

**МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗАЩИТНЫХ СПЛАВОВ ЦИНКА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

**Ануфрик С.С., Валько Н.Г., Лукашик О.А., Иванов А.Ю., Васильев С.В., Белаш В.А.**  
*УО «Гродненский государственный университет им. Я.Купалы»*  
*г. Гродно, Беларусь, E-mail: N.Valko@grsu.by*

В настоящее время самой актуальной задачей машиностроения является улучшение эксплуатационных свойств защитных покрытий на основе цинка, как наиболее распространенных среди защитных покрытий на стальных изделиях, обладающих хорошими механико-химическими свойствами вследствие высокой электроотрицательности цинка по отношению к большинству металлов. Самыми перспективными и широко используемыми в промышленности являются электролитические сплавы ZnNi. Среди сплавов на основе металлов семейства железа они наиболее коррозионноустойчивые. Их преимуществом является достаточно низкая стоимость, невысокая токсичность и наводороживание стальной основы, высокая твердость.

В работе анализируется возможность модификации покрытий ZnNi лазерным излучением (ЛИ), с целью их улучшения свойств покрытий. Интерес обработке покрытий ЛИ вызван, прежде всего, высокой концентрацией энергии, вводимой в зону воздействия. Представлены результаты исследования морфологии поверхности, элементного и фазового состава покрытий, осажденных в поле рентгеновского излучения и без.

Покрытия ZnNi осаждались из сульфатного электролита при плотности катодного тока  $2 \text{ A/dm}^2$ . Электроосаждение проводилось при температуре  $21^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. Перед осаждением на катод подавался реверсивный ток, превышающий ток осаждения в 5 раз. Исследовались образцы, сформированные в поле рентгеновского излучения (мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения составляла  $100 \text{ kP/ч}$ ) и контрольные, осажденные в стационарных условиях. Воздействие рентгеновского излучения на электролит в процессе осаждения покрытий позволяет ингибировать процесс осаждения на катоде продуктов промежуточного восстановления, препятствующие формированию покрытий с требуемыми эксплуатационными свойствами. Концентрация цинка в контрольных покрытиях составляла 92%, а в облучаемых в процессе осаждения 88%.

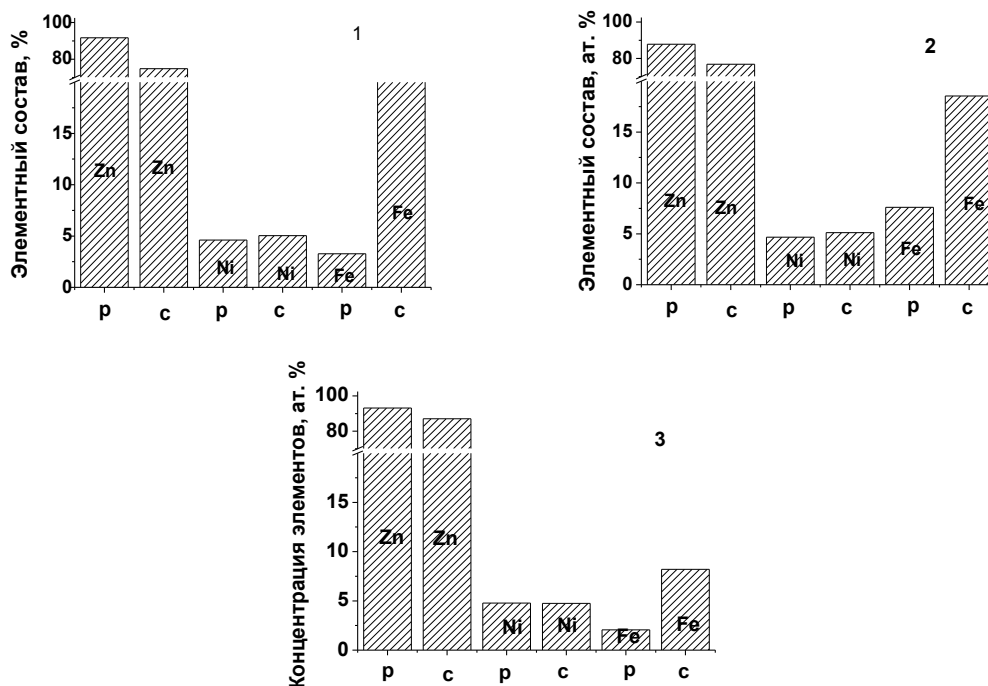
Облучение образцов ЛИ, генерируемым рубиновым лазером, проводилось в трех режимах: режим свободной генерации, облучение в водной среде, облучение в моноимпульсном режиме. Основной задачей являлось выявление наиболее эффективного режима, приводящего к наилучшей модификации облучаемого покрытия.

Для решения поставленной задачи у модифицированных ЛИ покрытий исследовались морфология поверхности, элементный состав в двух точках обрабатываемой поверхности: в центральной (с) и в периферийной (р) зонах.

Результаты исследования элементного состава модифицированных лазерным излучением ZnNi покрытий, сформированных в поле рентгеновского излучения и контрольных, необлучаемых в процессе осаждения, приведены на рисунках 1-2. Анализ данных показывает, что воздействию ЛИ на покрытия ZnNi приводит к изменению, а также к неоднородному распределению концентрации элементов в области лазерного воздействия, которое зависит от режимов облучения, а также от распределения энергии в лазерном пучке.

Для всех трех режимов облучения обнаружено заметное снижение концентрации цинка в центральной зоне воздействия. В режиме свободной генерации на воздухе снижение концентрации цинка в с – зоне происходит до 75 %, в воде – до 88%, что связано с частичным поглощением энергии лазерного излучения водой. При моноимпульсном режиме облучения концентрация цинка снизилась до 84 ат.%. При этом, наблюдается рост концентрации железа в направлении от периферийной р – зоны обработки к с-зоне, что может быть обусловлено уменьшением толщины покрытия вследствие нагрева и его частичного испарения, а также диффузии железа из подложки в покрытие [1].

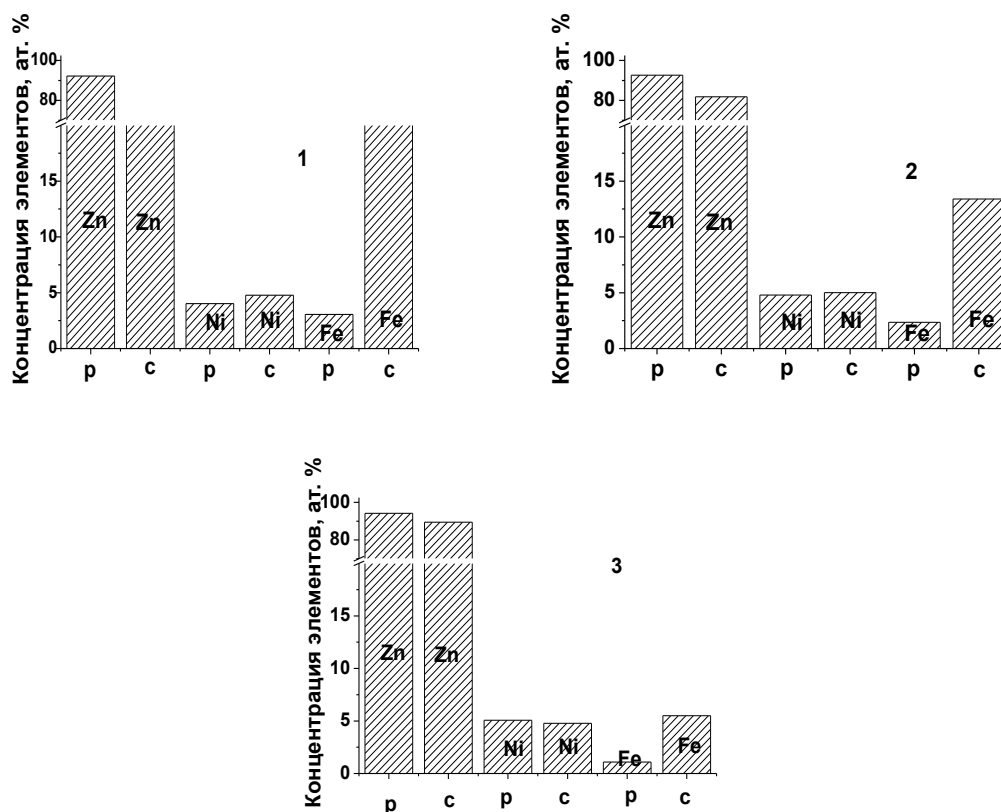
Сравнение распределения элементов концентраций элементов по поверхности покрытий при облучении ЛИ в воздухе и в воде показывает, что концентрация цинка на поверхности облученного ЛИ на воздухе выше, чем на поверхности покрытий модифицированных ЛИ в режиме свободной генерации в воде. В частности в р-зоне концентрация цинка у покрытий, модифицированных на воздухе на 5% выше, чем у покрытий, облученных в воде, что может быть связано с частичным испарением Zn и последующим осаждением его на периферии покрытий.



1 – режим свободной генерации (воздух); 2 – режим свободной генерации (вода);  
3 – моноимпульсный режим (воздух)  
Рисунок 1 – Концентрация элементов, входящих в покрытия ZnNi, в зоне воздействия ЛИ

Для моноимпульсного режима разброс концентраций элементов в покрытии в центральной и периферийных зонах значительно меньше, вследствие более однородного распределения интенсивности по пучку излучения, а также более короткого импульса генерации и соответственно более высокой мощности излучения, которые приводят к мгновенному нагреву покрытия, его переплавке и последующей закалке. В результате этого диффузионные процессы в направлении перпендикулярном плоскости кристаллизации медленнее, чем при облучении в режиме свободной генерации.

Исходя из результатов, представленных на рисунке 1, можно заключить, что распределение концентрации элементов в покрытиях, сформированных в поле рентгеновского излучения, аналогично распределению в контрольных покрытиях, полученных вне поля излучения. Видно, что концентрация железа в модифицированных ЛИ (при всех исследуемых режимах) покрытиях, сформированных в поле рентгеновского излучения, значительно ниже, чем у контрольных образцов, а концентрация цинка выше. Заметная разница наблюдается при моноимпульсном режиме, где концентрация железа в покрытии меньше всего в сравнении с режимом свободной генерации на воздухе и в воде, а разброс концентраций элементов в центральной и периферийной зонах облучения минимальный. Так, разница концентрации цинка в с- и р-зонах у покрытия, сформированного без воздействия рентгеновского излучения на электролит в процессе осаждения, составляет 6 %, а для облучаемых в процессе осаждения она снижается до 3 %. Аналогично для железа – 6 % и 3 %, соответственно.



1 – режим свободной генерации (воздух); 2 – режим свободной генерации (вода);  
3 – моноимпульсный режим (воздух)

Рисунок 2 – Концентрация элементов, входящих в покрытия ZnNi, сформированных в поле рентгеновского излучения, в зоне воздействия ЛИ

Наблюдаемые изменения в количественном соотношении элементов, входящих в модифицированные ЛИ ZnNi покрытия, которые были сформированы в поле рентгеновского излучения, связаны в первую очередь со структурно-фазовыми превращениями, возникшими в процессе осаждения, которые и определяют порог чувствительности к лазерному излучению. Таким образом, можно заключить, что действие рентгеновского излучения в процессе осаждения покрытий ZnNi на электрохимическую систему способствует формированию слоев, менее подверженных процессам испарения при исследованных уровнях мощности рубинового лазера.

#### Список литературы:

1. Valko, N. Laser modification of the microstructure of Zn-Co electroplating alloys / N. Valko [ и др.] // Nanomaterials: Applications and Properties. - 2015.- Т.4, № 1.- С.01PISERE01 (1-2).