

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ИЗ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ С ЗАДАНЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ**

**Фролова А.В.,  
Научный руководитель Бусыгин С.Л.  
Сибирский федеральный университет**

Контактная сварка на сегодняшний день по распространенности занимает одно из лидирующих мест в мире. Основные сферы ее применения: машиностроение, автомобилестроение, авиакосмическая промышленность, строительство и др. Электроды контактной сварки являются основным инструментом, технически осуществляющим процесс образования сварной точки. Они выполняют функцию проводников электрического тока и являются силовыми элементами, передающими значительные усилия в процессе сжатия. Электроды одновременно являются элементами вторичного контура трансформатора, силовыми конструктивными элементами контактной машины и сменным технологическим инструментом. В процессе эксплуатации, рабочая часть электродов испытывает высокую токовую нагрузку, высокие градиенты температур, циклические напряжения и упругопластические деформации сжатия, сдвига и изгиба. Кроме того, на рабочей поверхности действуют силы трения качения и скольжения [1].

Создание металлических материалов с заданным комплексом физико-механических свойств может быть реализовано с применением комплексного подхода, сочетающего получение заданного химического состава, технологию получения и упрочняющую обработку, обеспечивающие получение требуемого фазового состава и определенного структурного состояния монолитных и порошковых материалов. Свойства сплавов определяются не только химическим составом и микроструктурой, но и в значительной степени типом, размерами, формой и характером распределения фаз различной природы и происхождения.

Применение различных технологий, позволяют управлять макро- и микроструктурой, прочностными и эксплуатационными характеристиками, изменяя структурно-энергетическое состояние сплава. Современное представление об эффективном управлении свойствами материалов основывается на возможности создания условий, при которых происходит самоорганизация заданного структурно-фазового состояния [2].

Все большее внимание уделяется изучению закономерностей, существующих между составом, строением и свойствами сплавов, получаемых в неравновесных условиях, за счет применения технологий, использующих интенсивные тепловые воздействия в процессе получения материалов. Управление структурообразованием в расплавах и сплавах в условиях далеких от термодинамического равновесия существенно расширяет возможность улучшения физико-механических свойств сплавов. Это служит базой для получения сплавов с заданным комплексом свойств.

Рассмотрены методы повышения неравновесности системы путем модифицирования, регулированием скорости кристаллизации и др. Оптимизация физико-химических процессов получения сплавов в неравновесных условиях, которые определяются параметрами, определяющими степень неустойчивости системы, является существенным резервом в получении заданного фазового состава и структурного состояния сплавов.

В настоящее время определена группа материалов для электродов контактной сварки, которые обладают высокой твердостью, прочностью и электропроводностью [3]. В тоже время, существующие технологии изготовления электродов достаточно сложные и затратные. На многих машиностроительных заводах, а также на заводах по изготовлению строительных конструкций, электроды для контактной сварки вытачивают из прутков, поступающих с металлургического завода в термически необработанном состоянии. При таком способе изготовления электродов коэффициент использования металла, составляет менее 0,6. Также существуют способы холодного выдавливания электродов, но в этом случае сложно сформировать охлаждающий канал и необходимо использовать вспомогательное оборудование.

В настоящее время существенное внимание уделяется энерго- и ресурсосберегающим технологиям, среди которых значительную роль играют литье, вторичный переплав, а также технологические процессы термической обработки с использованием остаточного тепла отливок. Сдерживающими причинами получения заготовок с применением литейных технологий являются неоднородность и пористость первичной структуры. Недостатком литых деталей являются пониженные физико-механические свойства, обусловленные крупнокристаллическим строением, структурной неоднородностью и значительной ликвацией, проявляющейся в легированных сплавах, особенно в присутствии элементов с малым коэффициентом распределения.

Вследствие этого комплексный подход, включающий многофакторное воздействие на структурно-фазовое состояние металлических систем в процессах плавления, кристаллизации и термической обработки позволяет регулировать в широком диапазоне физико-механические свойства заготовок.

В последнее время наряду с дисперсионно-твердеющими хромовыми и хромоциркониевыми бронзами, получаемые способом литья, все большее применение находят дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ) на основе меди с добавками тугоплавких соединений, которые получают способом порошковой металлургии. ДУКМ отличаются комплексом свойств (высокая твердость, электропроводность, прочность), которые существенно повышают эксплуатационную стойкость сварочного инструмента [4]. Технологии, используемые в настоящее время для получения медно-хромовых сплавов и ДУКМ, требуют сложных в обслуживании и в то же время дорогих плавильных агрегатов. На кафедре «Машиностроение» Политехнического института СФУ разработан ресурсосберегающий способ [5] приготовления хромовых бронз и получения электродов контактной сварки совмещенным способом литья и горячей штамповки, что позволяет перерабатывать вторичное сырье, технологически упростить и экономически удешевить процесс изготовления электродов.

#### ***Технология плавки.***

Для выплавки хромовой бронзы и получения электродов контактной сварки в лабораторных условиях использовали оборудование:

- экспериментальная индукционная печь ЭИП-1 вместимостью 10 кг;
- кривошипный пресс марки К-117 Д;
- инфракрасный пирометр Кельвин КБ;
- специальная технологическая оснастка.

Плавку производили в графитовом тигле. Для получения медного расплава, использовали отходы медного лома типа А1/1 по ГОСТ 1639-93. Масса загружаемого в графитовый тигель металла составляла 1 кг. Плавку осуществляли под слоем древесного угля, толщина слоя 25-30 мм, при рабочей частоте печи ( $44 \pm 4$ ) кГц. Медный расплав раскисляли фосфором [6], который добавляли в виде лигатуры МФ9 ГОСТ 4515-93 в количестве 0,7 %. Затем в раскисленный расплав вводили легирующий элемент в виде таблетки, состоящей из 100 гр. медного порошка марки ПМС-1 ГОСТ 4960-75 и 20 гр. наноструктурированных частиц хрома Х99 ГОСТ 5905-79.

Перемешивание жидкого металла происходило под действием переменного электромагнитного поля. Для равномерного распределения частиц, перемешивание расплава дополнительно осуществляли графитовым прутком ГОСТ 5279-74 в течение 5 минут.

#### ***Технология получения образцов электродов.***

Заливку расплавленного металла осуществляли в матрицу 10 технологической оснастки (рис. 1). Первую серию заливок производили в матрицу 10 и после затвердевания образца, открывали подвижным клином 9 дно матрицы 10 и проталкивали электрод пуансоном 11 с последующим остыванием при комнатной температуре. Вторую и третью серию заливок производили в матрицу 10, после остывания образца до 850-900 °С открывали подвижным клином 9 дно матрицы 10 и проталкивали электрод пуансоном 11 в охлаждающую камеру 12, находящуюся в основании пресса 1 для закалки в проточной воде с температурой 7 – 15 °С. Четвертую серию заливок производили в матрицу 10 после остывания сплава до 850-900 °С штамповали пуансоном 11 отверстие в электроде, которое охлаждает электрод в процессе сварки, открывали подвижным клином 9 дно матрицы 10 и проталкивали электрод пуансоном

11 с последующим охлаждением при комнатной температуре. Пятую и шестую серию заливок производили в матрицу 10 после остывания сплава до 850-900 °С, штамповали пуансоном 11 отверстие в электроде, открывали подвижным клином 9 дно матрицы 10 и проталкивали электрод пуансоном 11 в охлаждающую камеру 12, находящуюся в основании пресса 1 для закалки в проточной воде с температурой 7 – 15 °С.

Третью и четвертую партию образцов, подвергали старению. Для этого использовали муфельную печь СНОЛ-1.62.5.1/11-ИЗ. Старение проводили при температуре 450 °С в течение 4 часов, при котором достигается наиболее высокий уровень физико-механических свойств [7].

В дальнейшем, полученные образцы табл. 2 (первая, вторая, третья, четвертая, пятая, шестая) сравнивали с тремя партиями образцов (седьмая, восьмая, девятая) из прутка марки БрХ1 ГОСТ 15527-70. Седьмая партия образцов без применения термообработки. Восьмую и девятую партию образцов нагревали до температуры 950-1000 °С в течение 30 минут и закаливали в воде с температурой 7 – 15 °С. Девятую партию образцов подвергали старению при температуре 450 °С в течение 4 часов.

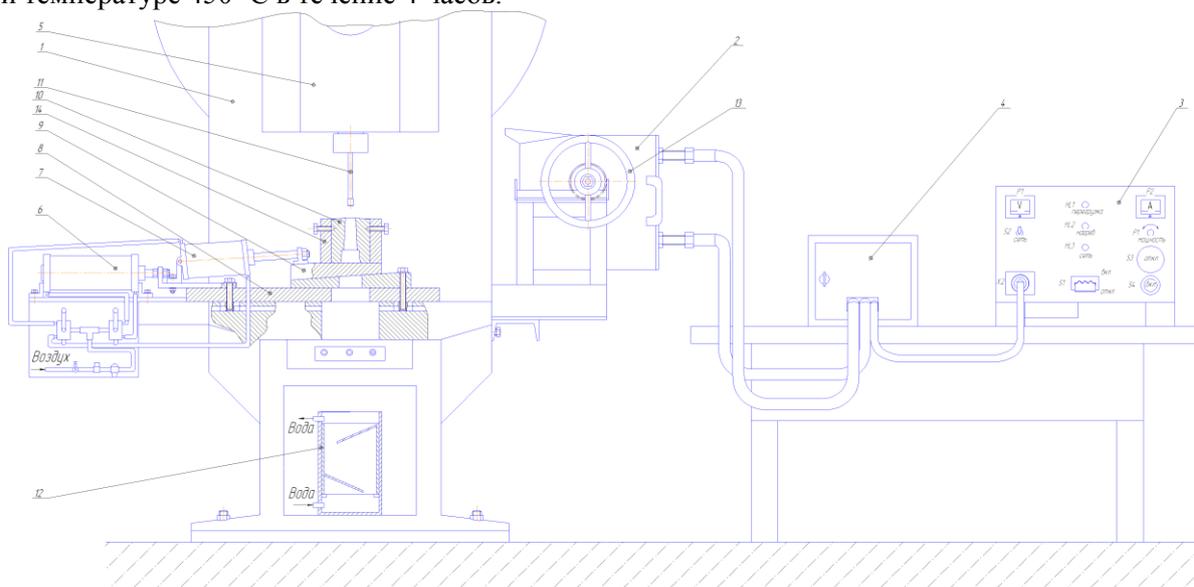


Рисунок 1 - Установка для штамповки электродов контактной сварки

1 – кривошипный пресс; 2 – разливочный узел; 3 - блок согласования; 4 – источник питания; 5 – молот; 6 – нижний пневмоцилиндр; 7 – верхний пневмоцилиндр; 8 – плита; 9- клин; 10 – матрица; 11 – пуансон; 12 – охлаждаемая камера; 13 – рукоять; 14 – корпус

### **Исследование микроструктуры в композиционном контрасте с картированием и точечными спектрами.**

Исследование микроструктуры образцов выполняли на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-7001F. Можно отчетливо наблюдать достаточно равномерное распределение частиц хрома, размеры которых, находятся в интервале 25 – 90 нм, (рис. 2). Энергодисперсионный анализ, проведенный на суммарной площади около 5 мм<sup>2</sup> показывает примерное содержание основных элементов в сплаве (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание основных элементов в сплаве

Содержание химических элементов в спектре			
Cr, %	P, %	Cu, %	Total, %
1,01	0,12	98,87	100

Распределения химических элементов в характеристическом излучении (рис. 3) показывает на достаточно равномерное их распределение по площади шлифа, что положительно отражается на прочности и электропроводности образцов.

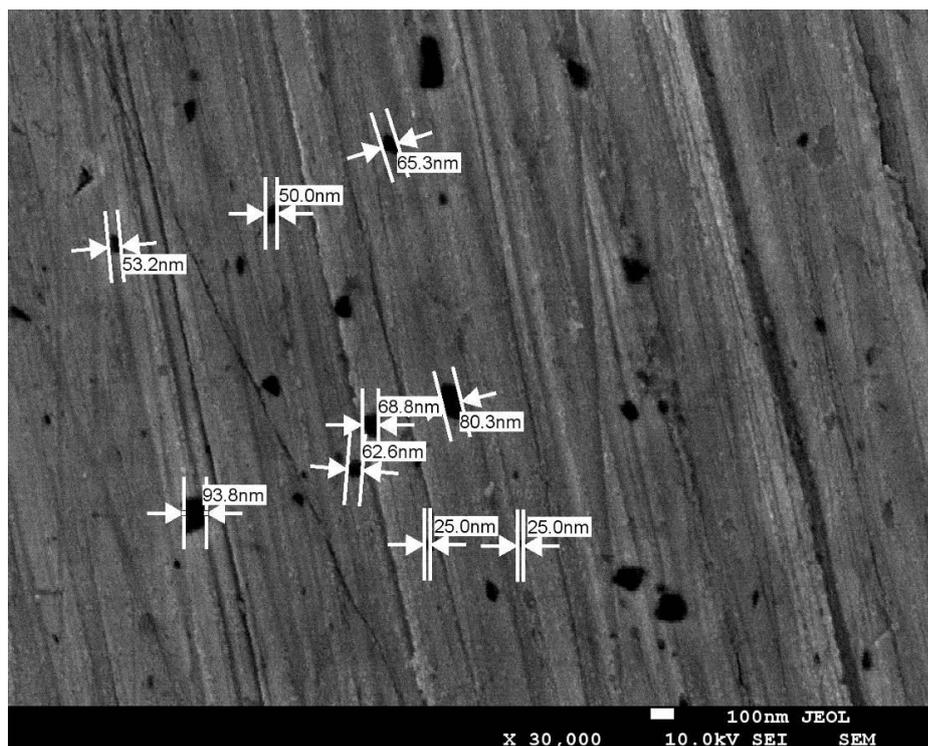
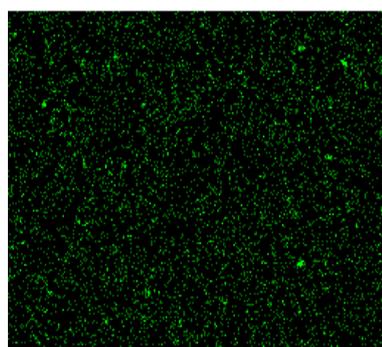
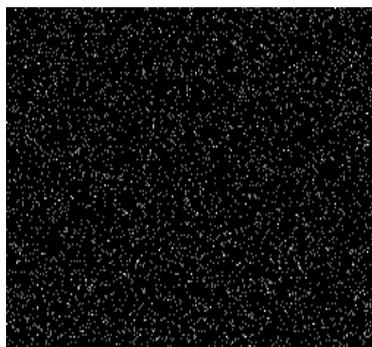


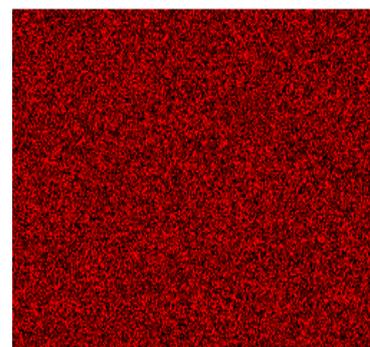
Рисунок 2 – Микроструктура сплава (x30000)



а



б



в

Рисунок 3 – Карты химических элементов в характеристическом излучении (x3000)  
а - Cr (хром), б – P (фосфор), в – Cu (медь).

***Измерение твердости и удельной электропроводности образцов.***

Полученные после литья, штамповки и термообработки образцы электродов очищали, а торцы рабочей поверхности протачивали на токарно-винторезном станке марки 1E95. Измерение твердости образцов определяли на твердомере ТБ 5004 по стандартной методике.

Измерение удельной электропроводности проводили на микроомметре Ф4104-М1, принцип действия которого основан на измерении величины падения напряжения на измеряемом сопротивлении при прохождении через него оперативного тока заданной величины. Погрешность прибора 2,5%, на каждом образце проводилось по пять измерений в различных областях.

Полученные средние значения твердости НВ и удельной электропроводности сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Твердость и электропроводность образцов

№№ партии образцов	Удельное сопротивление, (Ом·мм <sup>2</sup> )/м	Удельная электропроводность, м/(Ом·мм <sup>2</sup> )	Твердость НВ	Удельная электропроводимость материала в % IACS
1	0,0385	26	78	44
2	0,0333	30	60	52
3	0,0250	40	105	70
4	0,0294	34	97	60
5	0,0250	40	80	69
6	0,0204	49	138	86
7	0,0233	43	119	76
8	0,0222	45	111	79
9	0,0213	47	126	82

Примечание: Партии образцов электродов: 1 – литые; 2 – литые + закаленные; 3 – литые + закаленные + состаренные; 4 – литые штампованные; 5 – литые штампованные + закаленные; 6 – литые штампованные + закаленные + состаренные; 7 – из прутка БрХ1; 8 – из прутка БрХ1 + закаленные; 9 – из прутка БрХ1 + закаленные + состаренные.

По результатам испытаний образцов на твердость и удельную электропроводность видно, что партия образцов 6 полученная в лабораторных условиях совмещенным способом литья и горячей штамповки, превосходит по электропроводности и твердости партию образцов 9, с таким же содержанием хрома и режимами термообработки, полученной в промышленных условиях.

#### **Методика испытания образцов электродов.**

Качество электрода любого типа контактной сварки определяется его стойкостью, т.е. способностью сохранять в определенных пределах исходные размеры и форму рабочей поверхности. В конечном счете, от формы и размеров рабочей части электродов зависит качество сварного соединения.

Чтобы исключить влияние как можно большего количества факторов и обеспечить требуемую объективность оценки работоспособности электрода, испытания проводили на одной сварочной машине, сваривая материал одной марки, разной толщины и качества поверхности и задавая при этом вполне определенными параметрами сварки (температура сварки, энергетические параметры, давление на электроды, условия охлаждения).

Для испытания брали три партии образцов электродов:

- 1) партия образцов из медного прутка марки М 1;
- 2) партия образцов № 6 полученная нами (таблица 2);
- 3) партия образцов № 9 из прутка БрХ1 термообработанная (таблица 2).

Испытание проводили на контактной машине МПТУ-300. Сваривали крестовые соединения стержней арматуры диаметром 10+40 из стали 35 ГС. В результате испытаний для сварки стержней были подобраны оптимальные режимы, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы сварки крестовых соединений двух стержней арматуры из стали 35ГС диаметрами 10+40 мм

Усилие на электродах, кг	Сварочный ток, кА	Темп сварки, т/мин	Время сварки, с	Длительность выдержки под током, с
580	23,6	30	0,25-0,72	0,47

Данные после проведения 1000 контактов сварки крестовых соединений стержней арматуры диаметром 10+40 из стали 35ГС сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний после проведения 1000 контактов сварки. Длина расходуемой части электрода 10 мм

№№ партии образцов	Износ расходуемой части электрода после проведения 1000 контактов сварки, мм	Стойкость по износу (долговечность) электродов, контактов сварки
1	8	1500
2	4	3000
3	5	2400

Для сравнения были взяты образцы из медного прутка марки М1, так как этот материал в основном используется для токарного изготовления электродов и стоит в 2-3 раза дешевле, чем пруток марки БрХ1. В результате испытаний трех партий образцов, образцы 2-ой партии полученной нами в 1,5 - 2 раза меньше изнашиваются и дольше работают, чем образцы партии 1 и 3.

#### **Выводы:**

1. Показаны возможности получения сплавов медь-хром в условиях неравновесной кристаллизации с одновременным применением наноструктурированных частиц хрома.

2. Применение таблеток содержащих наноструктурированные частицы хрома, позволяет легировать расплав и исключить сложные, дорогостоящие операции приготовления лигатуры Cu-Cr.

3. Данный метод позволяет получить равномерное распределение химических элементов, что положительно отражается на прочности и электропроводности образцов электродов.

4. Данная технология изготовления электродов позволяет упростить процесс получения электродов контактной сварки и использовать в качестве материала вторичное сырье, что повышает экологичность производства и в значительной мере удешевляет конечную стоимость продукции.

5. Использование совмещенного способа литья и горячей штамповки, а также операций по термообработке, позволяют получать электроды, по твердости, электропроводности и стойкости превосходящие электроды из аналогичного материала полученного в промышленных условиях.

#### **Библиографические ссылки**

1. Бусыгин С.Л., Рукосуев А.П., Крушатина С.К., Демченко А.И., Рафальский А.С. Применение ресурсосберегающей технологии металлургической переработки меди и медных сплавов для получения электродов контактной сварки // Вестник СибГАУ, 2010. №6. с. 119-121.

2. Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж., Оксогоев А. А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М. Наука, 1994.- 382 с.

3. Николаев А.К., Розенберг В.М. Сплавы для электродов контактной сварки. М.: Металлургия, 1978. 96 с.

4. Меньшиков Г.А., Власенко А.Н., Невровский В.А., Васин В.А. Повышение работоспособности электродов при точечной контактной сварке сталей // Сварочное производство, 2008.- №10. с. 32-35.

5. Способ изготовления электродов для контактной сварки. Патент РФ. №2412035. МПК В23К 35/40, В23К 11/30/ С.Л. Бусыгин, А.И. Демченко, А.С. Рафальский; заявл. 09.03.2010; опубл. 20.02.2011, Бюл. №5.

6. Ватрушин Л.С., Осинцев В.Г., Козырев А.С. Бескислородная медь. М.: Металлургия, 1982. 192 с.

7. Николаев А.К., Новиков А.И., Розенберг В.М. Хромовые бронзы. М.: Металлургия, 1983. 176 с.