

**В.М. Анищик<sup>1</sup>, Н.Г.Валько<sup>2</sup>, И.И. Кургузенкова<sup>2</sup>, Н.И. Поляк<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь**

**<sup>2</sup>УО «Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь**

## **МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ Zn-Ni ПОКРЫТИЙ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

В настоящее время интенсивно разрабатываются новые методики электрохимической защиты стальных изделий с использованием внешних воздействий: ультразвука, магнитного поля и высокоинтенсивного излучения, которые позволяют значительно улучшать физико-механические свойства гальванопокрытий [1]. Актуальным является вопрос об использовании рентгеновского излучения в процессе электролитического осаждения, поскольку при воздействии облучения на электрохимическую систему в электролите равномерно по всему объему раствора генерируются продукты радиолиза [2]. Обладая высокой подвижностью и восстановительными свойствами, они способствуют увеличению потока диффундирующих ионов осаждаемого металла в прикатодном диффузионном слое и как следствие, ускорению процесса разрядки на подложке. В свою очередь,

интенсификация процессов электроосаждения приводит к изменению некоторых защитных свойств покрытий, таких как пористость, прочность сцепления с основой, коррозионная стойкость, шероховатость и т. д. Кроме того, при воздействии рентгеновского излучения на электролиты, используемые для осаждения сплавов, вследствие радиационно-химических реакций образуются активные комплексные металлические кластеры. Возникновение последних может привести к изменению процесса первичной кристаллизации и соответственно к изменению фазового и элементного составов, механических свойств.

В данной работе представлены результаты исследования механических свойств покрытий сплавом Zn-Ni, модифицированных рентгеновским излучением в процессе электроосаждения.

Сплавы Zn-Ni осаждались на подложки из низкоуглеродистой стали 08кп из кислого (pH = 3), слабокислого (pH = 4) и нейтрального (pH = 7) электролитов. Источником излучения служила рентгеновская установка с молибденовым анодом ( $\lambda_{K\alpha} = 0,707 \text{ \AA}$ ) при напряжении на трубке 50 кВ и токе 15 мА.

В ходе исследований обнаружен немонотонный характер изменения микротвердости в зависимости от кислотности электролита, что обусловлено различием в элементном и, как следствие, фазовом составех электроосажденных покрытий. Так среди осажденных из кислого, слабокислого и нейтрального электролитов, наибольшей микротвердостью обладают образцы, сформированные из нейтрального (рисунок 1). Из данного типа электролита формируются сплавы

в которых концентрация никеля составляет 14 ат.%, а цинка 86 ат.% [3].

Из кислого электролита кристаллизуются осадки, в которых концентрация никеля составляет 10 ат.%, цинка – 72 ат.%, кислорода – 18 ат.%. При таком соотношении цинка и никеля в сплаве фазовое состояние должно соответствовать гомогенной фазе  $Ni_5Zn_{21}$  [4, 5], которая характеризуется повышенной прочностью и хорошими механическими

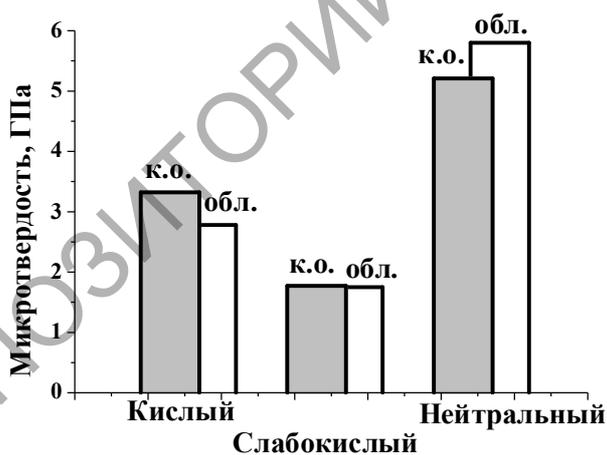


Рисунок 1 – Микротвердость Zn-Ni покрытий: контрольных образцов (к.о.) и образцов, полученных под облучением (обл.)

характеристиками. Однако микротвердость покрытий из кислого электролита на 30 % ниже, чем покрытий из нейтрального. Исследования морфологии покрытий показали, что из кислого и нейтрального электролитов формируются покрытия с более плотным и компактным расположением металлических зерен по сравнению с покрытиями, сформированными из слабокислого электролита. Морфология поверхности покрытий из слабокислого электролита сильно развитая и рыхлая, что обуславливает их механические свойства, в том числе низкую микротвердость по сравнению с покрытиями из кислого и нейтрального электролита. Микротвердость данных покрытий на 66 % ниже, чем из нейтрального и на 47 %, чем из кислого электролитов. При исследовании элементного и фазового составов данных образцов было обнаружено, что содержание никеля в сплавах не превышает 4 ат.% и они являются многофазными. Контрольные образцы представляют собой эвтектическую смесь Zn и Ni [4].

Как видно из рисунка 1, действие рентгеновского излучения в процессе формирования покрытий из нейтрального электролита приводит к возрастанию микротвердости, из кислого – к снижению, а на микротвердость покрытий из слабокислого электролита не влияет. Это связано в первую очередь с изменением фазового и элементного составов покрытий. Так покрытия из слабокислого электролита, сформированные в условиях облучения, являются смесью Zn, Ni и твердого раствора никеля в цинке  $Ni_5Zn_{21}$ . Однако включения  $Ni_5Zn_{21}$  настолько малы, что не дают существенного вклада в повышение микротвердости. Облучение кислого электролита приводит к осаждению покрытий с таким же фазовым составом, как и у контрольных образцов. Снижение микротвердости на 16 % в сравнении с контрольными покрытиями обусловлено активными окислительными процессами, протекающими на поверхности покрытий, а также высокой кислотностью электролита.

Микротвердость покрытий из нейтрального электролита, полученных под облучением на 18 % больше, чем контрольных образцов и ее величина с глубиной проникновения индентора монотонно убывает до значения, соответствующего микротвердости необлученных покрытий. Таким образом, действие рентгеновского излучения в процессе формирования покрытий приводит к упрочнению их поверхностного слоя. Следует отметить, что для покрытий, сформированных в поле рентгеновского излучения, содержание никеля составляет 17 ат.%.

Данные исследований микротвердости цинкникелевых сплавов хорошо коррелируют с трибологическими испытаниями. Так,

коэффициент трения образцов из слабокислого электролита выше, чем образцов из кислого и нейтрального электролитов. Обнаружено также, что значение коэффициента трения для образцов из данного электролита, полученных в поле рентгеновского излучения, несколько ниже, чем для контрольных образцов, что связано с шероховатостью поверхности. Средняя шероховатость поверхности контрольных образцов равна 3,79 мкм, а облученных 2,65 мкм. Абразивный износ не наблюдается как для контрольных образцов, так и образцов полученных под облучением.

Таблица 1 – Коэффициент трения Zn-Ni покрытий

Тип электролита	Контрольный образец	Образец, полученный под облучением
Кислый	0,11	0,48
Слабокислый	0,6	0,5
Нейтральный	0,7	0,4

Для покрытий из нейтрального электролита действие рентгеновского излучения в процессе формирования покрытий приводит к снижению коэффициента трения и абразивного износа образцов, полученных в поле рентгеновского излучения, а значение шероховатости  $R_a$  для данных покрытий уменьшается на 25 %. Коэффициент трения и абразивный износ образцов из кислого электролита, полученных под облучением, в сравнении с контрольными образцами, значительно выше. Возможно, это связано с увеличением содержания цинка и снижением содержания кислорода в поверхностном слое покрытия.

Анализируя выше перечисленные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Исследование микроструктуры поверхности, элементного и фазового составов сплавов Zn-Ni, осажденных из кислого, слабокислого и нейтрального электролитов показали, что действие рентгеновского излучения способствует формированию покрытий с более тонким оксидным слоем и повышенным содержанием никеля в сплавах.

2. Действие рентгеновского излучения на нейтральный электролит в процессе осаждения приводит к формированию Zn-Ni покрытий с повышенной микротвердостью и более низким коэффициентом трения. При этом происходит упрочнение поверхностного слоя данных покрытий. Покрытия из кислого электролита, сформированные в поле рентгеновского излучения, отличаются меньшей микротвердостью и большим коэффициентом трения по сравнению с контрольными

образцами. Микротвердость и коэффициент трения Zn-Ni покрытий из слабокислого электролита при воздействии рентгеновского излучения в процессе их получения практически не изменяются.

### Литература

1. Mendi Ebadi Influence of magnetic field on the electrodeposition of Ni-Co alloy / Mendi Ebadi, W.J. Basirun, Yatimah Alias // J. Chem. Sci. – 2010. – Vol. 122. – № 2. – P. 279–285.

2. Ершов, Б.Г. Атомы, ионы в необычных состояниях окисления и малые кластеры металлов в водных растворах / Б.Г. Ершов // Журнал неорганической химии. – 2002. – Т. 47. – № 4. – С. 644–653.

3. Валько, Н.Г. Моделирование электроосаждения сплавов Zn-Ni из кислого и нейтрального электролитов при воздействии рентгеновского излучения / Н.Г. Валько, И.И. Кургузенкова // Материалы, технологии, инструменты. – 2011. – Т. 16. – № 2. – С. 34–38.

4. Анищик, В.М. Влияние отжига на структуру и свойства Zn-Ni покрытий, электроосажденных при воздействии рентгеновского излучения / В.М. Анищик, Н.Г. Валько, Н.И. Поляк, И.И. Алесчик // Тезисы докладов XLI международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами / Под ред. проф. М.И. Панасюка. – Москва: Университетская книга, 2011. – С. 155.

5. Проскуркин, Е.В. Цинкование / Е.В. Проскуркин, В.А. Попович, А.Т. Мороз. – Москва: Металлургия, 1988. – 528 с.