

уменьшение коррозионных токов в сравнении с чистым алюминием, что наиболее вероятно связано с экранированием поверхности металла плотной химически стойкой пленкой оксида. Значительно большие защитные свойства показывает модифицированный полианилином оксидный слой, кривая 3 рисунок 1, полученный в ходе совместного оксидирования и окислительной полимеризацией. Подобное улучшение свойств можно объяснить тем, что в ходе образования оксидного слоя на поверхности металлополимер заполняет образующиеся поры, а также полианилин за счет своих электропроводящих свойств перераспределяет заряд с активных мест по всей поверхности металла.

Кривая 4 обладает несколько меньшими в сравнении с модифицированным оксидным слоями защитными свойствами. Это объясняется химическим взаимодействием использованного пассиватора с полианилином, который под действием ионов  $Ti(IV)$  меняет свои проводящие свойства. При этом можно заметить уменьшение тока коррозии в области  $-1,42 - -1,56$  В и  $-1,76 - -1,92$  В вызванного более глубоким окислением полимерной пленки.

Вывод. Применение модифицированного полианилином анодно-оксидного покрытия показывает значительное повышение коррозионной стойкости, однако в сравнении с другими методами, отличается большими экономическими затратами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абаляева В.В. Электрохимический синтез полианилина на алюминиевом электроде / Абаляева В.В., Ефимов О.Н. // Электрохимия. - 1996. - Т. 32. - № 6. - С. 728–735.

УДК 620.197

В.В. Чаевский, доц., канд. физ.-мат. наук;

В.В. Жилинский, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

#### **ОБРАБОТКА ЛЕЗВИЙ НОЖЕЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ФОРМИРОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ Ni-УДА-ZrN ПОКРЫТИЙ**

Химические механизмы износа (коррозия и окисление) при обработке древесины, склеенной различными клеями, слоистых пластиков играют значительную роль в разрушении режущей кромки твердосплавного инструмента, т. к. кристаллические включения в композиционных материалах и химически активные продукты распада клеевой прослойки обладают значительными абразивными свойствами, быстро изнашивающими металл ножа инструмента, взаимодействуя с кобальтом и инициируя процесс вырывания зерен карбида вольфрама WC [1].

Одним из способов модификации поверхности материалов является нанесение на различные основы композиционных электролитических покрытий (КЭП), показывающих высокие физико-механические и электрохимические свойства [2]. Для улучшения свойств КЭП (повышение износостойкости, снижение коэффициента трения) в их состав вводят ультрадисперсные алмазы (УДА). Положительными сторонами электрохимического процесса обработки инструмента являются простота осуществляемых технологических операций формирования алмазосодержащего композиционного слоя, отсутствие высоких температур при изготовлении инструмента, низкая энергоемкость установок [3]. Однако основной недостаток алмазно-гальванического инструмента состоит в том, что никелевая матрица не обладает высокими прочностными характеристиками и износостойкостью.

Одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности материалов является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ), который позволяет существенно улучшить эксплуатационные свойства изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, в т. ч. в станкостроении и деревообработке [4].

Поэтому целью данной работы было сформировать на поверхности лезвий твердосплавных ножей фрезерного инструмента комбинированным методом КИБ и гальванической обработкой Ni-УДА-ZrN-покрытий, обеспечивающих повышение периода стойкости инструмента при резании ламинированных древесностружечных плит (ДСтП) и исследовать структуру, фазовый состав сформированных слоев.

В первую очередь, методом КИБ на поверхность лезвий ножей фрез осаждались ZrN-покрытия в два этапа – с предварительной обработкой ионами циркония в вакууме  $10^{-3}$  Па при потенциале подложки -1 кВ и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении -100 В в атмосфере азота при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450 °С. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

Затем на поверхности ZrN-покрытия формировались Ni-УДА-покрытия в процессе электроосаждения КЭП из сульфаминовокислого электролита никелирования (сульфаминовый никель (250,0–350,0 г/л),  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (250,0–300,0 г/л),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (25,0–30,0 г/л), 2,6-2,7 дисульфонафталиновая кислота (2,0–3,0 г/л)). В качестве дисперсной фазы использовали УДА (ТУ РБ 28619110.001-95), являющиеся продуктом детонационного превращения взрывчатых веществ с размерами 3–5 нм, развитой удельной поверхностью 200–450 м<sup>2</sup>/г. Концентрация УДА в электролите составляла 5 г/дм<sup>3</sup>. Процесс электроосаждения КЭП проводили при постоянном перемешивании электролита-

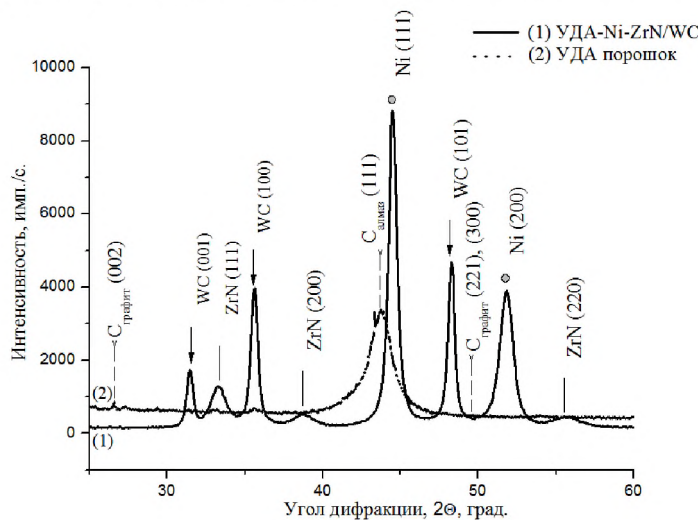
суспензии. Кислотность (рН) электролита поддерживали рН-метром рН-150 с точностью  $\pm 0,05\%$ . Уровень кислотности до значения 3,5 корректировался концентрированным раствором серной кислоты. Покрытия осаждались на экспериментальной установке с применением источников постоянного тока марки МНИПИ Б5-78/7 и DC POWER SUPPLY НУ3005-3 в течение 10–12 мин при повышенной температуре 40°C при плотностях тока 1,0–24,0 А/дм<sup>2</sup> в гальваностатическом режиме электролиза. Толщина Ni-УДА-покрытий не превышала 10 мкм.

Перед осаждением гальванических покрытий проводилась подготовка образцов, которая представляла собой химическое обезжиривание при температуре 60–80°C в течение 5–10 мин, промывку в горячей (при температуре 40–60°C в течение 0,5–1 мин) и холодной (при температуре 18–25°C в течение 1–2 мин) воде, травление (в растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (100–300 г/л) с ингибитором КИ-1 (5–7 г/л) при температуре 18–25°C в течение 1–3 мин) и холодную промывку, активацию, промывку.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа при помощи дифрактометра Ultima IV (Япония) в Cu-K<sub>α</sub> излучении. Морфология поверхности и элементный состав образцов исследовалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа LEO-1455 VP.

Измерение адгезионной прочности образцов с полученными Ni-УДА-ZrN- покрытиями проводилось на установке «скретч-тестер», разработанной и изготовленной БГУ – ЗАО «БМЦ» (г. Минск).

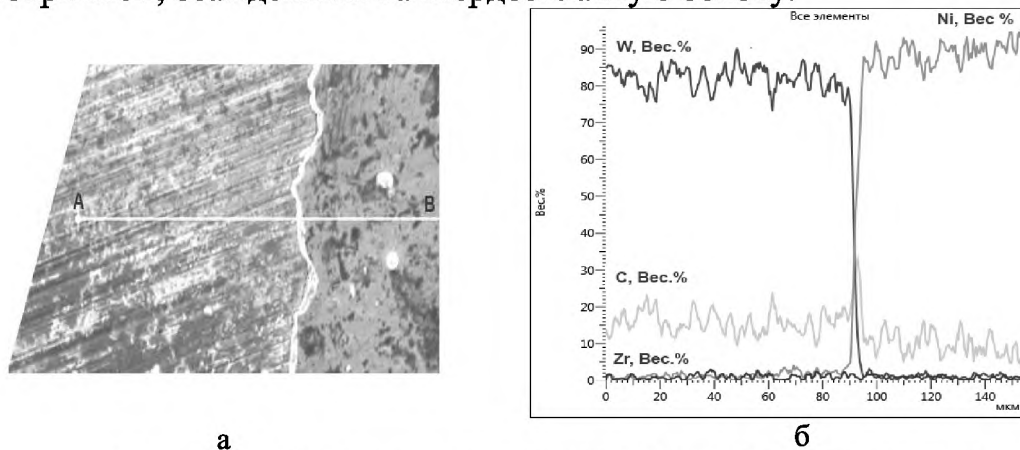
Сравнительный анализ рентгенограмм синтезированного Ni-УДА-ZrN-покрытия на твердом сплаве и УДА порошка (рисунок 1) показывает формирование отдельных фаз никеля и ZrN.



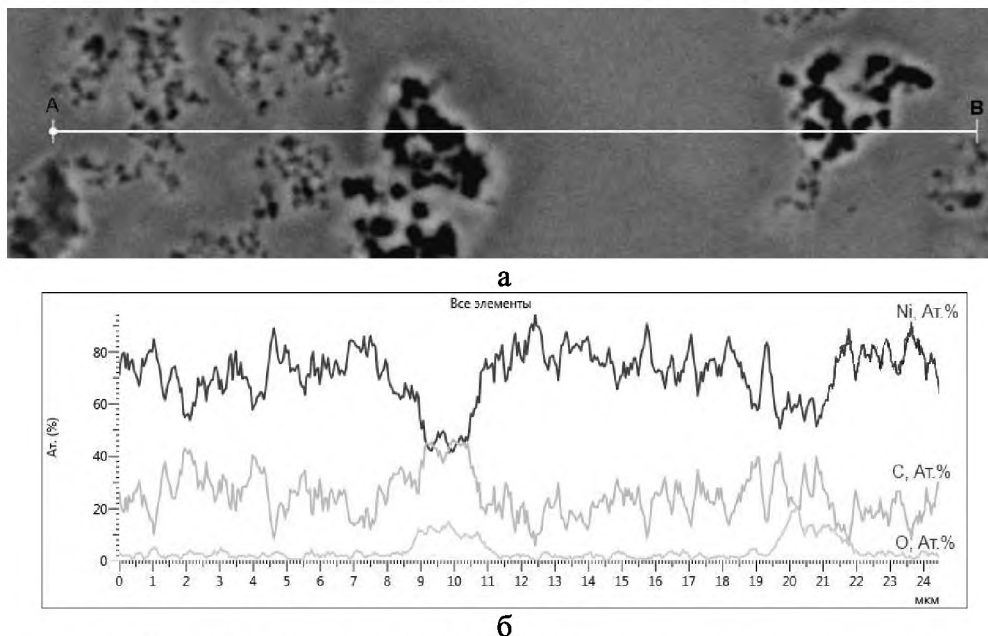
**Рисунок 1 – Рентгенограмма Ni-УДА-ZrN-покрытий**

На основании смещения положения дифракционного рефлекса Ni (200) в область углов  $2\theta$ , соответствующую промежуточной фазе углерода («кубического графита»), и увеличения полуширины пика Ni (200), можно утверждать о наличии в образцах с УДА графитоподобных фаз, что подтверждается литературными источниками [5].

Исследования поверхности скола лезвия ножа с Ni-УДА-ZrN-покрытием (рисунок 2) также подтверждают наличие отдельных фаз Ni, графитоподобных фаз, которые не перемешиваются с ZrN-покрытием, осажденным на твердосплавную основу.



**Рисунок 2 – СЭМ-снимок поверхности Ni-УДА-ZrN-покрытия (а), распределение интенсивностей характеристического рентгеновского излучения элементов (Ni, Zr, W, C) вдоль линии АВ (б)**



**Рисунок 3 – СЭМ-снимок Ni-УДА-ZrN-покрытия (а) и распределение интенсивностей характеристического рентгеновского излучения элементов (Ni, C, O) при сканировании вдоль линии АВ**

На основании результатов СЭМ-исследований поверхности лезвия ножа (рисунок 3) можно заключить, что углерод присутствует на поверхности ZrN-покрытия в виде кластеров размером 0,7–3,5 мкм.

Опытно-промышленные испытания модифицированных фрез с комбинированными Ni-УДА-ZrN-покрытиями при резании ламинированной ДСтП на станках с ЧПУ показали увеличение периода стойкости модифицированного инструмента в 1,3–1,4 раза по сравнению с инструментом без покрытий благодаря специфической структуре Ni-УДА-ZrN-покрытия и высокой адгезии Ni-УДА к ZrN-покрытию из-за наличия графитовых частиц на поверхности ZrN-покрытия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев А.В. Контактные явления в микрообласти лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Москов. гос. ун-т леса, 1983. – С. 15-16.

2. Чаевский В.В, Дроздович В.Б. Изучение состава и структуры Ni- и Cr- композиционных электролитических покрытий, содержащих углеродные наноматериалы на стали // Труды БГТУ, 2010. – Вып. 18, Сер. 6. Физ.-мат. науки и информатика. – С. 96-98.

3. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н.И. Полушин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2011. – № 4. – С. 49-53.

4. Влияние ZrN, Mo-N покрытий, сульфатирования на износ ножей дереворежущего инструмента / А.К. Кулешов [и др.] // Трение и износ, 2014. – Т. 35, № 3. – С. 276-286.

5. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь [и др.]. – Минск, 2013. – 381 с.

УДК 621.794

Б.А. Шibaев; В.С. Белова; А.В. Балмасов, проф., д-р техн. наук  
(ИГХТУ, г. Иваново)

#### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПОЛИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Электрохимическое полирование конструкционных материалов нашло широкое применение в различных отраслях промышленности. Чаще всего для повышения качества поверхности изделий из легированных сталей используют растворы на основе смеси серной, фосфор-