

УДК 674.055:621.934(043.3)

**А. А. Гришкевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);**В. В. Раповец**, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);**В. В. Чаевский**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ);**В. В. Углов**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГУ)**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОЖЕЙ  
С ZrN-ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ АГРЕГАТНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ**

На поверхности ножей фрез фрезерно-брусующих станков были сформированы методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности ZrN-покрытия. Установлено, что полученное покрытие состоит из гранецентрированной кубической фазы нитрида циркония ZrN. Проведенные на ОАО «Борисовский ДОК» промышленные испытания фрез при агрегатной обработке древесины сосны и ели показали, что наличие ZrN-покрытия 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 ZrN-coatings were formed on surface of knives mill of the chipper-canters 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. 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 are changed by nature of its wear. Kinematic parameters of cutting of wood influence the period of firmness of the tool.

**Введение.** Агрегатная переработка является одним из признанных в мировой практике высокоэффективных способов производительной переработки бревен диаметром 8–24 см, используется на различных конструкциях фрезерно-пильных и фрезерно-брусующих линий. В данном случае понятие агрегатной переработки подразумевает в своей основе использование практически безотходных технологий посредством получения пилопродукции и технологической щепы [1].

Фрезерно-брусующие станки (ФБС) являются головными станками фрезерно-пильных линий, которые предназначены для получения из окоренных бревен хвойных пород двухкантных или четырехкантных брусьев заданных размеров.

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

Процесс переработки древесины на агрегатном фрезерно-брусующем оборудовании имеет свои особенности [2]. Используемый режущий инструмент представляет собой торцевые фрезы различных конструкций, с помощью которых краевая часть бревна превращается в высококачественную технологическую щепу. Нами использовались многоножевые фрезы со спиральным размещением резцов, у

которых ножи располагаются по пространственной спирали. Спираль, закручиваясь от периферии к центру, возвышается вдоль оси вращения инструмента. Каждый резец в спирали расположен с превышением относительно предыдущего на величину снимаемого им по толщине слоя древесины.

Длина щепы  $l_{щ}$  определяется продольной подачей бревна  $U_z$  на один нож фрезы и рассчитывается по формуле

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

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, удовлетворяющей всем видам производств ее переработки, 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. Рост частоты вращения фрез приводит к увеличению мелкой фракции щепы. Поэтому поиск путей увеличения периода стойкости резцов является актуальной и технической обоснованной задачей.

Кроме того, по конструкции резцы фрезерно-брусующего станка – двухлезвийные, и формирование элементов щепы происходит двумя режущими кромками: длинной и короткой. Длинная режущая кромка, формирующая щепу по толщине, подвергается менее интенсивному

износу, чем короткая режущая кромка, формирующая щепу по длине [4]. Следовательно, наличие упрочняющих слоев на короткой режущей кромке ножа увеличит период стойкости как ножа, так и фрезы соответственно.

Одним из наиболее эффективных способов модификации поверхности стальных и твердосплавных лезвий дереворежущих инструментов является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), влияющий на процесс износа лезвий ножей инструмента и существенно увеличивающий ресурс работы резцов [5].

Целью данной работы было получение упрочняющих слоев на основе ZrN-ионно-плазменного покрытия на поверхности лезвий ножей фрез фрезерно-брусующих станков фирмы SAB (Германия), изучение физико-механических свойств данного покрытия и периода стойкости фрез с ножами, имеющими ZrN-покрытие, при агрегатной обработке древесины сосны и ели.

**Основная часть.** ZrN-покрытие осаждалось на поверхность двухлезвийных ножей фрез методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСИИ) БГТУ в два этапа – с предварительной обработкой ионами титана в вакууме  $10^{-3}$  Па при потенциале подложки  $-1$  кВ и последующим нанесением покрытия при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении  $-100$  В в атмосфере азота при давлении  $10^{-1}$  Па. Для получения высокой адгезии покрытия к лезвию ножа варьировалось время предварительной ионной очистки и время непосредственного осаждения покрытия. Температура при осаждении покрытия соответствовала  $400-450^\circ\text{C}$ . Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

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

Для определения механизма износа лезвий ножей и определения периода стойкости ножей с ZrN-покрытием при агрегатной обработке древесины были выполнены исследования морфологии изношенных лезвий ножей инструмента с помощью метода растровой электронной микроскопии (РЭМ) и метода слепков на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV (Япония).

Износостойкость ножей фрез исследовалась на фрезерно-брусующей линии фирмы SAB (Германия) при обработке бревен из сосны и ели на деревообрабатывающем комбинате ОАО «Борисовский ДОК». Средний диаметр обрабатываемых бревен сосны и ели равен 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 при 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 рассчитывалось по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{L}, \quad (2)$$

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

Износ лезвия ножа и, соответственно, его период стойкости определяются путем сравнения приращений  $\varepsilon$ , рассчитанных для лезвий ножей с покрытием и без него.

Проведенные ранее исследования элементного состава испытуемых импортных ножей фрез ФБС показали, что ножи изготовлены из стали марки типа 40X2HMA.

Установлено (рис. 1), что при КИБ-осаждении на нож циркония в среде азота образуется однофазное покрытие, состоящее из фазы нитрида циркония и имеющее ГЦК-структуру типа NaCl, что соответствует данным [6].

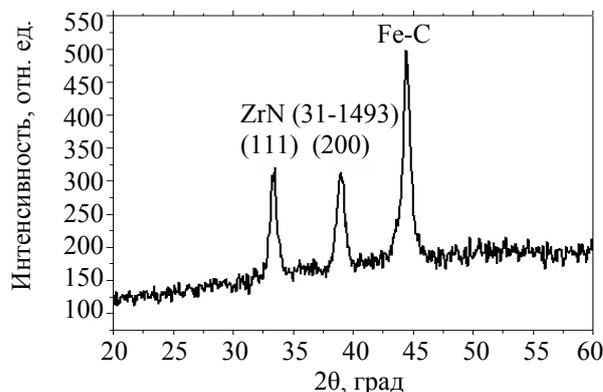


Рис. 1. Рентгенограмма ZrN-покрытия

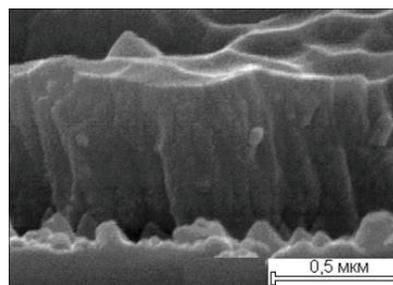


Рис. 2. РЭМ-изображение поперечного шлифа ZrN-покрытия

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

Период стойкости ножей с ZrN-покрытием при агрегатной обработке древесины сосны и ели был определен на основании измерения радиуса округления лезвия изношенного ножа  $\rho_{\max}$  по слепку (рис. 3) и расчета приращения  $\epsilon$  по формуле (2), предварительно вычисляется суммарный путь  $L$  резания двухлезвийного ножа без покрытия в древесине по формуле

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

где  $N = 7400$  – суммарное количество обработанных фрезами бревен;  $L_{\text{бр}}$  – длина бревна;  $S_z$  – 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.

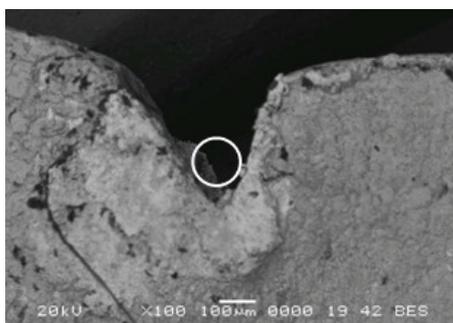


Рис. 3. РЭМ-изображение слепка лезвия ножа

Суммарный путь резания двухлезвийного ножа без покрытия в древесине вычислялся в математическом пакете MathCAD и составил  $L = 96\,582$  п. м.

Движение ножа ФБС в древесине проходит по удлиненной циклоиде. Поэтому усилие подачи, скорость резания [2] также существенно влияют на период стойкости ножа фрезы.

Расчет периода стойкости ножей с ZrN-покрытием фрез ФБС фирмы SAB после проведения опытно-промышленных испытаний на ОАО «Борисовский ДОК» показывает увеличение периода стойкости ножей с покрытием на 12% по сравнению с ножами без покрытия.

Наличие ZrN-покрытия на лезвиях стального ножа изменяет характер их износа: наблюдается сглаживание образующихся в процессе износа трещин поверхности материала ножа.

**Заключение.** Осажденное методом КИБ ZrN-покрытие на стальные импортные двухлезвийные ножи фрез ФБС фирмы SAB (Германия) обеспечивает при агрегатной обработке материалов из хвойных пород дерева, как показывают опытно-промышленные испытания на ОАО «Борисовский ДОК», повышение периода стойкости режущего инструмента на 12% по сравнению с инструментом без покрытия. Этим подтверждается актуальность проведенных исследований 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.

### Литература

1. Кузнецов, В. М. Оборудование и инструмент для производства пилопродукции / В. М. Кузнецов. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 96 с.
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. Бурносов // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. евраз. симп., Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г.* – Екатеринбург, Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2007. – С. 224–227.
3. Раповец, В. В. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины / В. В. Раповец, Н. В. Бурносов, А. А. Станкевич // *Ресурс- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 нояб. 2005 г.: в 2 ч.* / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 2. – 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 деревообраб. 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 // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть.* – 2010. – Вып. XVIII. – С. 348–351.
6. Investigations on non-stoichiometric zirconium nitrides / H. M. Benia [et al.] // *Applied Surface Science.* – 2002. – № 200. – P. 231–238.

Поступила 04.03.2013