

УДК 539.197; 674.055:621.934(043.3)

В. В. Чаевский¹, П. В. Рудак¹, А. К. Кулешов²¹Белорусский государственный технологический университет²Белорусский государственный университет**ИЗНОС ЛЕЗВИЙ НОЖЕЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С ZrC-, ZrC-Ni-УДА-ПОКРЫТИЯМИ**

Показан износ лезвий с ZrC-, ZrC-Ni-УДА-покрытиями ножей из карбида вольфрама твердых сплавов фрезерного инструмента при резании ламинированных древесностружечных плит (ДСтП). ZrC-покрытия формировались методом конденсации с ионной бомбардировкой. Композиционные Ni-УДА-покрытия были осаждены из сульфатно-хлоридных электролитов на лезвия ножей фрез. Комбинированные ZrC-Ni-УДА-покрытия содержат отдельные фазы никеля, Ni-УДА, графитоподобные фазы ультрадисперсных алмазов, а также фазы ZrC.

Установлено, что в условиях производства при резании модифицированными фрезами с покрытиями лезвий ножей ламинированных ДСтП наблюдается интенсивный абразивный износ лезвий ножей. Лезвия ножей с ZrC-покрытиями являются более износостойкими, чем с комбинированными ZrC-Ni-УДА-покрытиями. Рассчитанный износ лезвий ножей с ZrC-покрытием в 1,3 раза меньше по сравнению с необработанным инструментом.

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

V. V. Chayevski¹, P. V. Rudak¹, A. K. Kuleshov²¹Belarusian State Technological University²Belarusian State University**KNIFE BLADES WEAR OF WOOD-CUTTING TOOL WITH THE ZrC-, ZrC-Ni-UDD-COATINGS**

Laminated chipboards milled by a tool with tungsten carbide hard alloy knives were coated with ZrC, ZrC-Ni-UDD. The wear of knives blades is shown. ZrC-coatings were formed by the method of plasma vacuum deposition. Composite Ni-UDD-coatings were plated on knife blades of milling tools from sulfate-chloride electrolytes. The combined ZrC-Ni-UDD-coatings consist of separate phases of nickel, Ni-UDD, ultradisperse diamonds phases similar to the graphite phase and ZrC-phase.

Intensive abrasive wear of knife blades occurred when cutting laminated chipboard with a modified cutting tool in a production environment. Knife blades with ZrC-coatings are more wear resistant than cutter edge coated with combined ZrC-Ni-UDD. The value of wear of knife blades with coatings was calculated. If compared with bare tool, the wear of ZrC-coated blade is 1.3 times less.

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

Введение. Стойкость и надежность режущего инструмента современного оборудования на деревообрабатывающих производствах является одним из основных условий эффективности его работы. Уровень показателей стойкости и надежности режущего инструмента определяется, в первую очередь, характеристиками физико-механических свойств инструментального материала. При резании композиционных материалов на древесной основе (ДСтП, слоистые пластики, стеклотекстолит и др.) действие входящих в их состав абразивосодержащих 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]. Повышение износостойкости поверхностей с помощью специальных покры-

тий, в том числе композиционных электролитических покрытий (КЭП), показывающих высокие физико-механические и электрохимические свойства [2], по-прежнему представляет собой один из наиболее эффективных методов улучшения функционально-эксплуатационных характеристик изделий и деталей различного назначения. Использование ультрадисперсных алмазов (УДА), получаемых детонацией взрывчатых веществ, в качестве композиционного материала в электрохимических и химических металл-алмазных покрытиях приводит также к повышению их износостойкости, существенной адгезии, резкому снижению коэффициента трения [3]. 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 [4].

В связи с этим целью данной работы было сформировать методами КИБ и электрохимического осаждения градиентные ионно-плазменные и гальванические (на основе УДА) покрытия на поверхности твердосплавных лезвий ножей из карбида вольфрама дереворежущего инструмента и исследовать физико-механические свойства (фазовый и элементный состав, износостойкость) режущих элементов инструмента и сформированных слоев.

Основная часть. Гальванические Ni-УДА-КЭП наносили на кафедре химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники (Х,ТЭПиМЭТ) БГТУ на подготовленную поверхность лезвий ножей на экспериментальной установке с применением источника постоянного тока марки DC POWER SUPPLY HY3005-3 при плотностях тока 1–24 А/дм² в гальваностатическом и импульсном режимах электролиза из электролитов, состав которых представлен в табл. 1. Толщина покрытий не превышала 10 мкм.

Таблица 1
Состав используемых электролитов при 50°C и pH 4,5

Компоненты, г/дм ³	Электролит № 1	Электролит № 2
NiSO ₄ · 7H ₂ O	300	300
NiCl ₂ · 6H ₂ O	40	40
H ₃ BO ₃	30	30
УДА	1	2–5
Додецилсульфат натрия	–	0,1

Кислотность (pH) электролита измерялась рН-метром рН-150 с точностью ±0,05%. Уровень рН до нужного значения корректировался концентрированным раствором серной кислоты. Перед осаждением покрытий проводилась подготовка образцов, которая представляла собой химическое обезжиривание при температуре 60–80°C на протяжении 5–10 мин, промывку в горячей (при температуре 40–60°C) и холодной (при температуре 18–25°C) воде, травление (в растворе H₂SO₄ (300 г/л) при температуре 18–25°C в течение 3 мин) и холодную промывку, активацию, промывку.

В качестве дисперсной фазы использовали УДА (ТУ РБ 28619110.001-95), являющиеся продуктом детонационного превращения взрывчатых веществ с размерами 3–5 нм, развитой

удельной поверхностью 200–450 м²/г. Процесс электроосаждения КЭП проводили при повышенной температуре 40–50°C и постоянном перемешивании электролита-суспензии для поддержания частиц УДА во взвешенном состоянии. Режимы электролиза для осаждения Ni-УДА-покрытий и полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2
Условия и результаты синтеза Ni-УДА-покрытий

t, мин	m _{нач} , г	ВТ, %	I, А	δ, мкм	m _{кон} , г
30	1,106	80,27	0,16	4,3	1,176
30	1,214	95,18	0,16	6,2	1,297
15	1,172	97,50	0,32	6,2	1,258

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 [5]: 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 CH₄ 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.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K_α излучении.

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 рентгеноспектрального 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 мин⁻¹; скорость подачи – 4 м/мин. Рассчитанная длина

резания ДСтП составила 9000–10 000 п. м с точностью ± 1000 п. м. 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 [6]. Для оценки износа лезвия ножей с учетом крупных участков разрушения лезвия

проводилась математическая обработка оптических снимков этих участков.

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

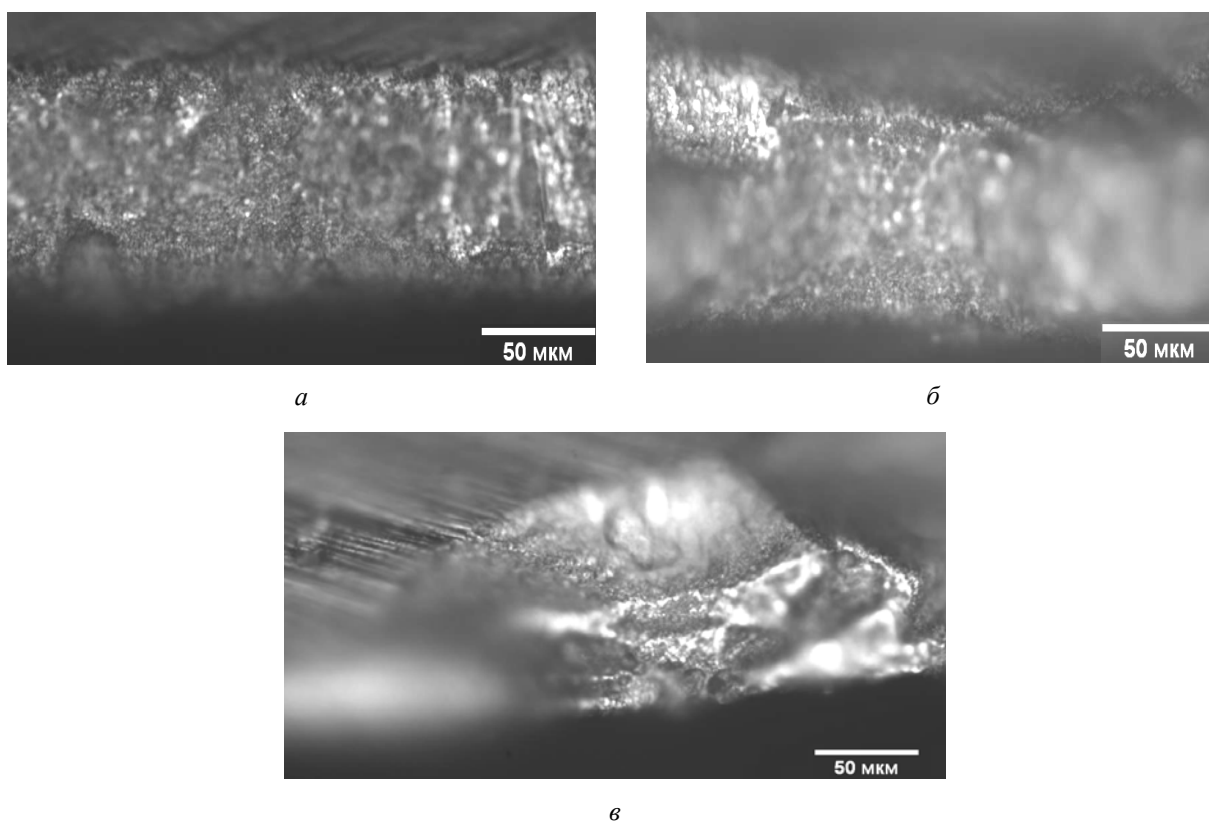


Рис. 1. Оптические снимки изношенного лезвия ножа без покрытия (а, б) и крупного участка разрушения ножа с ZrC-покрытием (в)

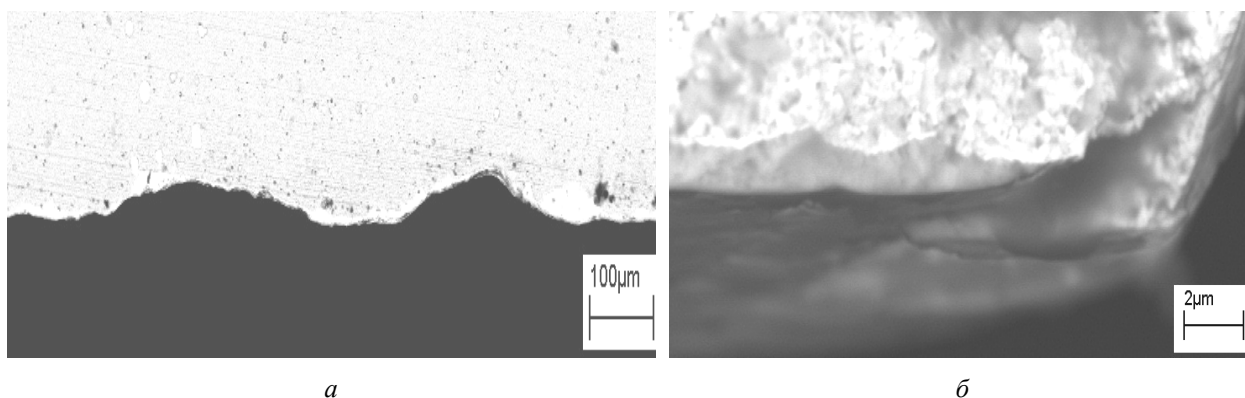


Рис. 2. РЭМ-снимки разрушенного участка лезвия ножа с покрытием (а) и скола лезвия (б)

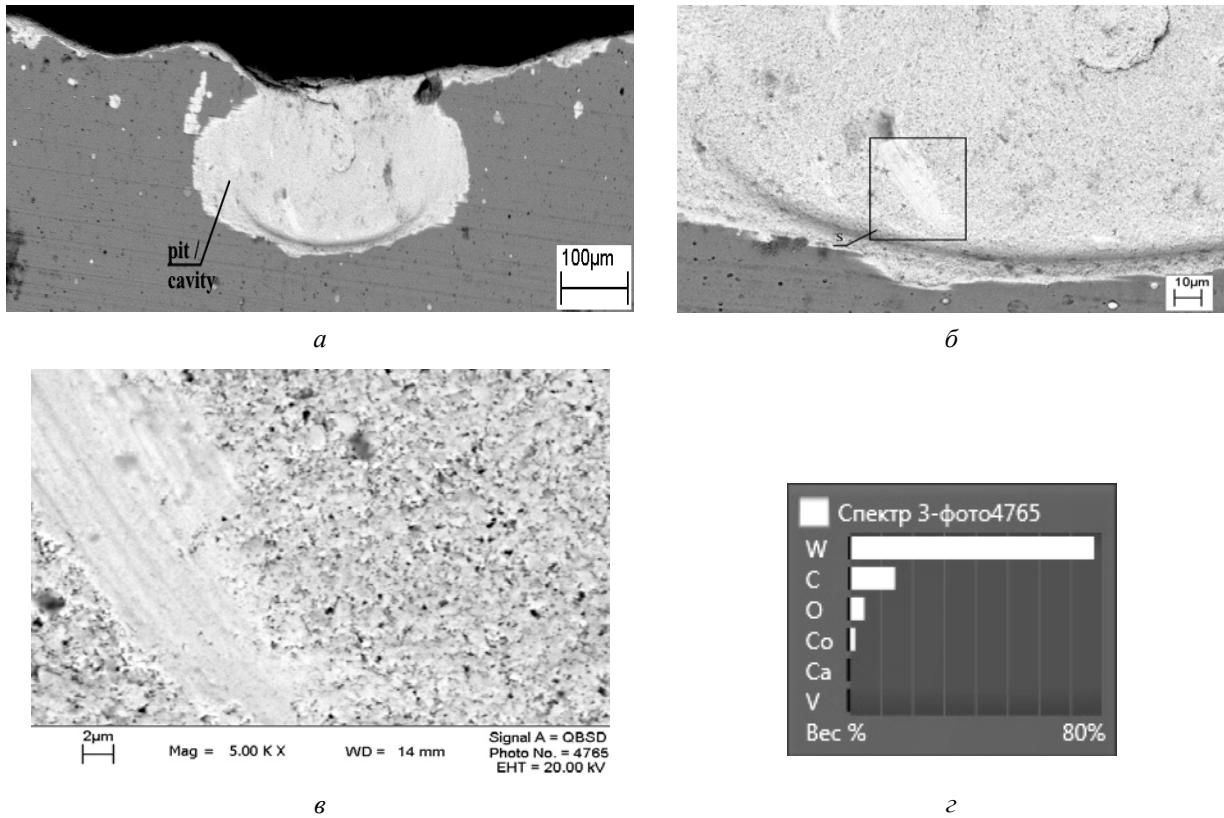


Рис. 3. РЭМ-снимки разрушенного участка лезвия ножа с вырыванием покрытия с основой, истиранием покрытия (а) и выделенного фрагмента полосы истирания покрытия (б, в) с РСМА-определением элементов на полосе (г)

Для ZrC-покрытий, осажденных на твердосплавное лезвие ножа из карбида вольфрама, наблюдается достаточно четкая граница истирания на расстояниях до ~50 мкм от острия

лезвия (рис. 4) в отличие от ZrC-Ni-УДА-покрытий, для которых характерна переходная область истирания (до ~100 мкм), связанная с наличием переходного Ni-УДА-слоя (рис. 5).

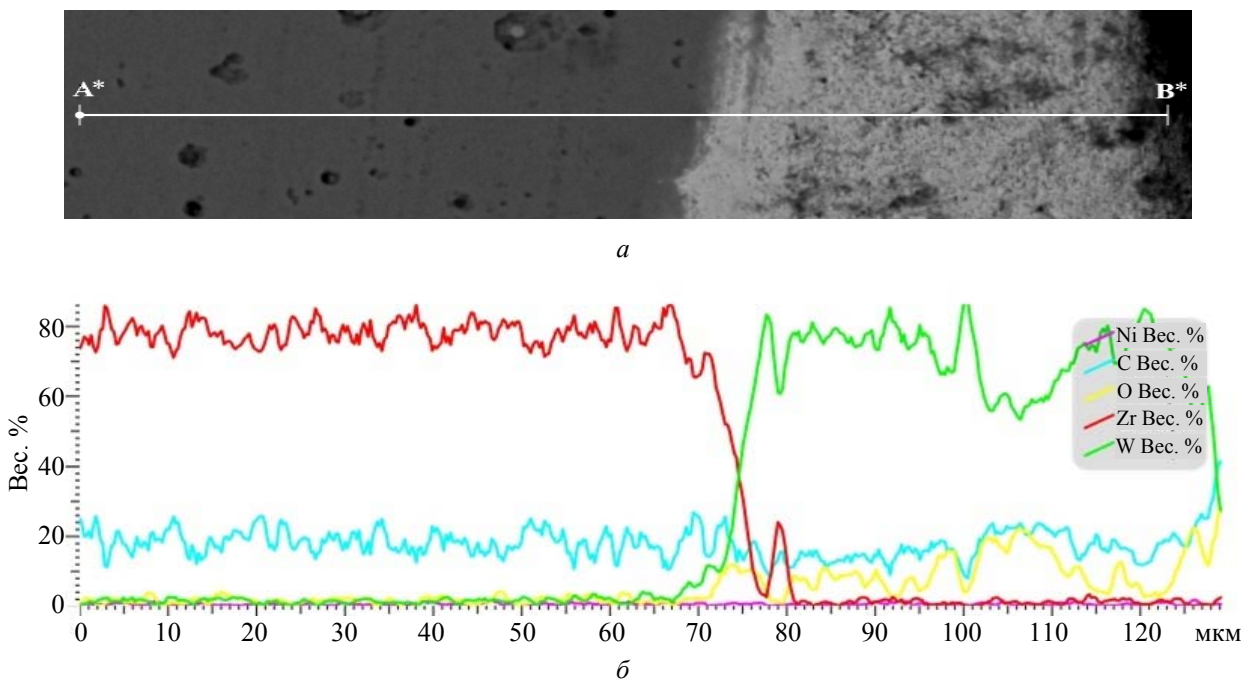


Рис. 4. РЭМ-снимок изношенного участка лезвия ножа с ZrC-покрытием (а) и распределение концентрации элементов вдоль линии А*В* (б)

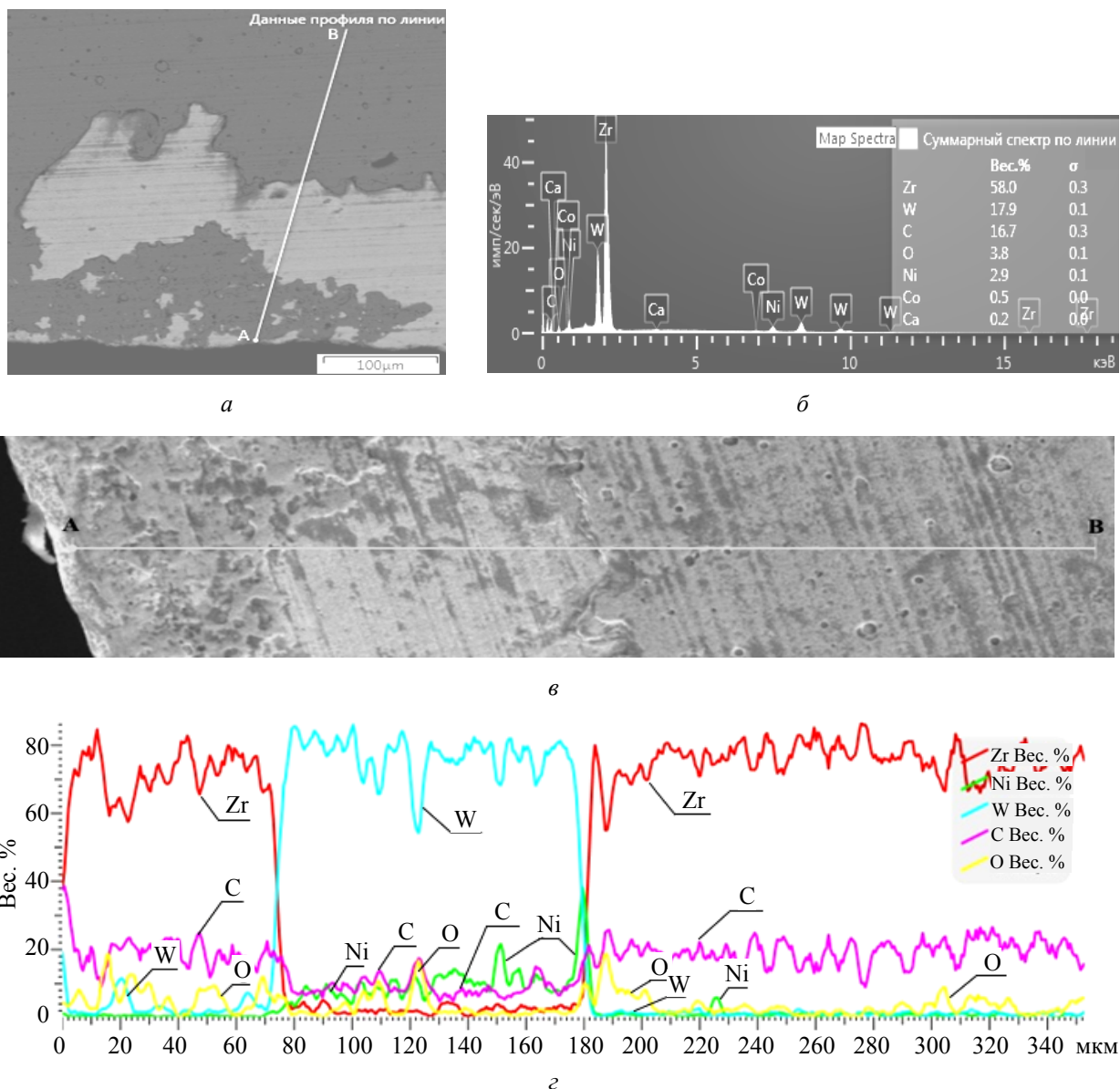


Рис. 5. РЭМ-снимки морфологии изношенного участка лезвия ножа с ZrC-Ni-УДА-покрытием (а, в), суммарный спектр (б) и распределение концентрации элементов вдоль линии АВ (з)

Выполненные расчетные оценки объемного износа лезвия ножей после опытно-промышленных испытаний модифицированных фрез (табл. 3) 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.

Таблица 3

Результаты расчета объемного износа лезвия ножей после резания ламинированной ДСтП

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

Оптические снимки изношенной кромки лезвия ножа с ZrC- и ZrC-Ni-УДА-покрытиями подтверждают расчеты объемного износа и показывают, что степень износа лезвия ножей с ZrC-покрытием меньше, чем в случае лезвия ножей с ZrC-Ni-УДА-покрытием.

Закключение. Подобраны режимы осаждения и получены Ni-УДА-КЭП и комбинированные ZrC-Ni-УДА-покрытия на ножах твердосплавного дереворежущего фрезерного инструмента. Показано, что при резании ламинированных ДСтП в условиях производства необработанные лезвия ножей фрез и лезвия с покрытиями испытывают интенсивный абразивный износ. Однако 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. Чаевский В. В., Дроздович В. Б. Изучение состава и структуры Ni- и Cr-композиционных электролитических покрытий, содержащих углеродные наноматериалы на стали // Труды БГТУ. 2010. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 96–98.
3. Долматов В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза: свойства и применение // Успехи химии. 2001. Т. 70, № 7. С. 687–708.
4. 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.
5. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N- и Ti-покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесно-стружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2008. Вып. XVI. С. 52–54.
6. Influence of high energy treatment on wear of edges knives of wood-cutting tool / V. Chayauski [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* [Forestry Bulletin], 2006, no. 6, pp. 138–141 (In Russian).
2. Chayauski V. V., Drozdovich V. B. The study of the composition and structure of Ni- and Cr-composite electrolytic coatings containing carbon nanomaterials on steel. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2010, no. 6: Physical-mathematical sciences and informatics, pp. 96–98 (In Russian).
3. Dolmatov V. Yu. Detonation synthesis ultradispersed diamonds: properties and applications. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews], 2001, vol. 70, no. 7, pp. 687–708 (In Russian).
4. Chayauski V. V., Grishkevich A. A., Zhyllinskiy V. V., Cernashejus 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: Physical-mathematical sciences and informatics, pp. 97–101 (In Russian).
5. Grishkevich A. A., Chayauski V. V., Uglov V. V., Kuleshov A. K. Efficiency of use of TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N-, and Ti-coatings on hard alloy during machining of laminated woodchip board using tail cutters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VI, Physical-mathematical sciences and informatics, 2008, issue XVI, pp. 52–54 (In Russian).
6. Chayauski V., Zhyllinskiy V., Grishkevich A., Rudak P., Barcik Š. 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: tchayevsky@tut.by

Рудак Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и технологии металлов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: RudakPV@belstu.by

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

Information about the authors

Chayauski Vadzim Vitalievich – 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: chayauski@belstu.by

Rudak Pavel Viktorovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Material Science and Metal Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: RudakPV@belstu.by

Kuleshov Andrey Konstantinovich – PhD (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 15.12.2016