

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНЫХ МАШИН ПРИ СВАРКЕ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ

В. А. АНОШИН, инж., **В. М. ИЛЮШЕНКО**, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

Р. В. МИНАКОВА, **Н. И. ГРЕЧАНЮК**, доктора техн. наук
(Ин-т проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины)

Проанализированы существующие способы изготовления жаропрочных медных сплавов и проведена оценка эксплуатационной стойкости различных электродных материалов при точечной сварке оцинкованных сталей. Изучено влияние состава электродных материалов на их твердость при повышенной температуре.

Ключевые слова: контактная точечная сварка, контактные машины, материал электродов, оцинкованная сталь, эксплуатационная стойкость электродов, биметаллические электроды, структура и твердость сплавов

В современном машиностроении, особенно в автомобиле- и вагоностроении, а также в других отраслях промышленности, все шире применяют стали с антикоррозионным покрытием, в частности, оцинкованные. Для соединения этих материалов основным технологическим процессом является контактная точечная сварка. Ресурс работы электродов контактных машин при сварке оцинкованных сталей в 10...20 раз ниже (в зависимости от материала электродов, темпа сварки и др.) по сравнению со сваркой сталей без покрытия. Поэтому разработка новых жаропрочных материалов на медной основе с повышенной температурой разупрочнения и минимальной адгезией материала электрода к расплавленному цинку является актуальной.

В настоящее время изготовление жаропрочных медных сплавов в основном концентрируется в металлургическом производстве, порошковой металлургии, на производствах с электронно-лучевым испарением. Возможно также использование процессов сварочного производства — дуговой наплавки.

В металлургическом производстве в основном изготавливаются сплавы типа хромовой и хромоциркониевой бронзы, которые нашли наиболее широкое применение в различных странах в качестве материала для электродов контактных машин [1, 2]. В последнее время вместо дисперсионно-твердеющих хромовых и хромоциркониевых бронз, полученных литейным способом, все большее применение находят дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ) на основе меди (с добавками тугоплавких соединений), которые получают способом порошковой металлургии. Отличаясь комплексом уникаль-

ных свойств (высокая твердость, прочность, электропроводность), которые сохраняются и при высокой температуре, они существенно повышают эксплуатационную стойкость сварочного инструмента [3]. Наиболее эффективным способом введения оксидов в металлическую матрицу является внутреннее окисление [4]. Этот способ был реализован компанией «OMG Americas» (США) при разработке ДУКМ Cu + Al₂O₃ торговой марки GlidCop [5]. Однако использование в мировой практике электродов из материала GlidCop Al-60 сдерживается в связи с достаточно высокой стоимостью этого материала, что обусловлено сложностью технологии его изготовления.

В последнее время ООО «ЦНИИМТ «ДИСК-КОМ» (РФ) разработал наноконпозиционный материал С16.102 ДИСККОМ, который благодаря использованию его в технологии реакционного механического легирования в высокоэнергетических и быстроходных аттриторах, процессах гранульной металлургии и горячего прессования (экструзии) имеет гетерогенную дисперсно-упрочненную структуру и характеризуется высокими температурой рекристаллизации, жаропрочностью, электропроводностью и эксплуатационной стойкостью [6].

Интерес также представляют выпускаемые отечественной промышленностью конденсированные дисперсно-упрочненные материалы (КДУМ) на основе меди и молибдена, которые также имеют высокую твердость и электропроводность [7]. Их главным достоинством является высокая термическая стабильность — температура рекристаллизации достигает 1000 °С [8]. Они изготавливаются как с объемным распределением молибдена (КДУМ), так и микрослойным, когда слои меди и молибдена чередуются (КМСМ).

В последние годы в ИЭС им. Е. О. Патона создавали технологии изготовления биметаллических электродов для контактной точечной

Физические свойства жаропрочных материалов на медной основе, изготовленных различными способами [1–9]

Материал	Твердость <i>HRB</i>	Электропроводность меди, м/(Ом·мм ²)	Температура рекристаллизации, °С
Хромовая бронза БрХ	55...65	80...85	475
Хромоциркониевая бронза типа Cu–Cr–Zr	70...83	75...85	550
КДУМ на основе меди с содержанием молибдена 2,5...12,0 мас. %	50...87	82...64	> 850
Дисперсно-упрочненная медь, полученная способом внутреннего окисления GlidCop Al-60 (США)	78	78	860
ДУКМ на основе меди, полученный механическим легированием	97...112	45...48	> 700
ДИСКОМ, полученный реакционным механическим легированием	89	80	850
Металл, наплавленный специальной присадочной проволокой № 30 (ИЭС)	66...69	70...75	—

сварки методом дуговой наплавки неплавящимся электродом в среде защитного газа с использованием присадочной порошковой проволоки [9].

Для оценки эксплуатационной стойкости существующих электродных материалов, изготовленных различными способами, при контактной точечной сварке оцинкованной стали выбраны материалы, физические свойства которых представлены в таблице. Из указанных материалов изготовлены электроды «колпачкового» типа. Электрод с рабочей частью из КДУМ и КМСМ получали приваркой пластин из этих материалов к медной заготовке ударной сваркой в вакууме. Разработана методика ускоренных испытаний эксплуатационной стойкости электродных материалов при контактной точечной сварке оцинкованной стали, сокращающая расход свариваемой стали. Она заключается в следующем. Выполняется точечная сварка низкоуглеродистой стали с антикоррозионным покрытием, нанесенным спо-

собом горячего цинкования, в этом случае толщина цинкового покрытия в 2...3 раза больше покрытия, нанесенного электрохимическим методом. Как известно из работы [10], чем больше толщина цинкового покрытия, тем меньше стойкость электрода. Кроме того, медный «хвостовик», на который надевается «колпачок», изготавливают без охлаждающего канала, что также снижает его стойкость при точечной сварке оцинкованной стали. Испытания проводили на машине для контактной точечной сварки марки МТ-22. Перед сваркой и после окончания испытаний измеряли диаметр отпечатка рабочей части поверхности электрода по отпечатку на белой бумаге через копирку (показателем стойкости является количество точек, сваренных до увеличения начального диаметра рабочей поверхности на 20 %). После сварки каждые 20 точек измеряли диаметр литого ядра путем сварки контрольной точки на образцах из той же оцинкованной стали шириной 40 мм и отрыва одной пластины относительно другой в одном направлении способом кручения в параллельной плоскости. После завершения испытаний для каждого электродного материала строили графики изменения литого ядра в зависимости от количества сваренных точек. На наш взгляд, измерение диаметра литого ядра является более объективным критерием, чем измерение диаметра рабочей поверхности электрода.

На рис. 1 представлены результаты сравнительных испытаний различных электродных материалов для точечной сварки горячеоцинкованной стали толщиной 0,5 мм (толщина покрытия 20...30 мкм) на режиме: $I_{св} = 4,5...5,0$ кА; $t_{св} = 5...6$ цикл; усилие сжатия 200 МПа; скорость сварки 35 точек/мин. Уменьшение параметров режимов сварки по сравнению с обычными связано с отсутствием охлаждающего канала в «хвостовике». Как видно из рис. 1, стойкость электродов из хромоциркониевой бронзы (Cu–Cr–Zr) производства Южной Кореи и Германии одинаковая и выше, чем у электродов из БрХЦр производства завода «Красный

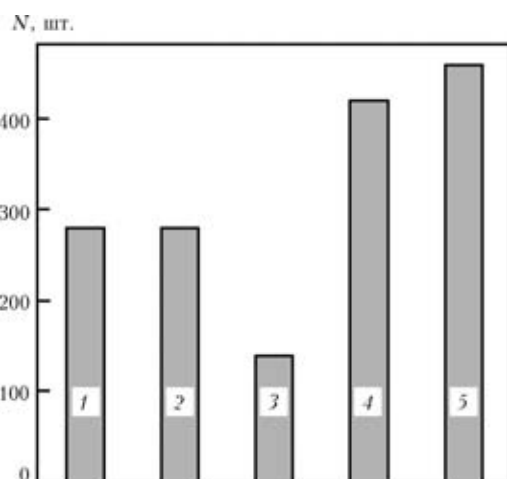


Рис. 1. Стойкость различных электродов (до первой переточки) при контактной точечной сварке горячеоцинкованной стали толщиной 0,5 мм (без охлаждающего канала в электроде): 1, 2 — хромоциркониевая бронза соответственно производства Германии и Южной Кореи; 3 — БрХЦр («Красный Выборжец», РФ); 4 — нанокпозиционный материал С16.102 ДИСКОМ; 5 — биметаллический электрод № 30 (ИЭС); *N* — количество сваренных точек

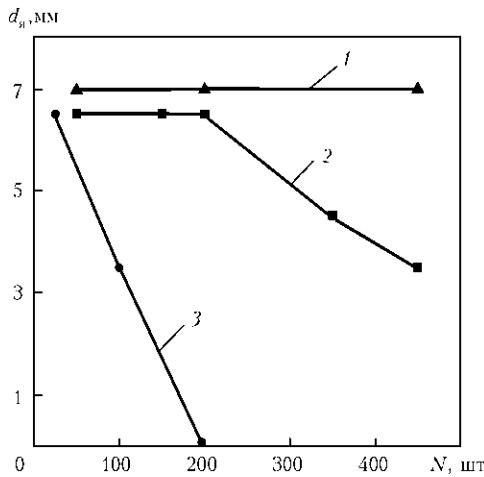


Рис. 2. Зависимость диаметра ядра сварной точки d_n от количества сваренных точек N при контактной точечной сварке горячеоцинкованной стали толщиной 0,8 мм: 1, 2 — биметаллический электрод с рабочей частью соответственно из КДУМ и КМСМ; 3 — электрод из хромовой бронзы БрХ

Выборжец» (РФ). На наш взгляд, это связано с более высоким содержанием в нем циркония (около 0,1 мас. %) по сравнению с БрХЦр (0,06 мас. % Zr). Наибольшую стойкость показали биметаллические (наплавленные) электроды. Стойкость электродов из нанокomпозиционного материала С16.102 ДИСКОМ незначительно уступает наплавленным электродам.

В результате предварительных испытаний электродов из ДУКМ (механическое легирование) установлено, что при сварке наблюдается значительный перенос электродного металла на оцинкованную сталь, что, по-видимому, и объясняет их невысокую стойкость (100 точек).

Ранее была проведена оценка эксплуатационной стойкости биметаллических электродов, рабочая часть которых изготовлена из КДУМ — КДУМ и КМСМ. На рис. 2 представлены результаты испытаний, полученные при контактной точечной сварке горячеоцинкованной стали толщиной 0,8 мм с использованием неохлаждаемого электрода. Определено, что стойкость электрода с рабочей частью из КДУМ выше, чем из КМСМ.

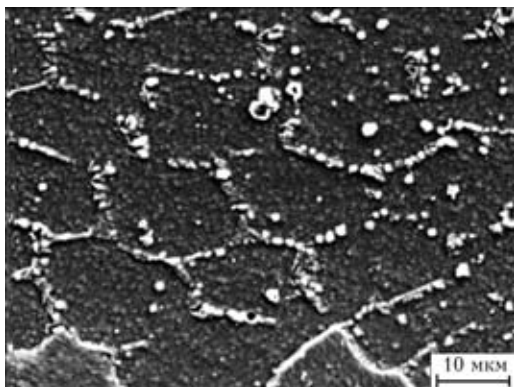


Рис. 3. Микроструктура электрода с ячеистой субструктурой зерен, границы которых декорированы упрочняющей фазой (растровый электронный микроскоп)

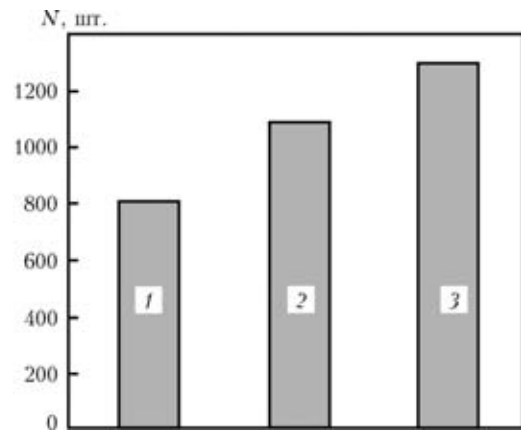


Рис. 4. Стойкость различных электродов (до первой переточки) при контактной точечной сварке холоднооцинкованной стали толщиной 0,8 мм (с охлаждающим каналом в электроде): 1 — Cu-Cr-Zr (Германия); 2, 3 — биметаллический электрод соответственно № 30 и 057 (ИЭС)

Как видно из рис. 3, результаты проведенных испытаний показали, что структура электродного материала может существенно влиять на его эксплуатационную стойкость. Свое мнение о преимуществе литой структуры по сравнению с деформированным металлом высказывал А. А. Бочвар в работе [11].

Необходимо отметить, что испытания биметаллических электродов в условиях охлаждаемого электрода при контактной точечной сварке холоднооцинкованной стали толщиной 0,8 мм (толщина покрытия 30...60 мкм) показали их более высокую эксплуатационную стойкость (диаметр литого ядра определяем после сварки каждые 100 точек) (рис. 4). Сварку выполняли на режиме: $I_{св} = 8,8...9,5$ кА; $t_{св} = 8...9$ цикл; усилие сжатия 280...300 МПа; скорость сварки 35 точек/мин.

С учетом более высокой эксплуатационной стойкости биметаллических электродов были проведены эксперименты по выбору оптимальной системы легирования и состава наплавленного металла, отве-

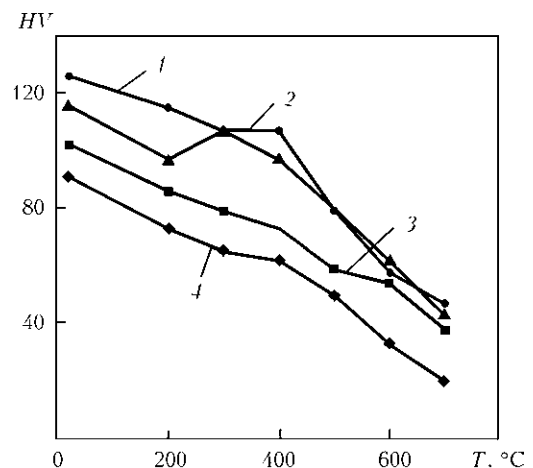


Рис. 5. Зависимость твердости опытных наплавленных электродов от температуры испытаний: 1 — № 66; 2 — № 72; 3 — № 30; 4 — № 03

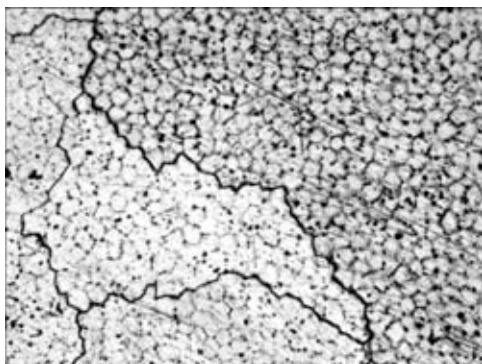


Рис. 6. Микроструктура ($\times 200$) электрода, наплавленного проволокой № 66

чающего следующим требованиям: высокая твердость при повышенной температуре; требуемая электропроводность биметаллического электрода; ячеистая субструктура наплавленного металла; хорошие сварочно-технологические свойства наплавочной проволоки.

Изготовлены опытные порошковые проволоки с различной системой легирования, выбранные на основании теоретического анализа физических свойств элементов. С их помощью наплавлены медные заготовки с последующей их термообработкой. После чего изготовлены образцы для металлографических исследований и измерения твердости при повышенной температуре на микротвердомере Лозинского.

На рис. 5 представлены результаты измерения твердости наплавленных электродов, содержащих различные микролегирующие добавки, а на рис. 6 — ячеистая субструктура электрода, наплавленного проволокой № 66.

Как видно из рис. 7, биметаллические (наплавленные) электроды имеют более высокую твердость при повышенных температурах. Наблюдается корреляция между твердостью электродов при повышенной температуре и их эксплуатационной стойкостью (см. рис. 1 и 7).

Для обеспечения производительности и стабильности качества биметаллических электродов целесообразно применение автоматической наплавки проволокой сплошного сечения. Перспективно также совершенствование состава нанокomпозиционного материала с целью увеличения твердости при повышенной температуре. Такая работа в настоящее время ведется совместно с ООО «ЦНИИМТ «ДИСКОМ» (г. Чебоксары, РФ).

Таким образом, установлено, что наибольшей эксплуатационной стойкостью отличаются элект-

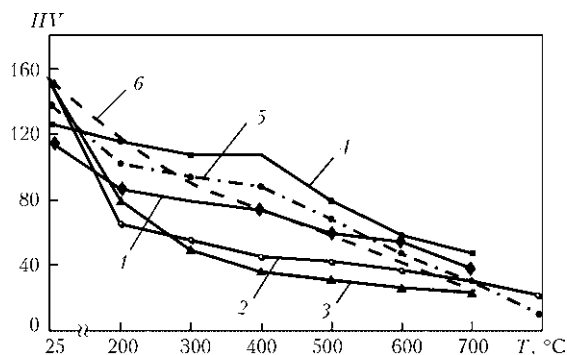


Рис. 7. Зависимость твердости электродов из различных материалов от температуры испытаний: 1 — биметаллический (наплавленный) № 30 (ИЭС); 2 — GlidCop Al-60 (США); 3 — нанокomпозиционный материал С16.102 ДИСКОМ; 4 — биметаллический (наплавленный) № 66 (ИЭС); 5 — Cu-Cr-Zr (Германия); 6 — БрХЦр («Красный Выборжец», РФ)

роды, изготовленные дуговой наплавкой и из нанокomпозиционного материала.

1. Николаев А. К., Розенберг В. М. Сплавы для электродов контактной сварки. — М.: Металлургия, 1978. — 95 с.
2. Николаев А. К., Новиков А. Н., Розенберг В. М. Хромовые бронзы. — М.: Металлургия, 1983. — 177 с.
3. Липатов Я. М. Изделия сварочной техники из новых дисперсноупрочненных композиционных материалов // Монтаж и спец. работы в стр-ве. — 1975. — № 4. — С. 11.
4. Даниеля Е. П., Розенберг В. М. Внутреннеокисленные сплавы. — М.: Металлургия, 1979. — 231 с.
5. Шалунов Е. П., Равицки Г., Берент В. Я. Высокореcурсные электроды контактной сварки из медных дисперсноупрочненных композиционных материалов: разработка, производство, применение // Междунар. конф. «Электрические контакты и электроды», пос. Кацивели, Крым, 15–21 сент. 2003 г. — Киев: ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины, 2003. — С. 89–92.
6. Шалунов Е. П., Давыденков В. А. Высокореcурсные электроды для контактной сварки из медных композиционных материалов // Электрические контакты и электроды: Тр. ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины. — Киев: ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины, 2004. — С. 190–201.
7. ТУ У 20113410.001–98. Материалы дисперсно-упрочненных для электрических контактов. Технические условия. — Введ. 02.06.98.
8. Структура, механические свойства и термическая стабильность конденсированных дисперсно-упрочненных материалов Cu-Y-Mo. Сообщ. 1 / Б. А. Мовчан, В. А. Осокин, Н. И. Гречанок, Т. А. Молодкина // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1991. — № 4. — С. 27–32.
9. Биметаллические электроды для контактной точечной сварки сталей с антикоррозионным покрытием / В. А. Аношин, В. М. Илюшенко, Н. В. Подола, А. И. Игнатенко // Современные проблемы сварки и ресурса покрытий: Сб. тез. стенод. докл. Международ. конф., г. Киев, 24–27 нояб. 2003 г. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — С. 6–7.
10. Яворский Ю. Д., Зельманович В. Я. Точечная и роликовая сварка малоуглеродистых сталей с защитными покрытиями // Автомат. сварка. — 1966. — № 6. — С. 59–63.
11. Бочвар А. А. Металловедение. — М.: Металлургиздат, 1956. — 494 с.

Existing methods for manufacture of heat-resistant copper alloys were analysed, and service durability of different electrode materials in spot welding of galvanised steels was evaluated. The effect of composition of electrode materials on their hardness at increased temperatures was studied.

Поступила в редакцию 18.04.2010