

# Исследование физико-механических свойств электроосаждаемого композиционного материала никель-нанокарбонитрид хрома

Л. С. Ширяева, И. В. Ноздрин, Г. В. Галевский, В. В. Руднева

---

Исследованы физико-механические свойства композиционного материала никель-нанокарбонитрид хрома, получаемого совместным электроосаждением. На основе сравнения достигаемых свойств композиционных покрытий со свойствами микропорошков установлена технологическая целесообразность применения нанокарбонитрида хрома в качестве упрочняющей фазы. Применение карбонитрида хрома способствует снижению концентрации электролита-суспензии, повышению катодной плотности тока и микротвердости покрытий.

**Ключевые слова:** нанокарбонитрид хрома, композиционные гальванические покрытия, свойства покрытий, электроосаждение.

---

## Введение

В настоящее время процессы получения электроосаждаемых композиционных материалов достаточно широко применяют в технологии создания композиционных гальванических покрытий (КГП). В технологии КГП кристаллизация металла (никеля, хрома, железа, меди и др.) осуществляется из электролитов-суспензий, содержащих в качестве добавки модификатор, представляющий собой, как правило, вещество в порошкообразном состоянии, частицы которого включаются в металлическую матрицу, формирующуюся на поверхности изделия. По данным [1] для улучшения характеристик КГП необходимо повышать уровень дисперсности упрочняющей фазы и в пределе использовать её с частицами наноразмерного уровня. Это позволяет улучшить качество гальванических осадков за счёт снижения пористости и микрошероховатости; способствует формированию матрицы с равновесной субзеренной структурой и равномерным содержанием частиц; позволяет повысить уровень физико-механических свойств покрытий в результате реализации эффекта дисперсионного упрочнения и снижения внутренних напряжений; расширяет технологические возможности процесса получения КГП из-за незначительной седиментации нанораз-

мерных частиц в электролитах-суспензиях и повышенной адсорбции ионов и других добавок. Эти обстоятельства определяют постоянное стремление специалистов, работающих в области технологии КГП, к использованию в качестве упрочняющей фазы материалов высокой дисперсности, в том числе и наноматериалов.

Цель настоящей работы — изучение физико-механических свойств электроосаждаемого композиционного материала никель-нанокарбонитрид хрома. Для сравнения также исследованы материалы с нано- (НП) и микропорошками (МП) карбида хрома.

## Методика исследования

Для модифицирования никелевой матрицы использовали НП карбонитрида хрома, обозначаемый в дальнейшем как НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ , и порошки карбида хрома  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  трех видов: НП карбида хрома, полученный отжигом в аргоне карбонитрида хрома при температуре 1273 К (НП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ); особо тонкий микропорошок карбида хрома, полученный отжигом в аргоне карбонитрида хрома при температуре 1373 К (МП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (1)); микропорошок карбида хрома  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , полученный измельчением в мельнице с твердосплавными шарами и футеровкой порошка

карбида хрома стандартной granulometрии (63 мкм) в течение 80 ч (МП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (2)).

Характеристики фазового и granulometрического составов используемых порошков приведены в табл. 1. Можно видеть, что все порошки однофазны и содержат примеси, обусловленные способами получения. НП карбонитрида хрома, синтез которого подробно описан в [2], представлен глобулярными частицами достаточно широкого размерного диапазона — от 20 до 80 нм. НП карбида хрома, синтез и эволюция дисперсности которого описана в [3], имеет удельную поверхность, в 3 раза меньшую по сравнению с НП карбонитрида и представлен частицами размером от 30 до 100 нм дендритной формы. Для особо тонкого микропорошка и микропорошка характерны размерные диапазоны 0,2–0,8 и 3–6 мкм, соответственно, с преобладанием дендритной и неправильной осколочной форм частиц.

Осаждение КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  осуществляли из слабокислого сульфатного электролита, содержащего различные добавки, состава,  $\text{кг/м}^3$ :  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 245,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 30,  $\text{NaCl}$  — 20,  $\text{NaF}$  — 6 при концентрации НП в электролите 5–10  $\text{кг/м}^3$ , значениях pH 5,0–5,5, катодной плотности 1,0  $\text{кА/м}^2$ , температуре 323 К и постоянном перемешивании электролита. При осаждении КГП Ni – МП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  концентрация МП в электролите составляла 60–80  $\text{кг/м}^3$ , катодная плотность тока — 0,7  $\text{кА/м}^2$ . Для осаждения “чистых” никелевых покрытий использовали электролит такого же состава, не содержащий дисперсной фазы. КГП всех видов осаждали на стальную основу (сталь 3).

Для определения элементного состава образцов КГП использовали метод энергодисперсионной спектроскопии на растровом электронном микроскопе JSM-6480 LV с приставкой для энергодисперсионной спектроскопии INCA. Данный метод в сочетании с растровой электронной микроскопией позволяет проводить количественный элементный анализ в интервале от бора до урана в объеме порядка

1–3 кубических мкм. Чувствительность метода составляет 0,1 ат. %, относительная погрешность измерения — 5 отн. %.

Микротвердость покрытий измеряли на микротвердомере ПМТ-3 методом статического вдавливания перпендикулярно слою покрытия индентора при нагрузке 0,49 Н на образцах толщиной 40 мкм по 5–6 измерениям диагонали отпечатка. Внутренние напряжения покрытий определяли методом деформации гибкого катода и рассчитывали по формуле

$$\sigma = \frac{E d_k a}{3 l_k^2 d_n}, \quad (1)$$

где  $E$  — модуль упругости металла катода;  $d_k$  — толщина катода;  $d_n$  — толщина покрытия;  $a$  — отклонение нижнего конца катода;  $l_k$  — длина участка катода с покрытием.

Анодами служили никелевые пластины размером 0,08 × 0,1 м, заключенные в чехлы из ткани типа “хлорин”. Выход никеля по току определяли весовым методом с помощью последовательно подключенного к электролизеру медного кулометра.

Содержание карбонитрида и карбида хрома в композиционных покрытиях определяли весовым методом после растворения покрытия в 10 %-м растворе  $\text{HNO}_3$  (ГОСТ 5744-94 с изм.). Процент включения карбонитрида и карбида в матрицу рассчитывали как отношение массы нерастворимого остатка к массе покрытия.

## Результаты

Анализ рентгеновских энергодисперсионных спектров КГП подтверждает присутствие в них Ni, O и Ni, Cr, C, O. Так, по данным рентгеновского энергодисперсионного микроанализа содержание  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  в покрытии составляет 0,87 масс.%, а по данным весового метода, то есть по величине нерастворенного осадка — 0,79–0,81 масс.%. При этом для определяемых элементов характерно

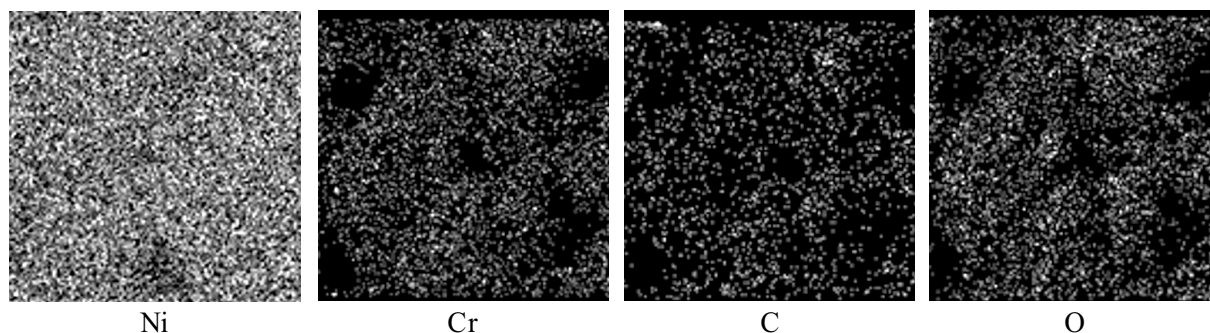


Рис. 1. Результаты микрорентгеноспектрального анализа распределения основных элементов в КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ .

Таблица 1

| Основные характеристики порошков карбонитрида и карбида хрома |  |                                   |                                       |                                       |
|---|--|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Характеристика  | НП Cr <sub>3</sub> (C <sub>0,8</sub> N <sub>0,2</sub> ) <sub>2</sub> | НП Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> | МП Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> (1) | МП Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> (2) |
| Химический состав основной фазы                               | Cr <sub>3</sub> (C <sub>0,8</sub> N <sub>0,2</sub> ) <sub>2</sub>    | Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>    | Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>        | Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>        |
| Содержание основной фазы, масс. %                             | 93,45  | 94,90                             | 95,73                                 | 95,54                                 |
| Содержание примесей, масс. %                                  |  |                                   |                                       |                                       |
| свободного хрома  | 1,80   | 1,54                              | 1,32                                  | 0,31                                  |
| свободного углерода   | 1,10   | 0,21                              | 0,18                                  | 0,80                                  |
| оксида хрома (III)*   | 3,00   | 2,88                              | 2,61                                  | 3,20                                  |
| летучие   | 0,60   | 0,47                              | 0,16                                  | 0,15                                  |
| Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг                      | 32000 – 37000  | 10000 – 12000                     | 1400 – 1700                           | 400                                   |
| Размер частиц, мкм  | 0,02 – 0,08  | 0,03 – 0,10                       | 0,20 – 0,80                           | 3 – 5                                 |
| Форма частиц  | Шаровидная   | Дендритная                        | Дендритная                            | Осколочная<br>неправильная            |
| Коррозионная стойкость<br>в растворах электролитов            | Устойчивы в щелочных и слабокислых электролитах                      |                                   |                                       |                                       |

\* Определяли по содержанию кислорода.

достаточно равномерное распределение в покрытии толщиной 30 мкм (рис. 1), что подтверждает его композиционный характер.

Микротвердость покрытий с НП карбонитрида хрома составляла 4,40 – 4,50 ГПа при содержании второй фазы 0,79 – 0,81 масс. %, а с МП карбида хрома — 3,60 – 3,70 ГПа при 2,97 – 2,99 масс. %. Микротвердость никелевой матрицы изменялась в пределах 2,36 – 2,48 ГПа.

Прочность сцепления композиционных гальванических покрытий Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> со стальной основой составляет 29,8 – 32,1 МПа. Результаты измерения внутренних напряжений покрытий и коррозионных токов приведены в табл. 2. Можно видеть, что с увеличением толщины осадков внутренние напряжения в них уменьшаются.

Включение дисперсных частиц в покрытие также приводит к снижению внутренних напряжений, особенно при использовании НП карбонитрида хрома. Так, если при толщине 40 мкм композиционное покрытие с МП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> имеет внутренние напряжения в 2,18 раза меньше, чем у чистого никеля, то с наночастицами — в 4,45 раза меньше. Этот эффект, по-видимому, объясняется образованием более мелкозернистой структуры растущего осадка за счет равномерно распределенных в нем частиц

дисперсной фазы. Внедрение большего количества частиц МП по сравнению с НП приводит к неравномерной деформации матрицы, захватывающей большие группы зерен, и, как следствие этого, к повышению внутренних напряжений и к снижению коррозионных характеристик.

Коррозионные свойства покрытий оценивали по величине токов коррозии и скорости газовой коррозии при нагревании на воздухе. Величина токов коррозии, возникающих в композиционных покрытиях, намного меньше, чем в никелевой матрице (табл. 2). При толщине покрытия 40 мкм, полученного при использовании МП карбида, значение токов коррозии в нем в 2,65 раза меньше, чем в чистом никеле, а в случае применения НП карбонитрида хрома — меньше в 16,7 раза, что свидетельствует об образовании практически беспористых КП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub>, обеспечивающих высокие защитные свойства. Это подтверждается результатами исследования термоокислительной устойчивости покрытий на воздухе (рис. 2а, б). Видно, что ход кривых зависимости увеличения массы образцов от времени как для никеля, так и для композиционного покрытия, описывается параболическим законом. Это можно объяснить образованием на поверхности образцов сплошной защитной оксидной пленки, приводящей

Таблица 2

| Толщина<br>покрытия, мкм | Внутренние напряжения, МПа |   |  | Токи коррозии, мкА/см <sup>2</sup> |   |  |
|--------------------------|----------------------------|---|--|------------------------------------|---|--|
|                          | Ni                         | Ni – НП Cr <sub>3</sub> (C <sub>0,8</sub> N <sub>0,2</sub> ) <sub>2</sub> | Ni – МП Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> | Ni                                 | Ni – НП Cr <sub>3</sub> (C <sub>0,8</sub> N <sub>0,2</sub> ) <sub>2</sub> | Ni – МП Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> |
| 5                        | 9,72                       | 3,69  | 5,81                                   | 0,304                              | 0,088   | 0,191                                  |
| 10                       | 7,06                       | 1,71  | 3,12                                   | 0,265                              | 0,069   | 0,171                                  |
| 20                       | 3,74                       | 0,61  | 1,57                                   | 0,205                              | 0,039   | 0,142                                  |
| 30                       | 1,36                       | 0,50  | 0,78                                   | 0,173                              | 0,020   | 0,105                                  |
| 40                       | 1,07                       | 0,24  | 0,59                                   | 0,167                              | 0,010   | 0,063                                  |

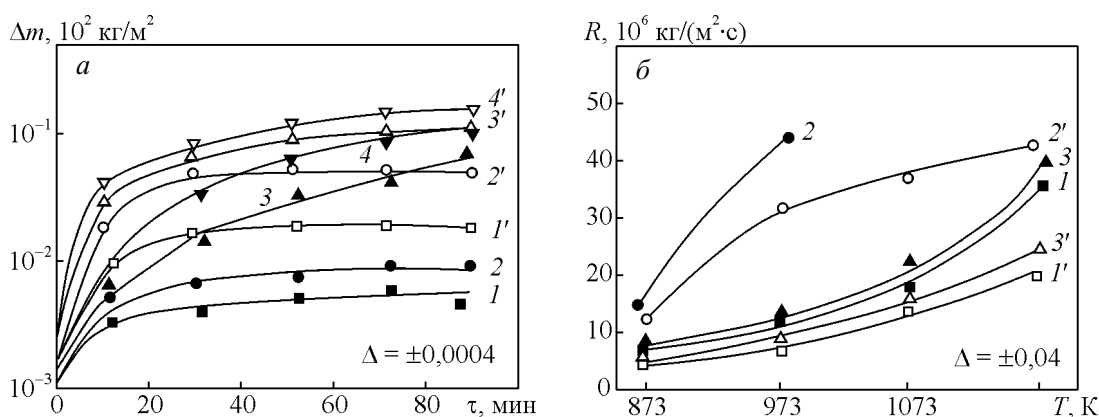


Рис. 2. Жаростойкость покрытий на воздухе: а – увеличение массы образцов при нагревании на воздухе КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  (1 – 4) и Ni (1' – 4') при температурах соответственно: 1, 1' – 873; 2, 2' – 973; 3, 3' – 1073; 4, 4' – 1173 К; б – зависимость скорости окисления на воздухе от температуры КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  (1, 1'), Ni (2, 2') и композиционных гальванических покрытий Ni – НП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (3, 3') соответственно через 10 и 30 минут.

с увеличением времени к снижению скорости окисления (рис. 2б).

Жаростойкость композиционных покрытий, включающих НП карбонитрида хрома, значительно превосходит жаростойкость никелевой матрицы. Увеличение массы никелевых покрытий через 1,5 ч при температуре 873 К в 3,45 раза, при 973 К в 4,75 раза и при 1073 К в 2,04 раза больше, чем для КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  (рис. 2а). С увеличением температуры до 1173 К скорость окисления для всех исследуемых материалов увеличивается, причем для композиционных покрытий зависимость более крутая (рис. 2б). Однако даже в этом случае при температуре 1173 К через 0,5 часа скорость окисления для композиционного покрытия с НП карбонитрида хрома в 2,33 раза меньше, чем у никеля и в 1,34 раза меньше, чем у КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , что свидетельствует о более высокой устойчивости его к газовой коррозии. Для КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  зависимость скорости окисления  $R$  от температуры описывается уравнением вида

$$R = \left\{ 5,4 \left[ 0,0033(T - 705) \right]^{2,5} + 3,7 \right\} \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

(при значениях критерия Фишера

$$F/F_{0,95}(3,10) = 0,171/3,7),$$

где  $R$  — скорость окисления,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $T$  — температура, К.

Результаты исследования износостойкости покрытий приведены на рис. 3. Можно видеть, что КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  превосходит по износостойкости остальные сравниваемые материалы, что свидетельствует о его более высоких эксплуатационных характеристиках.

Анализ результатов комплексных исследований свойств КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ , НП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , МП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  свидетельствует о целесообразности использования в качестве упрочняющей фазы нанокарбонитрида хрома.

Полученный комплекс свойств КГП Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  позволяет рекомендовать их, в соответствии с предложенной в [4] классификацией, к использованию в следующих областях:

- для антикоррозионной защиты деталей, работающих в агрессивных средах;

- для упрочнения деталей, работающих на износ в условиях трения скольжения при средних окружных скоростях (1,5 – 2,5 м/с) и невысоких удельных нагрузках (5 – 6 МПа): валы, втулки, опоры скольжения, шпиндели и др.

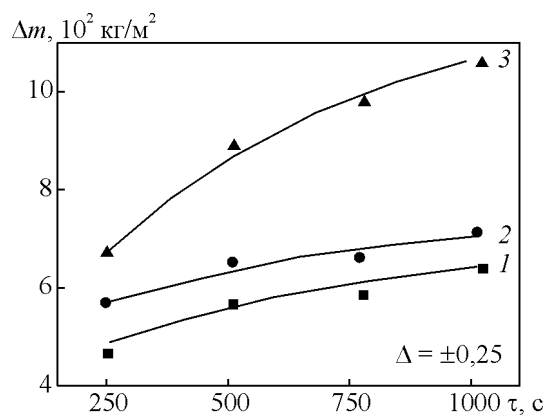


Рис. 3. Износостойкость КГП: 1 – Ni – НП  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ ; 2 – Ni – МП  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , 3 – Ni.

## Выводы

Изучены физико-механические свойства электроосаждаемого композиционного материала никель-нанокарбонитрид хрома.

Установлено:

— прочность сцепления КГП Ni–НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> со стальной основой составляет 29,8 – 32,1 МПа;

— внутренние напряжения при толщине композиционного покрытия 40 мкм составляют в КГП Ni–НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> 0,24 МПа, в КЭП Ni – НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 0,59 МПа, в никелевом покрытии 1,07 МПа, то есть при включении в покрытие нано- и микрочастиц внутренние напряжения снижаются в 4,46 и 1,81 раза, соответственно;

— микротвердость КГП определяется содержанием в них упрочняющей фазы и уровнем ее дисперсности и составляет для покрытий Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> 4,40 – 4,50 ГПа при содержании карбонитрида 0,79 – 0,81 масс. %, Ni – НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 4,0–4,1 ГПа при 0,90–0,92 масс. %, Ni–НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>(1) 3,6–3,7 ГПа при 1,39–1,41 масс. %, Ni–НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>(2) 3,6–3,7 ГПа при 2,97–2,99 масс. %; микротвердость КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> в 2,2 раза выше, чем у никелевой матрицы, в 1,23 раза выше, чем у КГП Ni–НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, в 1,45 раза выше, чем у КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>; для КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> зависимость микротвердости  $H$  от содержания в покрытии карбонитрида  $a$  описывается уравнением вида  $H = 2,973a + 2,051$ ;

— износостойкость КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> в 1,5 раза выше износостойкости КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, в 1,7 раза — никелевых покрытий;

— токи коррозии при толщине композиционного покрытия 40 мкм составляют в КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> 0,010 мкА/см<sup>2</sup>, КЭП Ni – НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 0,063 мкА/см<sup>2</sup>, в никелевом покрытии 0,167 мкА/см<sup>2</sup>, то есть при включении в покрытие нано- и микрочастиц токи коррозии снижаются в 16,7 и 2,65 раза, соответственно;

— жаростойкость КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> значительно превосходит жаростойкость никелевой матрицы: скорость их окисления при температуре 1173 К в 2,33 раза ниже, чем у никелевых покрытий и в 1,34 раза ниже, чем КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, зависимость скорости окисления  $R$  от температуры  $T$  для КГП Ni – НП Cr<sub>3</sub>(C<sub>0,8</sub>N<sub>0,2</sub>)<sub>2</sub> описывается уравнением вида

$$R = \left\{ 5,4 \left[ 0,0033(T - 705) \right]^{2,5} + 3,7 \right\} \cdot 10^{-6}.$$

*Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки России № 11.1531/2014/К.*

## Литература

1. Руднева В.В., Галевский Г.В. Особенности электроосаждения и свойства композиционных покрытий с наноконпонентами. Изв. Вузов. Чёрная металлургия, 2007, № 3, с. 39 – 43.
2. Ноздрин И.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В. Плазменный синтез и физико-химическая аттестация нанокарбида хрома. Изв. Вузов. Чёрная металлургия, 2012, № 12, с. 3 – 8.
3. Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Ширяева Л.С. Синтез и эволюция дисперсности боридов и карбидов ванадия и хрома в условиях плазменного потока. Изв. Вузов. Чёрная металлургия, 2011, № 10, с. 12 – 17.
4. Руднева В.В. Развитие теории и нанотехнологии электроосаждения композиционных покрытий. Вестник РАЕН: Проблемы развития металлургии в России, 2006, т. 6, № 3, с. 63 – 68.

## References

1. Rudneva V.V., Galevsky G.V. Osobennosti elektroosazhdeniya i svoystva kompozitsionnykh pokryty s nanokomponentami [Features of electro-deposition and properties of composite coatings with nanocomponents]. *Izv. Vuzov. Chyornaya metallurgiya — Proceedings of Higher Education. Ferrous metals.* 2007, no. 3, pp. 39 – 43.
2. Nozdrin I.V., Shiryayeva L.S., Rudneva V.V. Plazmennyy sintez i fiziko-khimicheskaya attestatsiya nanokarbida khroma [Plasma synthesis and physico-chemical certification of chromium nano-carbides]. *Izv. Vuzov. Chyornaya metallurgiya — Proceedings of Higher Education. Ferrous metals.* 2012, no. 12, pp. 3 – 8.
3. Nozdrin I.V., Galevsky G.V., Shiryayeva L.S. Sintez i evolyutsiya dispersnosti boridov i karbidov vanadiya i khroma v usloviyakh plazmennogo potoka [Synthesis and evolution of dispersion of vanadium and chromium carbides and borides under plasma flow effect]. *Izv. Vuzov. Chyornaya metallurgiya — Proceedings of Higher Education. Ferrous metals.* 2011, no. 10, pp. 12 – 17.
4. Rudneva V.V. Razvitiye teorii i nanotekhnologii elektroosazhdeniya kompozitsionnykh pokryty [Development of theory and nanotechnology of electrodeposition of composite coatings] *Vestnik RAEN. Problemy razvitiya metallurgii v Rossii — Problems of development of metallurgy in Russia.* 2006, vol. 6, no. 3, pp. 63 – 68.

*Статья поступила в редакцию 19.02.2014 г.*

**Ширяева Людмила Сергеевна** — ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”, Институт металлургии и материаловедения (г. Новокузнецк), ведущий инженер, специалист в области плазменной металлургии и технологии поверхности. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru.

**Ноздрин Игорь Викторович** — ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”, Институт металлургии и материаловедения (г. Новокузнецк), кандидат технических наук, доцент, специалист в области плазменной металлургии и технологии поверхности. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru.

**Галевский Геннадий Владиславович** — ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”, Институт металлургии и материаловедения (г. Новокузнецк), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, директор Института металлургии и материаловедения, специалист в области металлургии цветных металлов и электротермии неорганических материалов. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru.

**Руднева Виктория Владимировна** — ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”, Институт металлургии и материаловедения (г. Новокузнецк), доктор технических наук, профессор, специалист в области металлургии цветных металлов и электротермии неорганических материалов. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru.

---

## **Study of physical and mechanical properties of electrodeposited nickel-nanocarbonitrid chromium composite**

**L. S. Shiryayeva, I. V. Nozdrin, G. V. Galevskii, V. V. Rudneva**

Study of physical and mechanical properties of nickel-nanocarbonitrid chromium composite material received by joint electrodeposition was carried out. Comparison of compound coatings properties with properties of powders allow to use chromium nanocarbonitrid as strengthening phase. Application of the chromium carbonitride leads to decreasing of the electrolyte — suspension concentration, increasing cathode current density and microhardness of coatings.

**Keywords:** chromium nanocarbonitrid, composite galvanic coatings, coating properties, electrodeposition.

---

**Shiryayeva Ludmila** — Siberian State Industrial University, Institute of Metallurgy and Materials Science, Department of non-ferrous metallurgy and chemical engineering, senior engineer, PhD. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru

**Nozdrin Igor** — Siberian State Industrial University, Institute of Metallurgy and Materials Science, Department of non-ferrous metallurgy and chemical engineering, senior engineer, associate professor. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru.

**Galevskiy Gennady** — Siberian State Industrial University, Institute of Metallurgy and Materials Science, Dr Sci (Eng), professor, Head of Non-ferrous metallurgy and chemical engineering, Director of the Institute of Metallurgy and Materials, professor. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru

**Rudneva Victoria** — Siberian State Industrial University, Institute of Metallurgy and Materials Science, Department of non-ferrous metallurgy and chemical engineering, Dr Sci (Eng), professor. E-mail: kafcmet@sibsiu.ru.