

## Библиографический список

1. Федеральный закон от 21 июля 2012 г. №126-ФЗ «О ратификации Протокола о присоединении Российской Федерации к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации от 15 апреля 1994 г.» // Справочно-правовая система «Консультант-Плюс».
2. Письмо Министерства экономики Свердловской области «Информация для исполнительных органов государственной власти Свердловской области в связи с вступлением Российской Федерации во Всемирную торговую организацию» от 24.01.2013 № 157 с приложениями (Приложение: Таблица 8. Перечень по товарным группам – ставки экспортных таможенных пошлин на дату присоединения и конечный уровень снижения).
3. Лесом решили пожертвовать? Как вступление в ВТО отразится на лесопромышленном комплексе России. URL: <http://www.lesvesti.ru/news/capital/3507/>

УДК 674.055:621.934(043.3)

**А. В. Белый,**  
(*A.V. Belyi*)

**ФТИ НАН Беларуси, Минск;**

**А. А. Гришкевич, В. В. Раповец, В. В. Чаевский,**  
(*A.A. Grishkevitch, V.V. Rapovets, V.V. Tchaevskiy*)

**БГТУ, Минск;**

**В. В. Узлов, А. К. Кулешов,**  
(*V.V. Uglov, A.K. Kuleshov*)

**БГУ, Минск**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ZrN-ПОКРЫТИЙ  
НА СТАЛЬНЫХ НОЖАХ ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ  
НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ  
EFFICIENCY OF APPLICATION OF ZrN-COVERINGS  
ON STEEL KNIFES WHEN CUTTING WOOD ON MILLING MACHINES**

*Представлены результаты исследований физико-механических свойств ZrN-покрытий на лезвиях импортных ножей фрез фрезерно-брусующих станков фирмы SAB (Германия). ZrN-покрытия на поверхности лезвий ножей были сформированы методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности. ZrN-покрытие состоит из ГЦК фазы нитрида циркония ZrN. Установлено, что импортные ножи изготовлены из стали марки типа 40X2HMA. Проведенные на ОАО «Борисовский ДОК» (г. Борисов) промышленные испытания фрез при агрегатной обработке древесины сосны и ели показали, что наличие ZrN-покрытий на лезвиях стальных ножей фрез приводит к увеличению периода стойкости фрез на 12%. Наличие покрытия на поверхности лезвия ножа изменяет характер его износа. Кинематические параметры резания древесины влияют на период стойкости инструмента.*

*The article deals with the results of investigations of physical and mechanical properties of ZrN-coatings on the blades of knives import mill of the milling chipper-canthers from SAB firm (Germany). The ZrN-coatings were formed on surface of the blades of knives mill by the method of condensation from a plasma phase in a vacuum with ion bombardment of surface. The ZrN-coating possesses the cubic of NaCl type structure. IT is established that import knives made of steel type 40H2NMA. The industrial tests of mills carried out on JSC Borisovsky DOCK at modular processing of wood of a pine and a fir-tree showed ZrN-coatings on blades of steel knives of mills leads to increasing of the firmness period of mills at 12%. Coatings on surfaces of a knife blade change nature of its wear. Kinematic parameters of cutting wood influence the period of firmness of the tool.*

**Введение.** В мировой практике одним из высокоэффективных способов производительной переработки бревен диаметром 8–24 см признана агрегатная переработка, используемая на различных конструкциях фрезернопильных 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 по толщине слоя древесины, 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,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $V_s$  – 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, 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.

Существенно увеличивает период стойкости стальных и твердосплавных лезвий дереворежущих инструментов метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) [5].

Целью данной работы были 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.

**Основная часть.** 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) с использованием метода слепков и поперечных шлифов 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 ее длине  $25$  мм. Обработка древесины проводилась при частоте вращения  $12000$   $\text{мин}^{-1}$  фрезы диаметром  $470$  мм, скорости подачи  $38,5$  м/мин и припуске  $5,0$  мм/проход.

Метод слепков представляет собой вдавливание лезвия ножа в свинцовую пластину и определение максимального радиуса округления лезвия ножа  $\rho_{\text{макс}}$  по слепку (отпечатку). Приращение  $\varepsilon$  радиуса округления лезвия ножа на единицу длины пути рассчитывается по формуле

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

где  $\Delta\rho = \rho_{\text{макс}} - \rho_0$  – параметр износа ( $\rho_0$  – радиус округления лезвия ножа без износа);  $L$  – величина пути резания ножа без покрытия в древесине.

Износ лезвия ножа и период его стойкости определялись путем сравнения приращений  $\epsilon$ , 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 40X2HMA.

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].

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

Период стойкости лезвий ножей с ZrN-покрытиями при агрегатной обработке древесины сосны и ели определялся по измеренному радиусу округления  $\rho_{\max}$  слепка лезвия изношенного ножа (рис. 3) и приращению  $\epsilon$  по формуле (2).

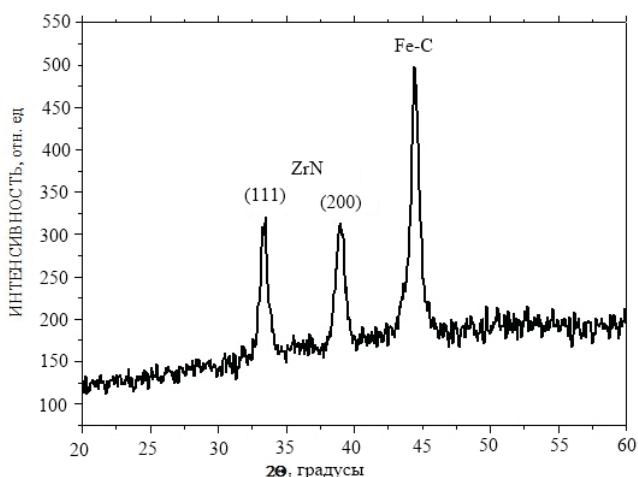


Рис. 1. Рентгенограмма ZrN-покрытия

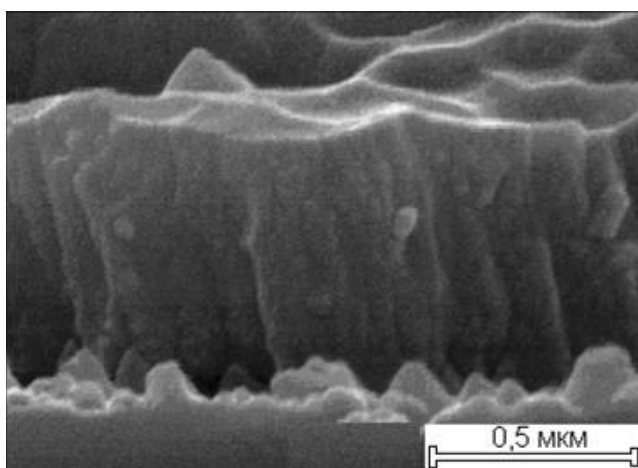


Рис. 2. РЭМ-изображение поперечного шлифа ZrN-покрытия

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

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

где  $S_z$  – подача на резец;  $\theta_1$  – угол входа ножа в древесину;  $\theta_2$  – угол выхода ножа из древесины;  $z$  – число ножевых спиралей;  $l$  – длина элемента щепы;  $\theta$  – угол контакта ножа;  $R$  – радиус резания ножа;  $L_{\text{бр}}$  – длина бревна;  $N = 7400$  – суммарное количество обработанных фрезами бревен сосны и ели.

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

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

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  $L = 96582$  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.

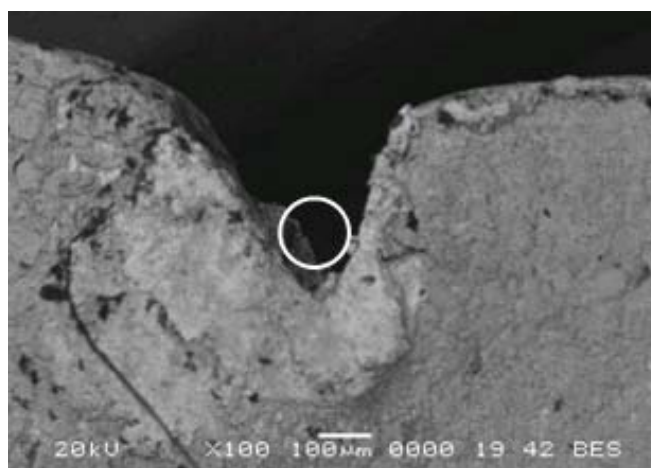
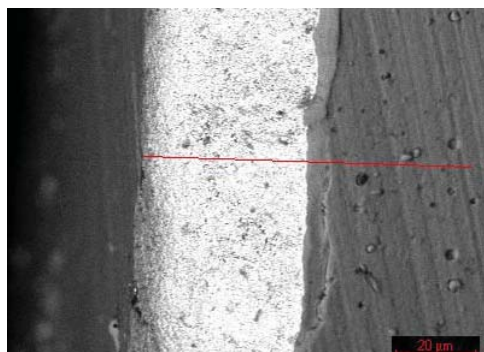


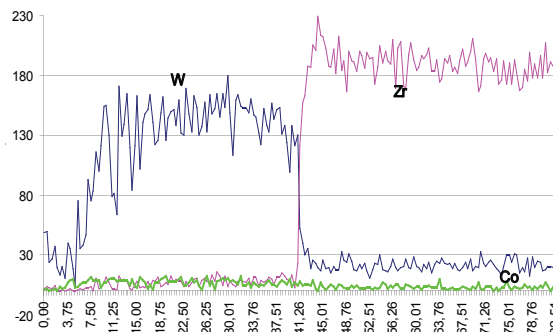
Рис. 3. РЭМ-изображение слепка лезвия ножа

Наличие ZrN-покрытий на лезвиях стального ножа изменяет характер их износа (рис. 4): наблюдается сглаживание образующихся в процессе износа тре-

щин поверхности материала за счет налипания на лезвие ножа металлических частиц износа и последующего их деформационного втирания в область трека.



а



б

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)

### Заключение

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. Этим подтверждается актуальность проведенных исследова-

ний по повышению ресурса работы дереворежущего стального инструмента.

Кинематические параметры резания (скорость резания, скорость подачи материала, частота вращения фрезы) также оказывают существенное влияние на период стойкости ножей фрезы. Наличие покрытия на поверхности лезвия ножа изменяет характер его износа.

### Библиографический список

1. Кузнецов В. Технология агрегатного метода лесопиления // Дерево.ru [Электронный ресурс]. 2005. URL: <http://sab-moscow.com/index.htm>.
2. Раповец В.В., Бурносов Н.В. Разработка мероприятий по повышению эффективности процесса переработки бревен на фрезерно-брусующих станках, оснащенных фрезами со спиральным расположением двухлезвийных резцов // Тр. II междунар. Евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», Екатеринбург, 2–5 октября 2007 г. / ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет». Екатеринбург, 2007. С. 224–227.
3. Раповец В.В., Бурносов Н.В., Станкевич А.А. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины // Матер. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Ресурсо- и энерго-сберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», Минск, 16–18 ноября 2005 г. В 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2005. Ч. 2. С. 306–309.
4. Раповец В.В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами и фрезерно-брусующих станках // Труды БГТУ. Сер. II: Лесн. и деревообаб. пром-сть. Минск, 2008. Вып. XVI. С. 205–208.
5. Гришкевич А.А., Чаевский В.В. Влияние ионно-плазменных покрытий на износостойкость стальных резцов при резании древесины на фрезерно-брусующих станках // Тр. БГТУ. Сер. II: Лесн. и деревообаб. пром-сть. Минск, 2010. Вып. XVIII. С. 348–351.
6. 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 // Тр. БГТУ. Сер. VI: Физ.-мат. науки и информатика. Минск, 2008. Вып. XVI. С. 52–54.
7. Investigations on non-stoichiometric zirconium nitrides / Н.М. Benia, М. Guemmaz, G. Schmerber, [et al.] // Applied Surface Science. 2002. № 200. P. 231–238.