

УДК 539.197; 674.055:621.934(043.3)

**В. В. Чаевский, И. И. Бавбель**

Белорусский государственный технологический университет

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО КОМБИНИРОВАННОЙ  
ОБРАБОТКОЙ ЛЕЗВИЙ НОЖЕЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Исследован износ твердосплавного модифицированного фрезерного инструмента при резании ламинированных древесностружечных плит. На поверхность лезвий ножей из карбида вольфрама твердых сплавов осаждались электрохимическим методом Ni-нанодиамаз (УДА)-покрытия, методом конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ) ZrC-покрытия и комбинированные ZrC-Ni-УДА-покрытия. Износу подвергались передние и задние грани ножей образцов модифицированного твердосплавного инструмента с вырыванием зерна сплава, отслаивания покрытий и сколов. Механизмами износа твердосплавного режущего инструмента были адгезионный и абразивный износ.

В условиях производственных испытаний период стойкости инструмента с ZrC-Ni-УДА-покрытиями увеличился в 1,5–1,6 раза по сравнению с необработанным инструментом. Лезвия ножей с ZrC-покрытиями являются более износостойкими, чем с комбинированными ZrC-Ni-УДА-покрытиями.

**Ключевые слова:** износ, покрытие, лезвие ножа, инструмент, ультрадисперсные алмазы.

**V. V. Chayevskiy, I. I. Bavbel'**

Belarusian State Technological University

**WEAR RESISTANCE OF MODIFIED KNIFE BLADES  
BY WOODCUTTING COMBINED TREATMENT**

In this paper, hard alloy tool wear when milling laminated chipboards with modified cutting tools were investigated. Ni-nanodiamond (UDD)-electroplatings, ZrC-coatings formed by the method of physical vapor deposition (PVD), and combined ZrC-Ni-UDD-coatings were deposited on the surface of knife blades made of tungsten carbide hard alloys. The wear patterns of hard alloy modified cutting tools are rake face wear and flank wear, which may take the patterns of pull-out of grain, flaking, and chipping. The wear mechanisms of hard alloy cutting tools were adhesive wear and abrasive wear.

Under the condition of the pilot tests, the results shown are as follows: first, if compared with bare tool, the durability period of tool with ZrC-Ni-nanodiamond coated blades increased in 1.5–1.6 times. Second, knife blades with ZrC-coatings are more wear resistant than cutter edge coated with combined ZrC-Ni-UDD.

**Key words:** wear, coating, knife blade, tool, ultradisperse diamonds.

**Введение.** При резании композиционных материалов на древесной основе (древесностружечных плит (ДСтП), слоистых пластиков и др.) действие входящих в их состав абразиво-содержащих частиц, имеющих твердость, соизмеримую с твердостью инструментального материала, приводит к возрастанию сил трения на задней поверхности резца и к более интенсивному абразивному износу контактных поверхностей инструмента [1]. Износостойкость поверхностей деталей и инструмента повышается с помощью композиционных электролитических покрытий (КЭП), содержащих в качестве композиционного материала ультрадисперсные алмазы (УДА), которые способствуют существенной адгезии, резкому снижению коэффициента трения [2]. Установлено, что сформированные гальваническим методом и методом конденсации с ионно-плазменной бомбардировкой (КИБ) комбинированные 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 [3].

Целью данной работы было сформировать методами КИБ и электрохимического осаждения комбинированные ионно-плазменные и гальванические (на основе УДА) покрытия на поверхности твердосплавных лезвий ножей из карбида вольфрама WC дереворежущего инструмента и исследовать их износостойкость.

**Основная часть.** Ni-УДА-КЭП наносили на подготовленную поверхность лезвий ножей на экспериментальной установке при плотностях тока 1–24 А/дм<sup>2</sup> в гальваностатическом и импульсном режимах электролиза из сульфаминовокислых электролитов никелирования. Толщина покрытий не превышала 10 мкм. В качестве дисперсной фазы использовали УДА

(ТУ РБ 28619110.001-95) с размерами 3–5 нм, являющиеся продуктом детонационного превращения взрывчатых веществ. Ионно-плазменные ZrC-покрытия осаждались методом КИБ на поверхность ножей хвостовых фрез и поверхность ножей с Ni-УДА-покрытием на установке ВУ-1Б «Булат» по стандартной методике: с предварительной обработкой ионами циркония подложки в вакууме  $10^{-3}$  Па при потенциале подложки, равном 1 кВ, и последующим нанесением покрытий при токах горения дуги катода 80–100 А и опорном напряжении, равном 100 В, в атмосфере углеводорода  $\text{CH}_4$  при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450°C. Толщина ZrC-покрытий не превышала 1,5 мкм. Для формирования комбинированных ZrC-Ni-УДА-покрытий предварительно на поверхность твердосплавных ножей фирмы Leiz (Германия) осаждались Ni-УДА-КЭП с последующим напылением ZrC-покрытия.

Морфология поверхности образцов изучалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа LEO-1455 VP, который также применялся для определения элементного состава полученных покрытий методами СЭМ и рентгено-спектрального микроанализа (РСМА).

Опытно-промышленные испытания на период стойкости модифицированных ножей

сборной фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированных ДСтП толщиной 16 мм проводили на станке с ЧПУ RANC-330AE при следующих режимах: число ножей на фрезе – 1; частота вращения фрезы –  $12\,000\text{ мин}^{-1}$ ; скорость подачи – 4 м/мин. Рассчитанная длина резания ДСтП составила 9000–10 000 ( $\pm 1000$ ) м. п. Критерием потери режущей способности резца являлось появление сколов отделки плиты.

Объемный износ лезвия ножа после опытно-промышленных испытаний рассчитывался по методике определения поперечных размеров кромки лезвия по всей ее длине с помощью оптического микроскопа Microvert (холдинг «Планар», Республика Беларусь) в 2 этапа с учетом первоначального неизношенного угла заточки лезвия [4]. Для оценки износа лезвия ножей с учетом крупных участков разрушения лезвия проводилась математическая обработка оптических снимков этих участков.

Процесс резания ламинированных ДСтП в промышленных условиях модифицированными фрезами с покрытиями лезвий ножей сопровождался интенсивным абразивным износом ножей. На лезвиях ножей наблюдались многочисленные участки разрушения в виде оставшихся после вырывания материала основы (в том числе с покрытиями) углублений, пустот, сколов (рис. 1), а также истирания покрытий лезвия (рис. 1–3).

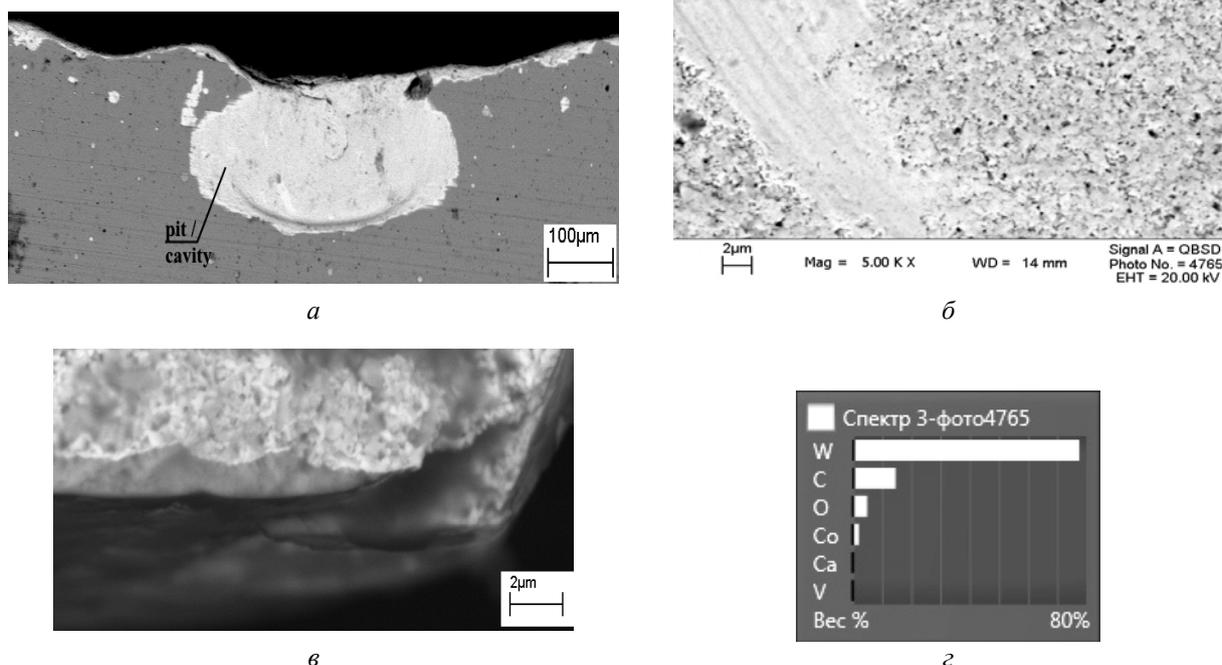
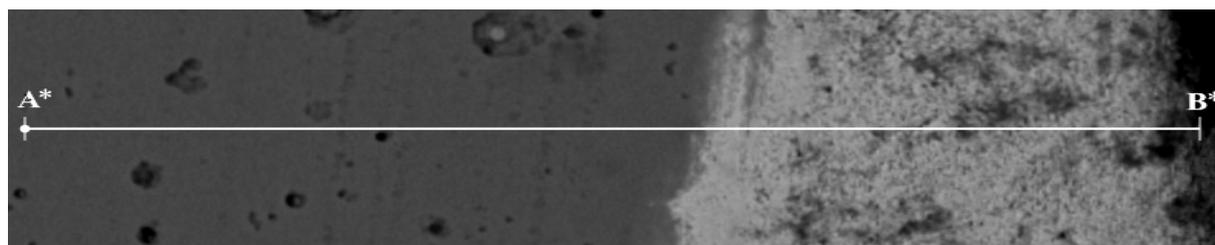


Рис. 1. РЭМ-снимки разрушенного участка лезвия ножа с вырыванием покрытия с основой, истиранием покрытия (а) и выделенного фрагмента полосы истирания (б), скола лезвия (в), с РСМА-определения элементов на полосе (г)



*a*

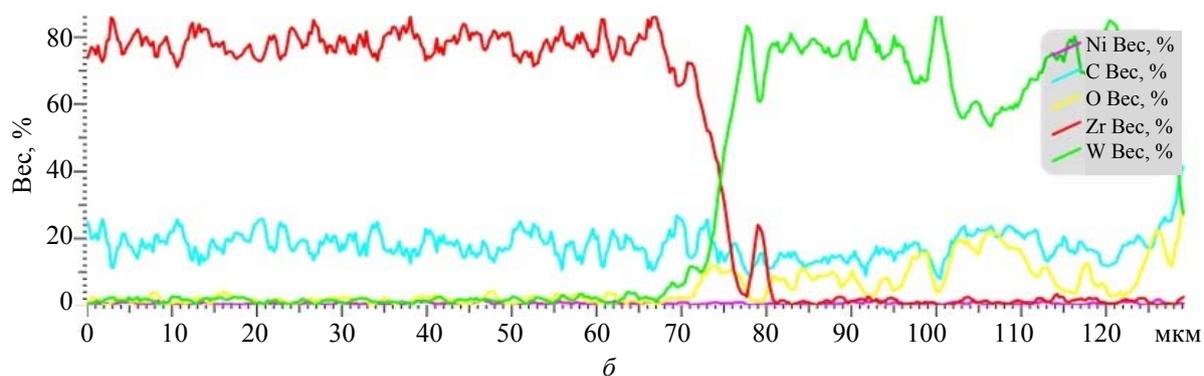


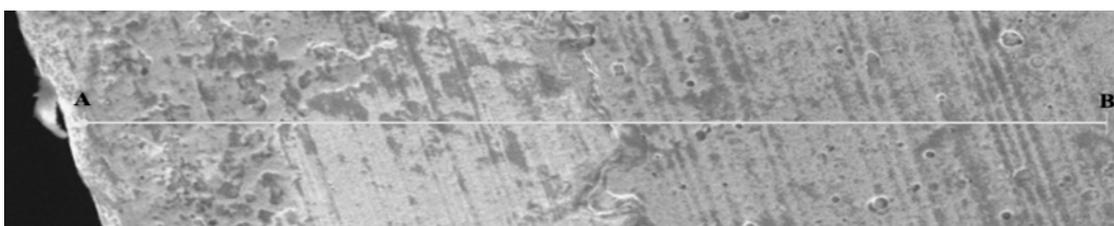
Рис. 2. РЭМ-снимок изношенного участка лезвия ножа с ZrC-покрытием (*a*) и распределение концентрации элементов вдоль линии A\*B\* (*б*)

Для ZrC-покрытий на лезвии ножа наблюдается достаточно четкая граница истирания на расстояниях до ~50 мкм от острия лезвия (рис. 2) в отличие от ZrC-Ni-УДА-покрытий, для которых характерна переходная область истирания (до ~100 мкм), связанная с наличием переходного Ni-УДА-слоя (рис. 3).

Выполненные расчетные оценки объемного износа лезвия ножей после опытно-промыш-

ленных испытаний модифицированных фрез (таблица) свидетельствуют, что объемный износ лезвия с ZrC-покрытием уменьшается более чем в 1,3 раза по сравнению с лезвием без покрытия.

Объемный износ лезвия с ZrC-Ni-УДА-покрытием незначительно снижается по сравнению с необработанным инструментом.



*a*

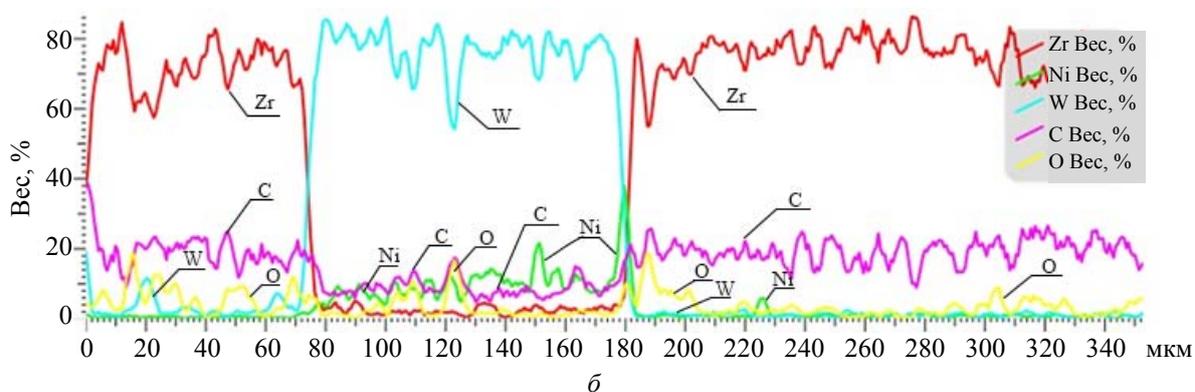


Рис. 3. РЭМ-снимок морфологии изношенного участка лезвия ножа с ZrC-Ni-УДА-покрытием (*a*), распределение концентрации элементов вдоль линии AB (*б*)

### Результаты расчета объемного износа лезвия ножей после резания ламинированной ДСтП

Вид обработки	Объемный износ, $\times 10^7$ мкм <sup>3</sup>
Без покрытия	129,9 $\pm$ 0,9
ZrC-покрытие	93,6 $\pm$ 0,6
ZrC-Ni-УДА-покрытие	115,2 $\pm$ 0,8

Проведенные на предприятии «Мебельная фабрика «Пинскдрев-Адриана»» опытно-промышленные испытания модифицированных фрез при резании ДСтП показали, что период

стойкости фрезерного инструмента с ZrC-Ni-УДА-покрытиями увеличивается в 1,5–1,6 раза по сравнению с необработанным инструментом.

**Заключение.** Показано, что при резании ламинированных ДСтП в условиях производства лезвия твердосплавных ножей фрез с ZrC-, ZrC-Ni-УДА-покрытиями испытывают интенсивный адгезионный и абразивный износы с вырыванием зерна сплава, отслаивания покрытий и появления сколов. Рассчитанный объемный износ лезвий ножей с ZrC-покрытием уменьшается в 1,3 раза по сравнению с необработанным инструментом.

### Литература

1. Абразумов В. В., Котенко В. Д. Анализ явлений на контактных поверхностях режущего клина при резании плитных древесных композиционных материалов на минеральных вяжущих // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2006. № 6. С. 138–141.
2. Долматов В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза: свойства и применение // Успехи химии. 2001. Т. 70, № 7. С. 687–708.
3. Физико-механические свойства ZrN-Ni-Co-покрытий на лезвиях стальных ножей дереворежущего инструмента / В. В. Чаевский [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 97–101.
4. Influence of high energy treatment on wear of edges knives of wood-cutting tool / V. Chaevskiy [et al.] // MM (Modern Machinery). Science Journal. 2016, no. 6. P. 1519–1523.

### References

1. Abrazumov V. V., Kotenko V. D. The analysis of the phenomena on contact surfaces of a cutting at cutting board wood composite materials. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoy vestnik* [Bulletin of Moscow State University of the Wood. Forestry Bulletin], 2006, no. 6, pp. 138–141 (In Russian).
2. Dolmatov V. Yu. Detonation synthesis ultradispersed diamonds: properties and applications. *Uspehi khimii* [Russian Chemical Reviews], 2001, vol. 70, no. 7, pp. 687–708 (In Russian).
3. Chayevskiy V. V., Grishkevich A. A., Zhylinskiy V. V., Cernasheyus O. Physical and mechanical properties of ZrN-Ni-Co-coatings on the edges of steel knives of wood-cutting tools. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 6: Physics and Mathematics. Informatics, pp. 97–101 (In Russian).
4. Chaevskiy V., Zhylinskiy V., Grishkevich A., Rudak P., Barcik S. Influence of high energy treatment on wear of edges knives of wood-cutting tool. *MM (Modern Machinery). Science Journal*, 2016, no. 6, pp. 1519–1523.

### Информация об авторах

**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: chayeuski@belstu.by

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

### Information about the authors

**Chayevskiy Vadim Vital'evich** – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Physics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chayeuski@belstu.by

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

Поступила 20.04.2017