

защищенности растений от патогенов и стресса с одновременным увеличением урожайности, сохранности и качества сельхозпродукции. Такие биоактивные тиофеновые соединения могут использоваться в качестве биопестицидов или служить в качестве модельных структур для разработки их химического синтеза. Применение таких метаболитов для защиты растений от болезней и вредителей может стать одной из эффективных наукоемких технологий в растениеводстве, так как они обладают низкой токсичностью для полезной фауны и безопасны для человека. При этом они не обладают, как правило, биоцидным действием, а воздействуют на вредителя через растение, активируя его защитные механизмы и тем самым справляются с болезнью с помощью собственных метаболитов. Очень низкие нормы расхода и относительно небольшая стоимость в целом могут сделать их использование экологически и экономически выгодным.

В настоящее время на мировом рынке появились коммерческие препараты, действие которых основано на индуцировании защитных реакций растений против фитопатогенов и вредных насекомых. Дальнейшее изучение биопестицидов с целью совершенствования их применения в качестве альтернативного подхода к расширению арсенала средств защиты растений несомненно приведет к снижению экологического загрязнения окружающей среды сельскохозяйственным производством и уровня содержания токсических веществ в продуктах питания.

#### Литература

1. Соколов, Ю.А. Элиситоры и их применение / Ю.А. Соколов // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2014. – № 4. – С. 109-121.
2. Коновалов, Д.А. Полиацетиленовые растения семейства *Asteraceae* / Д.А. Коновалов // Хим.-фарм. журнал. – 2014. – Т.48, № 9. – С. 36-59.
3. Antifungal Activity of Thiophenes from *Echinops ritro* / N. Fokialakis et al. // J. Agric. Food Chem. – 2006. – Vol. 54, No 5 – P. 1651-1655.

УДК 621.762

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

**Белый А.В.**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, **Кукареко В.А.**<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук,  
**Шапарь В.А.**<sup>3</sup>, канд. техн. наук, **Воробьев Н.А.**<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доцент  
(<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск;  
<sup>2</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск;  
<sup>3</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Электрохимические хромовые покрытия широко используются для увеличения износостойкости деталей узлов трения и защиты их от коррозии. В настоящее время развиваются технологии получения композиционных хромовых покрытий, которые позволяют улучшить служебные свойства покрытий в сочетании с уменьшением их толщины и, соответственно, снизить экономические и экологические издержки.

Перспективным направлением является разработка комбинированных методов получения композиционных гальванических слоев на основе модифицированных углеродсодержащими наночастицами хромовых покрытий, подвергнутых дополнительному поверхностному ионному легированию, например, ионами азота, обеспечивающими синтезирование в покрытиях нитридов хрома [1]. Важное значение при этом имеют исследования физико-механических и химических свойств модифицированных поверхностных слоев с целью их практического использования при создании и эксплуатации новой техники.

Ниже приведены результаты исследований структурно-фазового состояния, микротвердости и коррозионной стойкости электрохимически осажденных композиционных хромовых покрытий, модифицированных ультрадисперсными углеродсодержащими

частицами и подвергнутых обработке интенсивными потоками ионов азота.

Композиционные хромовые покрытия были получены методом электрохимического осаждения из базового электролита хромирования, имеющего состав (г/л):  $\text{CrO}_3$  – 250,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 2,5. Дисперсная фаза добавлялась в электролит в количестве  $C_a = 5, 10$  и  $20$  г/л. В качестве дисперсной фазы использовались очищенные нанодиамазы детонационного синтеза (УДА) ТУ РБ 28619110.001-95 и алмазосодержащая шихта (УДАГ) марки А ТУ 1000561180.003-2003 производства НП ЗАО «Синта». Толщина покрытий составляла  $\sim 18$ - $20$  мкм. Образцы хромовых покрытий, нанесенных на стальную подложку, подвергались ионно-лучевой обработке азотом на ускорителе ионов УВН-2М (ФТИ НАН Беларуси). Имплантация проводилась при энергии ионов  $3$  кэВ, плотности ионного тока  $2$  мА/см<sup>2</sup> и различной температуре образцов ( $970, 1020$  и  $1070$  К). Время обработки в –  $3$  ч. Микротвердость покрытий измерялась на приборе DuraScan 20 при нагрузке  $10$  и  $50$  г. Коррозионные испытания проводились в среде  $10\%$  водного раствора  $\text{NaCl}$ . В качестве метода определения коррозионной стойкости материалов был выбран весовой метод. Погрешность измерения массы образца  $\pm 0,05$  мг. Структуру покрытий изучали рентгенодифракционным методом с использованием дифрактометра ДРОН-3.0 в монохроматизированном  $\text{CoK}\alpha$ -излучении с использованием режима сканирования (шаг сканирования  $0,10$ , время набора импульсов на точку  $10$  с).

Данные рентгеноструктурного анализа показывают, что увеличение содержания модифицирующих добавок не изменяет фазового состава осажденных покрытий. В то же время имеет место расширение рентгеновских дифракционных линий модифицированных покрытий по сравнению с образцами электроосажденного хрома, что указывает на большую плотность содержащихся в них дефектов кристаллической решетки и ультрадисперсную структуру. Отмечено повышение твердости покрытий, модифицированных углеродсодержащими наночастицами (рисунок 1), связанное, по-видимому, с уменьшением размеров кристаллитов хромового покрытия при осаждении из электролитов, содержащих частицы УДА и УДАГ.

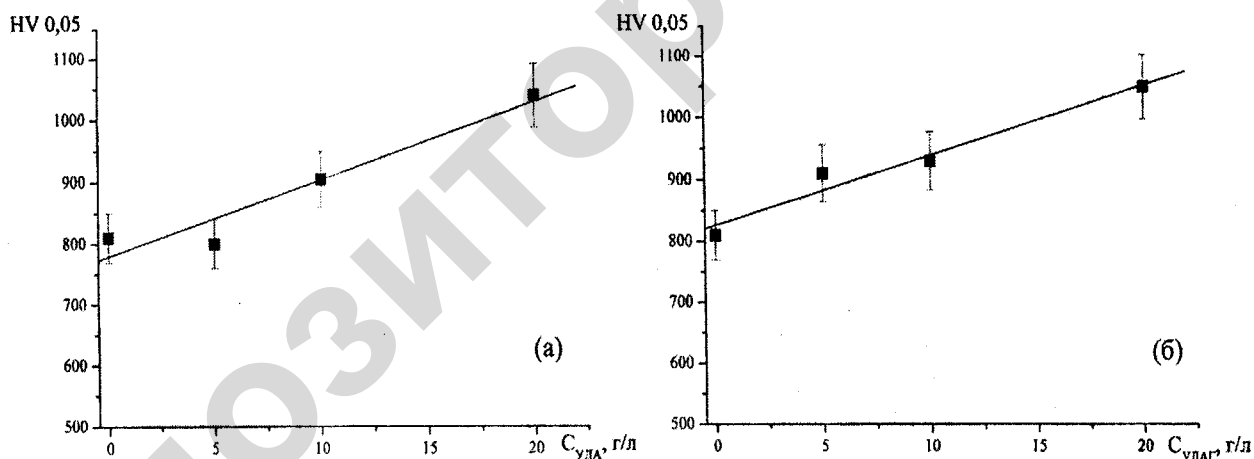


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости хромовых покрытий от концентрации частиц УДА (а) и УДАГ (б) в электролите.

Микрофотографии поверхностей исследуемых покрытий (рисунок 2) показывают, что покрытие, полученное в электролите с добавками наномодификатора (частицы УДАГ:  $20$  г/л), характеризуется более гладким микрорельефом.

В результате ионного азотирования в поверхностном слое хромовых покрытий формируется нитрид  $\text{Cr}_2\text{N}$  с гексагональной кристаллической решеткой и кубический нитрид  $\text{CrN}$ . На дифракционной картине регистрируются также линии от матричного хрома. Для хромовых покрытий, подвергнутых ионному азотированию при  $1020$  и  $1070$  К отмечается существенный рост микротвердости ( $2000$ - $2100$  HV  $0,01$ ), что связано, по-видимому, с увеличением толщины слоя нитридной фазы  $\text{Cr}_2\text{N}$ .

На рисунке 3 приведены зависимости величины коррозионного растворения от

времени выдержки в 10% водном растворе NaCl образцов хромовых покрытий, полученных различными способами.

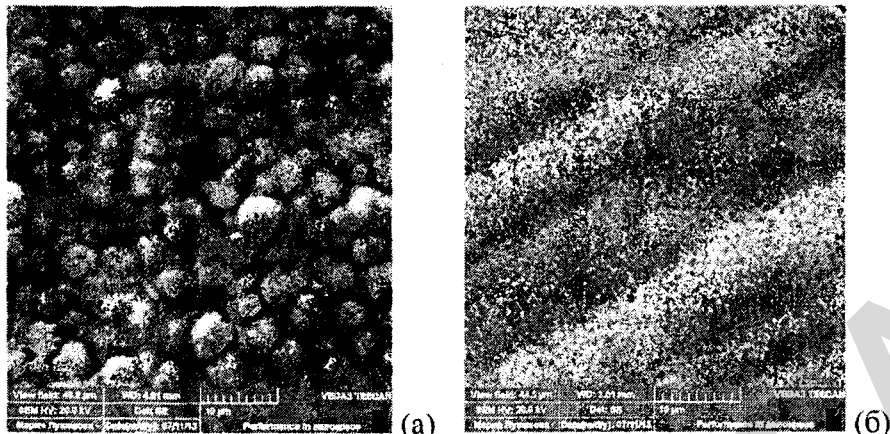


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения поверхности электрохимического хромового покрытия (а) и покрытия, полученного с добавкой в электролит частиц УДАГ (б).

Самая высокая скорость коррозии в водной среде, содержащей ионы хлора, зарегистрирована для стандартных хромовых покрытий ( $0,024 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$ ). Наиболее высокая стойкость к коррозии отмечена у композиционных хромовых покрытий (20 г/л углеродсодержащих наночастиц в электролите), подвергнутых ионно-лучевому азотированию при 1020-1070 К ( $0,013 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$ ).

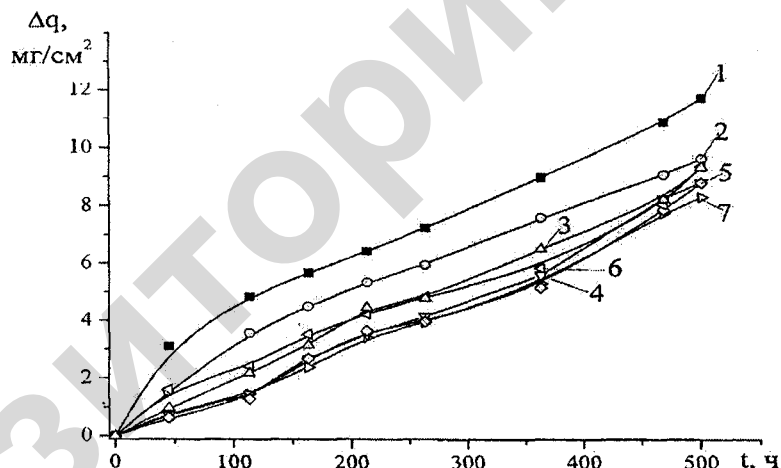


Рисунок 3 – Интенсивность коррозионного растворения в 10% водном растворе NaCl образцов хромовых покрытий: 1 – Cr; 2 – Cr+УДА (5 г/л); 3 - Cr+УДАГ (5 г/л); 4 - Cr+УДА (10 г/л); 5 - Cr+УДАГ (10 г/л); 6 - Cr+УДА (20 г/л); 7 - Cr+УДАГ (20 г/л).

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что добавление в электролит осаждения наноразмерных углеродсодержащих частиц приводит к диспергированию кристаллической структуры покрытий и сопровождается увеличением их твердости и коррозионной стойкости. Обработка композиционных хромовых покрытий ионами азота обеспечивает формирование на их поверхности модифицированных слоев, содержащих  $\text{Cr}_2\text{N}$  и повышение микротвердости до 2100 HV 0,01.

Модификация поверхностных слоев деталей описанными выше способами может быть использована, например, для гидроцилиндров подъемно-транспортных машин, различных элементов технологического оборудования, плунжерных насосов и др.

#### Литература

1. В.Ю. Долматов. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 344 с.