

УДК 621.357.7

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.260319.49.301

СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ Ni-Co

КОРОЛЯНЧУК Д. Г.¹, *м. н. с.*,
ОВЧАРЕНКО В. И.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
ТРОФИМЕНКО В. В.³, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра материаловедения, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина, ORCID ID: 0000-0001-5530-080X

^{2*} Кафедра материаловедения, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина, e-mail: kafimat@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5343-7554

³ Кафедра материаловедения, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина

Аннотация. Цель. Разработка альтернативных покрытий, которые могут быть близкими по свойствам хромовым, а технология их получения и электролиты – экологически безопасными. Исследование физико-механических свойств и морфологии поверхности никель-кобальтовых покрытий, нанесенных из мало- или нетоксичных электролитов. Выбор режимов, при которых получают наиболее твердые и блестящие покрытия. **Методика.** Проведено рентгенографическое определение фазового состава никель-кобальтовых электролитических осадков. Исследована морфология поверхности, отражательная способность и микротвердость покрытий. **Результаты.** Выявлена возможность получения никель-кобальтовых покрытий, осаждаемых из мало- или нетоксичных электролитов, для замены хромовых. Установлены режимы и оптимальные условия получения покрытий сплавом Ni-Co в зависимости от назначения. Показано, что никель-кобальтовые покрытия могут использоваться как защитно-декоративные, так и в качестве твердых слоев при восстановлении изношенных деталей. **Научная новизна.** Обсуждается влияние режима осаждения на формирование физико-механических свойств и морфологии поверхности электролитических покрытий сплавом Ni-Co. **Практическая значимость.** Результаты исследований позволяют получать электролитические никель-кобальтовые покрытия с высокой отражательной способностью и твердостью взамен хромовых.

Ключевые слова: никель-кобальтовые покрытия; электроосаждение; морфология поверхности; отражательная способность; микротвердость

СТРУКТУРА ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ СПЛАВІВ Ni-Co

КОРОЛЯНЧУК Д. Г.¹, *м. н. с.*,
ОВЧАРЕНКО В. І.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
ТРОФИМЕНКО В. В.³, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра матеріалознавства, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, Дніпро, 49005, Україна, ORCID ID: 0000-0001-5530-080X

^{2*} Кафедра матеріалознавства, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, Дніпро, 49005, Україна, e-mail: kafimat@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5343-7554

³ Кафедра матеріалознавства, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, Дніпро, 49005, Україна

Анотація. Мета. Розробка альтернативних покриттів, які можуть бути близькими за властивостями хромовим, а технологія їх отримання і електроліти – екологічно безпечними. Дослідження фізико-механічних властивостей і морфології поверхні нікель-кобальтових покриттів, нанесених з мало- або нетоксичних електролітів. Вибір режимів, при яких одержуються найбільш тверді і блискучі покриття. **Методика.** Проведено рентгенографічне визначення фазового складу нікель-кобальтових електролітичних осадів. Досліджено морфологію поверхні, відбивну здатність і микротвердість покриттів. **Результати.** Виявлено можливість отримання нікель-кобальтових покриттів, які осаджуються з мало- або нетоксичних електролітів, для заміни хромових. Встановлено режими та оптимальні умови отримання покриттів сплавом Ni-Co в залежності від призначення. Показано, що нікель-кобальтові покриття можуть використовуватися як захисно-декоративні, так і в якості твердих шарів при відновленні деталей, що зносилися. **Наукова новизна.** Обговорюється вплив

режиму осадження на формування фізико-механічних властивостей і морфології поверхні електролітичних покриттів сплавом Ni-Co. **Практична значимість.** Результати досліджень дозволяють отримувати електролітичні нікель-кобальтові покриття з високою відбивною здатністю і твердістю на заміну хромовим.

Ключові слова: нікель-кобальтові покриття; електроосадження; морфологія поверхні; відбивна здатність; мікротвердість

STRUCTURE AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF Ni-Co ELECTROLYTIC ALLOYS

KOROLYANCHUK D.G.¹, *Res. Ass.*

OVCHARENKO V.I.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

TROFIMENKO V.V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

¹ Department of Materials Science, State Higher Education Establishment “[Ukrainian State University of Chemical Technology](#)”, 8, Gagarina ave., Dnipro, 49005, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-5530-080X

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Education Establishment “[Ukrainian State University of Chemical Technology](#)”, 8, Gagarina ave., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: kafmat@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5343-7554

³ Department of Materials Science, State Higher Education Establishment “[Ukrainian State University of Chemical Technology](#)”, 8, Gagarina ave., Dnipro, 49005, Ukraine

Abstract. Purpose. Development of alternative coatings, which may be similar in properties to chromium, and the technology for their production and electrolytes are environmentally friendly. Investigation of the physico-mechanical properties and surface morphology of nickel-cobalt coatings deposited from low or non-toxic electrolytes. The choice of modes in which the hardest and shiny coatings are obtained. **Methodology.** A radiographic determination of the phase composition of nickel-cobalt electrolytic precipitates was carried out. The surface morphology, reflectivity and microhardness of the coatings were investigated. **Results.** The possibility of obtaining nickel-cobalt coatings deposited from low-or non-toxic electrolytes, to replace chromium. The modes and optimal conditions for obtaining coatings with Ni-Co alloy depending on the purpose are established. It is shown that nickel-cobalt coatings can be used as protective and decorative, as well as solid layers when restoring worn details. **Scientific novelty.** The influence of the deposition regime on the formation of the physico-mechanical properties and morphology of the surface of electrolytic coatings with Ni-Co alloy is discussed. **Practical significance.** The research results allow obtaining electrolytic nickel-cobalt coatings with high reflectivity and hardness instead of chromic ones.

Keywords: nickel-cobalt coatings; electrodeposition; surface morphology; reflectivity; microhardness

Актуальность

Современный уровень техники выдвигает совершенно новые требования к материалам и их свойствам. В том числе и к покрытиям, так как эти элементы конструкций и деталей машин в первую очередь вступают во взаимодействие с окружающей средой и другими материалами. Так, в частности, электролитические покрытия должны обладать необходимыми функциональными и технологическими свойствами, а также технология их получения должна быть как можно более экологически безопасной [1].

Одними из самых распространенных износостойких защитных электролитических покрытий являются хромовые, получаемые из высокотоксичных электролитов на основе хромового ангидрида (VI) [2; 3], наносящими огромный вред окружающей среде.

В этой связи, актуальной является разработка альтернативных покрытий хромовым [4], которые были бы по свойствам близкими, а технология их получения и электролиты – экологически безопасными [5]. В качестве замены хромовым, предлагается применять покрытия на основе сплавов,

а именно – никель-кобальтовых. Они могут использоваться как в виде защитно-декоративных покрытий (за счет привлекательного внешнего вида) [6], так и в качестве износостойких (поскольку обладают повышенной твердостью) [7].

Цель работы

Исследовать физико-механические свойства и морфологию поверхности никель-кобальтовых покрытий, нанесенных из мало- или нетоксичных электролитов. На основе анализа полученных данных определить режимы, при которых получают наиболее твердые и блестящие покрытия.

Материал и методика исследований

Никель-кобальтовые покрытия осаждали из нетоксичного сернокислового электролита с добавками органических соединений.

Покрытия толщиной 30...40 мкм получали в гальваностатическом режиме в интервале температур 10...70 °С и в диапазоне плотностей тока 2...20 А/дм². Выход по току металла определяли с помощью медного кулонометра.

Исследование морфологии поверхности [8] никель-кобальтового сплава проводили с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-106И в режиме получения вторичных электронов. Рентгенографическое определение фазового состава [9] осадков осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2 в медном излучении. Отражательную способность определяли с использованием фотоэлектрического блескомера ФБ-2, микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 50 г.

Результаты исследований

Результаты рентгенографических исследований электролитических покрытий приведены на рисунке 1. Показано, что на дифрактограмме присутствуют линии никеля и кобальта. Это свидетельствует о совместном осаждении этих металлов из представленного электролита.

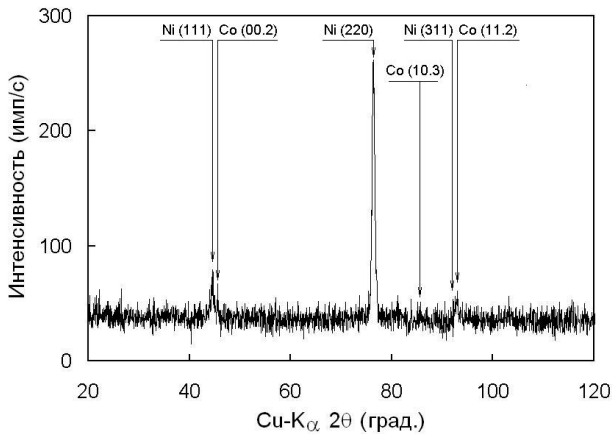


Рис. 1. Дифрактограмма никель-кобальтового покрытия, полученного при температуре электролита 20 °C и плотности тока 10 A/дм² / Fig. 1. Diffractogram of a nickel-cobalt coating obtained at an electrolyte temperature of 20 °C and a current density of 10 A/dm²

Установлено, что выход по току сплава возрастает практически линейно при повышении температуры и плотности тока, достигая максимума при 20 A/дм² (рис. 2) Это может быть связано с увеличением электропроводности раствора электролита при повышении температуры.

Анализ влияния режима электролиза и условий осаждения на структуру и свойства никель-кобальтовых покрытий показал, что покрытия, имеющие наибольшую отражательную способность, получают при температуре электролита 20 °C и плотностях тока 7,5...20 A/дм² (рис. 3).

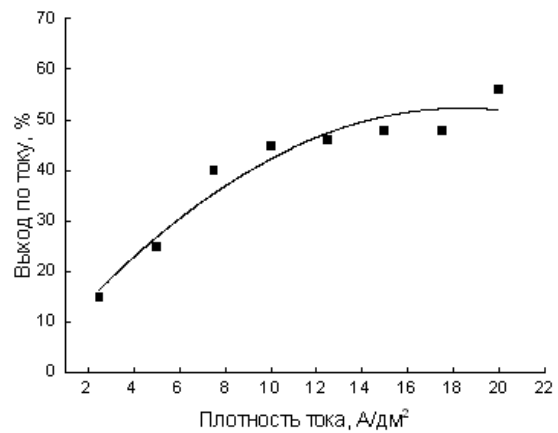


Рис. 2. Зависимость выхода по току никель-кобальтовых покрытий от плотности тока при температуре электролита 50°C / Fig. 2. Dependence of current output of nickel-cobalt coatings on current density at electrolyte temperature 50°C

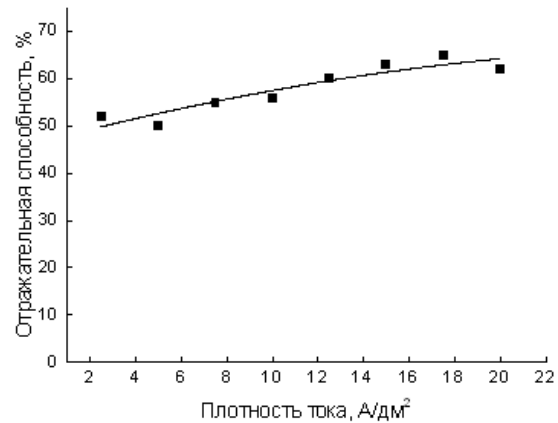


Рис. 3. Зависимость отражательной способности никель-кобальтовых покрытий от плотности тока при температуре электролита 20 °C / Fig. 3. Dependence of the reflectivity of nickel-cobalt coatings on the current density at an electrolyte temperature of 20 °C

Отсутствие развитого рельефа и гладкая поверхность никель-кобальтовых покрытий приведено на электронно-микроскопическом изображении (рис. 4).

Поскольку никель-кобальтовые покрытия могут представлять интерес не только в качестве защитно-декоративных, но и как наращиваемые слои при восстановлении контактирующих и трущихся поверхностей, обладающих повышенной твердостью, были проведены измерения этого параметра. В ходе испытаний установлено, что наибольшую твердость электролитические покрытия сплавом никель-кобальт приобретают при температуре электролиза 50°C в интервале плотностей тока 2,5...20 A/дм² (рис. 5, 6).

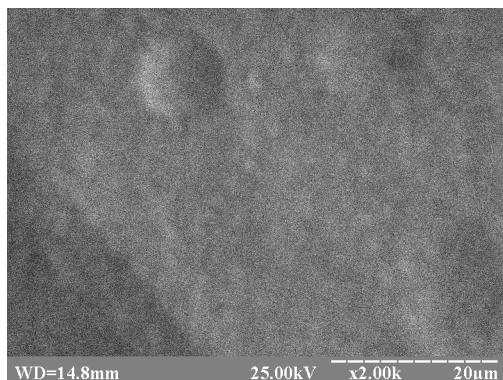


Рис. 4. Морфология поверхности никель-кобальтовых покрытий, полученных при температуре электролита 20 °С и плотности тока 15 А/дм² (×2 000) / Fig. 4. The surface morphology of nickel-cobalt coatings obtained at an electrolyte temperature of 20 °С and a current density of 15 А/dm² (×2 000)

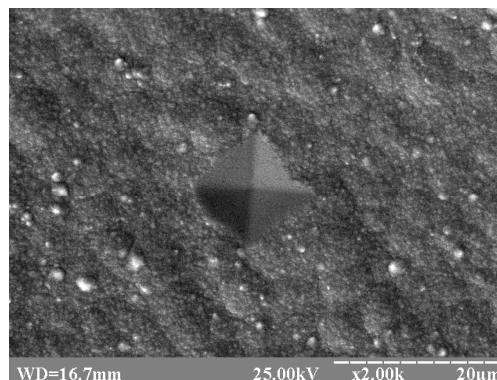


Рис. 6. Морфология поверхности участка никель-кобальтовых покрытий, полученных при температуре электролиза 50 °С и плотности тока 5 А/дм² (×2 000) / Fig. 6. Surface morphology of the nickel-cobalt coatings section obtained at an electrolysis temperature of 50 °С and a current density of 5 А/dm² (×2 000)

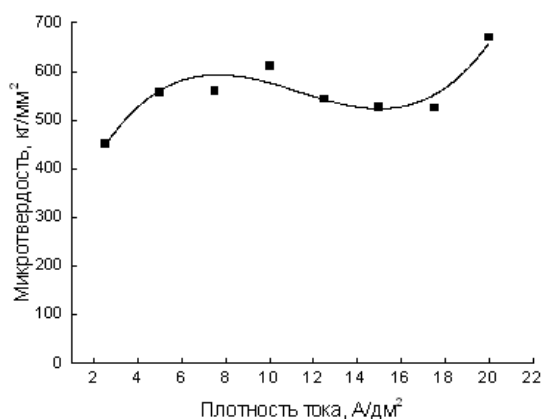


Рис. 5. Зависимость микротвердости никель-кобальтовых покрытий от плотности тока при температуре электролиза 50 °С / Fig. 5. Dependence of microhardness of nickel-cobalt coatings on current density at an electrolysis temperature of 50 °С

Выводы

1. Показана возможность получения никель-кобальтовых покрытий, осаждаемых из мало- или нетоксичных электролитов, для замены хромовых.
2. Установлены режимы и оптимальные условия получения покрытий сплавом Ni–Co в зависимости от назначения. Наибольшую отражательную способность имеют никель-кобальтовые покрытия, получаемые при температуре электролита 20 °С, а наибольшую микротвердость – покрытия, получаемые при температуре электролита 50 °С.
3. Показано, что никель-кобальтовые покрытия могут использоваться как защитно-декоративные, так и в качестве твердых слоев при восстановлении изношенных деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электролитические сплавы : монография / [Н. П. Федотьев, Н. Н. Бибииков, П. М. Вячеславов, С. Я. Грилихес]. – Москва – Ленинград : Машгиз, 1962. – 312 с.
2. Брехаря Г. П. Структура и свойства кристаллических и аморфных покрытий на основе хрома, полученных осаждением из электролита / Г. П. Брехаря, Е. Ю. Гертц, А. Б. Мельник, В. В. Немошкаленко, Е. Р. Попов, А. П. Шпак // Металлофизика и новейшие технологии. – 1999. – Т. 21, № 7. – С. 22–27.
3. Ефимов Е. А. О процессе электроосаждения хрома / Е. А. Ефимов, Л. Д. Ток, В. В. Черных // Защита металлов. – 1998. – № 3. – С. 319–321.
4. Weston D.P. Wear Behavior of Electrodeposited Cobalt and Cobalt–Tungsten Alloy Coatings for Replacement of Electrodeposited Chromium / D.P. Weston, P.H. Shipway, S.J. Harris, M.K. Cheng // Wear. – 2009. – 267. – Pp. 934–943.
5. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство : монография / С. С. Виноградов. Под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. – Москва : Глобус, 2002. – 352 с.
6. Абихлаиров А. И. Получение блескообразователя для блестящего никелирования / А. И. Абихлаиров, Е. Г. Гилязов, Б. И. Куанышев // Весник АГТУ. – 2008. – № 2 (43). – С. 229–231.
7. Шеркунов В. Г. Использование поперечного сегмента перелива при нанесении гальванического защитного никель-кобальтового покрытия / В. Г. Шеркунов, А. Е. Власов, П. Тезе // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Вып. 2. – С. 218–226.

8. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ : учеб. пособ. / [И. Ю. Пашкеев, О. В. Самойлова, В. И. Гераскин, Т. М. Лонзингер; под общ. ред. Г. Г. Михайлова]. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 47 с.

9. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов : электронное учебно-методическое пособие / [В. Н. Трушин, П. В. Андреев, М. А. Фаддеев]. – Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2012. – 89 с.

REFERENCES

1. Fedot'yev N.P., Bibikov N.N., Vyacheslavov P.M. and Grilikhes S.Ya. *Elektroliticheskiye splavy* [Electrolytic alloys]. Moscow – Leningrad : Mashgiz Publ., 1962, 312 p. (in Russian).

2. Brekharya G.P., Gertts Ye.Yu., Mel'nik A.B., Nemoshkalenko V.V., Popov Ye.R. and Shpak A.P. *Struktura i svoystva kristallicheskikh i amorfnykh pokrytiy na osnove khroma, poluchennykh osazhdeniyem iz elektrolita* [Structure and properties of crystalline and amorphous chromium-based coatings obtained by deposition from an electrolyte]. *Metallofizika i noveyshiye tekhnologii* [Metal Physics and Latest Technologies]. 1999, vol. 21, no. 7, pp. 22–27. (in Russian).

3. Yefimov Ye.A., Tok L.D. and Chernykh V.V. *O protsesse elektroosazhdeniya khroma* [About the process of electrodeposition of chromium]. *Zashchita metallov* [Metal protection]. 1998, no.3, pp. 319–321. (in Russian).

4. Weston D.P., Shipway P.H., Harris S.J. and Cheng M.K. Friction and Sliding Wear Behavior of Electrodeposited Cobalt and Cobalt–Tungsten Alloy Coatings for Replacement of Electrodeposited Chromium. *Wear*, 2009, 267, pp. 934–943.

5. Vinogradov S.S. *Ekologicheski bezopasnoye gal'vanicheskoye proizvodstvo* [Ecologically safe galvanic production]. Edited by prof. V.N. Kudryavtseva. Moscow : Globus Publ., 2002, 352 p. (in Russian).

6. Abikhlaïrov A.I., Gilazhov Ye.G. and Kuanyshev B.I. *Polucheniye bleskoobrazovatelya dlya blestyashchego nikelirovaniya* [Getting brightener for brilliant nickel plating]. *Vesnik AGTU* [ASTU Vesnik]. 2008, no. 2 (43), pp. 229–231. (in Russian).

7. Sherkunov V.G., Vlasov A.Ye. and Teze P. *Ispol'zovaniye poperechnogo segmenta pereliva pri nanesenii gal'vanicheskogo zashchitnogo nikel'-kobal'tovogo pokrytiya* [Use of the transverse overflow segment when applying a galvanic protective nickel-cobalt coating]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki* [News of TulSU. Technical science]. 2017, vol. 2, pp. 218–226. (in Russian).

8. Pashkeyev Yu., Samoylova O.V., Geraskin V.I. and Lonzinger T.M.; edited by Mikhaylova G.G. *Rastrovaya elektronnyaya mikroskopiya i rentgenospektral'nyy mikroanaliz : uchebnoye posobiye* [Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: studies. benefit]. Chelyabinsk : Publishing center YUUrGU, 2015, 47 p. (in Russian).

9. Trushin V.N., Andreyev P.V. and Faddeyev M.A. *Rentgenovskiy fazovyy analiz polikristallicheskikh materialov : elektronnoye uchebno-metodicheskoye posobiye* [X-ray phase analysis of polycrystalline material : an electronic teaching aid]. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskiy gosuniversitet Publ., 2012, 89 p. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. О. Б. Гириным (Украина), д-ром техн. наук, проф. Б. В. Виноградовым (Украина).

Поступила в редколлегию 05.04.2019.

Принята в печать 07.04.2019.