

СИНТЕЗ Hf – Zr – ZrN ПОКРЫТИЙ НА НОЖАХ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Современное развитие технологии деревообработки требует применения износостойкого материала инструмента, выдерживающего большие динамические и вибрационные нагрузки в связи с использованием высоких скоростей резания. В быстрорежущих инструментальных сталях больше легирующих элементов, что увеличивает твердость, прочность и износостойкость инструмента. Тем не менее, возможен быстрый химический износ стального ножа инструмента из-за коррозии и механического износа, который объясняется присутствием экстрактивных веществ и кремнезема в древесине и древесных композитах [1]. В настоящее время достигнут существенный прогресс в улучшении ключевых характеристик инструментальных материалов путем нанесения модифицирующих покрытий с применением различных технологий их осаждения, среди которых наблюдаются две ос-

новные тенденции: 1) нанесение многослойных многофункциональных покрытий методом КИБ [2]; 2) развитие многооперационных – гибридных (комбинированных) технологий [3]. Целью данной работы был синтез на лезвиях строгальных ножей из стали 9ХФ дереворежущего фрезерного инструмента Hf – Zr – ZrN покрытий и исследование структуры, фазового состава и физико-механических свойств сформированных слоев.

Фазовый состав сформированных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rugaku) в Cu- K_{α} 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.

Hf – Zr – ZrN покрытия были сформированы методами ионно-лучевого распыления и 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) 10^{-2} Па в вакуумной камере в течение 25–30 мин. На первом этапе на образцы ножей методом ионно-лучевого распыления синтезированной мишени с помощью двухлучевого распылительного ионного источника ИРЛУ-2 оборудования ННВ 6.6-И1 осаждались пленки Hf. После чего методом КИБ осаждалось ZrN покрытие. В результате формировалось слоистое Hf – Zr – ZrN покрытие на поверхностях лезвий ножей фрезы.

Рис. 1 показывает, что сформированные покрытия содержат фазы фазы α -Hf, нитрида циркония ZrN и твёрдого раствора замещения (Hf, Zr)N. Значение среднего параметра решетки Hf – Zr – ZrN покрытия, рассчитанного по методу Гаусса определения центра тяжести рентгеновского пика (111) $2\theta = 33,4637^{\circ}$, $a = 0,4634$ нм превосходит значение $a = 0,4577$ нм ZrN (JC PDS 35-0753). С учетом исследований [4], показавших, что металлы Ti, Hf, Zr, V, Nb замещают друг друга в металлической подрешётке, при этом азот внедряется в октаэдрические поры кристаллической решётки, был сделан вывод о формировании твёрдого раствора замещения (Hf, Zr)N. Hf – Zr – ZrN покрытие повторяет рельеф поверхности основы (рис. 2а), 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 ис-

тирании кромок лезвий ножей с Hf – Zr – ZrN покрытием в процессе их износа (рис. 2а). Наблюдается также скалывание частей покрытия в местах их неравномерного формирования на поверхности лезвия (рис. 2б) в процессе резания древесины. По измеренным величинам сколов покрытия была определена толщина 3–4 мкм Hf – Zr – ZrN покрытий ножей.

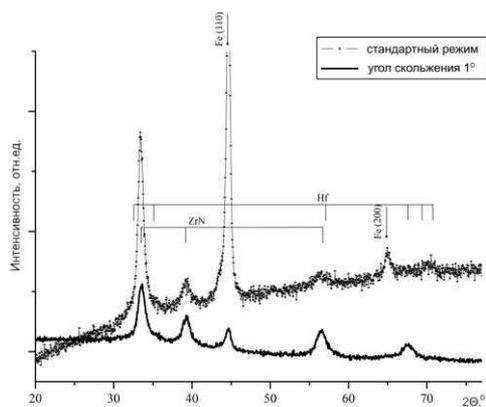


Рисунок 1 – Рентгенограмма Hf – Zr – ZrN покрытия

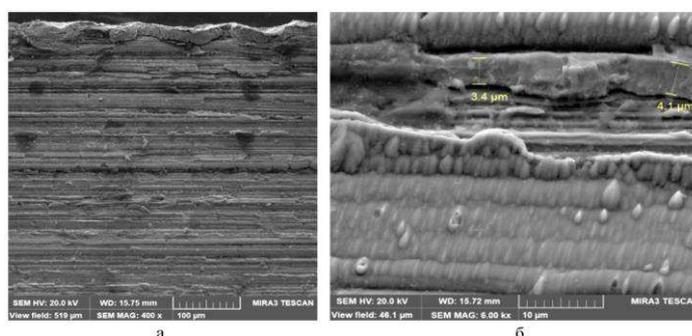


Рисунок 2 – СЭМ-снимки лезвия строгального ножа с Hf – Zr – ZrN покрытием: (а) плоскости поверхности с кромкой, (б) плоскости поверхности с толщиной слоя скола

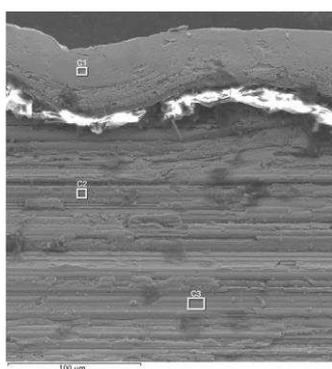


Рисунок 3 – СЭМ-снимок поверхности с кромкой лезвия ножа с Hf – Zr – ZrN покрытием после испытаний и указанием областей РСМА

Исследования элементного состава лезвий ножей с покрытием после проведенных опытно-промышленных испытаний на период стойкости модифицированных фрез показали (рис. 3, табл. 1), что по-

крытие, истираясь на кромке лезвия, обладает высокой износостойкостью практически на всей поверхности лезвия ножа.

Таблица 1 – РСМА лезвия ножа с Hf – Zr – ZrN покрытием после испытаний

Название спектра	Fe, вес.%	Zr, вес.%	Hf, вес.%	C, O, N..., вес.%
C1	98,0	1,0	–	остальное
C2	–	96,8	1,0	остальное
C3	–	97,1	0,8	остальное

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

Проведенные на ПУП «Мебельная фабрика «Пинскдрев-Адриана» опытно-промышленные испытания фрезерного инструмента с строгальными ножами из стали 9ХФ с Hf – Zr – ZrN покрытиями показали увеличение их периода стойкости в 2,3–2,5 раза по сравнению с необработанным инструментом при резании заготовок из древесины хвойных пород, подтвердив высокие физико-механические характеристики Hf – Zr – ZrN покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1 Kowaluk, G. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // *European Journal of Wood and Wood Products*, 2009. – Vol. 67, no. 2. – P. 173–176.

2 Investigation of Properties of the Zr,Hf-(Zr,Hf)N-(Zr,Hf,Me,Al)N coatings, where Me means Cr, Ti, or Mo / A. Vereschaka [et al.] // *Coatings*, 2021. – No. 11. – P. 1471.

3 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.] // *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2019. – Vol. 28, no. 3. – P. 1278–1285.

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