

Л.К. Кушнер<sup>1</sup>, ст. науч. сотр.,  
А.А. Касач<sup>2</sup>, аспирант,  
И.И. Курило<sup>2</sup>, доц, канд. хим. наук,  
И.И. Кузьмар<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
А.А. Хмыль<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук  
<sup>1</sup>БГУИР, Минск,  
<sup>2</sup>БГТУ, Минск

## ЭЛЕКТРОЛИЗ СПЛАВА МЕДЬ-ОЛОВО ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ

Электроосаждение сплавов импульсным током является одним из наиболее эффективных методов, позволяющим изменением только формы поляризующего тока и его параметров оперативно и просто управлять электродным потенциалом и перераспределением парциальных токов разряда компонентов электролита и тем самым изменять состав и свойства сплава в относительно широких пределах.

Электрохимическое осаждение покрытий сплавом медь-олово проводили в разработанном в БГТУ сульфатном электролите. Задачей исследований было установление закономерностей формирования покрытий желтой бронзой с высокими защитно-декоративными свойствами в условиях нестационарного электролиза.

Проведенные исследования показали, что получение на постоянном токе и при комнатной температуре высококачественных покрытий возможно в очень узком диапазоне плотности тока, что ограничивает их применение для металлизации сложнопрофилированных изделий.

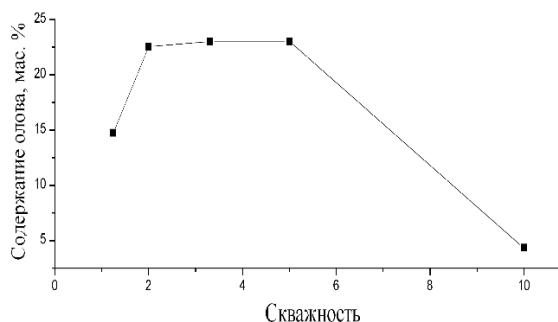
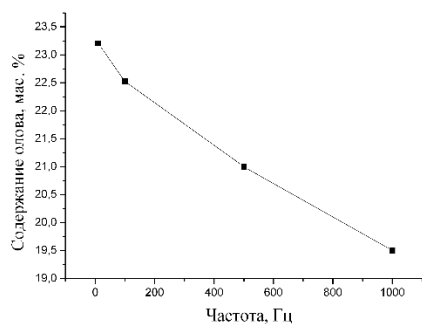
Электроосаждение сплава медь-олово проводили на периодическом токе в диапазоне частоты от 10 до 1000 Гц. Полученные результаты сравнивались с покрытием, осажденном при оптимальной плотности постоянного тока (1,2 А/дм<sup>2</sup>).

Исследование влияния параметров импульсного тока на состав сплава Cu–Sn показало, что увеличение плотности как постоянного, так и импульсного тока приводит к росту содержания в покрытии олова, как более электроотрицательного компонента (таблица, рисунок 1), так, с увеличением средней плотности импульсного тока от 1 до 2 А/дм<sup>2</sup> (т.е. изменением  $i_{\max}$  от 2 до 4 А/дм<sup>2</sup>) с частотой 100 Гц и скважностью 2 содержание олова возрастает с 5,44 до 37,39 мас. %, при этом покрытие изменяется от розового блестящего до серого матового. Аналогичная зависимость от плотности тока наблюдается и

при других частотах и скважностях импульсного тока. Все факторы, вызывающие снижение поляризуемости электрода, способствуют увеличению содержания в сплаве более электроположительного компонента. Так, снижение катодной поляризации с повышением частоты с 10 до 1000 Гц способствует при  $i_{\max} = 3 \text{ А/дм}^2$  уменьшению концентрации олова в осадке от 23,25 до 19,05 мас. % (рисунок 1).

**Таблица 1 – Влияние режима электролиза на состав и свойства покрытий сплавом медь-олово**

Частота ИТ, Гц	Скважность ИТ	$\tau_{\text{пр}}; \tau_{\text{обр}}, \text{ мс}$	$i_{\text{ср}}, \text{ А/дм}^2$	Сод. олова, мас. %	Блеск %	Икор., $\times 10^7, \text{ мА/см}^2$
ПТ			1,2	12,16	23,3	8,66
100	2		1,0	5,44	30,0	6,63
100	2		1,5	22,53	18,3	5,65
100	2		2	37,39	0	111,1
100	1,25		1,5	14,73	35,0	3,19
100	3,33		1,5	23,04	30,0	1,98
100	5		1,5	23,04	33,3	1,29
100	10		1,5	4,34	0	7,82
1000	2		1,5	19,05	12,5	4,93
1000	2		1,75		2,5	2,95
10	2		1,5	23,21	30,83	3,92
333,3	3		1,5	22,53	32,5	2,69
333,3	3		2	29,84	23,3	12,0
333,3	3		1		15,83	18,48
		10:1	1,5	25,58	16,7	2,85
		10:1	2:2	22,13	25	4,66



а)

б)

**Рисунок 1– Влияние частоты (а) и скважности (б) импульсного тока на состав покрытий сплавом медь-олово,  $i_{\text{ср}} = 1,5 \text{ А/дм}^2$**

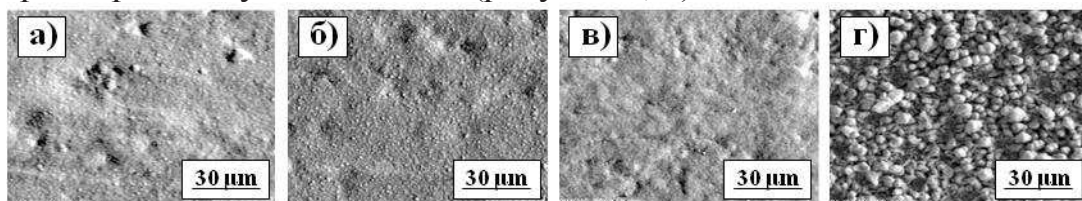
Увеличение скважности импульсов от 1,25 до 5 (т.е. повышение  $i_{\max}$  с 2,5 до 10  $\text{А/дм}^2$ ) при частоте 100 Гц вызывает рост содержания олова с 14,73 до 23,04 масс. %. Дальнейший рост амплитудной плотности тока приводит к уменьшению выхода по току и количества олова (до 4,34 мас. % при  $i_{\max} = 15 \text{ А/дм}^2$ ), что указывает на

определяющее при разряде олова значение диффузионных процессов (возникновение диффузионных затруднений, сопровождающихся интенсивным выделением водорода). Соноэлектрохимическое осаждение покрытий сплава медь-олово способствует повышению содержания меди с увеличением интенсивности ультразвуковых колебаний.

На реверсированном токе формируются блестящие желтые покрытия, причем содержание олова уменьшается с ростом средней плотности тока, т.к. при анодном импульсе тока происходит преимущественное растворение олова.

Таким образом, изменение параметров импульсного и реверсированного тока позволяет управлять составом сплава в широком интервале частоты и амплитудной плотности тока.

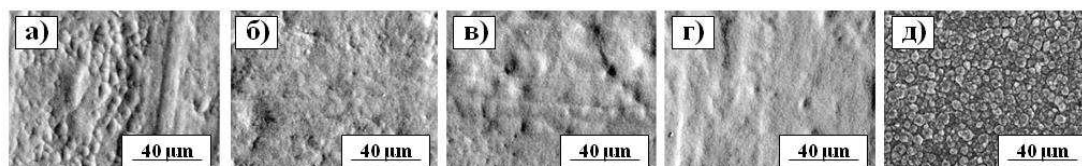
Покрытия сплавом Cu–Sn, полученные на постоянном токе с  $i=1,2$  А/дм<sup>2</sup>, характеризуются мелкозернистостью с развитым микрорельефом (рисунок 2, а). Структура осадков зависит от параметров импульсного тока (рисунки 2, 3).



а - ПТ,  $i=1,2$  А/дм<sup>2</sup>; б -  $i_{cp}= 1$  А/дм<sup>2</sup>; в -  $i_{cp}= 1,5$  А/дм<sup>2</sup>; г -  $i_{cp}= 2$  А/дм<sup>2</sup>

**Рисунок 2 - Влияние средней плотности импульсного тока на микрорельеф поверхности покрытий сплавом Cu–Sn, частота 100 Гц, скважность 2**

Желтые, мелкокристаллические покрытия с характерным блеском формируются в интервале амплитудных плотностей тока 1,875-7,5 А/дм<sup>2</sup> при использовании токов частотой 100 Гц, средней плотностью 1,5 А/дм<sup>2</sup> и скважностью 1,25-5. Увеличение  $i_{max}$  до 15 А/дм<sup>2</sup> ( $q=10$ ) приводит в снижению выхода по току и формированию рыхлых крупнокристаллических осадков.

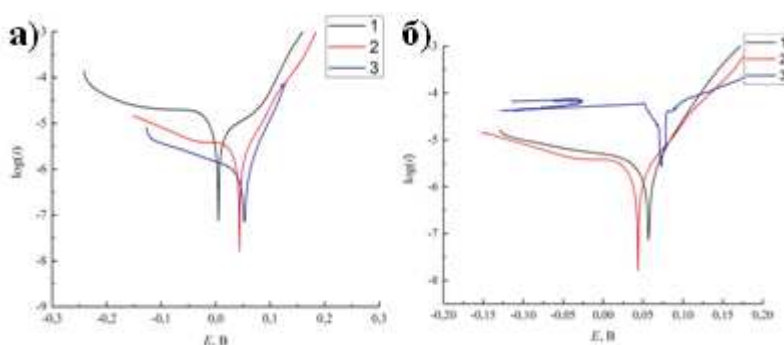


а -  $q=1,25$ ; б -  $q=2$ ; в -  $q=3,3$ ; г -  $q=5$ ; д -  $q=10$

**Рисунок 3 – Влияние скважности импульсов (q) на микрорельеф поверхности, частота 100 Гц,  $i_{cp}= 1,5$  А/дм<sup>2</sup>**

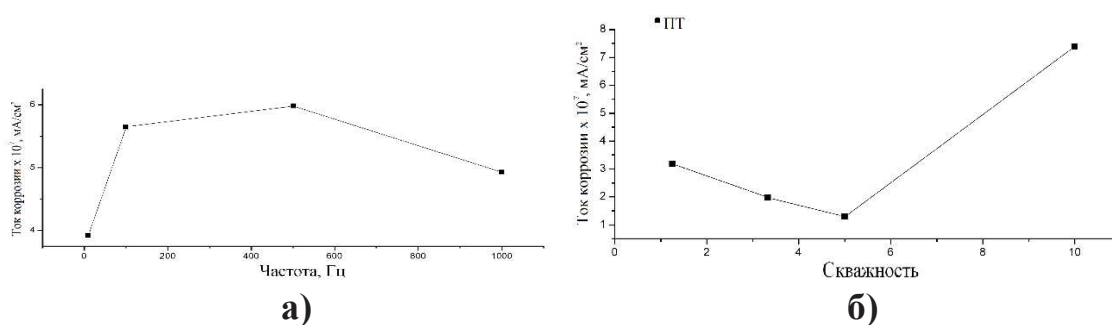
Защитно-декоративные свойства покрытий сплавами зависят от их количественного и фазового состава, структуры, наличия примесей. Как следует из таблицы, нестационарный электролиз позволяет повысить блеск покрытий, который возрастает со снижением частоты импульсного тока и при воздействии ультразвука, имеет экстремальный характер зависимости от средней и амплитудной плотности тока, а также состава сплава.

Исследование коррозионной стойкости покрытий методом потенциодинамической поляризации, показало, что токи коррозии зависят от состава и структуры сплавов, которые, в свою очередь, определяются параметрами периодического тока (таблица, рисунки 4, 5). Варьируя частоту, плотность тока, длительность паузы, прямого и обратного импульса, определены оптимальные условия формирования покрытий с повышенной коррозионной стойкостью в широком диапазоне скважности и амплитудной плотности тока.



а – 1 - ПТ; 2 - 100 Гц, q=2; 3 - 333,3 Гц, q=3; б - 1 -  $i_{cp} = 1 \text{ А/дм}^2$ ; 2 -  $i_{cp} = 1,5 \text{ А/дм}^2$ ; 3 -  $i_{cp} = 2 \text{ А/дм}^2$ ; 100 Гц, q=2

**Рисунок 4 – Потенциодинамические поляризационные кривые в 3%-ом растворе NaCl покрытий Cu–Sn**



**Рисунок 5 – Влияние частоты (а) и скважности (б) импульсного тока на коррозионную стойкость сплава медь-олово,  $i_{cp} = 1,5 \text{ А/дм}^2$ . Ток коррозии на постоянном токе равен  $8,66 \times 10^{-7} \text{ мА/см}^2$**

В ходе проведенных исследований установлено, что импульсный электролиз сплава медь-олово позволяет расширить рабочий интервал плотностей тока для получения покрытий заданного состава и с высокими защитно-декоративными свойствами.

Е.С. Соболева,  
А.А. Павлов,  
Д.О. Губанова

Ярославский государственный технический университет, Ярославль

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВЫХ ПОКРЫТИЙ, ИМЕЮЩЕМ В СВОЕМ СОСТАВЕ ФТОРОПЛАСТ**

Повышение износостойкости и антифрикционных свойств деталей машин и механизмов путем нанесения электрохимических покрытий общеизвестно, и с давних пор находит широкое применение в машиностроении и приборостроении. Создание композиционных электрохимических покрытий (КЭП) является одним из актуальных направлений современной гальванотехники. Принцип получения КЭП основан на том, что вместе с металлами из электролитов-суспензий соосаждаются дисперсные частицы различных размеров и видов. Включаясь в покрытия, частицы существенно улучшают их эксплуатационные свойства (твердость, износостойкость, коррозионную устойчивость) и придают им новые качества (антифрикционные, магнитные, каталитические). Благодаря этому КЭП находят широкое применение в различных отраслях промышленности [1]. Особенно возрос интерес к фторированным полимерным материалам.

Поэтому данные исследования посвящены разработке антифрикционных никельфторопластовых покрытий, полученных из разработанных электролитов-суспензий, содержащей в качестве второй фазы полимерную составляющую, а именно, фторопластовый порошок (сополимер тетрафторэтилена, имеющей структурную формулу  $(CF_2 - CF_2 - )_n - ( - CH_2 - CH_2 - )_m$ ) Фторопласт-40 – частично фторированный полимер. Обладает рядом уникальных свойств[2]. Для нанесения никельфторопластовых покрытий готовили суспензии на основе сополимера тетрафторэтилена с этиленом, диспергированного в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) и сульфатно-хлоридного электролита никелирования Уоттса, при этом в него вносили расчетное количество фторопласта 100 г/дм<sup>3</sup>