

dimensional sample of the local thermo-cycling processing]. *Siustemnie tehnologii* [System technologies]. Dnipropetrovsk, 2008, issue 3 (56), vol. 2, p. 22 (in Russian)

12. Tsotsko V.I., Peleshenko B.G. and Denisenko A.I. *Nestatsionarnoe pole temperature v metalle v uslovijah impulsnogo energeticheskogo vozdeistviya* [Steady temperature field in the metal under the conditions of pulsed energy impact]. *Visokoenergeticheskaja obrabotka materialov* [High-energy treatment of materials]. Dnipropetrovsk : ART-PRESS, 2009, pp. 202–208. (in Russian)

Поступила в редколлегию 13.07.2017 г.

Принята к печати 20.07.2017 г.

УДК 621.793.3

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНИ КОМПОЗИЦИЙНИХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ КОБАЛЬТ – ГРАФИТ

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

^{1*} Кафедра материаловедения, Государственный высший навалый завод «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 753-58-29, e-mail: kafmat@i.ua

² Кафедра материаловедения, Государственный высший навалый завод «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 753-58-29, e-mail: kafmat@i.ua

Анотация. Постановка проблемы. Вивчення впливу режиму електроосадження, геометрії та розміру частинок графіту, які використовувалися як наповнювач в осадах кобальту, на морфологію поверхні композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт товщиною 3...15 мкм. Досліджено морфологію поверхні композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт товщиною 3...15 мкм. **Результати.** Виявлено вплив режиму осадження, геометрії та розміру частинок графіту на морфологію поверхні композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт товщиною 3...15 мкм. Установлено, що для одержання композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт із суцільним шаром кобальтових осадів необхідно використовувати як наповнювач графіт, який наноситься електроконтактним способом на підкладку перед процесом електроосадження, та частинки, які утворюються в результаті руйнування графітового анода в процесі електролізу. **Наукова новизна.** Обговорюється вплив режиму осадження, геометрія та розмір частинок графіту на формування морфології поверхні композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт. **Практична значимість.** Результати досліджень дозволяють одержувати композиційні електролітичні покриття кобальт – графіт товщиною 3...15 мкм із суцільним шаром кобальтових осадів.

Ключові слова: кобальт; графіт; електроосадження; покриття; морфологія поверхні

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ КОБАЛЬТ – ГРАФИТ

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

^{1*} Кафедра материаловедения, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 753-58-29, e-mail: kafmat@i.ua

² Кафедра материаловедения, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 753-58-29, e-mail: kafmat@i.ua

Аннотация. Постановка проблемы. Изучение влияния режима электроосаждения, геометрии и размера частиц графита, которые использовались в качестве наполнителя в осадках кобальта, на морфологию поверхности композиционного электролитического покрытия кобальт – графит толщиной 3...15 мкм. Исследована морфология поверхности композиционного электролитического покрытия кобальт – графит толщиной 3...15 мкм. **Результаты.** Виявлено влияние режима осаждения, геометрии и размера частиц графита на морфологию поверхности композиционных электролитических покрытий кобальт – графит толщиной 3...15 мкм. Установлено, что для получения композиционных электролитических покрытий кобальт – графит со сплошным слоем кобальтовых осадков необходимо использовать в качестве наполнителя графит, который предварительно наносится электроконтактным способом на подложку перед электроосаждением, и частицы, которые образуются в результате разрушения графитового анода в процессе электролиза. **Научная новизна.** Обсуждается влияние режима осаждения, геометрии и размера частиц графита на формирование морфологии поверхности композиционных электролитических покрытий кобальт – графит. **Практическая**

значимість. Результаты исследований позволяют получать композиционные электролитические покрытия кобальт – графит толщиной 3...15 мкм со сплошным слоем кобальтовых осадков.

Ключевые слова: кобальт; графит; электроосаждение; покрытие; морфология поверхности

SURFACE MORPHOLOGY OF COMPOSITE COBALT – GRAPHITE ELECTRODEPOSITE COATINGS

OVCHARENKO V. I.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. of Prof.*,
KOROLYANCHUK D. G.², *Res. Ass.*

^{1*} Department of Materials Science, State Higher Education Establishment “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Gagarina str., 8, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 753-58-29, e-mail: kafimat@i.ua

² Department of Materials Science, State Higher Education Establishment “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Gagarina str., 8, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 753-58-29, e-mail: kafimat@i.ua

Abstract. Formulation of the problem. Study of the effect of the electrodeposition regime, geometry and size of graphite particles used as a filler in cobalt deposits on surface morphology of a composite 3...15 μm thick cobalt – graphite electrolytic coating. The surface morphology of a composite 3...15 μm thick cobalt – graphite electrolytic coating was studied. **Findings.** The influence of the deposition regime, geometry and particle size of graphite on surface morphology of a composite 3...15 μm thick cobalt – graphite electrolytic coating is revealed. It is established that to obtain cobalt – graphite composite electrolytic coatings with a continuous layer of cobalt deposits, it is necessary to use graphite, which is pre-applied by an electrocontact method on the substrate before electrodeposition and also particles being formed as a result of destruction of the graphite anode during electrolysis. **Originality.** The effect of the deposition regime, geometry and size of graphite particles on surface morphology of composite cobalt – graphite electrolytic coatings is discussed. **Practical value.** The results of the investigations make it possible to obtain a composite 3...15 μm thick cobalt – graphite electrolytic coating with a continuous layer of cobalt deposits.

Keywords: cobalt; graphite; electrodeposition; coating; surface morphology

Вступ

Наразі в деяких галузях промисловості застосовуються деталі, які повинні мати високий опір до зносу різного типу, зокрема, абразивного і зносу тертям, стійкістю в агресивних середовищах у поєднанні з дією високих температур.

Такі властивості мають електролітичні кобальтові покриття, які наносяться на поверхню деталей, що застосовуються в умовах високого гідроабразивного зносу (це визначає використання в хімічній і нафтобуровій галузях – запірні і регульовальні арматура, бурове обладнання різного типу). Маючи високу твердість, ці покриття виступають в ролі твердих змашень під час тертя металу по металу (застосування в різних рухомих механізмах – вали, плунжери, деталі молоткових дробарок та інших ударно-вібраційних механізмів, млини, ланцюгові транспортери, зубці й ковші екскаваторів та інших подібних частин спецтехніки, різні інструменти і штампи), з високими динамічними навантаженнями (гірничопрохідницьке обладнання).

Завдяки високій корозійній стійкості вироби з кобальтовими електролітичними покриттями використовуються в газовому середовищі, що містить сірку, стійкість до окиснення та стирання за високих температур; порівняно із хромовими й нікелевими покриттями вони більш стійкі до впливу слабких кислот.

Різноманітні магнітні властивості кобальтових покриттів використовують у космічній і комп'ютерній

техніці (для виробництва елементів пам'яті електронно-обчислювальних пристроїв), а високу відбивну здатність – для виготовлення рефлекторів і дзеркал.

Крім цього, зносостійкі кобальтові покриття використовуються для декоративного захисту різних поверхонь від абразивного і комбінованого зносу [1–3].

Поряд із позитивними властивостями електролітичних покриттів кобальтом слід зазначити й недоліки, зокрема – високу вартість цього металу і його солей. Тому для зниження витрати дорогого металу пропонується одержувати з електроліту композиційні кобальтові покриття з наповнювачем.

Композиційні електролітичні покриття (КЕП) являють собою металеву матрицю, що містить у своєму об'ємі 1...50 % твердих частинок (наповнювача) різної форми, розміру і складу.

Під час отримання КЕП дисперговані в електроліті тверді частинки повинні перебувати в контакт з поверхнею катода, завдяки чому забезпечуються умови їх вrostання в метал.

Метал матриці визначає призначення КЕП, а в процесі осаждения з дисперсними частинками покриття поліпшує свої хімічні, фізико-хімічні та триботехнічні властивості, які значною мірою залежать від умов кристалізації матриці [4].

Мета дослідження – вивчення впливу режиму електроосаждения, геометрії та розміру частинок графіту, які використовувалися як наповнювач в осадах кобальту, на морфологію поверхні

композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт.

Методи дослідження

Як наповнювач використовувався порошкоподібний графіт, середній розмір частинок якого складав 10...15 мкм (рис. 1 а), графіт, який наносили електроконтактним способом на підкладку до електроосадження (рис. 1 б) та частинки розміром 5...15 мкм, які виникали внаслідок електролітичного руйнування графітового анода (рис. 1 в).

Композиційні покриття кобальт – графіт товщиною 3...15 мкм одержували в стандартному сірчанокиислому електроліті такого складу: CoSO_4 концентрацією 250 г/л, H_3BO_3 концентрацією 40 г/л, H_2SO_4 концентрацією 40 г/л за таких умов: температура електроліту 30 °С, густина струму 6...8 А/дм² [2].

У процесі осадження використовували розчинний кобальтовий анод та графітовий анод, який руйнувався в процесі електролізу. Як підкладку застосовували мідну фольгу.

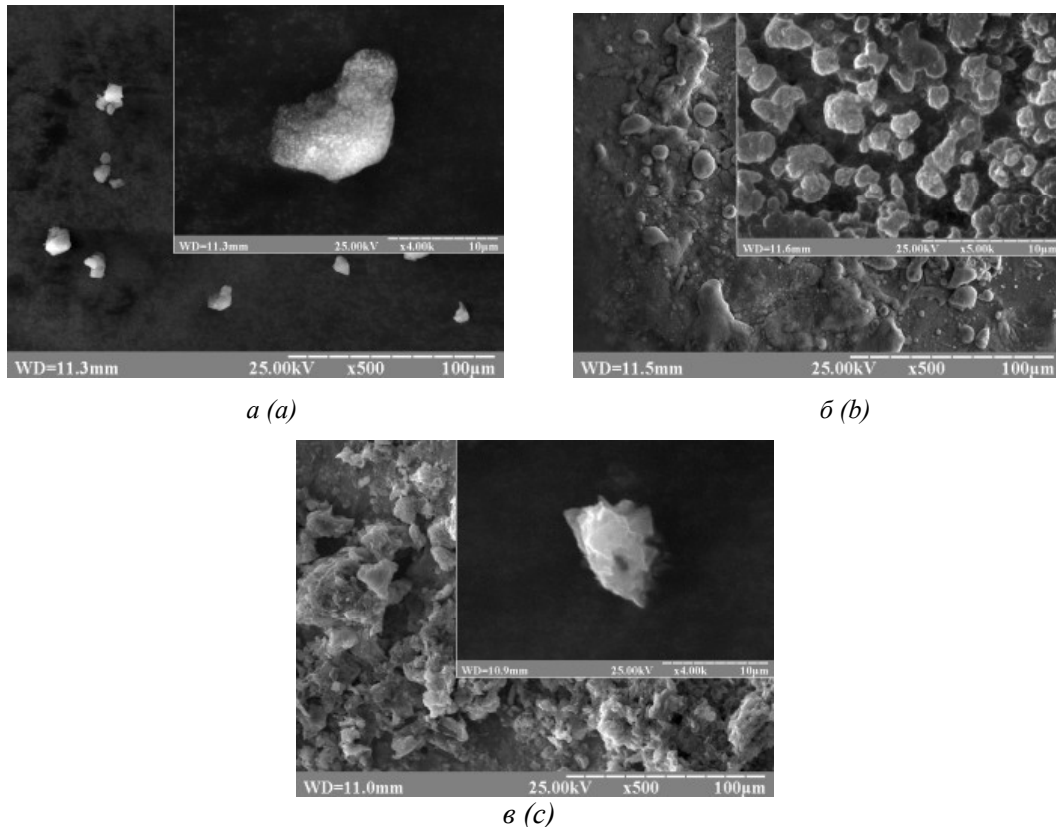


Рис. 1. Графіт, що використовувався як наповнювач у композиційних електролітичних покриттях кобальт-графіт: а – графіт у вигляді порошку, $\times 500$, $\times 4\ 000$; б – графіт, який наносили електроконтактним способом, $\times 500$, $\times 5\ 000$; в – графіт, який відокремлювався у вигляді частинок від анода в процесі електроосадження, $\times 500$, $\times 4\ 000$ / Fig. 1. Graphite, which was used as a filler in cobalt – graphite electrolytic coating: a – graphite in powder form, $\times 500$, $\times 4\ 000$; b – graphite, which was applied by an electrocontact method, $\times 500$, $\times 5\ 000$; c – graphite, which was separated in the form of particles from the anode in the process of electrodeposition, $\times 500$, $\times 4\ 000$

а – graphite in powder form, $\times 500$, $\times 4\ 000$; б – graphite, which was applied by an electrocontact method, $\times 500$, $\times 5\ 000$; в – graphite, which was separated in the form of particles from the anode in the process of electrodeposition, $\times 500$, $\times 4\ 000$

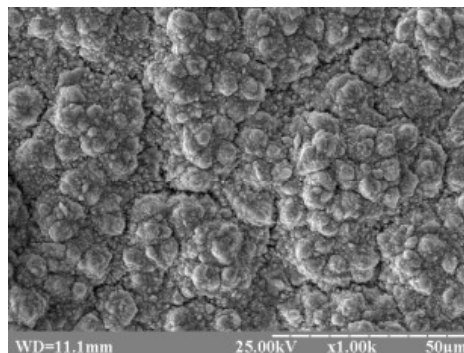


Рис. 2. Морфологія поверхні кобальтових електропокривів без наповнювача, $\times 1\ 000$ / Fig. 2. The surface morphology of the electrolytic coatings of cobalt without filler, $\times 1\ 000$

Дослідження морфології поверхні кобальтових електропокриттів без наповнювача (рис. 2) та композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт проводили методом растрової електронної мікроскопії [5; 6] на мікроскопі РЕМ–106И в режимі вторинних електронів. Прискорювальна напруга – 25 кВ, струм гармати – 105 мА.

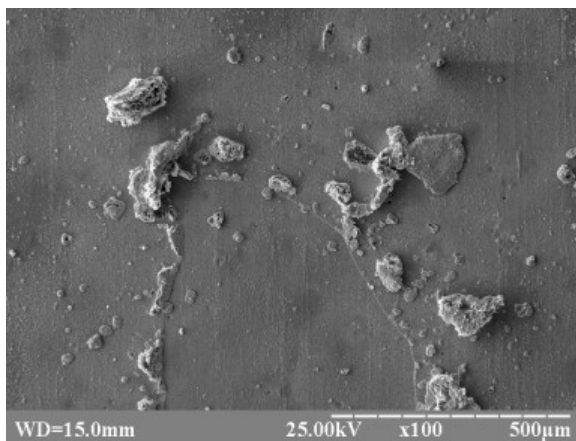
Результати досліджень

За результатами електронномікроскопічних досліджень установлено, що композиційне електролітичне покриття кобальт – графіт у разі використання як наповнювача порошкоподібного графіту (анодом виступав литий кобальт) відрізняється неоднорідністю морфології поверхні з утворенням лінзоподібних кристалів (рис. 3).

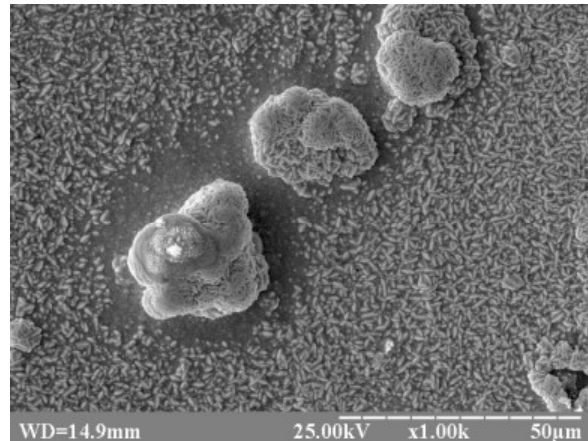
При цьому частинки графіту розміром понад 10 мкм не повністю вбудовуються в покриття через перешкоджання граней самих частинок проникненню

електроліту до підкладки. Це викликало зрив графіту з поверхні покриття із залишенням невеликих ямок (рис. 3 в).

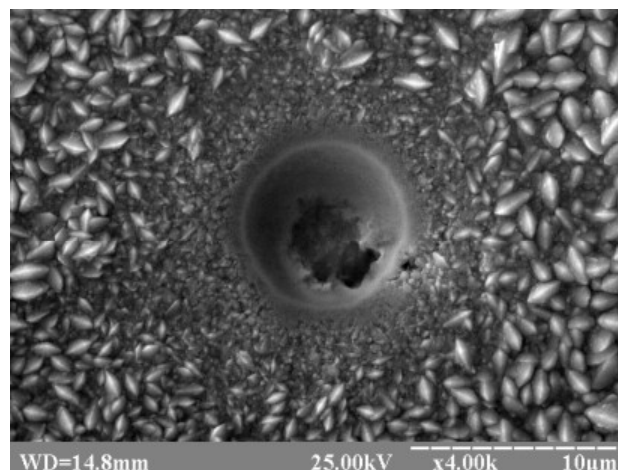
В іншому випадку до осадження покриттів здійснювалося нанесення на мідну підкладку графіту електроконтактним способом, що гарантувало велику адгезію наповнювача з основою. При цьому в процесі осадження формувалося суцільне композиційне електролітичне покриття кобальт – графіт (рис. 4, 5). У випадку осадження покриття товщиною 3 мкм видно (рис. 4 а), що кобальт повністю відтворює рельєф мідної підкладки з попередньо нанесеним графітом. Збільшення товщини покриттів до 15 мкм викликало утворення суцільного шару, який практично повністю згладив рельєф поверхні (рис. 5 а). При цьому незалежно від часу осадження кобальт виходив дрібнокристалічним (рис. 4 б, 5 б).



а (а)



б (б)

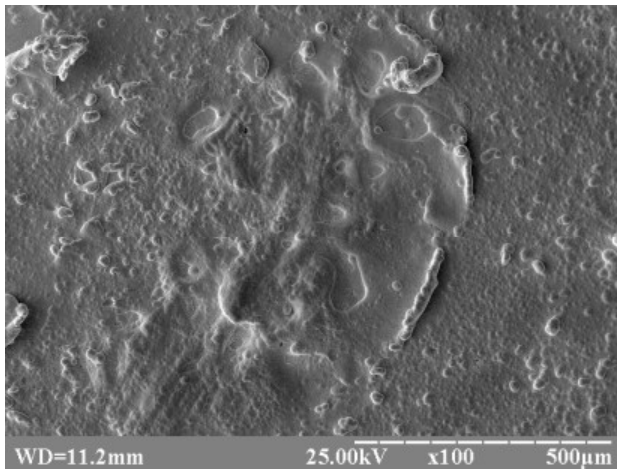


в (в)

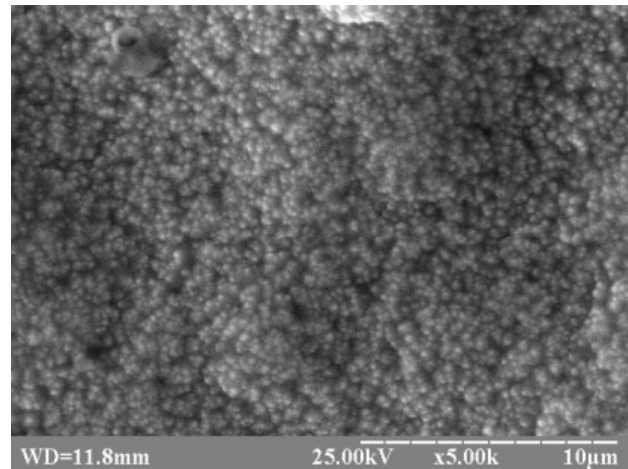
Рис. 3. Морфологія поверхні композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт, за використання як наповнювача порошкоподібного графіту: а – $\times 100$, б – $\times 1\,000$, в – $\times 4\,000$ / Fig. 3. The surface morphology of the composite cobalt-graphite electrolytic coating, when powdered graphite is used as a filler: а – $\times 100$, б – $\times 1\,000$, в – $\times 4\,000$

Аналіз одержаних даних електронно-мікроскопічних досліджень показав, що поверхня композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт у разі використання графітового анода, який руйнувався в процесі електролізу, була гладкою та

суцільною з рівномірним розподілом частинок графіту розміром до 10 мкм, покритих шаром дрібнокристалічного кобальту (рис. 6). При цьому морфологія поверхні шарів товщиною 3, 10 та 15 мкм відмінностей не мала.

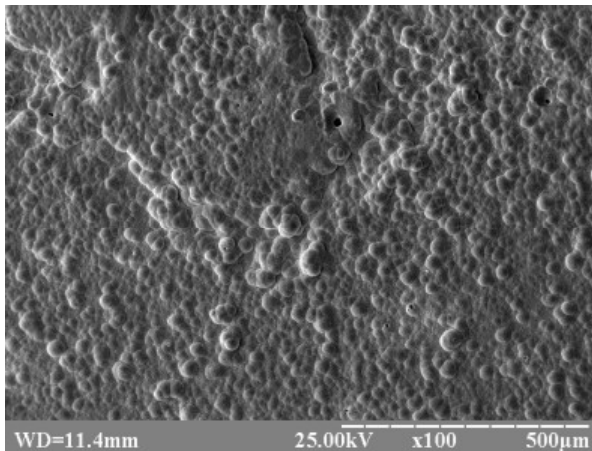


а (a)

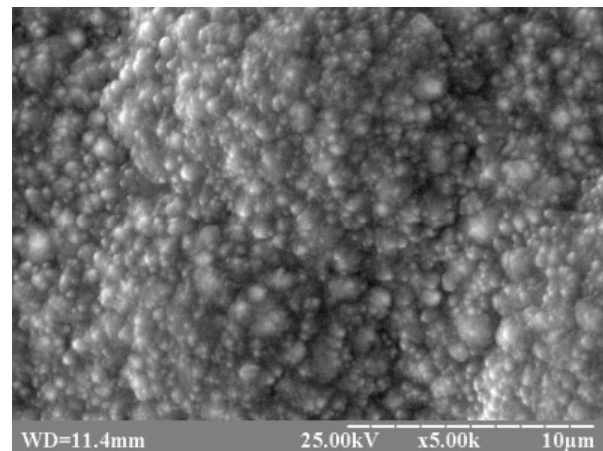


б (b)

Рис. 4. Морфологія поверхні композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт товщиною 3 мкм, за використання як наповнювача графіту, який попередньо наносився на підкладку електроконтактним способом, а – $\times 100$, б – $\times 5\ 000$ / Fig. 4. The surface morphology of the composite 3 μm thickness cobalt-graphite electrolytic coating, when graphite is used as a filler, which was previously deposited to the substrate by an electrocontact method, a – $\times 100$, b – $\times 5\ 000$



а (a)

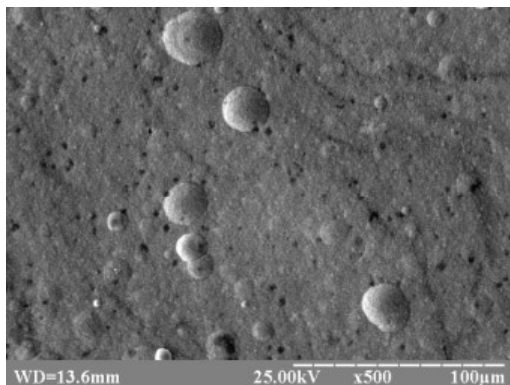


б (b)

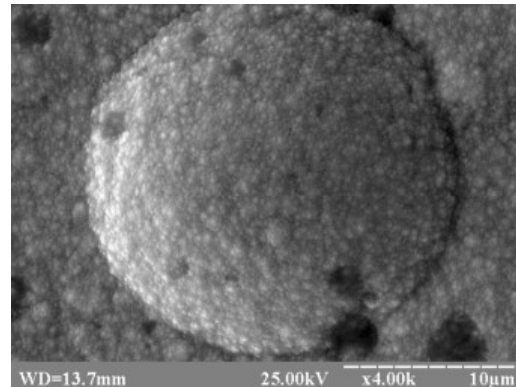
Рис. 5. Морфологія поверхні композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт товщиною 15 мкм, за використання як наповнювача графіту, який попередньо наносився на підкладку електроконтактним способом: а – $\times 100$, б – $\times 5\ 000$ / Fig. 5. The surface morphology of the composite 15 μm thickness cobalt-graphite electrolytic coating, when graphite is used as a filler, which was previously deposited on the substrate by an electrocontact method: a – $\times 100$, b – $\times 5\ 000$

Таким чином, встановлено, що у разі використання як наповнювача графіту в композиційних електролітичних покриттях кобальт –

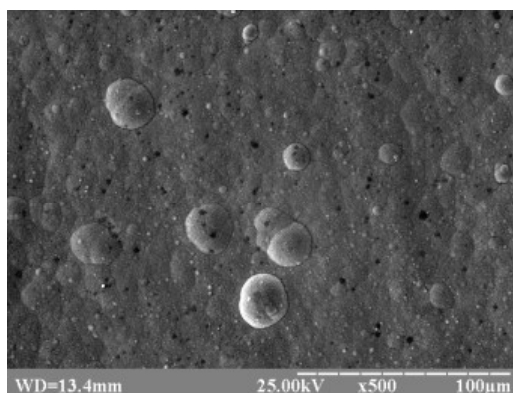
графіт слід урахувувати вплив режиму осадження, геометрії та розміру частинок графіту на формування осадів.



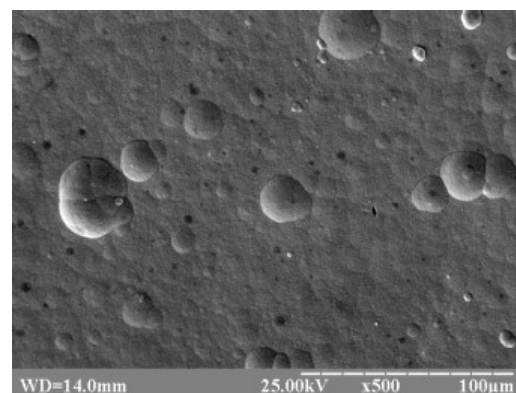
a (a)



б (b)



в (c)



г (d)

Рис. 6. Морфологія поверхні композиційного електролітичного покриття кобальт – графіт, розмір частинок наповнювача до 10 мкм: а, б – товщина покриття 3 мкм, ×500, ×4 000, в – товщина покриття 10 мкм, ×500, г – товщина покриття 15 мкм, ×500 / Fig. 6. The surface morphology of the composite cobalt-graphite electrolytic coating, particle size of the filler up to 10 μm: a, b – coating thickness 3 μm, ×500, ×4 000, c – coating thickness 10 μm, ×500, d – coating thickness 15 μm, ×500

Висновки

Виявлено вплив режиму осадження, геометрії та розміру частинок графіту на морфологію поверхні композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт товщиною 3...15 мкм.

Установлено, що для одержання композиційних електролітичних покриттів кобальт – графіт із

суцільним шаром кобальтових осадів необхідно використовувати як наповнювач графіт, який наноситься електроконтактним способом на підкладку до процесу електроосадження, та частинки, що виникають у процесі руйнування графітового анода під час електролізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наумов Л. В. Закономерности электроосаждения сплава кобальт – никель при различных режимах электролиза / Л. В. Наумов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 76–84.
2. Гальванотехника : справочник / [Ф. Ф. Ажогин, М. А. Беленький, И. Е. Галль и др.]. – Москва : Металлургия, 1987. – 736 с.
3. Сайфуллин Р. С. Композиционные покрытия и материалы : монография / Р. С. Сайфуллин. – Москва : Химия, 1977. – 272 с.
4. Короляничук Д. Г. Композиционные электролитические покрытия на основе меди с углеродными наноматериалами / Д. Г. Короляничук, В. Г. Нефёдов, М. Р. Букатина, М. П. Щебельская, В. Д. Захаров, В. Е. Ваганов. – Харьков : НТУ ХП. – 2015. – № 30 (1139). – С. 51–59.
5. Электронная микроскопия в металловедении : справочник / [А. В. Смирнова, Г. А. Кокорин, С. М. Полонская и др.]. – Москва : Металлургия, 1985. – 192 с.

6. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия : монография / [Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков, А. Н. Иванов, Л. Н. Расторгуев]. – Москва : Металлургия, 1982. – 632 с.

REFERENCES

1. Naumov L.V. *Zakonomernosty elektroosazhdenyya splava kobal't–nykel' pry razlychnykh rezhymakh elektrolyza* [Regularities of electrodeposition of cobalt - nickel alloy under different electrolysis regimes]. *Izvestyya vysshykh uchebnykh zavedenyy. Povolzhskyy rehyon. Tekhnicheskyye nauky* [News of higher educational institutions. The Volga region. Technical science]. 2013, no. 1 (25), pp. 76–84. (in Russian)
2. Azhohyn F.F., Belen'kiy M.A., Hall' Y.E. [& oth.]. *Hal'vanotekhnika : spravochnyk* [Electroplating : reference book]. Moscow : Metallurhiya, 1987, 736 p. (in Russian)
3. Sayfullyn R.S. *Kompozitsiyini pokrytya i materialy*. [Composite coatings and materials : monograph]. Moscow : «Khimiya», 1977, 272 p. (in Russian)
4. Korolyanchuk D.H., Nefedov V.H., Bukatyna M.R., Shchebel'skaya M.P., Zakharov V.D. and Vahanov V.E. *Kompozitsyonnie elektrolytycheskiye pokrytya na osnove medy s uhlerodnyimi nanomaterialyami* [Composite Electrolytic Coatings Based on Copper with Carbon Nanomaterials]. Kharkov : NTU «KhPI», 2015, no. 30 (1139), pp. 51–59. (in Russian)
5. Smyrnova A.V., Kokoryn H.A., Polonskaya S.M. [& oth.]. *Elektronnaya mykroskopiya v metallovedenyy : spravochnyk* [Electron Microscopy in Metallurgy: handbook]. Moscow: Metallurhiya, 1985, 192 p. (in Russian)
6. Umanskiy Ya.S., Skakov Yu.A., Yvanov A.N. and Rastorhiev L.N.. *Kryystallohrafiya, renthenografiya i elektronnaya mykroskopiya* [Crystallography, X-ray diffraction and electron microscopy : monograph]. Moscow : Metallurhiya, 1982, 63 p.
Стаття рекомендована до публікації д-ром техн. наук, проф. О. Б. Гіріним (Україна), д-ром техн. наук, проф. Б. В. Виноградовим (Україна).
Надійшла до редколегії 20.08.2017
Прийнята до друку 30.08.2017