

## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Ni/Au ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКИМ И УФ-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Н.Г. Валько<sup>1)</sup>, В.М. Анищик<sup>2)</sup>, В.П. Евстигнеева<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,  
ул. Ожешко 22, 230023 Гродно, Беларусь, n.valko@grsu.by, evstigneeva\_vp@grsu.by

<sup>2)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, anishchik@bsu.by

Представлены результаты исследования влияния рентгеновского (0.07 нм) и ультрафиолетового (207 нм) излучения на скорость электроосаждения, структуру и механические свойства композиционных покрытий Ni/Au, формируемых из промышленного электролита, содержащего наночастицы золота. В ходе исследования было установлено, что действие ультрафиолетового и рентгеновского излучения на процесс электроосаждения композиционных покрытий Ni/Au приводит к возрастанию массового прироста на единицу площади и скорости наращивания покрытий за счет увеличения потоков диффундирующих ионов восстанавливаемых металлов к катоду, а также способствует формированию сплошных компактных покрытий. Установлены зависимости массового прироста покрытий от плотности тока осаждения, заключающиеся в монотонном росте скорости наращивания покрытий Ni/Au с увеличением плотности тока. Установлены, зависимости микротвердости композиционных покрытий Ni/Au, полученных при рентгеновском и УФ-излучении, от плотности тока осаждения, заключающиеся в увеличении микротвердости покрытий с увеличением плотности тока осаждения, что обусловлено формированием мелкокристаллической структуры гальванических покрытий под облучением. Анализ зависимостей, полученных для образцов, осажденных в условиях облучения, показал, что воздействие рентгеновским излучением (0.07 нм) и УФ-излучением (207 нм) на электролит в процессе электроосаждения композиционных покрытий Ni/Au приводит к формированию покрытий с повышенной твердостью в сравнении с необлучаемыми образцами. Увеличение микротвердости облучаемых покрытий связано с их плотностью, которая в свою очередь зависит от условий электроосаждения, в частности от длительности и дозы облучения, а также количества наночастиц в покрытии.

**Ключевые слова:** композиционное покрытие; наночастицы, электроосаждение; ультрафиолетовое излучение; рентгеновское излучение.

## ELECTRODEPOSITION OF Ni/Au COMPOSITE COATINGS UNDER EFFECT OF UV AND X-RAY RADIATION

N.G. Valko<sup>1)</sup>, V.M. Anishchik<sup>2)</sup>, V.P. Evstigneeva<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Grodno State University Yanka Kupala, 22 Ozheshko Str., 230023 Grodno, Belarus,  
n.valko@grsu.by, evstigneeva\_vp@grsu.by

<sup>2)</sup>Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, anishchik@bsu.by

The results of the study of the effect of X-rays (0.07 nm) and UV (207 nm) radiation on the rate of electrodeposition, structure and mechanical properties of composite Ni/Au coatings have been electrodeposited from electrolytes containing gold nanoparticles are presented. In carrying out research it was found that the effect of UV and X-ray radiation on the electrodeposition process of the Ni/Au composite coatings leads to an increase in the mass gain per unit area and the rate of growth of coatings due to an increase in the flux of diffusing ions of reduced metals to the cathode and also promotes to the formation of compact composite coatings. The dependencies of the mass gains of coatings over the current density are established. It is shown that mass gain-current density curves permanent increase with an increase in the current density. The dependencies of the microhardness of Ni/Au composite coatings effected with X-rays and UV radiation over the current density of deposition have been obtained. It is established that microhardness of the Ni/Au coatings increases with an increase in the current density of deposition. This phenomena is caused by the formation of a dispersed structure of composite coatings under irradiation. Analysis of the microhardness-current density of deposition curves shows that exposure with X-ray radiation (0.07 nm) and UV radiation (207 nm) of electrolytes during electrodeposition of Ni/Au composite coatings leads to the formation of the coatings with increased hardness compare with non-irradiated samples. An increase in the microhardness of the irradiated Ni/Au coatings is associated with their density which depends on the crystallization modes and the quantity of nanoparticles in the coating.

**Keywords:** composite coating; nanoparticles, electrodeposition; ultraviolet radiation; X-ray radiation.

## Введение

В связи с широким использованием в промышленности защитно-декоративных никелевых покрытий актуальным является разработка технологий электролитического получения композиционных покрытий (КЭП) с требуемыми эксплуатационными свойствами [1]. Особый интерес представляет формирование КЭП с наночастицами благородных металлов, полученных методом лазерной абляции, которые модифицируют свойства гальванических покрытий благодаря своей наноразмерности, а также благодаря своим свойствам, приобретенным в процессе лазерной абляции [2].

Одним из перспективных направлений в сфере модификации покрытий является разработка методов формирования КЭП при воздействии ионизирующим излучением на электрохимическую систему. Данное направление связано в первую очередь с совместным соосаждением ионов восстанавливаемых металлов и наночастиц благородных металлов на катоде из комплексных электролитов при облучении электрохимической системы ионизирующим излучением и распределением наночастиц покрытий по объему.

Целью данной работы было исследование влияния ионизирующего излучения на скорость электроосаждения, структуру и свойства покрытий на основе никеля, наноструктурированных наночастицами Au, полученных методом лазерной абляции [1].

## Методики исследования

Покрытия Ni/Au получали из промышленного электролита, ( $\text{NiSO}_4 - 170 \text{ г/дм}^3$ ,  $\text{MgSO}_4 - 40 \text{ г/дм}^3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 60 \text{ г/дм}^3$ ,  $\text{NaCl} - 7.5 \text{ г/дм}^3$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 27.5 \text{ г/дм}^3$ ). Концентрация наночастиц золота в электролите составляла  $0.5 \text{ г/дм}^3$ .

Покрытия осаждались при плотностях тока от 1 до 3  $\text{А/дм}^2$ .

Микротвердость покрытий Ni/Au измерялась на цифровом твердомере KASON 59-NV, согласно ГОСТ 2999. Исследова-

лись покрытия, сформированные в поле рентгеновского ( $0.07 \text{ нм}$ ) и УФ-излучения ( $207 \text{ нм}$ ).

## Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведены графики зависимости исследования массового прироста Ni/Au покрытий, полученных из электролитов с концентрацией наночастиц Au  $0.5 \text{ г/дм}^3$ , облученных рентгеновским ( $0.07 \text{ нм}$ ) и УФ-излучением ( $207 \text{ нм}$ ).

Обнаружено, что с увеличением плотности катодного тока осаждения массовый прирост покрытий увеличивается. На рисунке 1 видно, что изменение массового прироста покрытий Ni/Au с увеличением плотности тока осаждения увеличивается практически линейно, что коррелирует с законами Фарадея.

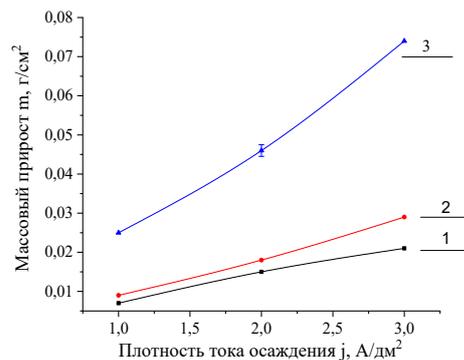


Рис. 1. Зависимость массового прироста на единицу площади покрытий Ni/Au от плотности тока в поле излучения (1 – к.о.; 2 – обл. UV; 3 – обл. X-ray)

Fig. 1. Dependencies of the mass gain per unit area of the Ni/Au coatings over the current density in the field of radiation (1 – control; 2 – UV; 3 – X-ray)

Обнаружено, что действие УФ- и рентгеновского излучения на процесс электрокристаллизации композиционных покрытий Ni/Au из водных электролитов приводит к увеличению скорости наращивания покрытий за счет увеличения потоков диффундирующих ионов восстанавливаемых металлов к катоду.

Показано, что при воздействии рентгеновским излучением на электролит, содержащие наночастицы золота, скорость осаждения композиционных покрытий значительно выше, чем при воздействии

ультрафиолетовым излучением. Данная закономерность наблюдается для всех исследуемых плотностей катодного тока осаждения. Предположительно, данный эффект обусловлен более интенсивными радиационно-химическими превращениями, протекающими в водных электролитах при воздействии ионизирующего рентгеновского излучения нежели при воздействии УФ-излучения [3].

Представляло интерес исследование влияния ионизирующего излучения на структуру и свойства покрытий из электролитов, содержащих наночастицы благородных металлов. Методами растровой электронной микроскопии исследована структура никелевых покрытий с наночастицами золота, сформированных в поле рентгеновского (0.07 нм) и УФ (207 нм) излучения.

Было обнаружено, что морфология поверхности образцов, сформированных в условиях облучения рентгеновским и УФ-излучением, отличается от контрольных Ni/Au мелкозернистой структурой и наличием мелкодисперсных образований, указывающих на повышенную гладкость.

Результаты измерения микротвердости Ni/Au, полученных при различной плотности тока, облученных в процессе электроосаждения рентгеновским и УФ-излучением, приведены на рисунке 2.

На представленных зависимостях микротвердости от плотности тока осаждения КЭП Ni/Au видно монотонное увеличение микротвердости покрытий с ростом плотности тока осаждения, что связано формированием мелкозернистых покрытий при повышенной скорости электрокристаллизации в интервале рабочих плотностей тока.

Анализ зависимостей, полученных для образцов, осажденных в условиях облучения, указывает, что воздействие рентгеновским излучением (0.07 нм) и УФ-излучением (207 нм) на электролит в процессе электроосаждения КЭП Ni/Au приводит к формированию покрытий с по-

вышенной твердостью в сравнении с необлучаемыми образцами.

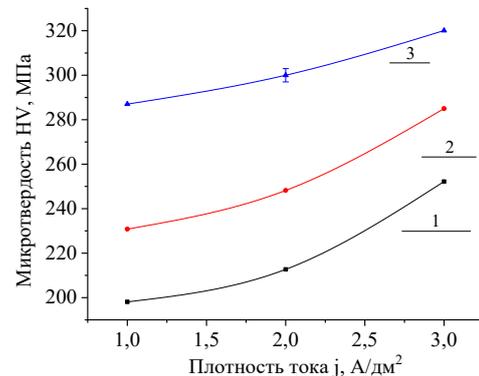


Рис. 2. Зависимости микротвердости покрытий Ni/Au от плотности тока в поле излучения (1 – к.о.; 2 – обл. UV; 3 – обл. X-ray)

Fig. 2. Dependencies of the microhardness of Ni/Au coatings over the current density in the field of radiation (1 – control; 2 – UV; 3 – X-ray)

Увеличение микротвердости облучаемых покрытий связано с их плотностью, которая в свою очередь зависит от условий кристаллизации и количества наночастиц в покрытии [4].

Поскольку электроосаждение велось при воздействии рентгеновским и УФ-излучением на электролит, то можно предположить, что вследствие радиационно-химических превращений в облучаемых электролитах и интенсификации диффузионных процессов продуктами радиолиза происходит формирование КЭП Ni/Au с повышенной плотностью.

## Заключение

Проведены исследования влияния ионизирующего излучения на скорость электроосаждения, структуру и свойства покрытий на основе никеля, наноструктурированных наночастицами Au, полученных методом лазерной абляции.

В ходе исследований было установлено, что действие рентгеновского излучения на процесс электроосаждения композиционных покрытий Ni/Au на подложки из низкоуглеродистой стали 08кп приводит к возрастанию массового прироста на единицу площади и скорости наращивания покрытий за счет увеличения потоков

диффундирующих ионов восстанавливаемых металлов к катоду, а также формированию сплошных компактных покрытий, с повышенной плотностью.

Обнаружено увеличение микротвердости (HV) облучаемых композиционных Ni/Au покрытий в сравнение с контрольными КЭП. Установлены зависимости микротвердости от плотности тока осаждения КЭП Ni/Au, полученных при рентгеновском и УФ-излучении, заключающиеся в увеличении микротвердости покрытий с увеличением плотности тока осаждения.

### Библиографические ссылки

1. Valko N.G., Koltunowicz T.N., Anishchik V.M., Yeustsihneyeva V.P. Investigation of physical properties of CoNiFe coatings electrodeposited on the X-rays. 11th International Conference «New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation». (25-28 June 2019), Lublin; 2019. P. 52.
2. Ануфрик С.С., Валько Н.Г., Евстигнеева В.П., Анучин С.Н. Влияние ионизирующего излучения на степень кристалличности композиционных Ni/Ag покрытий. В кн.: Исаев В.А. редактор. Материалы XXVI Международной конференции «Оптика и спектроскопия конденсированных сред», г. Краснодар. Краснодар: Издательский центр КГАУ; 2020. С. 120-124.
3. Ershov B.G., Kelm M., Janata E. Pulse radiolysis

studies of the reactions of  $e_{aq}^-$  and OH with  $ClO_3^-$  ions in aqueous solution. *Radiation Physics and Chemistry* 2000; 59(3): 309-312.

4. Valko N., Kasperovich A., Lavysch A.V., Parafinuk D.A. Electrodeposition of composite coatings with  $SiO_2$  nanopowder in the X-rays. *Nanomaterials* 2017; 2: 247.

### References

1. Valko N.G., Koltunowicz T.N., Anishchik V.M., Yeustsihneyeva V.P. Investigation of physical properties of CoNiFe coatings electrodeposited on the X-rays. 11th International Conference «New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation». (25-28 June 2019), Lublin; 2019. P. 52.
2. Anufrik S.S., Valko N.G., Evstigneeva V.P., Anuchin S.N. Vliyanie ioniziruyushchego izlucheniya na stepen kristallichnosti kompozitsionnykh Ni/Ag pokrytiy. [Influence of ionizing radiation on the degree of crystallinity of composite Ni/Ag coatings]. V kn.: Isaev V.A. redaktor. Materialy XXVI Mezhdunarodnoy konferentsii «Optika i spektroskopiya kondensirovannykh sred», g. Krasnodar. Krasnodar: Izdatelskiy tsentr KGAU; 2020. S. 120-124. (In Russian).
3. Ershov B.G., Kelm M., Janata E. Pulse radiolysis studies of the reactions of  $e_{aq}^-$  and OH with  $ClO_3^-$  ions in aqueous solution. *Radiation Physics and Chemistry* 2000; 59(3): 309-312.
4. Valko N., Kasperovich A., Lavysch A.V., Parafinuk D.A. Electrodeposition of composite coatings with  $SiO_2$  nanopowder in the X-rays. *Nanomaterials* 2017; 2: 247.