

А.А. Гришкевич, В.В. Чаевский, В.В. Раповец, В.Н. Гаранин
(А.А. Grishkevich, V.V. Chaevskij, V.V. Rapovec, V.N. Garanin)
(БГТУ, г. Минск, РБ)
E-mail для связи с авторами: dosy@bstu.unibel.by

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ZrN-ПОКРЫТИЙ
НА СТАЛЬНЫХ НОЖАХ
ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ**

**EFFICIENCY OF APPLICATION OF ZrN-COATINGS ON STEEL KNIVES
OF THE MILLING CHIPPER-CANTERS WHEN CUTTING OF WOOD**

ZrN-покрытия на лезвиях стальных ножей фрез фрезерно-брусующих станков увеличивают период стойкости на 12 % при резании сосны и ели. Покрытия изменяют характер износа лезвия ножа. Кинематические параметры резания влияют на период стойкости фрез.

ZrN-coatings on blades of steel knives of mills leads to increasing at 12 % of the firmness period of mills of milling chipper-canters when cutting of a pine and a fir-tree. Coatings change nature of wear of knives blades. Kinematic parameters of cutting influence the period of firmness of the tool.

В мировой практике одним из высокоэффективных способов производительной переработки бревен диаметром 8–24 см признана агрегатная переработка, используемая на различных конструкциях фрезерно-пильных и фрезерно-брусующих линий, головными станками которых являются фрезерно-брусующие станки (ФБС), предназначенные для получения из окоренных бревен хвойных пород двухкантных или четырехкантных брусьев заданных размеров и технологической щепы.

Ведущими европейскими производителями ФБС и бревнопильных линий на их основе являются фирмы Linck, SAB, Mohringer, EWD (Германия), A.COSTA Righi (Италия), Ahlstrom (Финляндия). В России отдельные виды этого оборудования выпускаются станкостроительным и экспериментальным заводами (г. Вологодск) [1].

Возможность использования торцевых фрез различных конструкций на агрегатном фрезерно-брусующем оборудовании позволила применять в данной работе многоножевые фрезы со спиральным расположением резцов, у которых ножи располагаются по пространственной спирали, закручивающейся от периферии к центру [2]. Каждый резец в спирали, расположенный с превышением относительно предыдущего на величину снимаемого им слоя древесины (по толщине), способствует переработке краевой части бревна в высококачественную технологическую щепу.

Длина щепы $l_{щ}$ определяется по известной формуле расчета продольной подачи бревна U_z на один нож фрезы:

$$l_{щ} = U_z = \frac{1000V_s}{zn}, \quad (1)$$

где z – количество спиралей, шт.;

n – частота вращения фрезы, мин⁻¹;

V_s – скорость подачи, м/мин.

При средней длине щепы $l_{щ} = 25$ мм повышение производительности ФБС со спиральным расположением резцов может быть достигнуто за счет увеличения количества

спиралей z или роста частоты вращения фрезы n [3]. Увеличение количества спиралей приводит к техническим сложностям изготовления фрез. С увеличением частоты вращения фрезы растет количество мелкой фракции щепы. Поэтому поиск путей увеличения периода стойкости резцов является актуальной и технически обоснованной задачей.

В связи с тем, что ножи ФБС двухлезвийные, то формирование щепы происходит двумя лезвиями: длинным и коротким. Установлено, что длинное лезвие, формирующее щепу по толщине, подвергается менее интенсивному износу чем короткое, формирующее щепу по длине [4]. Поэтому наличие упрочняющих слоев на короткой режущей кромке ножа будет способствовать увеличению периода стойкости ножа и, соответственно, фрезы.

Одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности стальных и твердосплавных лезвий дереворежущих инструментов, существенно увеличивающим период стойкости, является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) [5].

Целью данной работы было получение ZrN-ионно-плазменных покрытий в качестве упрочняющих слоев на поверхности лезвий ножей фрез ФБС фирмы SAB (Германия), изучение структуры и фазового состава сформированных покрытий, периода стойкости ножей с ZrN-покрытиями фрез при агрегатной обработке древесины сосны и ели.

ZrN-покрытия осаждались на поверхность двухлезвийных ножей фрез методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ 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) [6].

Для получения высокой адгезии покрытия к лезвию ножа варьировалось время предварительной ионной очистки и время непосредственного осаждения покрытия. Температура при осаждении покрытия соответствовала 400–450 °С. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

Фазовый состав полученных ZrN-покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра ДРОН-3.0 в $\text{Cu-K}\alpha$ -излучении.

Для определения структуры ZrN-покрытий, периода стойкости ножей с ZrN-покрытиями и характера их износа при агрегатной обработке древесины были выполнены исследования морфологии лезвий ножей инструмента с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV (Япония), используя метод слепков и поперечные шлифы образцов.

Износостойкость ножей фрез исследовалась на фрезерно-брусующей линии фирмы SAB при обработке бревен из сосны и ели на деревообрабатывающем комбинате ОАО «Борисовский ДОК» (г. Борисов). Средний диаметр обрабатываемых бревен сосны и ели был равен $D = 20,4$ см при толщине щепы 5 мм и длине щепы 25 мм. Обработка древесины проводилась при частоте вращения $12\,000\text{ мин}^{-1}$ фрезы диаметром 470 мм, скорости подачи 38,5 м/мин и припуске 5 мм/проход.

Метод слепков представляет собой вдавливание лезвия ножа в свинцовую пластину и определение максимального радиуса округления лезвия ножа ρ_{max} по слепку (отпечатку). Приращение ε радиуса округления лезвия ножа на единицу длины пути рассчитывается по формуле:

$$E = \Delta\rho/L, \quad (2)$$

где $\Delta\rho = \rho_{\text{max}} - \rho_0$ – параметр износа (ρ_0 – радиус округления лезвия ножа без износа);

L – величина пути резания ножа без покрытия в древесине.

Износ лезвия ножа и его период стойкости определялся путем сравнения приращений ϵ , рассчитанных для лезвий ножей с покрытием и без покрытия. Исследования элементного состава испытуемых импортных ножей фрез ФБС показали, что ножи изготовлены из стали марки типа 40Х2НМА.

Установлено, что при осаждении циркония в среде азота на нож методом КИБ образуется однофазное покрытие, состоящее из фазы нитрида циркония, имеющее ГЦК-структуру типа NaCl (рис. 1), что соответствует данным [7].

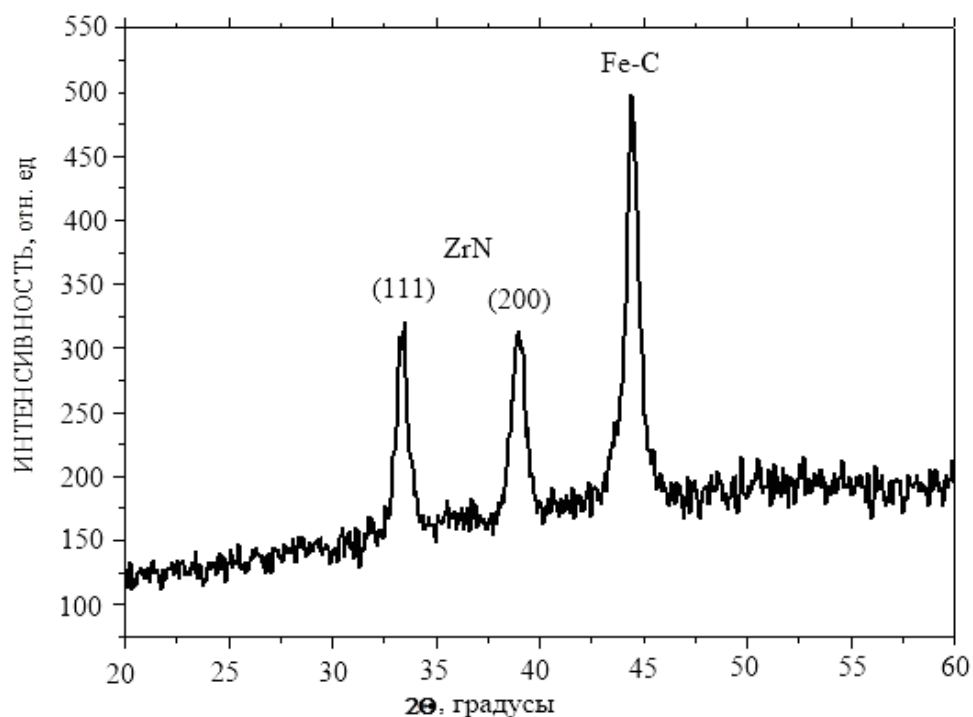


Рис. 1. Рентенограмма ZrN-покрытия

ZrN-покрытие имеет столбчатое строение кристаллитов (рис. 2), обусловленное ростом зерен в направлении плазменного потока.

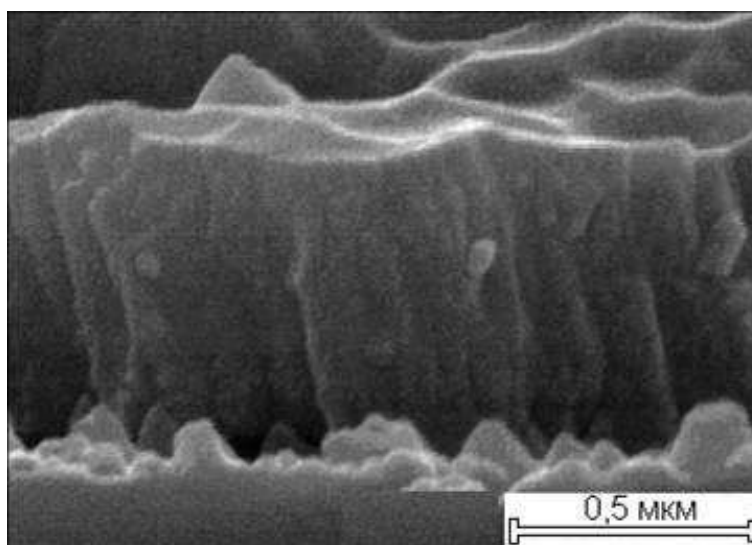


Рис. 2. РЭМ-изображение поперечного шлифа ZrN-покрытия

Период стойкости лезвий ножей с ZrN-покрытиями при агрегатной обработке древесины сосны и ели определялся по измеренному радиусу округления ρ_{\max} слепка лезвия изношенного ножа (рис. 3) и после расчетов приращения ε по формуле (2).

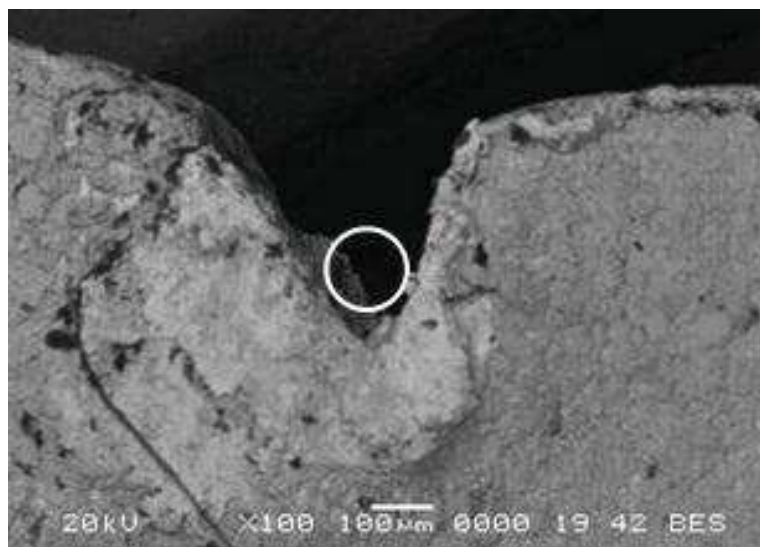


Рис. 3. РЭМ-изображение слепка лезвия ножа

Суммарный путь L резания двухлезвийного ножа без покрытия в древесине вычислялся по формуле:

$$L = N \frac{L_{бр}}{S_z} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{\left(\frac{z l \theta}{2\pi} + R \cdot \sin \theta\right)^2 + (R \cdot \cos \theta)^2} d\theta, \quad (3)$$

где $N = 7400$ – суммарное количество обработанных фрезами бревен сосны и ели;

$L_{бр}$ – длина бревна;

S_z – подача на резец;

θ_2 – угол выхода ножа из древесины;

θ_1 – угол входа ножа в древесину;

z – число ножевых спиралей;

l – длина элемента щепы;

θ – угол контакта ножа;

R – радиус резания ножа.

Суммарное количество обработанных бревен N фрезами с двухлезвийными ножами рассчитывалось по формуле:

$$N = 4Q / \pi D^2 L_{бр}, \quad (4)$$

где Q – объем переработанного материала;

D – средний диаметр бревна.

Рассчитанный по формулам (3, 4) в математическом пакете MathCAD, суммарный путь резания двухлезвийного ножа без покрытия в древесине имел величину $L = 96\,582$ м.п.

Движение ножа ФБС в древесине проходит по удлиненной циклоиде. Поэтому наряду с различными способами обработки поверхности лезвий ножей фрезы кинематические параметры резания (усилие подачи, скорость резания) также существенно влияют на период стойкости ножа фрезы [2].

Опытно-промышленные испытания ножей с ZrN-покрытиями фрез ФБС фирмы SAB на ОАО «Борисовский ДОК» (г. Борисов) показали увеличение периода стойкости ножей с покрытиями на 12 % по сравнению с ножами без покрытия.

Наличие ZrN-покрытий на лезвиях стального ножа изменяет характер их износа (рис. 4): наблюдается сглаживание образующихся в процессе износа трещин поверхности материала за счет налипания на лезвие ножа металлических частиц износа и последующего их деформационного втирания в область трека.

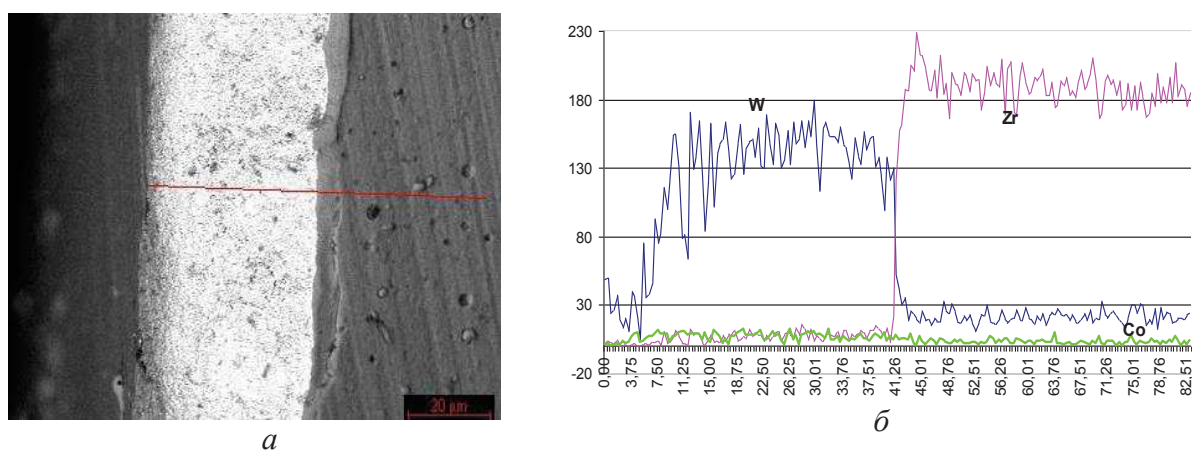


Рис. 4. РЭМ-изображение лезвия ножа с ZrN-покрытием после деревообработки (а) и распределение интенсивностей характеристического рентгеновского излучения от элементов (Zr, W, Co) поперек лезвия (б)

Выводы

1. Наличие осажденных методом КИБ ионно-плазменных ZrN-покрытий на стальных импортных двухлезвийных ножах фрез ФБС фирмы SAB (Германия) обеспечивает при агрегатной обработке материалов из хвойных пород дерева повышение периода стойкости режущего инструмента на 12 % по сравнению с инструментом без покрытия.

2. Кинематические параметры резания (скорость резания, скорость подачи материала, частота вращения фрезы) оказывают существенное влияние на период стойкости ножей фрезы.

3. Наличие ZrN-покрытия на поверхности лезвия ножа изменяет характер его износа при агрегатной обработке материалов из хвойных пород.

Библиографический список

1. Кузнецов, В. Технология агрегатного метода лесопиления / В. Кузнецов // Дерево.ру. – 2005. – URL: <http://sab-moscow.com/index.htm>
2. Раповец, В.В. Разработка мероприятий по повышению эффективности процесса переработки бревен на фрезерно-брусующих станках, оснащенных фрезами со спиральным расположением двухлезвийных резцов / В.В. Раповец, Н.В. Бурносков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. евразийск. симпозиума, 2–5 октября 2007 г. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. – С. 224–227.

3. Раповец, В.В. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины: мат-лы докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» / В.В. Раповец, Н.В. Бурносков, А.А. Станкевич. – Минск: Белорусский гос. технол. ун-т, 2005. – С. 306–309.

4. Раповец, В.В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами в фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревооб-раб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 205–208.

5. Гришкевич, А.А. Влияние ионно-плазменных покрытий на износостойкость стальных резцов при резании древесины на фрезерно-брусующих станках / А.А. Гришкевич, В.В. Чаевский // Лесная и деревооб-раб. пром-сть: труды БГТУ. Сер II. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 348–351.

6. Гришкевич, А.А. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N- и Ti- покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесностружечных плит концевыми фрезами / А.А. Гришкевич, В.В. Чаевский, В.В. Углов, А.К. Кулешов // Труды БГТУ. – Сер. VI: Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 52–54.

7. Investigations on non-stoichiometric zirconium nitrides / H.M. Benia, M. Guemmaz, G. Schmerber, A. Mosser, J.-C. Parlebas // Applied Surface Science. – 2002. – № 200. – Pp. 231–238.

УДК 676.15:621.9.025.6

С.А. Душинина, С.Н. Вихарев

(S.A. Dushinina, S.N. Viharev)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: smtm@usfeu.ru

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ НОЖЕЙ ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

FORCED VIBRATIONS OF KNIVES DISC MILL

Гарнитурные частоты, генерируемые на ножевом поясе гарнитуры, представляют собой комплекс частот, основные гармоники которых равны частоте перекрытия ножей статора и ротора.

Forced frequency, generated on the belt headset, constitute a set of frequencies, the main harmonics, which are equal to the frequency overlap knives of the stator and rotor.

При размоле возникают вынужденные колебания ножей и узлов мельницы на гарнитурных частотах*. Исследуем эти частоты на одном ножевом поясе гарнитуры (рис. 1). Частота перекрытия одним ножом ротора одного ножа статора, Гц,

$$f_{Г1} = \frac{n}{60} \frac{2\pi r'_g}{AB}. \quad (1)$$

* Вихарев С.Н. Разработка методов и средств виброзащиты и вибрационной диагностики дисковых мельниц: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Екатеринбург, 1993. 235 с.