

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ – СТРУКТУРА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М.А. Андреев¹, Л.В. Маркова², В.В. Чаевский³ А.Н. Суворов¹

¹Обособленное хозрасчетное структурное подразделение «Институт сварки и защитных покрытий» Института порошковой металлургии имени академика О.В. Романа,
ул. Платонова 12-Б, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: office.svarka@pminstitute.by

²Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа,
ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь e-mail: iscentr@tut.by

³Белорусский государственный технологический университет,
ул. Свердлова, 13а, e-mail: doctor_v_ch@mail.ru

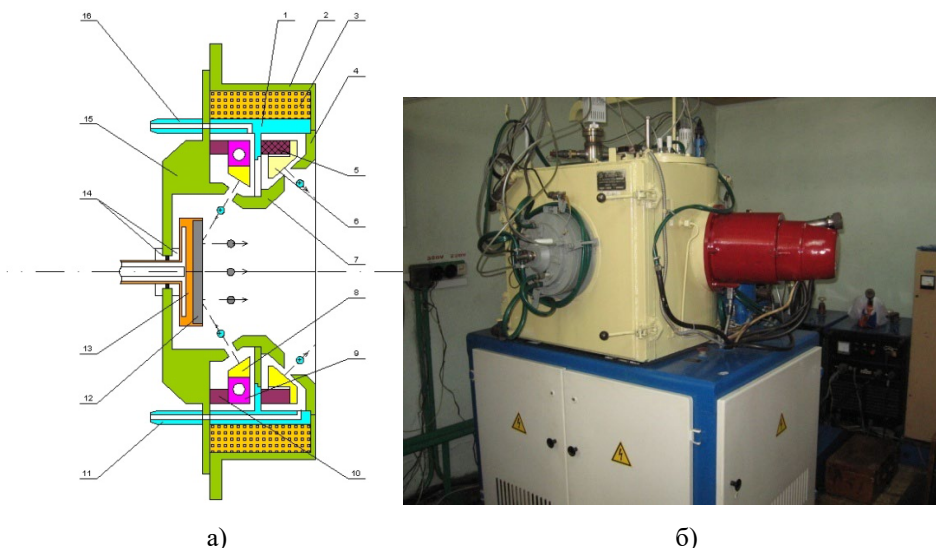
В работе рассмотрены износостойкие покрытия на режущем инструменте, предназначенном для обработки древесины. Исследована структура покрытий, сформированных на основе композиций Zr, ZrN, ZrHf методами электродугового испарения и ионно-лучевого распыления в вакууме. Произведена оценка эксплуатационных характеристик режущего инструмента при обработке различных древесных материалов в производственных условиях.

Введение. Современный этап развития деревообрабатывающей отрасли характеризуется повышенными требованиями к качеству обработанных поверхностей деталей и уменьшением затрат мощности на резание. Этим требованиям может удовлетворять один из перспективных способов механической обработки древесных материалов – фрезерование. Главным технологическим назначением процесса фрезерования является уменьшение шероховатости и получение требуемых геометрических форм и размеров поверхностей деталей. Другим важным фактором является повышение эффективности использования древесного сырья путем одновременного получения пиломатериалов и технологической щепы, соответствующих требованиям действующих стандартов [1, 2]. Для многих процессов резания древесины остается очень важным интерес к быстрорежущим инструментальным сталям из-за возможности их высокой степени заострения и упрочнения для использования в качестве режущей кромки лезвия ножа фрезерного инструмента, способствующей увеличению твердости, прочности и износостойкости инструмента. Тем не менее, возможен быстрый абразивный и коррозионно-окислительный износ стального ножа инструмента, который объясняется присутствием экстрактивных веществ и кремнезема в древесине и древесных композитах при резке

древесины сосны, древесностружечной плиты и др. [3]. Одним из перспективных методов повышения качества обрабатываемых поверхностей является формирование на режущих кромках ножей износостойких упрочняющих покрытий, обеспечивающих их длительную эксплуатацию без снижения качества обрабатываемой поверхности [4].

Материалы и методы формирования покрытий. Наиболее эффективными способами создания износостойких покрытий являются экологически чистые вакуумно-плазменные методы, среди которых особое место занимают ионно-лучевое распыление и электродуговое испарение (КИБ). Метод ионно-лучевого распыления позволяет переносить сложный композиционный материал мишени на изделие в виде покрытия, сохраняя при этом химический состав и стехиометрию соединений композиционной мишени. Среди износостойких материалов, применяемых для формирования упрочняющих покрытий, наиболее эффективно показывают себя многослойные композиции, сформированные на основе тугоплавких металлов, их нитридов, карбидов и др. [5].

Многослойные износостойкие композиции формировались в едином технологическом цикле в вакуумной установке ННВ-6,6-И1, оснащенной электродуговыми источниками генерации плазменных потоков и двухлучевым распылительным ионным источником (рисунок 1).



1 – внутренний каркас; 2 – корпус; 3 – электромагнит; 4, 7, 15 – магнитопроводящие элементы; 5, 10 – высоковольтные изоляторы; 6, 8 – высоковольтные электроды (аноды); 9 – держатель; 11, 16 – входные штуцера; 12 – мишень; 13 – основание мишени; 14 – втулки
Рисунок 1 – Двухлучевой распылительный ионный источник (а) в вакуумной установке ННВ-6,6-И1 (б).

Для реализации технологии ионно-лучевого распыления использовался двухлучевой распылительный ионный источник Холловского типа (рисунок 1 а) со скрещенными электрическим и магнитным полями, формирующий два независимых ионных пучка инертного газа аргона, являющегося рабочим газом.

Один из пучков направлен в сторону обрабатываемого изделия и используется для предварительной обработки (ионной очистки) и активации поверхности изделия перед распылением мишени, обеспечивая его высокую адгезию к поверхности изделия. Другой пучок направлен на распыляемую мишень, установленную в корпусе источника. В качестве мишени был использован сплав циркония с гафнием (сплав ЦГ 20), состоящий из 80 % Zr и 20 % Hf. Мишень представляла собой диск диаметром 80 мм и толщиной 10 мм. Частицы композиционного материала мишени осаждаются на обрабатываемом изделии, образуя сплошное покрытие высокой плотности. Двухлучевой распылительный ионный источник, для удобства его обслуживания, установлен на дверце вакуумной камеры установки ННВ-6,6-И1 (рисунок 1 б).

Композиционные покрытия ZrHf – ZrN осаждались на лезвия перезаточенных фрезерных рубительных ножей из сталей марок 6ХС и “Faba” (Польша) (рисунок 2 а, б) рубительной машины МРР8-50ГН и на лезвия строгальных ножей из сталей марок 9ХФ и “PILANA” (Чехия) (рисунок 2 в) фрезерного станка “Superset XL”.

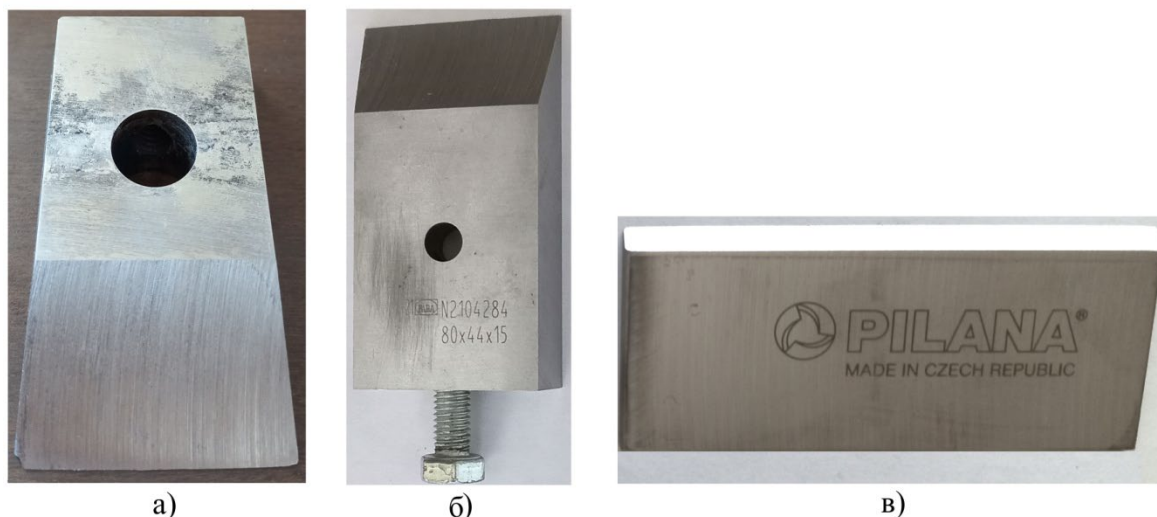


Рисунок 2 – Виды ножей дереворежущего фрезерного инструмента: рубительные из сталей марок 6ХС (а) и “Faba” (б) и строгальные из стали марки “PILANA” (Чехия) (в).

Слой ZrHf наносился методом ионно-лучевого распыления композиционной мишени ZrHf на предварительно обработанные ионным пучком аргона ножи для

активации их поверхности и обеспечения адгезионной прочности. Слой нитрид циркония (ZrN) формировался с помощью электродугового источника генерации плазменных потоков при испарении циркониевого катода в среде реакционного газа азота. Композиционные износостойкие покрытия наносились только на режущую кромку ножей.

Методы исследования. Исследования структуры износостойких покрытий проводились на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия). Фазовый состав сформированных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K_α излучении. Толщину покрытия измеряли на профилометре-профилографе модели 252A1. Измерения микротвердости проводили на приборе Micromet-I с использованием индентора Кнупа с нагрузкой 0,02 Н по ГОСТ 9450-76.

На рисунке 3 видно, что ZrHf – ZrN покрытие толщиной 3 – 4 мкм достаточно равномерно сформировано на поверхности лезвия строгального ножа и повторяет его рельеф, что можно объяснить выполненной подготовкой поверхности ножа перед нанесением покрытия (в том числе и операцией шлифования), которая способствует

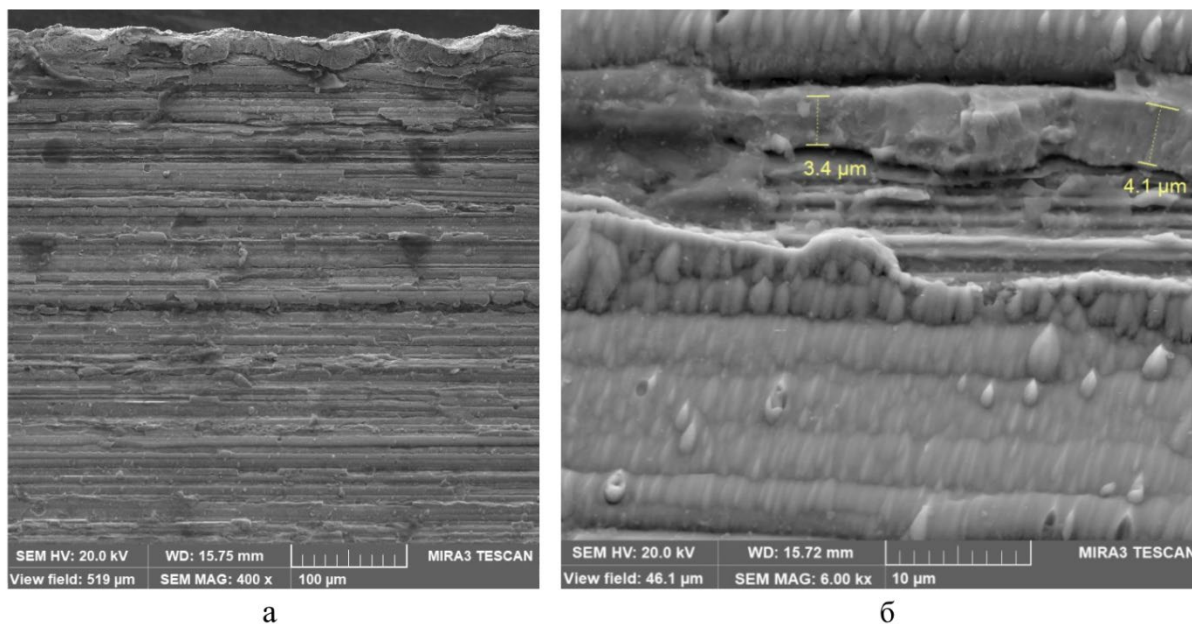


Рисунок 3 – СЭМ - снимки лезвия строгального ножа с ZrHf – ZrN покрытием:
(а) плоскости поверхности с кромкой, (б) плоскости поверхности с толщиной слоя скола.

повторению рельефа поверхности основы покрытием (рисунок 3 а) и достаточно высокой степенью адгезии покрытия, проявляющейся в истирании кромок лезвий

ножей с ZrHf – ZrN покрытием в процессе их износа (рисунок 3 а). Наблюдается также скалывание частей покрытия на передней поверхности лезвия ножа (рисунок 3 б) в процессе резания древесины.

Рисунок 4 показывает, что ZrHf – ZrN покрытие содержит фазы гафния (α -Hf) нитрида циркония (ZrN) и твердого раствора замещения (Zr,Hf)N. Уширение пиков ZrN на рентгенограмме объясняется согласно исследованиям [6] различным периодом кристаллической решетки покрытий с различным элементным составом – атомы Zr и Hf увеличивают параметр решетки.

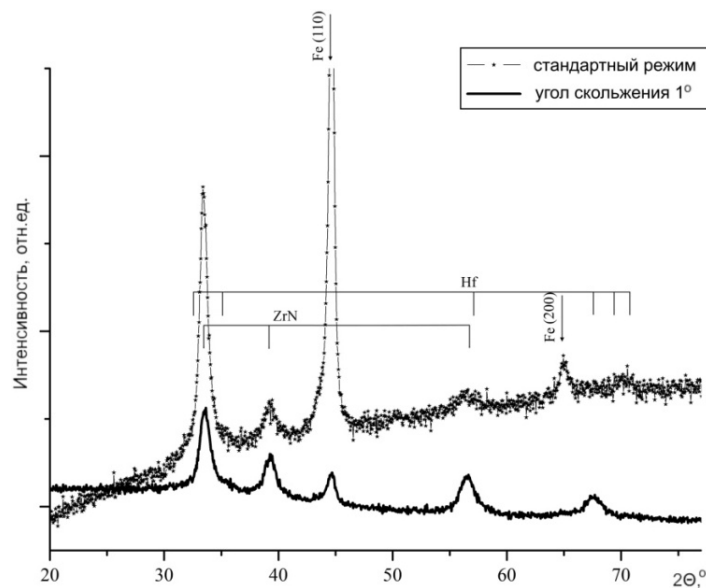


Рисунок 4 – Рентгенограмма ZrHf – ZrN покрытия.

СЭМ снимки рубильного ножа с ZrHf – ZrN покрытием режущей кромки (рисунок 5) показывают, что покрытие имеет незначительную толщину (~ 1 мкм) на острие лезвия и неравномерно распределено по поверхности, что объясняется отсутствием операции шлифовки после перезатачивания лезвий ножей на производстве.

Значение микротвердости ($6,6 \pm 0,3$ ГПа) сформированных на строгальных ножах ZrHf – ZrN покрытий превышает твердость ($5,2 \pm 0,2$ ГПа) стальных (марки 9ХФ) ножей без покрытия.

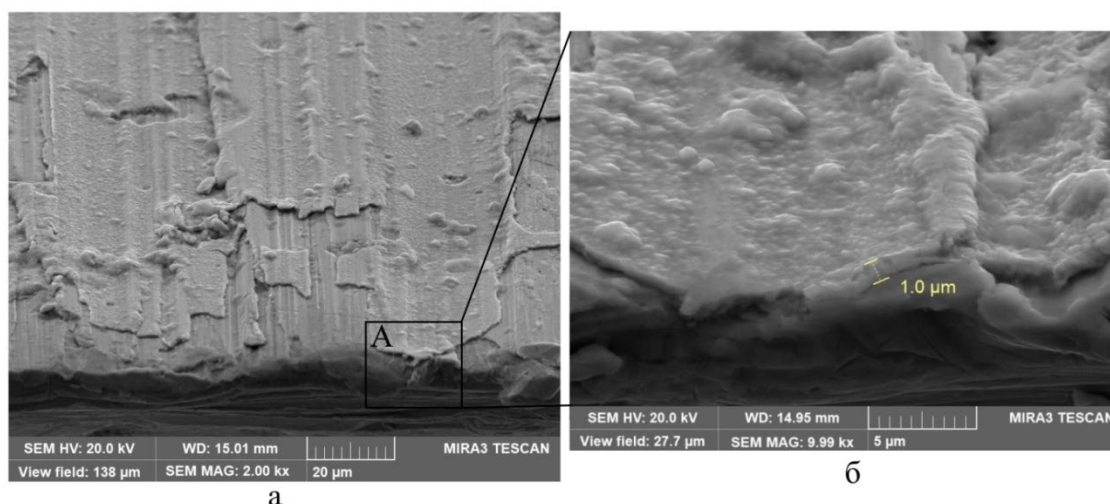


Рисунок 5 – СЭМ - снимки лезвия рубительного ножа с ZrHf – ZrN покрытием:
 (а) режущей кромки и (б) выделенной зоны А на острие лезвия.

Заключение. Комбинированным методом ионно-лучевого распыления и электродугового испарения на строгальных стальных (марок 9ХФ и “Pilana”) ножах и рубительных перезаточенных стальных (марки 6ХС) ножах фрезерного инструмента сформированы ZrHf – ZrN покрытия. ZrHf – ZrN покрытие содержит фазы гафния (α -Hf), нитрида циркония (ZrN) и твёрдого раствора замещения (Zr,Hf)N. Толщина ZrHf – ZrN покрытий на лезвиях стальных (марки 6ХС) рубительных ножей составила ~ 1 мкм. ZrN слой не перемешивается с ZrHf слоем и основой. Для улучшения адгезии синтезированных покрытий с основой и равномерного распределения покрытий по поверхности ножей необходима операция шлифования перезаточенных рубительных ножей.

Сформированные на строгальных ножах ZrHf – ZrN покрытия толщиной 3 – 4 мкм имеют значение микротвердости $6,6 \pm 0,3$ ГПа и уменьшают интенсивность износа лезвий ножей по сравнению с ножами без покрытия (с твердостью $5,2 \pm 0,2$ ГПа). Истирание покрытия с наличием сколов были основной формой износа, наблюдаемой на передней поверхности ножей с покрытием. Как показали опытно-промышленные испытания ножей, проведенные на ПУП «Мебельная фабрика «Пинскдрев Адриана», период стойкости инструмента с строгальными ножами с покрытием ZrHf – ZrN в 2,3–2,5 раза больше по сравнению с инструментом без покрытий при резании заготовок из древесины хвойных пород.

Литература

1. Клепацкий И.К. Эффективные методы повышения технологической стойкости ножей для агрегатной переработки древесины // *Деревообрабатывающая промышленность: труды БГТУ*. 2018. № 1 С. 190 – 195.
2. Kowaluk G., Szymanski W., Palubicki B., Beer P. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2009. – Vol. 67, no. 2. – P. 173–176.
3. Darmawan W., Rahayu I., Nandika D., Marchal R. The importance of extractives and abrasives in wood materials on the wearing of cutting tools // *BioResources*. – 2012. – Vol. 7, no. 4. – P. 4715–4729.
4. Koleda P., Barčík Š., Svoreň J., Naščák L., Dobřík A. Influence of cutting wedge treatment on cutting power, machined surface quality, and cutting edge wear when plane milling oak wood // *BioResources*. – 2019. – Vol. 14, no. 4. – P. 9271–9286.
5. Vereschaka A.A., Vereschaka A.S., Bublikov J.I., Aksenenko A.Y., Sitnikov N.N. Study of properties of nanostructured multi-layer composite coatings of Ti-TiN-(TiCrAl)N and Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N // *Journal of Nano Research*. – 2016. – Vol. 40. – P. 90–98.
6. Константинов С.В., Комаров Ф.Ф. Структурно-фазовое состояние наноструктурированных нитридных покрытий на основе высокоэнтропийного сплава TiHfZrVNb // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы междунар. конф., г. Минск, 12–14 сентября 2018 г.* – Минск: БНТУ, 2018. – С. 95–107.