

УДК 674.055:621.934(043.3)

**И. И. Бавбель<sup>1</sup>, В. В. Чаевский<sup>1</sup>, В. В. Углов<sup>2</sup>, А. К. Кулешов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Белорусский государственный университет**ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ  
И КИБ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОС ЛЕЗВИЯ СТАЛЬНЫХ НОЖЕЙ  
ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Определены параметры электролитического синтеза из сернокислого электролита Ni-Co-покрытий на стальную поверхность. Подобраны режимы и сформированы КИБ методом ZrN-покрытия и комбинированием гальванического и КИБ методов гальвано-ионно-плазменные ZrN-Ni-Co-покрытия на лезвиях стальных ножей деревоорежущего фрезерного инструмента.

Измеренная микротвердость комбинированных ZrN-Ni-Co-покрытий в 1,2–1,5 раза больше стальной основы. Основным видом износа стального лезвия ножа с Ni-Co- и ZrN-Ni-Co-покрытиями при резании ламинированных древесно-стружечных плит является абразивный износ. Покрытия на поверхности стальных лезвий ножей фрез уменьшают интенсивность их износа. Величина рассчитанного объемного износа лезвия ножа с ZrN-Ni-Co-покрытием при резании ламинированных ДСтП в лабораторных условиях имела более чем в 3 раза меньше значение, чем для лезвия с Ni-Co-покрытием.

Проведенные опытно-промышленные испытания на ОАО «Минскдрев» модифицированных фрез с комбинированными ZrN-Ni-Co-покрытиями на лезвиях ножей показали увеличение периода стойкости фрез при резании сосны (штапик) до 30% по сравнению с инструментом без покрытий.

**Ключевые слова:** лезвия, нож, инструмент, покрытия, износ, период стойкости.

**I. I. Bavbel<sup>1</sup>, V. V. Chayevski<sup>1</sup>, V. V. Uglov<sup>2</sup>, A. K. Kuleshov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Belarusian State University**INFLUENCE OF COMBINED GALVANIC AND PVD TREATMENT  
ON WEAR OF STEEL KNIVES EDGES OF WOOD-CUTTING TOOL**

The article deals with investigations of wear as well as durability period of wood-cutting tool at galvanic and plasma vapour deposition of coatings, when processing materials of laminated chipboard.

Ni-Co-coatings are synthesized from sulfate electrolyte on the steel surface. Modes were selected and formed by PVD method of ZrN-coating, electroplating and combined methods of galvanic ion-plasma ZrN-Ni-Co-coating on the edges of steel knives of wood-cutting tool.

Microhardness of combined ZrN-Ni-Co-coatings is 1,2–1,5 times more than that of the steel base.

When cutting laminated chipboard by steel knives of milling tool with a Ni-Co- and ZrN-Ni-Co-coatings under laboratory conditions, abrasive surface wear type of knives edges is observed. The wear intensity of knives edges with deposited coatings is reduced. Calculated wear of knives edges with ZrN-Ni-Co-coatings showed reduction of more than 3 times value in comparison with knives with Ni-Co-coatings.

Pilot testing of tool modified with combined ZrN-Ni-Co-coatings at OJSC “Minskdrév” when cutting pine confirmed relevance of the tests carried out, as well as showed an increase in durability period of cutters to 30% compared with bare tool.

**Key words:** knives edges, tool, wear, durability period.

**Введение.** Одним из основных условий эффективности работы современного оборудования на деревообрабатывающих производствах является высокая стойкость и надежность применяемого режущего инструмента. Физико-механические свойства инструментального материала являются одними из основных факторов, определяющих период стойкости режущего инструмента. Установлено, что при резании древесностружечных плит (ДСтП) входящие в их состав абразивосодержащие частицы, имеющие твердость, соизмеримую с твердостью ма-

териала реза инструмента, способствуют возрастанию сил трения на задней поверхности реза и более интенсивному абразивному износу контактных поверхностей инструмента [1].

При резании ДСтП хвостовыми фрезами со стальными ножами из-за высоких температур (700–800°C), возникающих в поверхностных слоях лезвия ножей, происходит размягчение и размазывание тонких поверхностных слоев лезвия из стали [2]. С учетом того, что в Республике Беларусь для механической обработки древесных материалов применяется в основном

только инструмент с импортными дорогостоящими твердосплавными ножами, можно заключить, что решение задач, направленных на увеличение периода стойкости дереворежущего инструмента со стальными ножами, изготовленными в Республике Беларусь, Российской Федерации и на Украине, является актуальным, технически и экономически обоснованным.

Одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности лезвий ножей дереворежущих инструментов является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), существенно увеличивающий эксплуатационные свойства резцов при осаждении на их поверхность покрытий нитридов тугоплавких металлов Ti, Mo, Zr и др. [1]. В настоящее время в машиностроении широко используются гальванические сплавы на основе железа и покрытия, полученные из сульфатных электролитов на основе железа – никеля, которые являются достаточно износостойкими [3].

В связи с этим целью работы являлось получение электрохимических покрытий сплавом Ni-Co и комбинированных гальвано-ионно-плазменных ZrN-Ni-Co-покрытий на поверхности двухлезвийных стальных (Р6М5) ножей хвостовых фрез, исследование износа обработанных лезвий ножей при резании ламинированных ДСтП с учетом фазового, элементного состава и микротвердости сформированных слоев, определение периода стойкости модифицированного фрезерного инструмента.

**Основная часть.** Гальванические покрытия сплавом Ni-Co наносили на кафедре химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники БГТУ на поверхность лезвий ножей из сернокислого электролита при токах 0,4–0,8 А и температуре 40–50°C. Толщина покрытий не превышала 10 мкм. ZrN-покрытия осаждались на ножи с Ni-Co-покрытием на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСИИ) 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 Zr-катода 100 А и опорном напряжении –100 В в атмосфере азота при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450°C. Толщина ZrN-покрытий не превышала 1,5 мкм.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в  $\text{Cu-K}_\alpha$  излучении. Микротвердость испытуемых покрытий определялась при помощи микротвердомера ПМТ-3 по методу Виккерса при нагрузке 50 г.

Лабораторные испытания на период стойкости лезвий ножей фрезы сборной диаметром 21 мм при резании ламинированных ДСтП толщиной 25 мм проводили на обрабатывающем центре ROVER-B4.35 (Италия) на кафедре ДОСИИ при следующих режимах: число ножей на фрезе – 2; частота вращения фрезы –  $15\,000\text{ мин}^{-1}$ ; припуск – 1,0 мм/проход.

Длина резания определялась по критерию потери режущей способности ножа – появлению сколов отделки плиты – и не превышала 1200 п. м. Объемный износ лезвия ножа после испытаний рассчитывался по методике определения поперечных размеров кромки лезвия по всей ее длине с помощью микротвердомера ПМТ-3 с учетом первоначального неизношенного угла заточки лезвия.

Для определения элементного состава сформированных слоев, видов износа обработанных лезвий ножей были проведены с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), растровой и сканирующей электронной микроскопии (РЭМ и СЭМ) на сканирующем электронном микроскопе LEO-1455 VP фрактографические исследования морфологии режущей кромки лезвия ножа после лабораторных испытаний.

Установлено, что сформированные покрытия состоят из отдельных фаз нитрида ZrN, имеющего гранецентрированную кубическую структуру, никеля и кобальта с гексагональной решеткой (рис. 1).

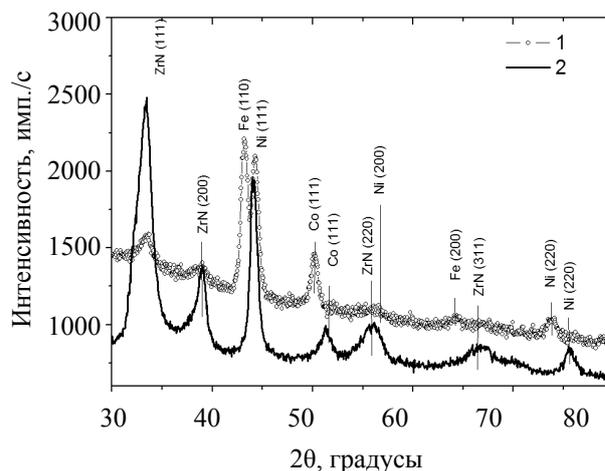


Рис. 1. Рентген ограммы Ni-Co-покрытий (1) и ZrN-Ni-Co-покрытий (2)

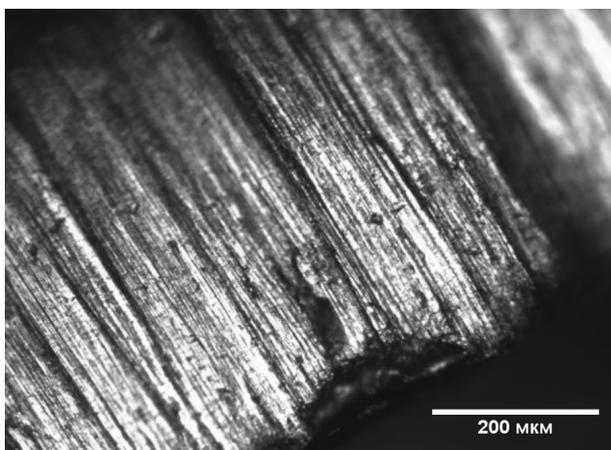
Среднее значение микротвердости Ni-Co-покрытия на стальной основе составило 9,6 ГПа, а ZrN-Ni-Co-покрытия – 12,0 ГПа, что практически в 1,4 раза превышает величину микротвердости подложки (9,0 ГПа).

Выполненные расчеты усредненного объемного износа лезвия ножей после лабораторных

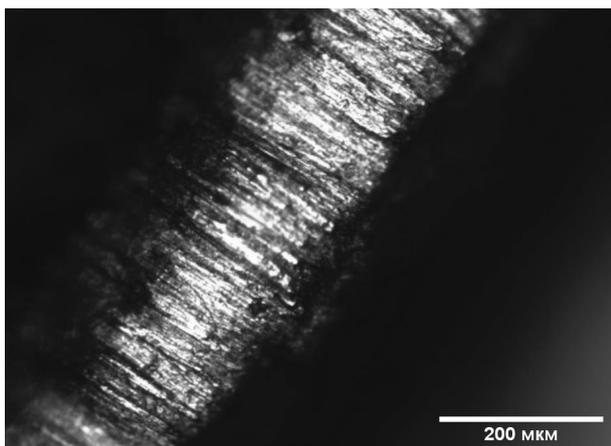
испытаний показали, что объемный износ комбинированного ZrN-Ni-Co-покрытия ( $6,75 \cdot 10^7$  мкм<sup>3</sup>) уменьшается в 3,4 раза по сравнению с упрочняющим лезвием Ni-Co-покрытием ( $2,30 \cdot 10^8$  мкм<sup>3</sup>).

Оптические снимки изношенной кромки лезвия ножа с ZrN-Ni-Co- и Ni-Co-покрытиями (рис. 2) подтверждают расчеты объемного износа и показывают, что степень износа лезвия ножей с ZrN-Ni-Co-покрытием (рис. 2, а) значительно меньше, чем в случае лезвия ножей с Ni-Co-покрытием (рис. 2, б).

В процессе резания ламинированной ДСтП наблюдается абразивный износ как гальванических (типа Fe-Ni-, Ni-Co-покрытий), так и гальвано-ионно-плазменных ZrN-Ni-Co-покрытий на лезвии ножа (рис. 3), хотя степень износа лезвия ножей с ZrN-покрытием значительно меньше, чем в случае лезвия ножей с Fe-Ni- или Ni-Co-покрытием [1, 4].



а



б

Рис. 2. Снимки изношенного лезвия ножа с ZrN-Ni-Co-покрытием (а) и с Ni-Co-покрытием (б) после резания ламинированной ДСтП

Несмотря на то что высокая твердость и прочность сформированных твердых покрытий

к воздействию деформационных нагрузок позволяет, по-видимому, увеличить стойкость к хрупкому износу лезвия модифицированных ножей при резании ДСтП [1], в процессе резания на некотором этапе происходит хрупкое частичное разрушение этих покрытий в области лезвия ножа. Вероятно, это связано с ухудшением адгезии покрытия к подложке вследствие резкого увеличения температуры на границе «лезвие ножа – ДСтП», приводящее к отслаиванию и разрушению покрытия. Тем не менее необходимо отметить, что наличие нитрида циркония, обладающего высокой термической и окислительной стойкостью, в комбинированном ZrN-Ni-Co-покрытии позволяет до разрушения покрытия значительно уменьшать воздействие этих процессов на износ лезвия ножа.

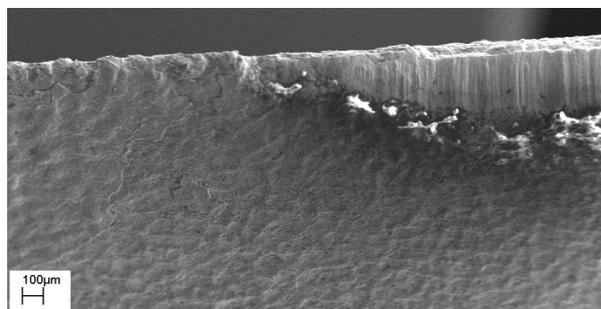


Рис. 3. РЭМ-снимок кромки лезвия стального ножа с Fe-Ni-покрытием после резания ламинированных ДСтП

Проведенные на предприятии концерна «Беллесбумпром» ОАО «Минскдрев» (г. Минск) опытно-промышленные испытания модифицированных фрез при резании сосны (штапик) подтвердили выполненные расчетные оценки объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний и показали, что период стойкости фрезерного инструмента с ZrN-Ni-Co-покрытиями увеличивается до 30% по сравнению с необработанным инструментом.

**Заключение.** Установлено, что сформированные гальваническим методом и КИБ обработкой Ni-Co- и ZrN-Ni-Co-покрытия на лезвиях стальных ножей хвостовых фрез обеспечивают при резании материалов из ламинированных ДСтП и хвойных пород древесины повышение периода стойкости режущего инструмента.

Основным видом износа стального лезвия ножа с твердыми Ni-Co- и ZrN-Ni-Co-покрытиями при резании ламинированных ДСтП является абразивный износ.

Наличие осажденных методом КИБ ионно-плазменных ZrN-покрытий в комбинированных ZrN-Ni-Co-покрытиях обеспечивает при резании древесных материалов повышение периода стойкости режущего инструмента.

### Литература

1. Effect of ZrN and Mo-N Coatings and Sulfacyanization on Wear of Wood-Cuttung Knives / Kuleshov A. K. [et al.] // Journal of Friction and Wear. 2014. Vol. 35. No. 3. P. 201–209.
2. Использование комбинированных методов упрочнения инструмента для деревообработки с применением концентрированных потоков энергии / Бавбель И. И. [и др.] // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 171–174.
3. Функциональные покрытия на основе сплавов железа / Попова С. С. [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. 2001. Т. 9. № 1. С. 34–39.
4. Кубрак П. Б., Жилинский В. В., Чаевский В. В. Осаждение износостойких покрытий сплавом Fe-Ni из сульфатных электролитов // Труды БГТУ. 2014. № 3: Химия и технология неорганических веществ. С. 51–53.

### References

1. Effect of ZrN and Mo-N Coatings and Sulfacyanization on Wear of Wood-Cuttung Knives / Kuleshov A. K. [et al.]. Journal of Friction and Wear, 2014, vol. 35, no. 3, pp. 201–209.
2. Bavbel I. I. [et al.]. Use of the the combined methods of hardening of the tool for a woodworking with application of the concentrated streams of energy. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 171–174 (in Russian).
3. Popova S. S. [et al.]. Functional coatings based on iron alloys. *Gal'vanotekhiika i obrabotka pov-erkhnosti* [Galvanotechnics and Surface Treatment], Moscow, 2001, vol. 9, no. 1, pp. 34–39 (in Russian).
4. Kubrak P. B., Zhylinski V. V., Chayeuski V. V. Deposition of wear-resistant platings by the Fe-Ni alloy from the sulphate electrolytes. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2014, no. 3: Chemistry and Technology of Inorganic Substances, pp. 51–53 (in Russian).

### Информация об авторах

**Бавбель Иван Иванович** – старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@bstu.unibel.by

**Чаевский Вадим Витальевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tchaievsky@tut.by

**Углов Владимир Васильевич** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр. Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: uglov@bsu.by

**Кулешов Андрей Константинович** – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией кафедры физики твердого тела. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр. Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: kuleshak@bsu.by

### Information about the authors

**Bavbel' Ivan Ivanovich** – senior lecturer, Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@bstu.unibel.by

**Chayeusky Vadim Vitalievich** – Ph. D. Physics and Mathematics, assistant professor, assistant professor, Department of Physics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tchaievsky@tut.by

**Uglov Vladimir Vasilievich** – D. Sc. Physics and Mathematics, professor, head of the Department of Solid State Physics. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uglov@bsu.by

**Kuleshov Andrey Konstantinovich** – Ph. D. Physics and Mathematics, head of the Laboratory of the Department of Solid State Physics, Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kuleshak@bsu.by

Поступила 23.02.2015