

УДК 621.357.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ХРОМИРОВАНИЯ И НИКЕЛИРОВАНИЯ

© 2014 Р. К. Салахова, В. В. Семенычев, А. Б. Тихообразов

Ульяновский научно-технологический центр  
Всероссийского института авиационных материалов (УНТЦ ВИАМ)

Представлены результаты измерений удельной электропроводности (УЭП) электролитов хромирования и никелирования с помощью бесконтактного кондуктометра типа КРАБ-Д № 064 в температурных интервалах, соответствующих рабочим диапазонам электрохимических процессов осаждения покрытий. Показана принципиальная схема установки для измерений УЭП электролитов. В качестве объектов исследования выбраны электролиты на основе соединений хрома различной валентности ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ) и стандартный электролит никелирования (электролит Уотса). Исследована зависимость УЭП электролитов от их температуры, дана сравнительная оценка влияния температурного фактора на величину электропроводности различных электролитов хромирования.

Изучено влияние добавок наноразмерных частиц оксида алюминия и карбида кремния дисперсностью 40-100 нм и удельной поверхностью 23-32 м<sup>2</sup>/г на величину электропроводности оксалатно-сульфатного электролита хромирования при заданных значениях температуры. Исследованием наносuspензий установлено, что добавка в электролиты наноразмерных частиц различной природы концентрацией 5-10 г/л не оказывает существенного влияния на величину УЭП.

Для оценки взаимосвязи электропроводности электролитов с технологическими параметрами процесса электроосаждения хромовых и никелевых покрытий была проведена количественная оценка выхода по току хрома и никеля и представлены гистограммы, показывающие соотношение величин электропроводности электролита и выхода металла по току. Установлено, что электропроводность электролитов и выход металла по току являются независимыми друг от друга параметрами.

*Удельная электропроводность, кондуктометр, электролит хромирования, электролит никелирования, выход по току, наноразмерные частицы.*

### Введение

Защитные и функциональные гальванические покрытия являются наиболее распространёнными в машиностроении и нашли массовое применение в различных отраслях промышленности. Вместе с этим постоянно растут и требования, предъявляемые к вновь разрабатываемым покрытиям по их пористости, износостойкости, коррозионной стойкости и по экологической безопасности процессов их осаждения [1]. В связи с этим интенсивно разрабатываются новые технологические процессы осаждения покрытий, обладающих необходимыми свойствами [2].

Одной из важнейших физико-химических характеристик электролитов является их электропроводность. Несмотря на значительное количество работ, по-

свящённых изучению природы электропроводности электролитов, до сих пор окончательно не выяснены и не объяснены важнейшие экспериментально наблюдаемые закономерности изменения электропроводности электролитов в зависимости от температуры, природы растворителя и концентрации компонентов. Изучение зависимостей электропроводности от температуры и состава раствора позволяет получить данные, которые делают возможным рациональный выбор электролитов, конструкции электролизёров и источников питания [3]. Имеющиеся в литературе данные по исследованию электропроводности посвящены в основном сравнительно разбавленным системам [4–6]. В случае изучения концентрированных систем, к которым относятся исследуемые электролиты хромирования и никелиро-

вания, необходимо учитывать процессы комплексообразования и структурные перестройки в растворах, как это делается для органических сред. Несмотря на ряд попыток ввести дополнения и поправки на учёт активности ионов и ионных ассоциатов, вопрос об интерпретации свойств и особенностях строения концентрированных водных растворов сильных электролитов остаётся до сих пор открытым.

В качестве количественной меры способности раствора электролита проводить электрический ток обычно используют удельную электропроводность – величину, обратную удельному сопротивлению. Известно, что величина удельной электропроводности электролита зависит от целого ряда факторов: природы электролита, температуры, концентрации раствора [7, 8]. В данной работе рассматривается взаимосвязь (корреляция) между удельной электропроводностью (УЭП) электролитов хромирования и никелирования и выходом металла по току, а также оценивается влияние вводимых в электролиты наноразмерных частиц на величину УЭП. Исследования электропроводности электролитов-суспензий с добавками наночастиц представляет особый интерес, так как являются частью исследований в рамках существующего в УНТЦ ВИАМ научного направления «кластерная галь-

ваника», объектами исследований которого являются процессы электроосаждения покрытий в электролитах, содержащих наноразмерные частицы [9, 10].

### Методическая часть

Измерения удельной электропроводности (УЭП) электролитов проводили с помощью кондуктометра радиочастотного бесконтактного типа КРАБ-Д № 0647. Погрешность показаний прибора, проверенная на стандартном растворе хлористого калия в соответствии с ГОСТ 22171, составила 6 %. Исследуемый температурный интервал электролитов был выбран исходя из рабочих диапазонов электрохимических процессов осаждения покрытий, а за величину УЭП принимали среднее значение измеренной УЭП, полученной в режиме нагрев-охлаждение. Составы исследуемых электролитов представлены в табл. 1. В качестве объектов исследования были использованы электролиты хромирования на основе соединений  $\text{Cr}^{6+}$ : стандартный – I, саморегулирующийся концентрированный – II, саморегулирующийся разбавленный – III; на основе соединений  $\text{Cr}^{3+}$  (оксалатно-сульфатный) – IV; стандартный электролит никелирования (электролит Уотса) – V по ГОСТ 9.305.

Таблица. 1. Составы электролитов

| №/№ | Состав электролита                                      | Концентрация, г/л |           |           |           |           |
|-----|---|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     |   | I                 | II        | III       | IV        | V         |
| 1   | $\text{CrO}_3$  | 230 – 270         | 230 – 270 | 140 – 170 | -         | -         |
| 2   | $\text{H}_2\text{SO}_4$                                 | 23 – 27           | -         | -         | -         | -         |
| 3   | $\text{K}_2\text{SiF}_6$                                | -                 | 18 – 22   | -         | -         | -         |
| 4   | $\text{Sr}_2\text{SO}_4$                                | -                 | 3-5       | 3 – 5     | -         | -         |
| 5   | $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$                            | -                 | -         | -         | 200 – 250 | -         |
| 6   | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ | -                 | -         | -         | 90 – 120  | -         |
| 7   | $\text{Na}_2\text{SO}_4$                                | -                 | -         | -         | 120 – 140 | -         |
| 8   | $\text{NaF}$  | -                 | -         | -         | 20 – 30   | -         |
| 9   | $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$                       | -                 | -         | -         | 20 – 30   | -         |
| 10  | $\text{NiSO}_4$   | -                 | -         | -         | -         | 280 – 330 |
| 11  | $\text{NiCl}_2$   | -                 | -         | -         | -         | 35 – 50   |
| 12  | $\text{H}_3\text{BO}_3$                                 | -                 | -         | -         | -         | 25 – 35   |
| 13  | Температура, °C   | 43 – 65           | 43 – 65   | 43 – 65   | 30 – 51   | 18 – 45   |

Выход металла (хрома, никеля) по току, т.е. отношение фактически осаждённого определённым количеством электричества металла к его теоретическому эквиваленту (отнесённому к тому же количеству электричества), выраженное в процентах, определяли по уравнению [11,12]:

$$\eta = 6000(b - a)/\mathcal{E}_{Me}IT,$$

где  $\eta$  – выход по току, %;  $I$  – сила тока, А;  $T$  – продолжительность электролиза, мин.;

$a$  – масса электрода до покрытия, г;  $b$  – масса электрода после покрытия, г;  $\mathcal{E}_{Me}$  – электрохимический эквивалент металла.

В качестве электрода для оценки величины выхода по току использовали стальной шарик диаметром 19 мм (площадь поверхности равна 0,1 дм<sup>2</sup>).

Была исследована электропроводность оксалатно-сульфатного электролита хромирования с добавками наноразмерных частиц оксида алюминия и карбида кремния. Характеристики используемых наночастиц представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики наноразмерных частиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiC

| Вид нанопорошка                | Форма частиц           | Размер частиц, нм | Среднее значение дисперсности, нм | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г | Хим. состав основных веществ, % |
|--------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | сферическая            | 5 – 100           | 40                                | 32                                      | > 99                            |
| SiC                            | кубическая, осколочная | 50 – 250          | 100                               | 23                                      | > 99                            |

Таблица 3. Результаты измерений УЭП

| № электролита / Температура, °С | I     | II    | III  | IV   | V   |
|---------------------------------|-------|-------|------|------|-----|
| 31                              | -     | -     | -    | 6,1  | 5,6 |
| 33                              | -     | -     | -    | 6,35 | 5,8 |
| 35                              | -     | -     | -    | 6,65 | 6,1 |
| 37                              | -     | -     | -    | 6,95 | 6,3 |
| 39                              | -     | -     | -    | 7,3  | 6,5 |
| 41                              | -     | -     | -    | 7,55 | 6,8 |
| 43                              | 55,5  | 52,6  | 42,9 | 7,85 | 7,0 |
| 45                              | 56,35 | 53,25 | 43,7 | 8,2  | 7,2 |
| 47                              | 57,15 | 53,95 | 44,4 | 8,5  | 7,5 |
| 49                              | 57,9  | 54,8  | 45,0 | 8,9  | 7,7 |
| 51                              | 58,6  | 55,55 | 45,6 | 9,25 | 7,9 |
| 53                              | 59,4  | 56,3  | 46,1 | -    | -   |
| 55                              | 60,1  | 57,05 | 46,7 | -    | -   |
| 57                              | 60,8  | 57,7  | 47,3 | -    | -   |
| 59                              | 61,5  | 58,4  | 47,8 | -    | -   |
| 61                              | 62,2  | 59,1  | 48,3 | -    | -   |
| 63                              | 62,65 | 59,7  | 48,8 | -    | -   |
| 65                              | 63,2  | 60,3  | 49,2 | -    | -   |

## Результаты и их обсуждение

В табл. 3 представлены результаты измерений УЭП исследуемых электролитов в температурном диапазоне, соответствующем оптимальным значениям температуры в процессе электроосаждения покрытий. Графическая интерпретация зависимости УЭП электролитов от температуры растворов показана на рис. 1, 2. Видно, что электролиты на основе хромовой кислоты (I – III) имеют самую высокую удельную электропроводность, которая почти на порядок выше значений УЭП оксалатно-сульфатного электролита хромирования и стандартного электролита

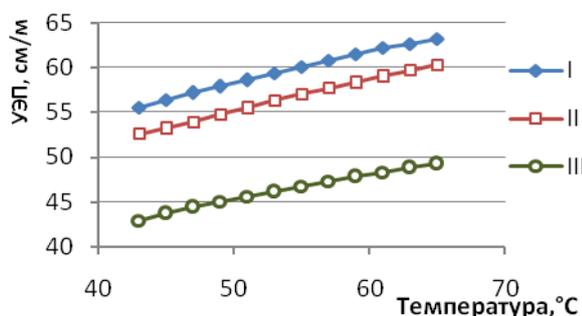


Рис. 1. УЭП электролитов хромирования на основе  $Cr^{6+}$

никелирования. Исходя из этого, можно утверждать, что «шестивалентные» электролиты хромирования являются более сильными электролитами, чем электролиты IV и V. Для всех видов электролитов характерно увеличение электропроводности с повышением температуры, что согласуется с теоретическими основами электрохимии и данными, приведёнными в [13–16]. Однако стоит отметить, что температурный фактор оказывает меньшее влияние на электролиты хромирования на основе соединений  $Cr^{6+}$  (увеличение УЭП на 15 %), чем на остальные электролиты (увеличение УЭП на 40–50 %).

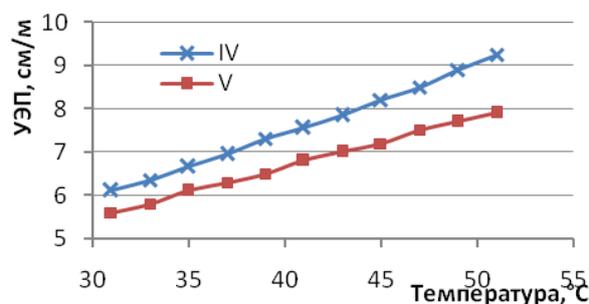
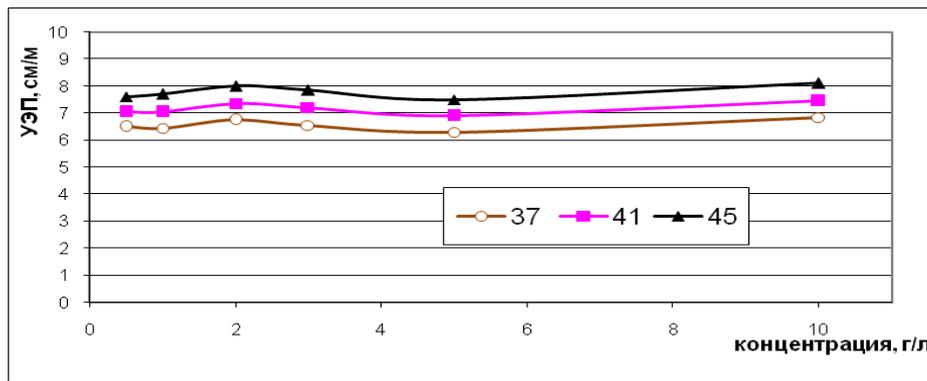


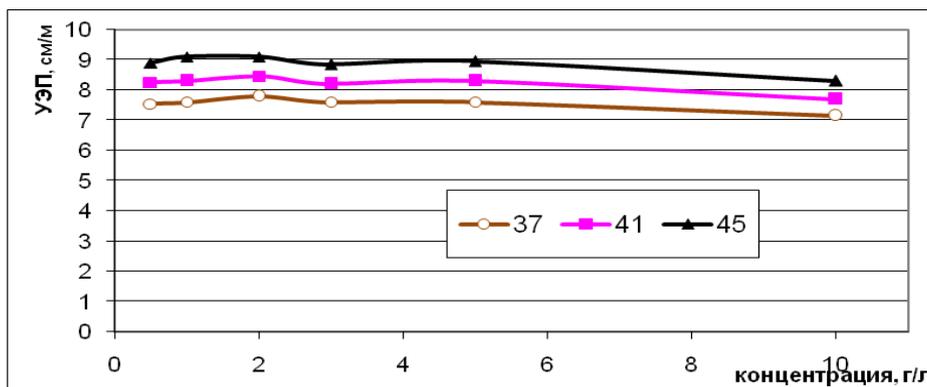
Рис. 2. УЭП оксалатно-сульфатного электролита (IV) и электролита Уотса (V)

Если вопрос о зависимости электропроводности электролитов от их температуры и концентрации изучен достаточно хорошо, то публикаций об исследовании электропроводности электролитов-суспензий практически не встречается. В связи с этим особый интерес представляет получение экспериментальных данных о зависимости электропроводности электролитов от концентрации вводимых в них наноразмерных частиц различной природы. В качестве добавок использовали наночастицы  $Al_2O_3$ , которые являются диэлектриками, и наночастицы SiC, относящиеся к полупроводникам. Измерение электропроводности проводили при температурах 37°C, 41°C, 45°C, соответствующих рабочему температурному диапазо-

ну процесса «трёхвалентного» хромирования. Установлено, что добавка в электролиты наноразмерных частиц концентрацией 5–10 г/л не оказывает существенного влияния на величину УЭП, что показано на примере исследования наносuspензии оксалатно-сульфатного электролита хромирования (рис. 3). Это свидетельствует о том, что наночастицы не оказывают влияния на степень диссоциации электролита и подвижность ионов в растворе и их функциональная роль, как было доказано исследованиями [17–20], сводится в основном к адсорбции на своей поверхности ионов покрываемого металла и доставке образовавшихся кластеров в прикатодное пространство.



а



б

Рис. 3. УЭП электролита хромирования IV при температурах 37°C, 41°C, 45°C: а – с добавками наночастиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; б – с добавками наночастиц SiC

На рис. 4 представлена гистограмма, демонстрирующая соотношение величин электропроводности электролита и выхода металла по току. Как видно из рис. 4, электропроводность электролита и выход по току не коррелируют между собой, т.е. являются независимыми друг от друга параметрами. Полученные результаты сви-

детельствуют о том, что стадия массопереноса реагирующих веществ не является лимитирующей стадией электроосаждения хромовых и никелевых покрытий, а выход металла по току определяется в основном величиной перенапряжения выделения водорода, которая, по-видимому, не связана с УЭП электролитов.

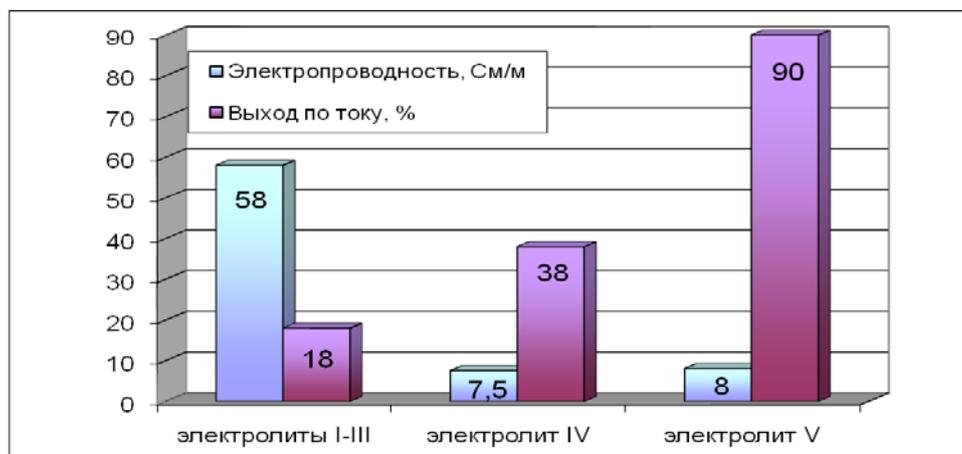


Рис. 4. Соотношение величин электропроводности электролита и выхода металла по току

### Заключение

С повышением температуры удельная электропроводность стандартного и саморегулирующегося электролитов хромирования увеличивается на 15 %, оксалатно-сульфатного электролита хромирования и стандартного электролита никелирования – на 40–50 %.

Содержание в электролитах хромирования и никелирования наноразмерных частиц  $Al_2O_3$  и SiC в рабочем диапазоне концентраций 5–10 г/л не оказывает существенного влияния на величину УЭП.

Не установлена корреляция между электропроводностью исследуемых электролитов и выходом металла по току.

### Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 5. С. 7-17.
2. Семенычев В.В., Салахова Р.К., Тюриков Е.В., Ильин В.А. Защитные и функциональные гальванические покрытия, получаемые с применением наноразмерных частиц // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 5. С. 335-342.
3. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1969. 510 с.
4. Щербаков В.В., Артемкина Ю.М., Понамарева Т.Н., Кириллов А.Д. Электропроводность системы аммиак-вода // *Журнал неорганической химии*. 2009. Т. 54, № 2. С. 321-323.
5. Щербаков В.В., Артемкина Ю.М., Плешкова Н.В., Седдон К.Р. Электрическая проводимость растворов некоторых ионных жидкостей в ацетонитриле // *Химическая промышленность сегодня*. 2011. № 12. С. 36-41.
6. Артемкина Ю.М. Закономерности в электропроводности некоторых растворов ассоциированных электролитов в воде и в ацетонитриле: Автореф. дис. канд. хим. наук. М., 2008. С. 16.
7. Артёмкина Ю.М., Ворошилова Ю.В., Плешкова Н.В. и др. Ассоциация некоторых ионных жидкостей в ацетонитриле по данным кондуктометрических измерений // *Успехи в химии и химической технологии*. 2008. Т. 22, № 3. С. 11-16.
8. Артёмкина Ю.М., Плешкова Н.В., Седдон К.Р., Щербаков В.В. Электропроводность некоторых ионных жидкостей // *Физико-химические свойства растворов и неорганических веществ: сб. научных трудов*. Вып. 182. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2008. С. 139-144.
9. Ильин В.А. Нанотехнологии нанесения кластерных гальванических покрытий // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. № 2. С. 3-6.
10. Налётов Б.П. Кластерная гальваника – нанотехнология электрохимических коллоидных систем // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. № 1. С. 27-32.
11. Вячеславов П.М., Шмелёв Н.М. Контроль электролитов и покрытий. Л: Машиностроение, 1985. 96 с.
12. Нагаев В.В. Исследование электролитов никелирования, содержащих нанопорошки // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. № 1. С. 18-19.
13. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
14. Бардышев И.И., Ляхов Б.Ф., Полукаров Ю.М., Котенев В.А., Цивадзе А.Ю. Влияние абсорбции водорода на атомно-электронную структуру РДН по данным аннигиляции позитронов // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2011. Т. 47, № 5. С. 550-553.
15. Петухов И.В., Медведева Н.А., Шестакова А.А. О временной зависимости скорости коррозии Ni-P-покрытий в сульфатных средах // *Коррозия: материалы, защита*. 2013. № 5. С. 28-34.

16. Кузнецов Ю.И. Прогресс в ингибировании коррозии металлов и модификация нанослоёв на металлах // Коррозия: материалы, защита. 2011. № 1. С. 1-10.

17. Тюриков Е.В., Семёнычев В.В., Ильин В.А. О роли наноразмерных частиц оксида алюминия в саморегулирующемся электролите хромирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т.14, № 4 (3). С. 802-807.

18. Тюриков Е.В. Исследование служебных свойств покрытий, полученных в саморегулирующемся электролите хромирования, содержащем нанопорошок

оксида алюминия с размером частиц 5-50 нм // Авиационные материалы и технологии. 2009. № 1. С. 13-17.

19. Салахова Р.К. Хромирование в электролите, содержащем соли трёхвалентного хрома и нанопорошок оксида алюминия // Авиационные материалы и технологии. 2009. № 2. С. 19-24.

20. Салахова Р.К., Жирнов А.Д., Ильин В.А. Свойства и структура трёхвалентных хромовых покрытий, сформированных в присутствии наноразмерных частиц оксидов металлов // Коррозия: материалы, защита. 2009. № 10. С. 140-141.

### Информация об авторах

**Салахова Розалия Кабировна**, кандидат технических наук, начальник лаборатории, Ульяновский научно-технологический центр Всероссийского института авиационных материалов. E-mail: [salahovark@viam.ru](mailto:salahovark@viam.ru). Область научных интересов: электрохимия, коррозия и защита металлов, электроосаждение гальванических покрытий.

**Семёнычев Валентин Владимирович**, кандидат технических наук, главный научный сотрудник лаборатории, Ульяновский научно-технологический центр

Всероссийского института авиационных материалов. E-mail: [untcviam@viam.ru](mailto:untcviam@viam.ru). Область научных интересов: конструкционные сплавы, коррозионная стойкость, защитные и функциональные покрытия, свойства сплавов.

**Тихообразов Андрей Борисович**, ведущий инженер-технолог, Ульяновский научно-технологический центр Всероссийского института авиационных материалов. E-mail: [untcviam@viam.ru](mailto:untcviam@viam.ru). Область научных интересов: кластерные гальванические покрытия, нанотехнологии.

## SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF CHROMIUM PLATING AND NICKEL PLATING ELECTROLYTES

© 2014 R. K. Salakhova, V. V. Semenychev, A. B. Tihobrazov

Ulyanovsk Science and Technology Center  
of the All-Russian Institute of Aviation Materials USTC AIAM, Russian Federation

The paper presents the results of measuring specific electrical conductivity (SEC) of chromium and nickel plating electrolytes with the help of a non-contacting conductivity meter of the CRAB-d 064 type in temperature intervals corresponding to the working ranges of electrochemical deposition processes. A schematic diagram of the apparatus for the measurement of electrolyte SEC is presented. Electrolytes based on chromium compounds of varying degrees of valence ( $\text{Cr}^{3+}$   $\text{Cr}^{6+}$ ) and a standard nickel electrolyte (Watts electrolyte) were chosen as the objects of study. The dependence of the SEC of electrolytes on their temperature is analyzed, a comparative assessment of the impact of temperature on the electrical conductivity of various chroming electrolytes is given.

The influence of addition of nanoparticles of aluminum oxide and silicon carbide with the dispersion of 40-100 nm and a specific surface area of 23-32  $\text{m}^2/\text{g}$  on the amount of electrical conductivity of an oxalate-sulfate electrolyte for chromium plating at a specified temperature is investigated. The study of nanosuspensions showed that the addition of nanoparticles of different nature with the concentration of 5-10 g/l to an electrolyte has no significant effect on the value of SEC.

To evaluate the relationship between the electrolyte conductivity and process parameters of electrodeposition of chromium and nickel coatings a qualitative assessment of chromium and nickel current output was performed and bar graphs showing the ratio of the values of the electrolyte electrical conductivity and the metal current output are presented. It has been established that the electrical conductivity of electrolytes and the metal current output are parameters that do not depend on each other.

*Electrical conductivity, conductivity meter, chromium electrolyte, nickel electrolyte, current output, nano particles.*

## References

1. Kablov E.N. Strategic directions for the development of materials and technologies to process them for the period up to the year 2030 // Aviation materials and technologies. 2012. No. S. P. 7-17. (In Russ.)
2. Semenychev V.V., Salakhova R.K., Tyurikov E.V., Ilyin V.A. Protective and functional galvanic coatings, obtained with the use of nano-sized particles // Aviation materials and technologies. 2012. No. S. P. 335-342. (In Russ.)
3. Antropov L.I. Teoreticheskaya elektrokimiya [Theoretical electrochemistry]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1969. 510 p.
4. Shcherbakov V.V., Artemkina Yu.M., Ponomaryova T.N., Kirilov A.D. Electrical conductivity of the ammonia-water system // Russian journal of inorganic chemistry. 2009. V. 54, no. 2. P. 277-279.
5. Shcherbakov V.V., Artemkina Yu.M., Pleshkova N.V., Seddon K.R. Electrical conductivity of solutions of some ionic liquids in acetonitrile // Chemical industry today. 2011. No. 12. P. 36-41. (In Russ.)
6. Artemkina Yu.M. Zakonomernosti v elektroprovodnosti nekotorykh rastvorov assotsirovannykh elektrolitov v vode i v atsetonitrile: Avtoref. dis. kand. khim. nauk. [Consistent patterns of electrical conductivity of certain solutions of associated electrolytes in water and acetonitrile. Author's abstract of the Candidate's dissertation in chemistry]. Moscow, 2008. P. 16.
7. Artemkina Yu.M., Voroshilova Yu.V., Pleshkova N.V. Association of some ionic liquids in acetonitrile according to the data of conductometer measurements // Advances in chemistry and chemical technology. 2008. V. 22, no. 3. P. 11-16. (In Russ.)
8. Artemkina Yu.M., Pleshkova N.V., Seddon K.R., Shcherbakov V.V. Electrical conductivity of some ionic liquids // Cbornik nauchnykh trudov «Fiziko-khimicheskie svoystva rastvorov i neorganicheskikh veshchestv». Iss. 182. Moscow: RCTU them. D.I. Mendeleev Publ., 2008. P. 139-144. (In Russ.)
9. Ilyin V.A. Nanotechnology application cluster of galvanic coatings // Aviation materials and technologies. 2009. No. 2. P. 3-6. (In Russ.)
10. Nalyotov B.P. Cluster electroplating-nanotechnology electrochemical colloidal systems // Aviation materials and technologies. 2009. No. 1. P. 27-32. (In Russ.)
11. Vyacheslavov P.M., Shmelyov N.M. Kontrol' elektrolitov i pokrytiy [Control of electrolytes and coatings]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1985. 96 p.
12. Nagayev V.V. Research of nickel nanopowders containing electrolytes // Aviation materials and technologies. 2009. No. 1. P. 18-19. (In Russ.)
13. Bagocky V.S. Osnovy elektrokimii [Fundamentals of electrochemistry]. Moscow: Chemistry Publ., 1988. 400 p.
14. Bardyshev I.I., Lyakhov B.F., Polukarov Y.M., Kotenev V.A., Tsivadze A.Y. Effect of hydrogen absorption on atomic-electronic structure of PdH system according to positron annihilation data // Protection of metals and physical chemistry of surfaces. 2011. V. 47, no. 5. P. 680-683.
15. Petukhov I.V., Medvedeva I.V., Shestakova A.A. Time dependence of Ni-P coating corrosion rate in sulfate media // Cor-

rosion: materials, protection. 2013. No. 5. P. 28-34. (In Russ.)

16. Kuznetsov Y.I. Advances in metal corrosion inhibition and modification of nanolayers on metals // Corrosion: materials, protection. 2011. No.1. P. 1-10. (In Russ.)

17. Tyurikov E.V., Semenychev V.V., Ilyin V.A. About the role of nanosized aluminium oxide particles in the automatically adjusting chrome plating electrolyte // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2012. V.14, no.4 (3). P. 802-807. (In Russ.)

18. Tyurikov E.V. Study of properties of coatings obtained in a self-regulating

chromium electrolyte containing aluminium oxide nanopowder particles with the size of 5-50 nm // Aviation materials and technologies. 2009. No.1. P. 13-17. (In Russ.)

19. Salakhova R.K. Chrome-plating electrolyte containing salt trivalent of chromium and aluminium oxide nanopowder // Aviation materials and technologies. 2009. No. 2. P. 19-24. (In Russ.)

20. Salakhova R.K., Zhirnov A.D., Ilyin V.A. Properties and structure of trivalent chrome plating formed in the presence of nanoscale metal oxide particles // Corrosion: materials, protection. 2009. No. 10. P. 140-141. (In Russ.)

### About the authors

**Salakhova Rozalia Kabirovna**, Candidate of Science (Engineering), Chief of laboratory, USTC AIAM. E-mail: [salahovark@viam.ru](mailto:salahovark@viam.ru). Area of Research: electrochemistry, corrosion and protection of metals against corrosion, deposition of electroplated coatings.

**Semenychev Valentin Vladimirovich**, Candidate of Science (Engineering), Chief Researcher, USTC AIAM. E-mail:

[untcviam@viam.ru](mailto:untcviam@viam.ru). Area of Research: structural alloys, corrosion resistance, protective and functional coatings, properties of alloys.

**Tihoobrazov Andrey Borisovich**, leading production engineer, USTC AIAM, Ulyanovsk, Russian Federation. E-mail: [untcviam@viam.ru](mailto:untcviam@viam.ru). Area of Research: clustered electrolyte coatings, nanotechnologies.