

# ПРОГРЕССИВНОЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

## PROGRESSIVE WOODWORKING EQUIPMENT AND TOOLS

Научная статья

УДК 674.055:621.934:630.652

### МОДИФИКАЦИЯ СТРОГАЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С ПОМОЩЬЮ Hf–ZrN-ПОКРЫТИЙ

Михаил Анатольевич Андреев<sup>1</sup>, Вадим Витальевич Чаевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт сварки и защитных покрытий НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

<sup>1</sup> andreyev.mikhail@gmail.com

<sup>2</sup> chayeuski@belstu.by

**Аннотация.** В статье исследованы характеристики осажденных на поверхности стальных строгальных (HSS 18 % W) ножей фрезерного инструмента комбинированным методом ионно-лучевого распыления и КИБ обработки Hf–ZrN-покрытий. Сформированные покрытия, показывают высокие физико-механические свойства. Повышенная микротвердость сформированных Hf–ZrN-покрытий ( $6,6 \pm 0,3$  ГПа) и их высокая степень адгезии с основой повышают износостойкость лезвий ножей, в результате чего период стойкости модифицированного инструмента увеличивается в 2,3–2,5 раза по сравнению с таковым необработанного инструмента при резании заготовок из древесины хвойных пород.

**Ключевые слова:** покрытия, нитрид циркония, фрезерный инструмент

**Благодарности:** исследования финансировались в рамках ГПНИ Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 4.1.15 подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» и задание 3.2.7 подпрограммы «Электромагнитные, пучково-плазменные и литейно-деформационные технологии обработки и создания материалов»).

**Для цитирования:** Андреев М. А., Чаевский В. В. Модификация строгального фрезерного инструмента с помощью Hf–ZrN-покрытий // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2023. С. 120–125.

## MODIFICATION OF PLANER MILLING TOOLS USING Hf–ZrN COATINGS

Mihail A. Andreev<sup>1</sup>, Vadim V. Chaevsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Welding and Protective Coatings of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>2</sup> Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

<sup>1</sup> andreyev.mikhail@gmail.com

<sup>2</sup> chayeuski@belstu.by

**Abstract.** The article deals with the characteristics of Hf–ZrN coatings deposited on the surface of steel planer milling tool knives (HSS 18 % W) using a combined method of ion-beam sputtering and Arc-PVD. The formed coatings show high physical and mechanical properties. The increased microhardness of the formed Hf–ZrN coatings ( $6.6 \pm 0.3$  GPa) and its high adhesion strength to the substrate increase the wear resistance of the knives edges, as a result of which the durability of the modified tool increases by 2.3–2.5 times compared to the bare tool during cutting softwood blanks.

**Keywords:** coatings, zirconium nitride, milling tool

**Acknowledgments:** this research was financed by the State Budget Program of Scientific Research of the Republic of Belarus "Materials Science, New Materials and Technologies" (assignment no. 4.1.15 of subprogram "Multifunctional and composite materials" and assignment no. 3.2.7 of subprogram "Electromagnetic, beam-plasma and foundry-deformation technologies for processing and creating materials").

**For citation:** Andreev M. A., Chaevsky V. V. Modification of a planing milling tool using Hf–ZrN coatings // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2023. P. 120–125.

В процессе резания древесных материалов экстрактивные вещества и кремнезем, содержащиеся в древесине, инициируют коррозию и механический износ стальных ножей режущего инструмента [1]. В результате долговечность фрезерного инструмента сокращается и снижается эффективность промышленного производства. Кроме разработки новых твердых сплавов и быстрорежущих сталей, большое внимание уделяется защите от износа поверхностного слоя инструмента и сохранению его геометрии при повышенных режимах обработки [2]. В связи с этим дальнейшие исследования направлены на разработку новых концепций, инновационных процессов и передовых технологий получения покрытий для режущего инструмента, позволяющих уверенно прогнозировать дальнейшее значительное повышение эксплуатационных свойств режущего инструмента.

Среди основных направлений такого развития можно выделить, в частности, покрытия с нанометрической структурой, многослойные композиционные, градиентные и многокомпонентные покрытия. Исследования в этом направлении активно ведутся в последние годы [3, 4]. В настоящее время достигнут существенный прогресс в улучшении ключевых характеристик инструментальных материалов путем нанесения модифицирующих покрытий с применением многооперационных – гибридных (комбинированных) – технологий их осаждения [5]. Целью работы был синтез на поверхности лезвий стальных (сплава HNS 18 % W) строгальных ножей дереворежущего фрезерного инструмента ионно-плазменных Hf–ZrN-покрытий и исследование структуры, фазового состава и физико-механических свойств сформированных слоев и периода стойкости инструмента с покрытиями.

Hf–ZrN-покрытия были сформированы методами ионно-лучевого распыления и конденсацией вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ). Перед осаждением Hf–Zr–ZrN-покрытия проводилась ионная очистка содержащей цирконий (Zr) и гафний (Hf) мишени ЦГ20 потоком ионов аргона при давлении аргона  $(3–3,5) \cdot 10^{-2}$  Па в вакуумной камере в течение 25–30 мин. Затем на образцы ножей методом ионно-лучевого распыления мишени с помощью двухлучевого распылительного ионного источника ИРЛУ-2 оборудования ННВ 6.6-И1 напылялась пленка Hf. После чего методом КИБ осаждалось ZrN-покрытие. В результате формировалось слоистое Hf–ZrN-покрытие на поверхностях лезвий ножей фрезы.

Фазовый состав сформированных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rugaku) в Cu- $K_{\alpha}$ -излучении. Морфология поверхностей покрытий и элементный состав образцов исследовались методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) с помощью электронного микроскопа MIRA 3 (TESCAN). Микротвердость испытуемых покрытий определялась при нагрузках 50, 100 и 300 г по методу Виккерса на микротвердомере Wilson Instrumets 402MVD.

Рис. 1 показывает, что Hf–ZrN-покрытие, осажденное на поверхность лезвий строгальных ножей, содержит фазы гафния ( $\alpha$ -Hf), нитрида циркония (ZrN) и твердого раствора замещения (Hf, Zr)N. Формирование фазы нитрида циркония ZrN, имеющее ГЦК-структуру типа NaCl, является характерным для структур покрытий, осажденных при использовании метода КИБ. Значение среднего параметра решетки Hf–ZrN-покрытия, рассчитанного по методу Гаусса определения центра тяжести рентгеновского пика (111)  $2\theta = 33,4637^{\circ}$  (см. рис. 1), составило 0,4634 нм, что превосходит стандартное (JC PDS 35-0753) значение параметра решетки ZrN-покрытия 0,4577 нм. В результате был сделан вывод о формировании твердого раствора замещения (Hf, Zr)N, основанный на результатах исследований [6], показавших, что металлы Ti, Hf, Zr, V, Nb замещают друг друга в металлической подрешетке, при этом азот внедряется в октаэдрические поры кристаллической решетки,

образуя подрешетку, смещенную относительно подрешетки металла. Кроме того, было доказано, что атомы Hf, Nb, Zr увеличивают параметр решетки, атомы Ti, V уменьшают его.

Hf–ZrN-покрытие повторяет рельеф поверхности основы, что можно объяснить выполненной подготовкой поверхности ножа перед нанесением покрытия (в том числе и операцией шлифования), которая способствует достаточно высокой степени адгезии покрытия, проявляющейся в истирании кромок лезвий ножей с Hf–ZrN-покрытием в процессе их износа (рис. 2, а).

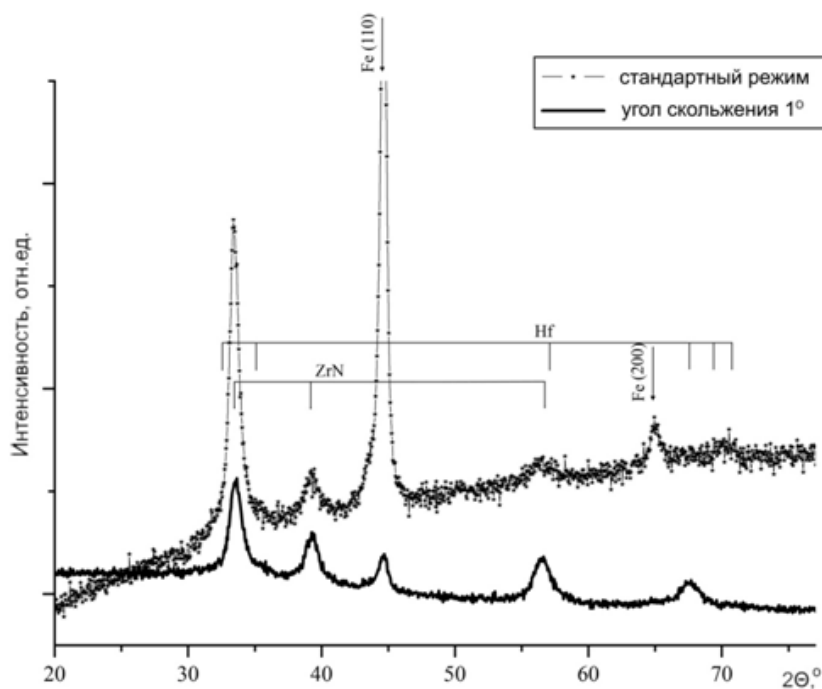


Рис. 1. Рентгенограмма Hf–ZrN-покрытия

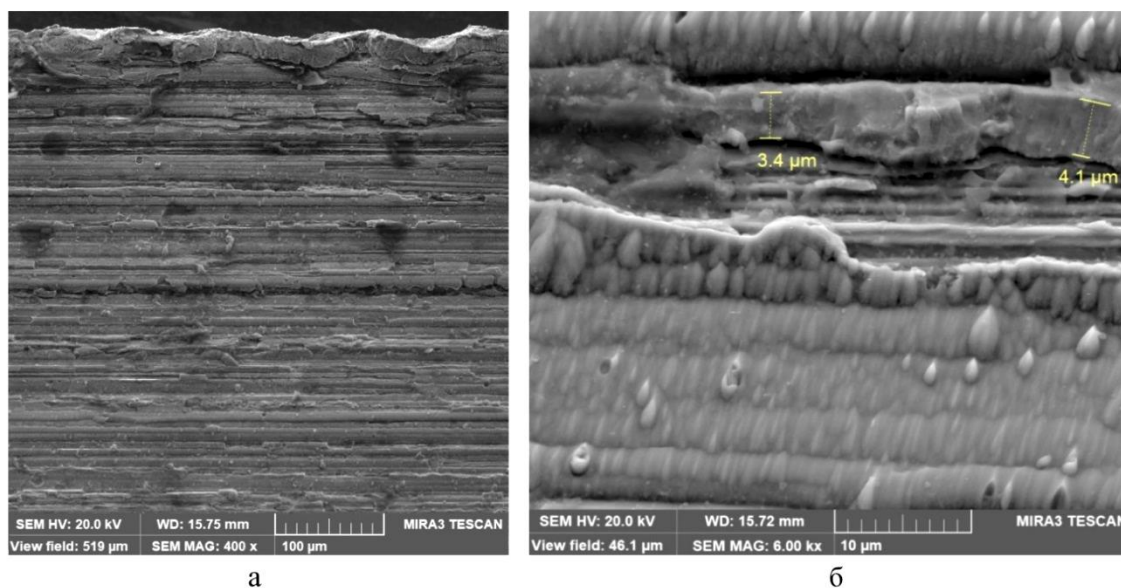


Рис. 2. СЭМ-снимки лезвия ножа с Hf–ZrN-покрытием: а – плоскости поверхности с кромкой; б – плоскости поверхности с толщиной слоя скола

Наблюдается также скалывание частей покрытия в местах их неравномерного формирования на поверхности лезвия (рис. 2, б) в процессе резания древесины. По измеренным величинам сколов покрытия была определена толщина Hf–ZrN-покрытий (3–4 мкм) ножей.

Значение микротвердости сформированных Hf–ZrN-покрытий ( $6,6 \pm 0,3$  ГПа) превышает твердость ( $5,2 \pm 0,2$  ГПа) стальных строгальных ножей без покрытия.

Проведенные на ПУП «Мебельная фабрика "Пинскдрев-Адриана"» (г. Пинск, РБ) опытно-промышленные испытания фрезерного инструмента с строгальными ножами из стали HSS 18 % W марки Pilana (Чехия) с Hf–ZrN-покрытиями продольно-фрезерного станка Superset XL фирмы SCM показали увеличение их периода стойкости в 2,3–2,5 раза по сравнению с таковым необработанного инструмента при резании заготовок из древесины хвойных пород, подтвердив высокие физико-механические характеристики Hf–ZrN-покрытий.

На поверхности лезвий стальных (HSS 18 % W) строгальных ножей фрезерного инструмента осаждены комбинированным методом ионно-лучевого распыления и КИБ-обработки Hf–ZrN-покрытия. Сформированные покрытия содержат фазы гафния ( $\alpha$ -Hf), нитрида циркония (ZrN) и твердого раствора замещения (Hf, Zr)N. Высокая адгезия и повышенная микротвердость сформированных Hf–ZrN-покрытий ( $6,6 \pm 0,3$  ГПа) повышают износостойкость лезвий ножей, в результате чего период стойкости модифицированного инструмента увеличивается до 2,5 раза по сравнению с таковым необработанного инструмента при резании заготовок из древесины хвойных пород.

### Список источников

1. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // *Eur. J. Wood Prod.* 2009. Vol. 67(2). P. 173–176.
2. The effects of cutting parameters and tool geometry on cutting forces and tool wear in milling high-density fiberboard with ceramic cutting tools / Z. Zhu [et al.] // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 91. P. 4033–4041.
3. Study of properties of nanostructured multi-layer composite coatings of Ti-TiN-(TiCrAl)N and Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N / A. A. Vereschaka [et al.] // *J. Nano Res.* 2016. Vol. 40. P. 90–98.
4. Filtered cathodic vacuum Arc deposition of nano-layered composite coatings for machining hard-to-cut materials / A. O. Volkhonskii [et al.] // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 84. P. 1647–1660.
5. Structural and Mechanical Properties of the ZrC/Ni-Nanodiamond Coating Synthesized by the PVD and Electroplating Processes for the Cutting Knives / V. Chayauski [et al.] // *J. Mater. Eng. Perform.* 2019. Vol. 28(3). P. 1278–1285.

6. Константинов С. В., Комаров Ф.Ф. Структурно-фазовое состояние наноструктурированных нитридных покрытий на основе высокоэнтропийного сплава TiHfZrVNb // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы Междунар. конф., г. Минск, 12–14 сентября 2018 г. Минск : БНТУ, 2018. С. 95–107.

### References

1. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // *Eur. J. Wood Prod.* 2009. Vol. 67(2). P. 173–176.

2. The effects of cutting parameters and tool geometry on cutting forces and tool wear in milling high-density fiberboard with ceramic cutting tools / Z. Zhu [et al.] // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 91. P. 4033–4041.

3. Study of properties of nanostructured multi-layer composite coatings of Ti-TiN-(TiCrAl)N and Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N / A. A. Vereschaka [et al.] // *J. Nano Res.* 2016. – Vol. 40. P. 90–98.

4. Filtered cathodic vacuum Arc deposition of nanolayered composite coatings for machining hard-to-cut materials / A. O. Volkhonskii [et al.] // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. – Vol. 84. P. 1647–1660.

5. Structural and Mechanical Properties of the ZrC/Ni-Nanodiamond Coating Synthesized by the PVD and Electroplating Processes for the Cutting Knives / V. Chayauski [et al.] // *J. Mater. Eng. Perform.* 2019. Vol. 28(3). P. 1278–1285.

6. Konstantinov S. V., Komarov F. F. Structural-phase state of nanostructured nitride coatings based on high-entropy alloy TiHfZrVNb // *Modern methods and technologies of creation and processing of materials: materials of the international. Conf., Minsk, September 12–14, 2018. Minsk : BSTU, 2018. P. 95–107. (in Russ.)*