

## **Жаропрочные материалы на основе меди. Способы получения. Свойства. Применение**

В. А. Аношин, В. М. Илюшенко, Р. В. Минакова\*,  
О. И. Баньковский\*, О. П. Василега\*, Е. П. Шалунов,  
А. Л. Матросов\*\*

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

\*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича  
НАН Украины, Киев

\*\*ООО ЦНИИМТ „ДИСКОМ”, Чебоксары, Россия

*Проведен анализ существующих способов изготовления жаропрочных дисперсионно-твердеющих сплавов и дисперсно-упрочненных композитов на основе меди. Изучено влияние способа изготовления, состава и структуры на свойства материала. Оценена эксплуатационная стойкость электродов при точечной сварке оцинкованной стали, а также токоподводящих мундштуков из этих материалов. При точечной сварке оцинкованной стали установлены преимущества комбинированных электродов, изготовленных дуговой наплавкой на медную заготовку порошковой проволоки из сложнолегированных сплавов на основе меди.*

**Ключевые слова:** материалы на основе меди, способы изготовления, структура, свойства, электроды для точечного сваривания, токоподводы, эксплуатационные свойства.

Развитие таких отраслей народного хозяйства, как электротехника, энергетика, автомобилестроение, авиастроение и другие, способствует более широкому использованию стали с антикоррозионным покрытием, чаще других — с цинковым. Ведущим технологическим процессом соединения деталей из оцинкованной стали является контактная точечная сварка. Ресурс работы электродов контактных машин при сварке этих сталей в 10—20 раз ниже по сравнению со сваркой сталей без покрытия. Поэтому разработка новых жаропрочных материалов на медной основе с повышенной температурой рекристаллизации и минимальной адгезией материала электродов к расплавленному цинку является актуальной. Не менее важная проблема в сварочном производстве — низкий ресурс эксплуатации токоподводящих мундштуков (наконечников) сварочных головок полуавтоматов, автоматов и др. Это объясняется их интенсивным механическим и электроэрозионным износом. Учитывая возрастающий спрос сварочного производства в этих комплектующих, создание новых высокопрочных и с повышенной электропроводностью материалов на медной основе также представляет большой практический интерес.

В настоящее время основными способами изготовления жаропрочных медных сплавов являются: металлургическое производство, порошковая  
© В. А. Аношин, В. М. Илюшенко, Р. В. Минакова,  
О. И. Баньковский, О. П. Василега, Е. П. Шалунов, А. Л. Матросов, 2010

металлургия, электронно-лучевое испарение-конденсация. Возможно также использование одного из процессов сварочного производства, а именно дуговой наплавки.

Из материалов, изготавливаемых с помощью методов металлургического производства, чаще других используются бронзы БрХ и БрХЦр, являющиеся дисперсионно-твердеющими материалами в системах Cu—Cr и Cu—Cr—Zr соответственно [1, 2]. Эти материалы нашли широкое применение в различных странах для электродов контактных сварочных машин, однако оптимизация их технологии продолжается. Она обусловлена необходимостью наибольшего усвоения хрома расплавом меди в условиях использования сырья технической чистоты и действия других, усложняющих процесс производства факторов [3].

Кроме литых, все большее применение находят дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ) на основе меди (с тугоплавкими соединениями в качестве наполнителей), которые получают методом порошковой металлургии. Лучшим комплексом свойств обладает дисперсно-упрочненный композиционный материал марки GlidCop Al—60, получаемый методом внутреннего окисления [4]. Однако использование электродов из этого материала в промышленности сдерживается его высокой стоимостью.

В последнее время в ООО ЦНИИМТ “ДИСКОМ” (РФ) разработан композиционный материал ДИСКОМ С16.102<sup>®</sup>, который характеризуется повышенными температурой рекристаллизации, жаропрочностью, электропроводностью и обеспечивает эксплуатационную стойкость электродов [5, 6].

Представляют также интерес выпускаемые отечественной промышленностью конденсированные дисперсно-упрочненные материалы (КДУМ) на основе меди и молибдена [7]. Главным достоинством этих материалов является их высокая термическая стабильность — температура их рекристаллизации достигает 1000 °С [8—10].

В последние годы в ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология изготовления биметаллических электродов методом дуговой наплавки с использованием специальной присадочной порошковой проволоки [9]. Для токоподводящих мундштуков в отечественной промышленности применяется медь. Для сварки проволокой диаметром  $\geq 1,4$  мм фирма “Binzel” рекомендует мундштуки из хромоциркониевой бронзы. В России применяются также мундштуки из материала С16.102 ДИСКОМ.

В Украине разработаны и нашли применение комбинированные токоподводы, в которых рабочая часть облицована композиционным материалом на основе вольфрама и меди. Они особенно эффективны при дуговой сварке труб большого диаметра. Стойкость комбинированных токоподводов по сравнению с бронзовыми увеличивается в этих условиях примерно в 10 раз [11].

Цель настоящей работы — сравнительное исследование некоторых свойств дисперсионно-твердеющих и дисперсно-упрочненных материалов и стойкости электродов из них при контактной точечной сварке оцинкованной стали.

Для этого использовали металлографический анализ материалов и электродов из них (в сечениях, перпендикулярных их рабочей поверхности и сварной точке), метод твердости в интервале температур от комнатной до

800 °С и разработанную методику сравнительных испытаний электродов из различных материалов при сварке оцинкованной стали.

В табл. 1 приведены некоторые физические свойства жаропрочных материалов на медной основе, изготовленных различными способами. Из исследуемых материалов были изготовлены электроды для проведения сравнительных испытаний при контактной точечной сварке.

Для ускоренных испытаний эксплуатационной стойкости электродных материалов при сварке оцинкованной стали разработана специальная методика. Она заключалась в следующем. Испытания проводили на машине для контактной точечной сварки марки МТ-22. В качестве объектов исследования выбраны горячеоцинкованная малоуглеродистая сталь с толщиной цинкового покрытия, в 2—3 раза большей, чем у покрытия, нанесенного электрохимическим способом, и электроды “колпачкового” типа (с “хвостовиком” без охлаждающего канала). После сварки каждые 20 точек измеряли диаметр литого ядра и строили графики изменения этого диаметра в зависимости от количества выполненных сварок. Измерение литого ядра, по нашему мнению, является более объективным критерием по сравнению с общепринятым измерением диаметра точки на рабочей поверхности электрода.

На рис. 1 представлены результаты сравнительных испытаний различных электродных материалов при точечной сварке горячеоцинкованной

**Т а б л и ц а 1. Свойства жаропрочных материалов на медной основе, изготовленных различными способами**

Наименование материала	Твердость <i>HRB</i>	Электропроводность, % от меди	Температура рекристаллизации, °С
Хромовая бронза БрХ	55—65	80—85	475
Хромоциркониевая бронза CuCrZr	70—83	75—85	550
Конденсированный дисперсно-упрочненный материал на основе меди (КДУМ). Содержание молибдена 2,5—12,0% (мас.)	50—87	82—64	>850
Дисперсно-упрочненная медь, полученная методом внутреннего окисления (GlidCop Al—60, США)	78	78	860
Дисперсно-упрочненный композиционный материал на основе меди, полученный механическим легированием (ДУКМ)	97—112	45—48	>700
Нанокоспозиционный материал ДИСКОМ®С16.102, полученный реакционным механическим легированием	89	80	850
Наплавленный специальной присадочной проволокой (№ 30, ИЭС)	66—69	70—75	—

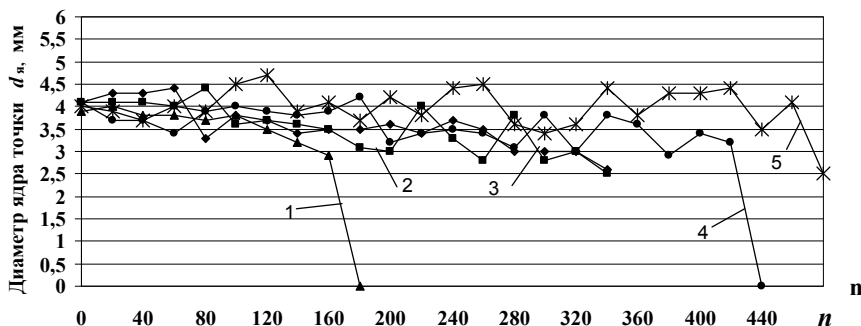


Рис. 1. Стойкость различных электродов (до 1-й переточки) при контактной точечной сварке горячеоцинкованной стали толщиной 0,5 мм (без охлаждающего канала в электроде): 1 — БрХЦр (“Красный Выборжец”, РФ); 2 — Cu—Cr—Zr (Германия); 3 — Cu—Cr—Zr (Южная Корея); 4 — нанокпозиционный материал С.16.102 ДИСКОМ®; 5 — наплавленный электрод (ИЭС).

стали толщиной 0,5 мм в режиме:  $I_{св} = 4,5—5,0$  кА,  $t_{св} = 5—6$  циклов, усилие сжатия — 200 МПа, темп сварки — 35 точек в минуту. Ослабление режима сварки по сравнению с обычными вызвано отсутствием охлаждающего канала в “хвостовике”. Как видно на рис. 1, стойкость электродов из хромоциркониевой бронзы (CuCrZr) производства Южной Кореи и Германии одинаковая и выше стойкости бронзы БрХЦр производства завода “Красный Выборжец” (РФ). Очевидно, это обусловлено более высоким содержанием циркония (около 0,1% (мас.)) в CuCrZr по сравнению с БрХЦр (0,06% (мас.) Zr). Наибольшую стойкость показали биметаллические (наплавленные) электроды и электроды из ультрадисперсного композиционного материала ДИСКОМ С16.102®.

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).

Учитывая более высокую эксплуатационную стойкость наплавленных электродов, провели оптимизацию системы легирования и состава наплавленного металла. Были изготовлены опытные порошковые проволоки с различной системой легирования, выбранной на основании теоретического анализа физических свойств элементов. С использованием опытных проволок наплавлены медные заготовки, проведена их последующая термообработка, а также выполнен комплекс исследований свойств и эксплуатационной стойкости.

На рис. 2 представлены результаты измерения твердости наплавленных электродов, содержащих различные легирующие добавки при повышенных температурах, а на рис. 3 — зависимости твердости различных электродных материалов на медной основе от температуры. Наплавленные электроды имеют более высокую твердость при повышенных температурах. Результаты сравнительных испытаний эксплуатационной

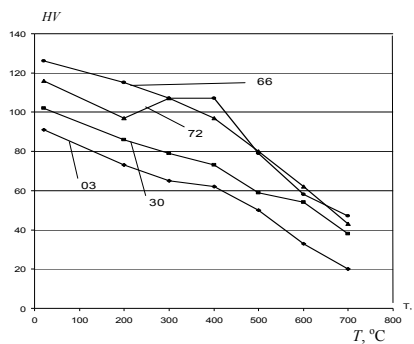


Рис. 2. Изменение твердости наплавленных электродов в зависимости от состава и температуры испытаний.

стойкости некоторых электродных материалов приведены на рис. 4. Наибольшую стойкость имеют электроды, изготовленные из ультрадисперсного композиционного материала, и направленные. Повышенная стойкость наплавленных элек-

тродов (основа — хромоциркониевая бронза), по нашему мнению, объясняется дополнительным микролегированием и ячеистой структурой, упрочненной дисперсными частицами.

Таким образом, наибольшей эксплуатационной стойкостью обладают комбинированные электроды, изготовленные методом дуговой наплавки и из ультрадисперсного композиционного материала.

Были проведены также эксперименты по выбору состава материала для токоподводящих наконечников. Исходя из условий эксплуатации токоподводящих наконечников, можно сформулировать следующие основные требования, предъявляемые к материалу для их изготовления:

высокая механическая (абразивная) износостойкость;

высокие электро- и теплопроводность во избежание значительного нагрева наконечника при прохождении по нему тока;

высокая жаропрочность, обусловленная, прежде всего, высокой температурой рекристаллизации (разупрочнения) материала наконечника;

высокая электроэрозионная стойкость;

низкая адгезионная способность относительно брызг расплавленного металла;

хорошая обрабатываемость.

В табл. 2 приведены материалы, из которых изготавливали наконечники для производственных испытаний на ДВРЗ (г. Киев), на рис. 5 — результаты испытаний наконечников на ПО “ДВРЗ”. Как видно на этом рисунке, наибольшую стойкость продемонстрировали наконечники из композиционного материала С16.102 ДИСКОМ® (в 2—4 раза выше по сравнению с другими испытанными материалами). Основной причиной

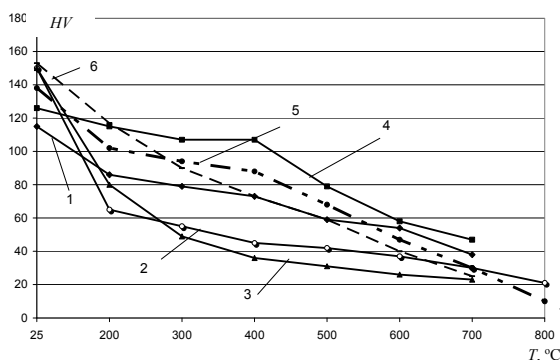


Рис. 3. Влияние температуры на твердость различных электродных материалов на медной основе: 1 — наплавленный электрод № 30 (ИЭС); 2 — GLIDCop Al—60 (USA8150); 3 — композиционный материал С.16.102 ДИСКОМ®; 4 — наплавленный электрод № 66 (ИЭС); 5 — Cu—Cr—Zr (Германия);

6 — БрХЦр (“Красный  
Выборжец”, РФ).

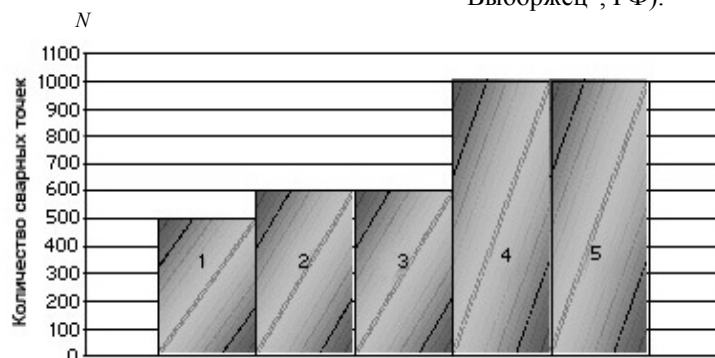


Рис. 4. Стойкость различных электродов (до 1-й переточки) при точечной сварке горячеоцинкованной стали ( $\delta = 0,8$  мм) с охлаждающим каналом в “хвостовике”: 1 — GLIDCop Al-60 (USA8150); 2 — Cu—Cr—Zr (Германия); 3 — БрХЦр (Россия); 4 — композиционный материал С.16.102 ДИСКОМ®; 5 — наплавленный электрод (ИЭС).

## Т а б л и ц а 2. Материалы, использованные для производственных испытаний

Наименование материала	Твердость <i>HRB</i>	Электропроводность, % от меди
Медь М1Т	58	100
ДУКМ (“Уралэлектромедь” УЭТМ)	97—110	45—48
Композиционный материал С16.102 ДИСКОМ®	78—80	80
Е—Cu (“BINZEL”)	—	—
Cu—Cr—Fe—C (ИПЛ)	48	65—70

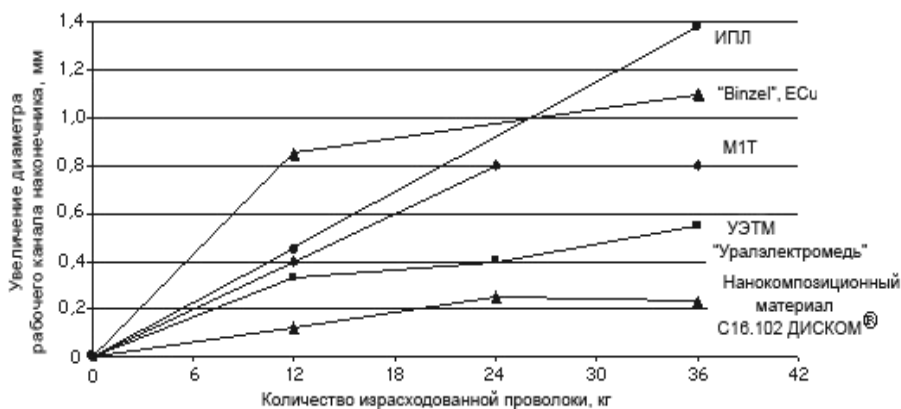


Рис. 5. Изменение диаметра рабочего канала наконечника в зависимости от количества израсходованной проволоки.

высокого ресурса наконечников из указанного материала является его уникальная ультрадисперсная структура с размерами субзерен 80—120 нм и наличием термостабильных равномерно распределенных частиц оксидов

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Такая структура представляет собой соединение твердых и мягких компонентов при оптимальных концентрации и размерах твердой составляющей. Благодаря этому ультрадисперсный композиционный материал имеет высокую износостойкость, как абразивную, так и электроэрозионную. Снижению абразивного износа способствует также наличие в материале свободного графита в виде дисперсных и равномерно распределенных частиц, который улучшает условия скольжения проволоки, уменьшает и стабилизирует переходное сопротивление и препятствует привариванию (прихватыванию) проволоки к наконечнику.

### Выводы

Исследованы существующие жаропрочные медные сплавы, которые используются для изготовления электродов контактных машин и токоподводящих мундштуков, а также способы их производства.

Изучено влияние состава существующих и новых жаропрочных медных сплавов на их твердость при повышенных температурах.

Для электродов контактных машин разработан жаропрочный материал на основе хромоциркониевой бронзы с дополнительным микролегированием, который изготавливается методом металлургического производства и дуговой наплавки.

Для изготовления электродов и мундштуков (наконечников) рекомендуется также композиционный материал С16.102 ДИСКОМ<sup>®</sup>. Производственные испытания мундштуков из этого материала показали, что их эксплуатационная стойкость в 2—4 раза выше по сравнению с теми, что используются в промышленности Украины.

1. Николаев А. К., Новиков А. Н., Розенберг В. М. Хромовые бронзы. — М.: Металлургия, 1983. — 177 с.
2. Мысик Р. К., Логинов Ю. Н., Брусницын С. В., Фурман И. Е. Перспективы применения хромовых и хромоциркониевых бронз // Цветные металлы. — 2004. — № 2. — С. 38—41.
3. Липатов Я. М. Изделия сварочной техники из новых дисперсно-упрочненных композитных материалов // Монтажные и специальные работы в строительстве. — 1975. — № 4. — С. 11.
4. Данелия Е. П., Розенберг В. М. Внутреннеокисленные сплавы. — М.: Металлургия, 1979. — 231 с.
5. Шалунов Е. П., Равицки Г., Берент В. Я. Высокоресурсные электроды контактной сварки из медных дисперсно-упрочненных композиционных материалов: разработка, производство, применение // Тез. докл. Международ. конф. “ЭК-2003”, Кацивели, Крым, 15–21 сентября 2003 г. — К.: Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 2003. — С. 89—92.
6. Шалунов Е. П., Давыденков В. А. Высокоресурсные электроды контактной сварки из медных композиционных материалов // Электрические контакты и электроды. — К.: Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 2004. — С. 190—201.
7. ТУ У 20113410.001-98. Материалы дисперсно-упрочненные для электрических контактов. Технические условия. Срок действия с 02.06.1998 г. Без ограничения срока действия.
8. Мовчан Б. А., Осокин В. А., Гречанюк Н. Н., Молодкина Т. А. Структура, механические свойства и термическая стабильность конденсированных дисперсно-упрочненных материалов Cu—Y—Mo. Сообщение 1 // Проблемы спецэлектрометаллургии. — 1991. — № 4. — С. 27—32.

9. Аношин В. А., Илюшенко В. М., Подола Н. В., Игнатенко А. И. Биметаллические электроды для контактной точечной сварки сталей с антикоррозионным покрытием // Современные проблемы сварки и ресурса покрытий: тез. стендовых докл. II Международ. конф., г. Киев, 24—27 ноября 2003 г. — К.: Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, 2003. — С. 6—7.
10. Гречанюк Н. И., Осокин В. А., Гречанюк И. Н., Минакова Р. В. Конденсированные из паровой фазы композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов. Структура, свойства, технология. Современное состояние и перспективы применения технологии электронно-лучевого высокоскоростного испарения-конденсации для получения материалов электрических контактов. Сообщение 1 // Современная электрометаллургия. — 2005. — № 2. — С. 28—35.
11. Гречанюк Н. И., Гречанюк И. Н., Осокин В. А. и др. Основы электронно-лучевой технологии получения материалов для электрических контактов. Их структура, свойства. Сообщение 2 // Там же. — 2006. — № 2. — С. 9—19.

**Жароміцні матеріали на основі міді.  
Способи виготовлення. Властивості. Застосування**

В. А. Аношин, В. М. Ілюшенко, Р. В. Мінакова,  
О. І. Баньковський, О. П. Василега, Е. П. Шалунов, А. Л. Матросов

*Проведено аналіз існуючих способів виготовлення жароміцних дисперсійно-старіючих сплавів та дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів на основі міді. Вивчено вплив способів виготовлення, складу і структури на властивості матеріалів. Оцінено експлуатаційну стійкість електродів для точкового зварювання оцинкованої сталі та струмопідводящих мундштуків з цих матеріалів. Встановлено переваги комбінованих електродів, виготовлених дуговим наплавленням порошкового дроту із складнолегованих сплавів на основі міді на мідну заготовку.*

**Ключові слова:** *матеріали на основі міді, способи виготовлення, структура, властивості, електроди для точкового зварювання, струмовідводи, експлуатаційні властивості.*

**High-strength materials of the copper.  
Methods of preparation. Properties. Application**

V. Anoshin, V. Ilyushenko, R. Minakova, O. Bankovskiy, O. Vasilega,  
E. Shalunov, A. Matrosov

*In this article analysis of existent methods of fabrication of high-strength fight-hardened, dispersive — strengthened and psevdalloys on copper-base was carried out. The influence of consist, structure, methods of preparation on properties of this materials were explored. The method of production combined electrodes based on the processes of metallurgical production and arc-melting with using CrZr-bronze and additional micro alloyage was elaborated. It was fixed that combined electrodes during contact spot welding of zinked steels show increased resistibility in comparison with all-in-one. The combine current leads with high-melting facing have higher durability too.*

**Keywords:** *materials on the copper-base, methods of production, condents, structure, properties, application, electrode for spot-welding, functional properties.*