

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АГ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

А.Г. Путайкина<sup>1</sup>, Г.К. Буркат<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт материалов», 191014, Санкт-Петербург, ул. Парадная, 8, e-mail: info@cniim.com;*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 26, e-mail: office@technolog.edu.ru*

Исследовательская работа посвящена электроосаждению покрытий с улучшенными функциональными свойствами. Изучено влияние добавок, таких как детонационные алмазы марки «ДНА-ТАН ВУЛЬ 3» и добавки, содержащей ионы соли сурьмы на качество осадков, получаемых из дицианаргентатнороданистого электролита серебрения.

*Ключевые слова:* серебро, сурьма, ионы соли сурьмы, электролит серебрения, поляризационные кривые, серебряные покрытия, физико-химические свойства, физико-механические свойства, микротвёрдость, износостойкость, электропроводность, рассеивающая способность, детонационные наноалмазы (ДНА), ДНА-ТАН ВУЛЬ

Большое распространение в производстве изделий электроники получили высококачественные декоративные и функциональные покрытия на основе благородного металла — серебра. Расширение применения серебряных покрытий для электрических контактов в значительной мере связано с улучшением их механических свойств, и в первую очередь это повышение уровня твердости, износоустойчивости и снижение коэффициента трения.

Электролитические осадки серебра имеют большую твёрдость, чем полученные из расплава. Они более микрокристаллические и текстурированные. Однако с каждым годом требования к изделиям все более ужесточаются. Контакты должны обладать более высокими показателями износостойкости и микротвёрдости, при этом обладать высокой электропроводностью. Поэтому всё большее внимание привлекают электрохимические композиционные покрытия (КЭП). Они создаются при включении в

электролитический осадок инородных частиц другой фазы. На прочность покрытий существенно влияют микротрещины, являющиеся концентраторами напряжений. Включенные в покрытия дисперсные частицы являются макробарьерами на пути этих микротрещин, дефектов и дислокаций, что приводит к упрочнению материала [4].

Чаще всего при покрытии деталей в электролиты серебрения добавляют специальные добавки, улучшающие их свойства, а также регулируют параметрами процесса — плотностью тока, перемешиванием, температурой.

Для легирования целесообразно применять металлы, образующие с серебром твердые растворы и интерметаллические соединения, так как лишь в этом случае наблюдается улучшение механических свойств. Однако следует иметь в виду, что одновременно ухудшается электропроводность покрытия.

<sup>1</sup>*Путайкина Анна Германовна — ведущий инженер, e-mail: anna.germanovna@bk.ru, тел.: +7(981) 839-79-22;*

<sup>2</sup>*Буркат Галина Константиновна — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии электрохимических производств, тел.: +7(921)909-33-73, e-mail: burkat@lti-gti.ru.*



Для гальванических серебряных покрытий повышение сопротивления механическому износу важно не только потому, что оно повышает срок службы изделия, но и сокращает расход ценного металла.

Совместное электроосаждение серебра с другими менее благородными металлами сопряжено с некоторыми затруднениями, которые можно пояснить на примере сплава серебро – медь. Так как нормальный потенциал серебра положительнее на 0,4 В потенциала меди, то совместное осаждение металлов затруднено. Это является одной из причин того, что покрытия сплавами не получили широкого применения во всех отраслях техники. Однако некоторые гальванические сплавы серебра имеют уникальные свойства, что позволяет считать их перспективными.

Известен ряд электролитов, из которых осаждают сплавы серебра с высокой твердостью, износоустойчивостью, стойкостью к коррозии и потускнению. Серебряные покрытия содержащие Рb до 6 %, имеют высокую микротвердость и хорошие антифрикционные свойства, благодаря чему их используют в производстве подшипников. Сплавы серебра с Sn обладают хорошими коррозионными свойствами. Добавки кадмия или цинка придают покрытиям стойкость к потускнению [5].

В качестве контактного материала можно применять сплавы серебра с сурьмой, никелем, кобальтом, медью и палладием.

Для покрытия электрических контактов наиболее перспективным является сплав серебра с содержанием сурьмы. Износостойкость сплава при содержании сурьмы от 0,5 до 1,0 % увеличивается в 15 раз.

С увеличением содержания сурьмы в осадках электрическое сопротивление растёт почти линейно, переходное сопротивление также увеличивается практически в 4 раза по сравнению с чистым серебром. Также не рекомендуется увеличение сурьмы более 3 %, так как увеличивается хрупкость покрытий. По коррозионной стойкости сплавы серебра с сурьмой не обладают никакими преимуществами по сравнению с

чистым серебром [3].

Большой интерес представляют внутренние напряжения, возникающие в покрытии в процессе электрокристаллизации. Было установлено, что при содержании сурьмы в покрытии 0,5% происходит изменение внутренних напряжений от растягивающих к сжимающим. При наличии внутренних напряжений сжатия возрастает прочность сцепления покрытия с основным металлом, что весьма важно, особенно для контактов, работающих в условиях трения. Большая стабильность механических свойств сплава «серебро–сурьма» связана с образованием сплавов, имеющих структуру твердого раствора. Даже при длительном старении, несмотря на возможный рост зерна и снятие напряжений, микротвёрдость такого сплава не уменьшается до микротвёрдости чистого серебра [2].

Также сейчас является актуальным использование детонационных наноалмазов (ДНА). ДНА отвечают всем необходимым условиям для композиционного наполнителя условиям. Из всех разновидностей алмазов гидрофильными свойствами обладают только наноалмазы НА, и обусловлены они наличием кислородосодержащих групп на их поверхности [5].

Частицы НА, являясь мощным адсорбентом и соосаждаясь с металлом, адсорбируют осаждаемые примеси на себя. При этом металлический осадок, находящийся между НА, становится более чистым и меньше подвержен коррозии.

Очищенные твердые НА представляют собой кластерный углеродный наноматериал, состоящий из агрегатов частиц округлой или неправильной формы со средним диаметром частиц 5 нм [7]. Частицы НА имеют сложную структуру: классическое алмазное ядро, диаметром около 4 нм, а также углеродную рентгеноаморфную оболочку толщиной 4 – 10 нм. Оболочка состоит из  $sp^2$  – гибридованных атомов углерода. На поверхности она является неоднородной, содержит различные включения, в основном кислородсодержащие функциональные группы. Причем эти неалмазные компоненты являются органическими

составляющими НА, которые определяют их специфические свойства.

Чаще всего готовый продукт НА поставляется в виде водной суспензии различного процентного содержания. Но в суспензии частицы образуют агломераты размерами 350 – 400 нм. Исследования на износостойкость показали, что самая высокая убыль массы при истирании образцов наблюдается на образцах с серебряным покрытием, полученным в электролите без ДНА.

Алмазы ДНА ТАН отличаются от ДНА дополнительными методами очистки. Электролиты, содержащие ДНА-ТАН обладают высокой стабильностью, обусловленной малыми размерами частиц наноалмаза, их химической стойкостью и, особенно, гидрофильными свойствами поверхности.

При введении ДНА-ТАН в электрохимические покрытия существенно повышаются их микротвёрдость, износостойкость, коррозионная стойкость, улучшается внешний вид, уменьшается пористость, существенно снижается коэффициент трения, повышается рассеивающая способность электролитов. Основной причиной этого является уменьшение размеров доменов покрытия. Поскольку первичные агрегаты частиц ДНА-ТАН очень малы (10 – 40 нм), то достаточно плотное и равномерное распределение их в покрытии достигается при очень малом содержании ДНА-ТАН – десятые доли процента.

К таким же добавкам относится и ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3. Она отличается дополнительной обработкой ультразвуком, приводящей к измельчению частиц. Это в свою очередь, приводит к стабилизации суспензии наноалмазной добавки.

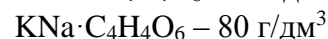
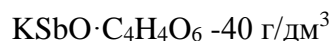
### Материалы и методы

В данной статье приведены результаты исследований процесса серебрения в дицианаргентатно-роданистом электролите с применением функциональных добавок для получения износостойких покрытий.

Экспериментальные исследования проводили с введением в электролит:

- легирующей добавки – соль сурьмы

состава:



- ДНА-ТАН марки Вуль 3

- наноуглеродной добавки Sb-ДНА (ДНА-ТАН марки Вуль 3)

Для оценки влияния функциональных добавок на свойства электролита и серебряного покрытия проведены следующие исследования:

1. Анализ электролита на содержание серебра

2. Снятие поляризационных кривых

3. Измерение выходов по току

4. Измерение электропроводности электролита.

Для исследования удельной электрической проводимости использовался прибор S975 SevenExcellence для измерения pH/мВ, электропроводности, концентрации ионов и растворенного кислорода. Материал измерительного электрода – стеклоуглерод. Константа ячейки составляет –  $0,521 \text{ см}^{-1}$ .

5. Оценка рассеивающей способности электролита

6. Измерение микротвёрдости

7. Определение износостойкости

### Результаты влияния наноалмазных добавок на физико-химические свойства электролита серебрения

Для улучшения физико-механических свойств покрытия в электролит вводили детонационные наноалмазы обработанные дважды ультразвуком ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 и добавку, содержащую ионы сурьмы состава: калий сурьмяновиннокислый –  $40 \text{ г/дм}^3$  и сегнетову соль  $80 \text{ г/дм}^3$ .

Влияние указанных выше добавок на механизм и кинетику электродных процессов изучали методом снятия потенциостатических поляризационных кривых. При электролизе раствора состава: серебро (по металлу) –  $25 \text{ г/дм}^3$ , роданид калия –  $150 \text{ г/дм}^3$ , карбонат калия –  $20 \text{ г/дм}^3$  концентрацию добавок изменяли в интервале от 0 до  $1 \text{ г/дм}^3$ , а также применили их совместное использование.



Покрyтия даже при минимальном содержании серебра имеют серебряно-белую матовую поверхность, при чем покрyтия, полученные при более высоких плотностях тока отличались особым белым матовым покрyтием.

Таблица 1 – Влияние добавки ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 на катодный выход по току, %

С <sub>ДНА вуль 3</sub> , г/дм <sup>3</sup>	Плотность тока $i_k$ , А/дм <sup>2</sup>		
	0,5	1,0	1,2
0	100	99,7	98,4
0,2	99,9	90,0	98,2
0,5	99,6	98,5	96,0
1,0	97,7	97,0	95,0

Содержание ионов сурьмы практически никак не влияет на катодный выход по току. В таблице 2 указано, что при малых концентрациях ионов сурьмы в электролите выход по току практически равен выходу по току в чистом электролите.

Таблица 2 – Влияние добавки, содержащей сурьму (в пересчёте на металл), на катодный выход по току, %

С <sub>сб</sub> , г/дм <sup>3</sup>	Плотность тока $i_k$ , А/дм <sup>2</sup>			
	0,5	0,7	1,0	1,2
0	100	100	99,7	98,4
0,1	100	-	99,9	99,3
0,2	100	-	98,9	98,6
0,5	99,4	99,6	99,7	99,9
0,7	98,8	99,0	99,8	99,9
1,0	99,4	99,3	99,2	98,3
1,5	99,6	99,2	98,4	97,8

Покрyтия, полученные с добавлением ионов соли сурьмы имели цвет от матового серебряно-белого до блестящего. При этом при увеличении концентрации добавки уже до 0,5-0,7 г/дм<sup>3</sup>, блестящие

осадки получались при средних плотностях тока от 0,75 А/дм<sup>2</sup>, какие не получались при добавлении добавки ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3.

При совместном использовании добавок катодный выход по току практически не изменяется (таблица 3). При чем действие сурьмы оказывает положительное влияние, тогда как содержание добавки ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 понижает незначительно выход по току. Покрyтия получают полублестящими уже при средних плотностях тока, однако происходит пассивация анодов. По структуре пассивационная пленка такая же, как в электролите содержащем наноалмазы без сурьмы, но возникает после 7 – 8 зашивания образца. Обобщая полученный результат, можно сказать о том, что добавка сурьмы положительно влияет, как на катодный, так и анодный процессы.

Таблица 3 – Влияние совместного присутствия в электролите добавки сурьмы (в пересчёте на металл) и ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 на катодный выход по току, %

С <sub>сб</sub> , г/дм <sup>3</sup>	С <sub>ДНА вуль 3</sub> , г/дм <sup>3</sup>	Плотность тока $i_k$ , А/дм <sup>2</sup>			
		0,5	0,75	1,0	1,2
0	0	100	100	99,7	98,4
0,5	1,0	100	99,7	99,2	98,3
1,0	1,0	100	99,9	99,8	99,5

Совместное присутствие добавок, как это видно из рисунка 1 так же увеличивает площадку предельного тока. Предельный ток начинается с 1,2 А/дм<sup>2</sup>. Из предыдущих экспериментальных данных было получено, что в электролите с добавлением только сурьмы с концентрацией 0,5 г/дм<sup>3</sup>, площадка начиналась с 1,4 А/дм<sup>2</sup>, а в электролите с добавлением только ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 с той же концентрацией с 1,1 А/дм<sup>2</sup>.

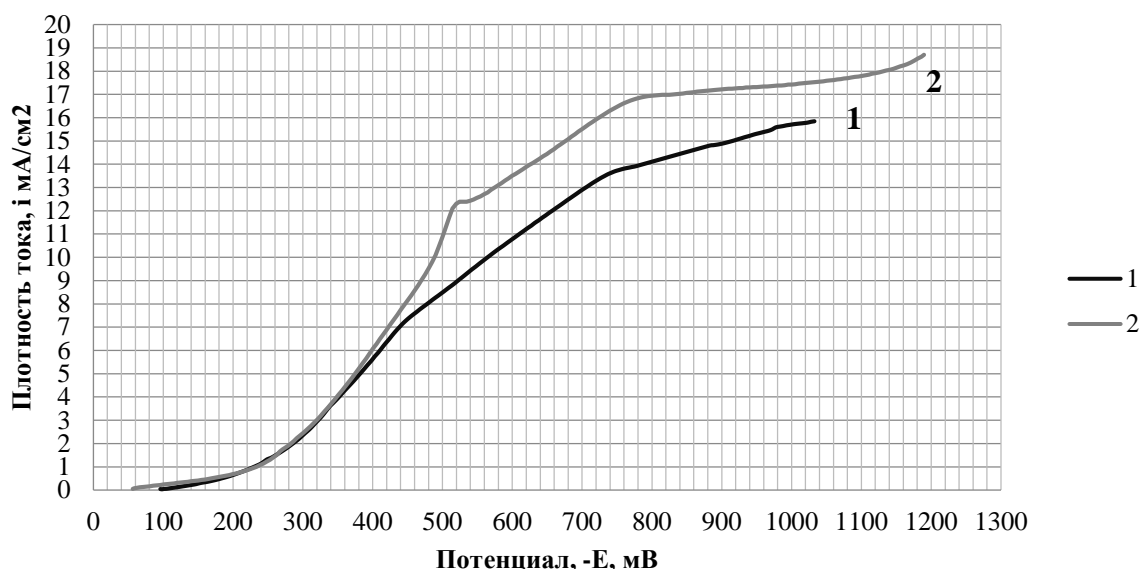


Рисунок 1 – Катодные поляризационные кривые осаждения серебра из дицианаргентатнороданистого электролита при совместном добавлении ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 и сурьмы. Концентрация добавок, г/дм<sup>3</sup>: 1 – 0; 2 – (Sb – 0,5; ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 – 0,5)

**Влияние наноалмазных добавок на физико-химические свойства электролита серебрения**

Дицианаргентатнороданистый электролит широко используется на предприятиях, где предъявляются высокие требования к рассеивающей способности электролита. В связи с этим, было проведено исследование физико-химических свойств электролита, таких как: электропроводность

электролита, рассеивающая способность.

По полученным результатам, представленным в таблице 4 видно, что при добавлении ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 и сурьмы электропроводность электролита падает, при этом с ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 снижается более резко. Это объясняется увеличением сопротивления протеканию тока, введенными добавками.

Таблица 4 – Электропроводность электролита при различных концентрациях добавок при t 25 С<sup>0</sup>,  $\chi$ , мСм/см

Электролит/ наличие добавки	С, г/дм <sup>3</sup>	Электропроводность, мСм/см
Чистый электролит	----	122,8
Добавка: Sb <sub>(мет.)</sub>	0,5	120,6
	0,7	120,2
	1,0	118,9
Добавка: ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3	0,5	118,0
	1,0	114,9
Добавки: Sb= 0,5 ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3= 0,5		118,4

На основании исследования поляризации и электропроводности растворов (таблица 4) с добавками и без них, были рассчитаны

коэффициенты электрохимического подобия, характеризующие рассеивающую способность электролитов (таблица 5).





Таблица 5- Зависимость критерия электрохимического подобия от концентрации ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 и сурьмы (в пересчёте на металл)

$C_{добавки},$ г/дм <sup>3</sup>	$\Delta E,$ мВ	$\Delta i,$ мА/см <sup>2</sup>	$\chi,$ мСм/см	$\frac{\Delta E}{\Delta i}$	$\Gamma,$ см
Без добавки	202	5	122,8	40,4	4,96
Добавка Sb(мет.)					
0,5	104	5	120,6	20,8	2,51
1,0	97	5	118,9	19,4	2,31
Добавка ДНА ВУЛЬ 3					
0,5	126	5	118,0	25,2	2,98
1,0	95	5	114,9	19	2,18
Добавка Sb(мет.) – ДНА ВУЛЬ 3					
0,5-0,5	104	5	118,4	20,8	2,46

Как видно из таблицы 5 рассеивающая способность при введении добавок также снижается. Это связано с тем, что при введении добавок ухудшается поляризуемость и электропроводность раствора. Самое высокое значение показателя критерия электрохимического подобия электролитов с добавками, показал электролит с концентрацией ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 0,5 г/дм<sup>3</sup>.

**Результаты влияния  
наноалмазных добавок на физико-механические свойства  
серебряного покрытия**

Данные измерений микротвёрдости серебряного покрытия в присутствии добавок представлены в таблице 6 и в таблице 7. Обе добавки повышают микротвёрдость

покрытия, как это видно из таблицы 7. При чем максимум микротвёрдости при средних плотностях тока приходится для ДНА ВУЛЬ 3 – 1,0 г/дм<sup>3</sup>, а для сурьмы – 0,5 г/дм<sup>3</sup>. Совместное введение добавок не увеличивает микротвёрдость в сравнении с использованием чистых добавок в отдельности. Наибольшее влияние на микротвёрдость оказывает добавка, содержащая ионы соли сурьмы, увеличивая микротвёрдость покрытия в 1,5 – 2,0 раза. Это можно объяснить включением Sb(мет.) в кристаллическую решётку серебра. Из диаграммы состояния сплавов, известно, что небольшие присадки Sb (до 5 %), образуют пересыщенные твёрдые растворы, при которых повышается микротвёрдость и другие физико-механические свойства [8].

Таблица 6 – Микротвёрдость покрытия при различных концентрациях сурьмы и ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3, МПа

Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Электролит без добавок	Микротвёрдость, МПа								
		Концентрация ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3, г/дм <sup>3</sup>			Концентрация Sb(мет.), г/дм <sup>3</sup>					
		0,2	0,5	1,0	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	1,5
0,5	960	1050	1160	1200	950	990	1130	1200	1110	1090
0,75	870	-	-	-	-	-	1120	1290	1200	1160
1,0	700	900	900	990	950	1160	1550	1400	1340	1170
1,2	660	800	990	1020	1200	1620	-	1340	1490	1340

Таблица 7 – Микротвердость покрытия при совместном влиянии добавок сурьмы и ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3, МПа

Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Электролит без добавок	Микротвёрдость, МПа	
		Концентрация ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 -Sb, г/дм <sup>3</sup>	
		1,0-0,5	1,0-1,0
0,5	960	1050	1020
0,75	870	1090	1050
1,0	700	1150	1240
1,2	660	1360	1320

### Влияние добавок на износостойкость серебряных покрытий

Повышение износостойкости покрытия при введении в электролит наноразмерных добавок являлось очень важной задачей. Известно, что серебряные покрытия обладают низкой износостойкостью, а в связи с тем, что серебро – драгоценный металл, часто его толщина в изделиях составляет 3 мкм и меньше [1]. Полученные в ходе исследований экспериментальные данные представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Износ серебряных покрытий, полученных из дицианаргентатнороданистого электролита с наноразмерными добавками (толщина покрытия- 5 мкм, плотность тока – 1,0 А/дм<sup>2</sup>)

С <sub>добавки</sub> , г/дм <sup>3</sup>	Износ, %
Без добавок	96,4%
Добавка ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3	
0,2	90,2
0,5	56,4
1,0	55,9
Добавка Sb <sub>(мет.)</sub>	
0,2	64,9
0,5	54,9
0,7	50,9
1,0	55,9
1,5	34,2
ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3– СУРЬМА	
0,5-0,5	31,3
1,0-1,0	43,65

Наилучший результат показал образец, покрытый в электролите с совместным добавлением Sb<sub>(мет.)</sub> – 0,5 г/дм<sup>3</sup> и ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 – 0,5 г/дм<sup>3</sup>.

Увеличение концентрации сурьмы (в пересчёте на металл), позволяет резко

уменьшить износ покрытия, однако сложность проведения электролиза при повышенных концентрациях данной добавки, исключает возможность использования больших концентраций. При введении наноалмазных частиц в электролит происходит значительное уменьшение зерна покрытия, что приводит к увеличению плотности осадка, и соответственно уменьшению износа при нагрузках на истирание. В осаждаемых покрытиях повышается склонность к сопротивлению деформационному сдвигу и хрупкому разрушению, а вследствие повышенной пластичности вместе с износом провоцируется деформационное упрочнение в процессе трения.

Положительные результаты по износостойкости осадков свидетельствуют об увеличении срока службы покрытий, работающих на истирание, а также позволяют уменьшить расход серебра за счет снижения толщины покрытий.

### Заключение

1. Для получения композиционных серебряных покрытий с повышенными физико-механическими свойствами научно обоснован выбор нетоксичного дицианаргентатнороданистого электролита, содержащего наноалмазную добавку ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3, а также добавку, содержащую ионы сурьмы.

2. Сняты поляризационные кривые в чистом электролите, а также с введением добавок. Определено, что введение исследуемых добавок уменьшает поляризацию и существенно облегчает разряд серебра, увеличивая площадку предельного тока. Наилучшие



результаты были получены в электролите имеющих концентрацию добавки сурьмы 0,5-1,0 г/дм<sup>3</sup>.

3 Установлено, что введение добавок ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 и добавки соли сурьмы с данными концентрациями не оказывает большого влияния на катодный выход по току.

4. В результате измерения физико-химических свойств электролитов установлено:

- присутствие добавки ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 и добавки, содержащей ионы соли сурьмы несколько понижает электропроводность раствора с увеличением концентрации добавки.

- рассеивающая способность электролитов падает в 1,5 раза. Наименьшее влияние на рассеивающую способность оказала добавка ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 при концентрации в электролите 0,5 г/дм<sup>3</sup>.

5. В результате измерения физико – механических свойств композиционных покрытий установлено:

- при введении в электролит добавок износостойкость увеличивается практически в 2 раза с добавкой ДНА ВУЛЬ 3, 2,8 раза при добавлении соли, содержащей ионы сурьмы и в 3 раза при совместном добавлении ДНА ВУЛЬ 3 с концентрацией 0,5 г/дм<sup>3</sup>, и сурьмы (в пересчете на металл) с концентрацией также 0,5 г/дм<sup>3</sup>.

- наилучшие результаты по микротвёрдости показала добавка сурьмы (в пересчете на металл) с концентрацией от 0,5 г/дм<sup>3</sup>, увеличивая её в 1,5 -2,3 раза.

6. В результате комплекса исследований электролита с применением функциональных добавок и полученных серебряных покрытий для практического применения при изготовлении электрических контактов рекомендуется электролит следующего состава:

Ag мет. – 25 г/дм<sup>3</sup>; K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 20 г/дм<sup>3</sup>; KCNS – 150 г/дм<sup>3</sup>; ДНА-ТАН марки ВУЛЬ 3 – 0,5 г/дм<sup>3</sup>, добавка сурьмы 0,5 г/дм<sup>3</sup> при рабочей плотности тока 0,75-1,0 А/дм<sup>2</sup>, t= 25 С<sup>0</sup> с постоянным перемешиванием [9].

### Литература

1. Сафронова, И.В. Электроосаждение серебра в присутствии модифицированных детонационных наноалмазных материалов: автореф. Дис. Канд.хим. наук: 05.17.03/ Сафронова Ирина Викторовна- Спб., 2016.-110 с.
2. Электрические прямоугольные соединители. Электролитическое получение серебряных и золотых покрытий повышенной твердости и износостойчивости.:отче о НИР: 54-59/ Технологии электронной промышленности; исполн. Сафонов Л.В. – Спб., 2007, с. 54-59, № 7.
3. Вячеславов, П.М. Гальванотехника благородных и редких металлов./ П.М. Вячеславов, С. Я. Грихлес, Г.К. Буркат, Е.Г. Круглова –Л.: Машиностроение, 1970.- 248с.
4. Сайфуллин, Р.С. Неорганические композиционные материалы / Р.С.Сайфуллин – М.: Химия, 1983. – 304 с.
5. Богеншюти, А.Ф. Электролитическое покрытие сплавами. Методы анализа. А.Ф. Богеншюти, У. Георге - М.:Металлургия 1980., 187 с.
6. Долматов, В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение./ В.Ю. Долматов. – СПб.: изд – во СПбГПУ – 2003. – 344 с.
7. Долматов, В.Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение./ В.Ю. Долматов.- СПб.: НПО «Профессионал», 2011.- 536 с.
8. Хансен, М. Структура двойных сплавов. Том 1./ М. Хансен, К.Андерко.- М.: Metallurgizdat, 1962. — 608 с.
9. Путайкина А.Г. Электроосаждение твёрдого серебра с нанодисперсными добавками : ВКР/Путайкина Анна Германовна- Спб., 2017 г., 52 с.