—1600 МПа) и удельным электросопротивлением не выше также какого-то определенного значения (не выше 4,0—4,5 мкОм·см). Вероятно, значения данных характеристик электродных материалов в определенной мере обусловлены соответствующими характеристиками свариваемых материалов. Как только значения твердости и удельного электросопротивления электродов переходят определенную границу, их сварочные характеристики резко снижаются.

Выводы

Разработаны порошковые электродные материалы на основе жаропрочных дисперсотвердеющих бронз систем Cu—Ni—Si, Cu—Co—Si. Предложенная технология позволила получить материал с мелкозернистой структурой (8—9 баллов) и практически наноразмерными включениями интерметаллидов Ni₂Si, Co₂Si в теле зерна.

Прочностные характеристики и горячая твердость разработанных сплавов при всех температурах испытаний превышают таковые не только дисперсно-упрочненных материалов, но и жаропрочных бронз БрНХК, БрХНбЦр. Наиболее низким электросопротивлением обладают бронзы состава Cu—1,6% Co—0,4% Si.

Лабораторные сварочные испытания показали высокую износостойкость разработанных материалов, превышающую таковую литых жаропрочных бронз БрНХК, БрХНбЦр.

1. *Аренбургер Д. С.* Свойства спеченных дисперснотвердеющих медных сплавов / Д. С. Аренбургер, С. М. Летунович // Порошковая металлургия. — 1996. — № 7. — С. 27—29.
2. *Tsukamoto Juij, Jamasaki Kenichi, Honma Hayama Tusao* // J. Jap. Soc. Powder and Powder Met. — 1985. — 2, No. 32. — P. 67—73.
3. *Дриц М. Е.* Двойные многокомпонентные системы на основе меди: (Справ.). / [М. Е. Дриц, Н. П. Бочвар, Л. С. Гузей и др.]. — М.: Наука, 1979. — С. 24.
4. *Смирнягин А. П.* Промышленные цветные металлы и сплавы / А. П. Смирнягин, Н. А. Смирнягина, А. В. Белова. — М.: Металлургия, 1974.

Дисперснодіючі порошкові бронзи для електродів контактної зварювання

I. I. Ivanova, N. A. Krilova, S. I. Evlash

Вибрано склад та розроблено порошкову технологію отримання дисперсно-твердіючих бронз систем Cu—Ni—Si, Cu—Co—Si. Досліджено механічні властивості та гаряча твердість отриманих матеріалів при температурах 20—600 °С, проведено лабораторні зварювальні випробування. Зносостійкість отриманих матеріалів при зварюванні суттєво перевищує таку відомих зварювальних бронз БрНХК і БрХНбЦр.

Ключові слова: електродні матеріали, дисперснотвердіючі бронзи.

Dispersionhardened powder bronze for the contact welding electrodes

I. I. Ivanova, N. A. Krilova, S. I. Evlash

The compositions and powder technology for producing dispersionhardened bronzes of the system Cu—Ni—Si, Cu—Co—Si were developed. The mechanical properties and hot hardness of obtained materials were investigated at the temperatures of 20—600 °C, the laboratory tests welding were carried out. Wear resistance by contact welding of these materials exceeds that of known welding bronze of the type Cu—Ni—Cr and Cu—Cr—Nb—Zr.

Keywords: electrode materials, dispersionhardened bronze.