

**Абрамов А.А.,  
Завгородний В.В.,  
Дробот О.С.**

Хмельницкий национальный университет,  
г. Хмельницкий, Украина

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ИЗ- НОСА ТОКОПОДВОДЯЩИХ НАКОНЕЧНИ- КОВ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК**

### **Введение**

В настоящее время механизированная дуговая сварка в активных газах широко применяется при соединении деталей из листового и профильного металла. Выполняется она с использованием сварочных полуавтоматов, неотъемлемой частью которых являются газозлектрические горелки. Эксплуатационные качества большинства элементов этих горелок довольно высокие, за исключением стойкости сопел и токоподводящих наконечников, работающих в сложных температурных условиях. Что касается наконечников, то они подвергаются также интенсивному истирающему воздействию со стороны скользящей по их поверхности сварочной проволоки. Поэтому токоподводящие наконечники сварочных горелок относятся к категории быстроизнашивающихся и одновременно дорогостоящих деталей с учетом того, что они выполняются из меди и ее сплавов.

### **Постановка проблемы в общем виде**

Несмотря на то, что токоподводящие наконечники для сварочных полуавтоматов представляют собой небольшие по величине изделия, их расход при выполнении сварочных работ значительный, что приводит к немалым экономическим затратам. Кроме того, необходимость в довольно частых заменах наконечников снижает производительность труда. Исходя из этого, повышение ресурса работоспособности наконечников представляет собой серьезную научно-практическую проблему, которую можно решать, в том числе, на основе определения степени влияния на этот показатель наиболее значимых факторов, к которым относится температура нагрева.

### **Анализ публикаций по данной проблеме**

Вопросам определения температуры нагрева токоподводящих наконечников во время их эксплуатации в научной литературе уделено определенное внимание [1 - 4]. Авторы работ подчеркивают, что при механизированной дуговой сварке в активных газах основными причинами нагрева наконечников являются: их собственное сопротивление протеканию электрического тока, воздействие излучения высокотемпературной сварочной дуги, сопротивление прохождению электрического тока в зоне их контакта со скользящей проволокой, а также возможное искрение из-за токосъема при неплотном контакте в указанной зоне. В ряде случаев при работе на предельных режимах сильно изношенным наконечником его температура может достигать 450 °С и даже выше [4]. С этой температурой согласуются результаты, полученные нами расчетом по методике [4] для реальных значений режима автоматической наплавки [5].

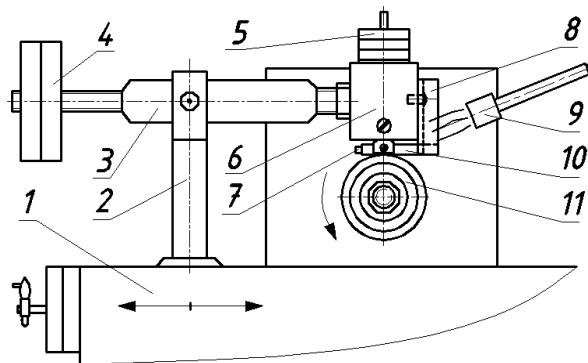
Результаты испытаний на износ наконечников из меди и порошковых композиций на основе этого металла при комнатной температуре приведены в работах [6 - 7]. В работе [8] представлены определенные лабораторными испытаниями величины механической составляющей суммарного износа наконечников из меди М1, а также наконечников, изготовленных фирмой «Binzel» из меди Е-Си и хромо-циркониевой бронзы. Однако все приведенные результаты были получены при испытаниях наконечников на износ в условиях обычных комнатных температур.

**Цель выполнения настоящей работы** состояла в определении величины механического износа токоподводящих наконечников, изготовленных из трех вышеуказанных материалов, при нагреве до температур их рекристаллизации.

### **Методика проведения эксперимента**

Для проведения исследования на изнашивание нами использована та же лабораторная установка, что и для определения механической составляющей износа наконечников без подогрева [8], при сохранении той же схемы испытаний – «диск - плоскость» (рис. 1). Отличие состояло лишь в том, что в данном случае исследуемые наконечники предварительно и непосредственно во время испытаний подогревались до требуемой температуры. Их подогрев осуществлялся пламенем горелки при сжигании пропан - бутановой смеси. Для недопущения попадания в зону трения продуктов сгорания газовой смеси и исключе-

ния прямого нагрева этой зоны на установке предусматривался отражательный щиток. Таким образом, нагрев наконечников осуществлялся лишь в их торцевой части с последующей передачей тепла в зону трения за счет теплопроводности. С целью регистрации и контроля температуры наконечников в каждом из них предварительно просверливалось отверстие с последующей запрессовкой в него горячего спая хромель - копелевой термопары. Величины термоЭДС регистрировались миллиамперметром с последующим их переводом в соответствующие значения температуры по таблицам [9].



**Рис. 1.** Схема испытания наконечников на изнашивание:  
 1 – суппорт станка; 2 – стойка; 3 – коромысло;  
 4 – балансирующие диски; 5 – нагружающие диски;  
 6 – головка коромысла; 7 – место установки термопары; 8 – щиток;  
 9 – газовая горелка; 10 – образец; 11 – ролик

Исследована износостойкость наконечников в двух диапазонах температур. Первый из них 573 - 593 К (средний 583 К) выбран исходя из того, что примерно до таких температур наконечник нагревается при ведении сварочного процесса на умеренных режимах, второй – 763 - 783 К (средний до 773 К) соответствует его нагреву при использовании больших токов.

Как и в ранее проведенном исследовании [8] использовались 2 ролика (контртела) диаметром 50 мм. Каждый из них представлял собою диск с тороидальной ребордой на внешней кольцевой поверхности, высота и толщина которой составляла соответственно 5 и 1,2 мм, благодаря чему при вращении ролика имитировалось движение проволоки относительно поверхности наконечника мундштука. Реборда одного из опытных роликов имела гладкую поверхность, другого – рифленую (накатанную на токарном станке), что воспроизводило состояние поверхности проволоки после ее подачи в наконечник соответственно гладким и рифленым роликами подающего механизма сварочного аппарата. Материалом для изготовления роликов служила сталь 40X. Ролики закаливали в масле и отпускали до HRC 38.

В каждом диапазоне температур сила прижима наконечников к вращающемуся ролику при проведении испытаний составляла: 0,8; 2,4; 4,8; 7,2; 9,6 и 12 Н. Такая величина силы соответствовала примерно тем усилиям, с которыми сварочная проволока из стали 08Г2С диаметром 1,2 мм прижимается к поверхности изнашивающихся наконечников во время их эксплуатации [10]. Все остальные параметры соответствовали параметрам ранее проведенного испытания наконечников на износ без нагрева: частота вращения ролика 350 мин<sup>-1</sup>, линейная скорость поверхности реборды вращающегося ролика 0,92 м/с, время испытания при каждой нагрузке 20 минут, чему соответствует путь трения 1104 метра.

Величина износа наконечников определялась путем измерения длины канавки в мм, образующейся на поверхности каждого образца от вращающегося дискового ролика. Измерение этой величины велось на компараторе горизонтального типа ИЗА-2 со шкалой деления 0,001 мм.

### Результаты исследований и их обсуждение

Все измеренные значения длин канавок износа представлены в табл. 1. Для сравнения в таблице представлены также значения, полученные в ранее проведенном исследовании износа наконечников без нагрева [8].

При сравнении результатов (для гладкого и рифленого роликов оно велось отдельно), полученных во время лабораторных испытаний наконечников, использовали значения коэффициента относительной износостойкости  $K_{oi}$ , который рассчитывали по формуле:

$$K_{oi} = \sum \frac{a_{m1}}{a_i}, \quad (1)$$

где  $a_{,m1}$  – сумма длин канавок износа на наконечниках из меди М1, измеренных после испытания при всех нагрузках на пути трения 1104 м;

$a_i$  – сумма длин канавок износа на наконечниках соответственно из меди М1 и других материалов, измеренных после испытания при тех же нагрузках и на том же пути трения.

По данным, приведенным в табл. 1, можно рассчитать, что при температуре 583 К коэффициент  $K_{oi}$  меди Е-Сu и  $K_{oi}$  хромоциркониевой бронзы выше  $K_{oi}$  меди М1 соответственно в 1,04 и 1,47 раза. При испытаниях рифлёным роликом при той же температуре отношения коэффициентов относительной износостойкости других наконечников к  $K_{oi}$  наконечника из меди марки М1 составили: для меди Е-Сu – 1,03, для хромоциркониевой бронзы – 1,20. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

Таблица 1

Длина канавки износа (в мм) на поверхности наконечников (путь трения 1104 м\*)

Материал наконечника	Сила прижима образцов к гладкому ролику, Н						Сила прижима образцов к рифлёному ролику, Н					
	0,8	2,4	4,8	7,2	9,6	12,0	0,8	2,4	4,8	7,2	9,6	12
Без нагрева												
Медь М1	4,48	5,66	6,55	7,46	8,58	9,62	7,18	8,01	8,87	9,70	10,54	11,36
Е-Сu «Binzel»	4,29	5,21	6,28	7,35	8,40	9,33	6,90	7,72	8,51	9,29	10,11	10,88
Сu-Сr-Zr «Binzel»	2,82	3,18	3,69	4,14	4,20	5,15	4,84	5,89	6,86	7,95	8,97	9,84
Нагрев до 583 К												
Медь М1	5,37	6,01	6,72	7,75	8,89	9,69	7,27	8,14	9,07	9,94	10,95	11,65
Е-Сu «Binzel»	4,94	5,80	6,66	7,57	8,53	9,37	7,11	7,93	8,74	9,63	10,65	11,54
Сu-Сr-Zr «Binzel»	3,15	3,96	4,79	5,64	6,33	6,84	5,34	6,61	7,67	8,64	9,34	10,45
Нагрев до 773 К												
Медь М1	5,58	6,42	7,28	8,46	9,78	10,74	8,14	9,35	10,55	11,41	12,36	13,15
Е-Сu «Binzel»	5,11	5,89	6,71	7,49	8,75	9,60	7,78	8,71	9,74	10,79	11,64	12,45
Сu-Сr-Zr «Binzel»	3,39	4,27	5,21	5,94	6,53	7,23	5,73	6,91	8,08	9,12	9,94	11,05

*Примечание\**. Путь трения 1104 м соответствует такой же длине проволоки, прошедшей через наконечник сварочной горелки.

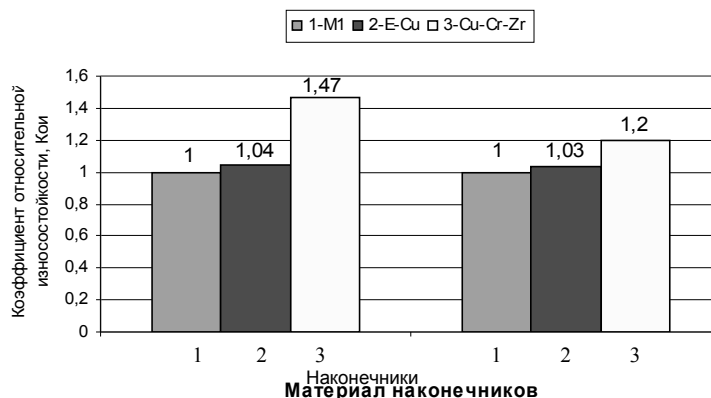


Рис. 2 – Значение коэффициента относительной износостойкости наконечников при их испытании с нагревом до 583 К: 1 – из меди М1 (значение коэффициента принято за единицу); 2 – из меди Е-Сu; 3 – из бронзы системы Сu-Сr-Zr (левая группа столбцов относится к испытанию гладким роликом; правая – к испытанию рифлёным роликом)

При нагреве до 773 К отношение величин коэффициента относительной износостойкости наконечников из меди E-Cu и хромоциркониевой бронзы к  $K_{oi}$  наконечников из меди M1 более высокое: при испытании гладким роликом соответственно в 1,11 и 1,49 раза, при испытании рифленным роликом – в 1,07 и 1,33 раза (табл. 1, рис. 3).

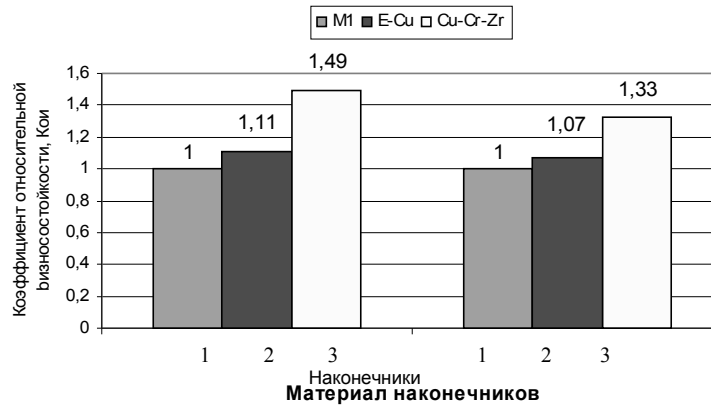


Рис. 3 – Значение коэффициента относительной износостойкости наконечников при их испытании с нагревом до 773 К: 1 – из меди M1 (значение коэффициента принято за единицу); 2 – из меди E-Cu; 3 – из бронзы системы Cu-Cr-Zr (левая группа столбцов относится к испытанию гладким роликом; правая – к испытанию рифленным роликом)

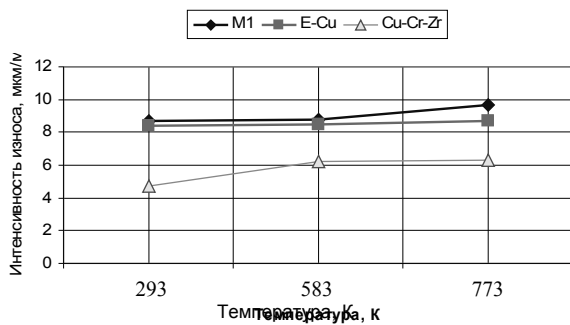


Рис. 4 – Зависимость интенсивности износа наконечников от температуры их нагрева при испытании гладким роликом (нагрузка 12 Н, путь трения 1104 м)

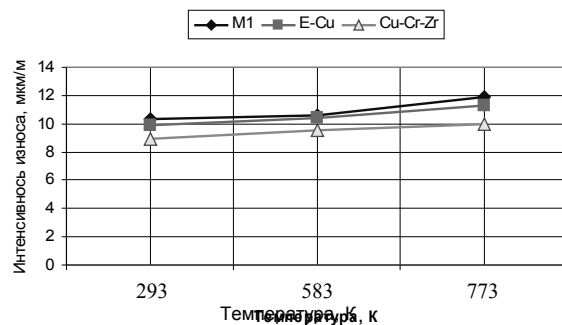
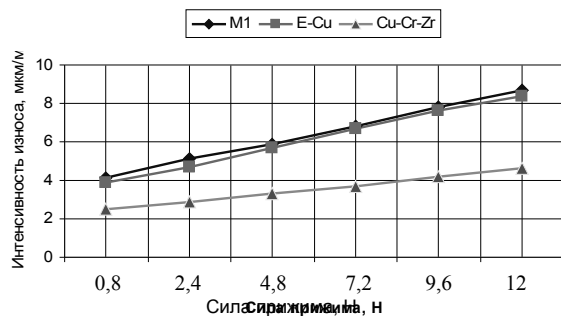


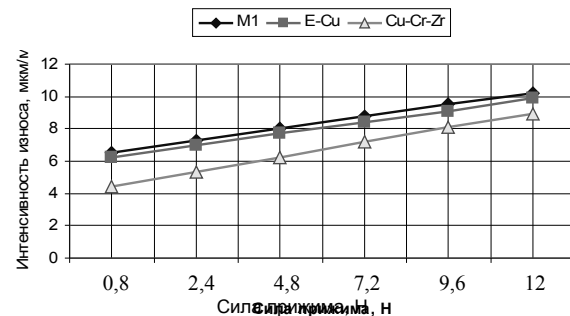
Рис. 5 – Зависимость интенсивности износа наконечников от температуры их нагрева при испытании рифленным роликом (нагрузка 12 Н, путь трения 1104 м)

T=293 К

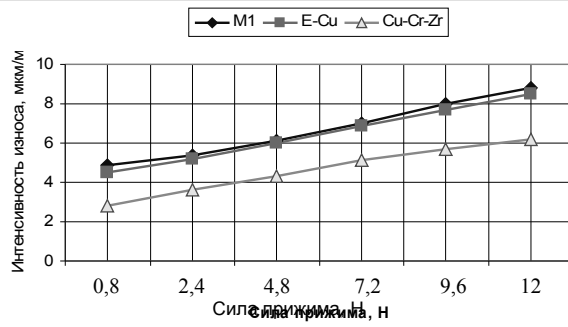


T=583 К

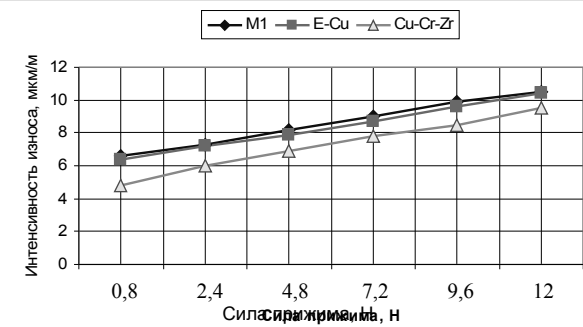
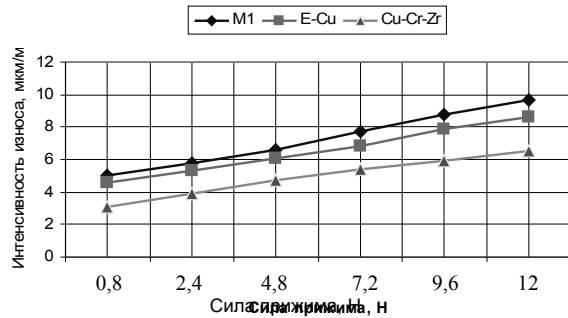
T=293 К



T=583 К



T=773 К



T=773 К

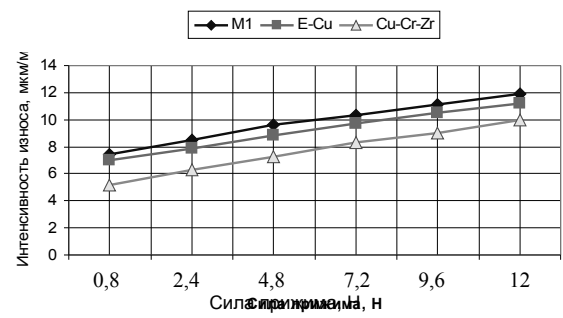


Рис. 6 – Зависимость интенсивности износа наконечников от силы их прижима к гладкому ролику при разных температурах

Рис. 7 – Зависимость интенсивности износа наконечников от силы их прижима к рифленому ролику при разных температурах

Данные, приведенные в табл. 1, показывают также, что с повышением температуры нагрева величина износа всех наконечников возрастает, о чем свидетельствуют и характер изменения интенсивности их износа с ростом температуры (рис. 4 и 5).

Интенсивность износа наконечников (в мкм/м) при исследованных температурах (293, 583 и 773 К) рассчитывалась по формуле:

$$I_{\text{изи}} = \sum \frac{a_i}{S_{\text{тр}}} , \quad (2)$$

где  $a_i$  – длина канавки износа в мкм на поверхности всех изучаемых наконечников при нагрузке 12 Н и разных температурах;

$S_{\text{тр}}$  – путь трения, равный 1104 м.

Исходя из данных, приведенных в табл. 1 и представленных на рис. 4 и 5, можно констатировать, что по отношению к температуре 293 К интенсивность износа всех наконечников при температуре 583 К возрастает: при испытании гладким роликом наконечников из меди М1 и E-Cu в 1,01 раза, для бронзы системы Cu-Cr-Zr – в 1,33 раза. При нагреве до температуры 773 К происходит дальнейший рост отношения интенсивностей износа всех наконечников: из меди М1 – в 1,11 раза, из меди E-Cu – в 1,02 раза, из хромоциркониевой бронзы – в 1,40 раза по сравнению с интенсивностью износа наконечников при температуре 293 К. При испытании рифленным роликом интенсивность износа наконечников при температурах 583 и 773 К выше, чем при испытании гладким роликом на 15 - 83 % по сравнению с интенсивностью износа при температуре 293 К. Интенсивность износа заметно увеличивается при совместном действии на испытуемые наконечники повышенных температур нагрева и нагрузок (табл. 1, рис. 6 и 7). Интенсивность износа наконечников рифленным роликом в зависимости от температуры испытания на 17 - 90 % выше по сравнению с интенсивностью износа гладким роликом, по-видимому, потому, что рифленный ролик обладает режущими свойствами.

Сопоставление износостойкости испытуемых материалов дает основание утверждать, что по сопротивлению механическому износу во всем диапазоне исследованных температур (293, 583 и 773 К) и приложенных нагрузок (0,8 - 12 Н) лучшим материалом для изготовления наконечников является хромоциркониевая бронза. По этому же показателю медь E-Cu уступает хромоциркониевой бронзе, но несколько превышает износостойкость меди М1. Такое различие в износостойкости исследованных материалов объясняется неодинаковым уровнем их физических и технологических свойств и, прежде всего, разницей температур рекристаллизации, величиной твердости в холодном состоянии и динамикой изменения этого свойства при изменении температуры.

Известно, что для изготовления наконечников, как правило, используют медь и медные сплавы как в недеформированном, так и в деформированном состояниях. Последние имеют более высокую твердость по сравнению с недеформированными (практически в 1,5 - 2 раза в зависимости от степени деформации). Однако, при нагреве выше 473 К деформированная медь, а при нагреве выше 773 К и хромоциркониевая бронза, начинают быстро разупрочняться вследствие достижения ими температуры рекристаллизации [11 - 13]. При этом изменяется не только структура данных материалов, но и величина их твердости [12; 13]. По данным [14] холоднотянутая медь в прутках имеет твердость порядка 80 - 100 НВ, но при нагреве до температуры 500 °С ее твердость составляет всего 20 НВ, а при температуре 800 °С итого меньше – 7 НВ.

Измеренная нами при температуре 293 К твердость наконечников из меди М1, меди Е-Сu и хромоциркониевой бронзы составила соответственно НRV 49, НRV 53 и НRV 87, что эквивалентно НВ 90, НВ 97 и НВ 174. Для нахождения значений твердости исследуемых материалов при температурах 293, 583 и 773 К нами выполнены расчеты по формуле (3) Ито - Шошкина [15]:

$$HB = HB_0 \cdot e^{-\alpha \cdot T}, \quad (3)$$

где –  $HB_0$  – твердость материалов при 293 К;

$\alpha$  – коэффициент, равный 0,002;

$T$  – температура, для которой рассчитывается твердость металла, К.

Расчетные значения твердости, представленные на рис. 8, также как и приведенные в справочнике [14], свидетельствуют о ее значительном снижении при росте температуры нагрева наконечников, что негативно влияет на величину их механического износа.

Проведенные нами микроструктурные исследования показали, что в исходном состоянии исследуемые наконечники имеют неодинаковую структуру (рис. 9, а): наконечники из меди М1 – слабодеформированную, из меди Е-Сu – слабодеформированную мелкозернистую, из хромоциркониевой бронзы – деформированную волокнистую (по нашему мнению, два последних наконечника получены методом порошковой металлургии).

При нагреве до 583 К происходит рост зерен в наконечниках из меди М1 и Е-Сu, наконечники из хромоциркониевой бронзы частично утрачивают свою волокнистую структуру, о чем свидетельствует вид их микроструктуры после охлаждения (рис. 9, б).

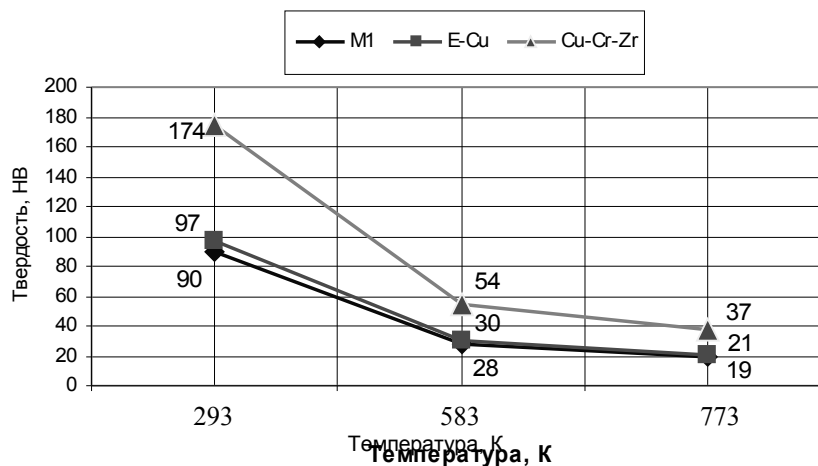
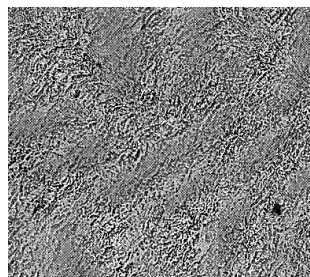


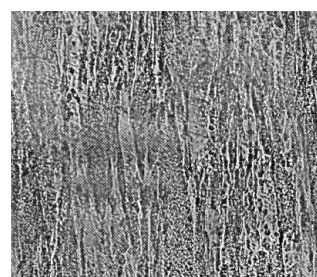
Рис. 8 – Изменение твердости наконечников из меди М1, меди Е-Сu и хромоциркониевой бронзы при нагреве (соответственно нижняя, средняя и верхняя кривые)



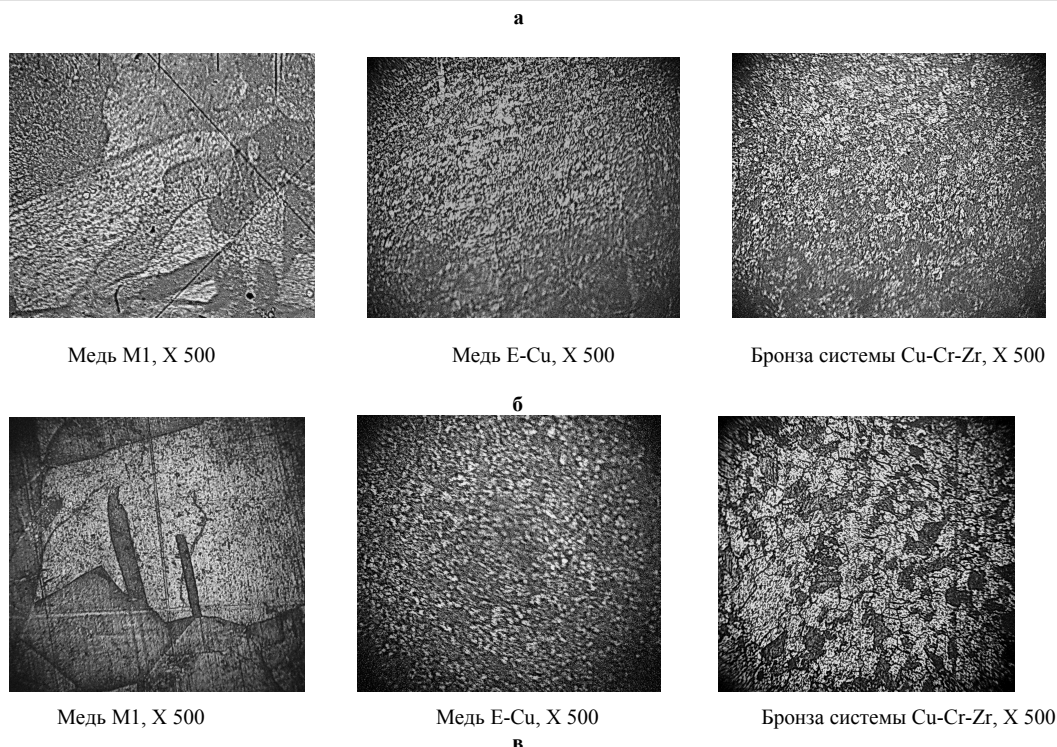
Медь М1, X 500



Медь Е-Сu, X 500



Бронза системы Cu-Cr-Zr, X 500



**Рис. 9 – Микроструктура наконечников из меди марки М1, меди E-Cu и бронзы системы Cu-Cr-Zr: а – в холодном состоянии; б – при температуре 583 К; в – при температуре 773 К**

Нагрев до 773 К приводит к еще большему увеличению размера зерен в наконечниках из меди М1 и E-Cu. На микрошлифах наконечников из хромоциркониевой бронзы после их нагрева до этой температуры и охлаждения на воздухе, наряду со светлыми зернами твердого раствора хрома и циркония в меди ( $\alpha$ -фаза), имеются темные участки, которые, согласно диаграмме состояния системы Cu-Cr-Zr [16], представляют собой дисперсные выделения хрома и эвтектики  $\alpha_{Cu} + Cr + Cu_3Zr$  (рис. 9, в).

### Выводы

При лабораторных испытаниях стальным роликом (контртелом) с гладкой поверхностью наиболее высокое сопротивление механическому износу при повышенных температурах показали наконечники из хромоциркониевой бронзы, изготовленные фирмой «Binzel». Наконечники из меди E-Cu «Binzel» и меди М1 уступают им по износостойкости при температуре 583 К соответственно в 1,37 и 1,41 раза, при температуре 773 К – в 1,33 и 1,48 раза. С повышением температуры износостойкость всех наконечников снижается. Интенсивность износа наконечников стальным роликом с рифленой поверхностью в зависимости от температуры и материала, из которого они изготовлены, на 17-90 % выше по сравнению с интенсивностью износа гладким роликом.

### Литература

1. Бригидин В.Я. О работе токоподводящих наконечников при дуговой сварке // Свароч. пр-во. – 1979. – № 8. – С. 20 - 21.
2. Чвертко А.И., Патон Б.Е., Тимченко В.А. Оборудование для механизированной сварки и наплавки. – М.: Машиностроение, 1981. – 264 с.
3. Пентегов И.В., Петриенко О.И., Пустовойт С.В. и др. Определение падения напряжения в области контакта электродной проволоки с мундштуком сварочной горелки при механизированных видах сварки. // Автомат. сварка. – 2005. – № 6. – С. 12 - 17.
4. Пентегов И.В., Петриенко О.И. Метод определения температуры проволоки на выходе из мундштука при механизированной сварке в защитных газах // Автомат. сварка. – 2005. – № 10. – С.25-28.
5. Абрамов А.А., Завгородний В.В. Температура в зоне контакта наконечника токоподводящего мундштука сварочной горелки с электродной проволокой // Вимірювальна та обчис. техніка в технол. процесах. – 2008. – №1. – С. 23 - 26.
6. Чубуков А.А. Влияние износа токоподводящего наконечника на технологические параметры процесса сварки // Сварочное производство. – 1980. – № 1. – С. 26 - 27.
7. Дмитрик В.В., Питула С.И. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов для сварочных горелок // Автомат. сварка. – 2005. – № 3. – С. 45 - 47.
8. Абрамов О.О., Завгородний В.В. Механічна складова зносостійкості струмопідвідних наконечників зварювальних пальників // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – №2. – С.36 - 40.

9. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 86 - 87.
10. Абрамов А.А., Завгородний В.В. Оптимизация геометрии наконечника токоподводящего мундштука для механизированной дуговой сварки // Автомат. сварка. – 2008. – № 1. – С. 53 - 55.
11. Гуляев А.И. Технология и оборудование контактной сварки. Учебн. для маш. техн. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
12. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981.– 416 с.
13. Справочник по сварке цветных металлов / Гуревич С.М. – Киев: Наукова думка, 1990.– 512 с.
14. Справочник по сварке. Том 1 / Под ред. Е.В. Соколова, – Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. литер. М.: 1960. – 556 с.
15. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
16. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. Захаров А.М. М.: Металлургия, 1980. – 256 с.

Надійшла 07.05.2010