

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. В. Алифанов, доктор технических наук, профессор (БрГУ), заведующий отделом (ФТИ НАН Беларуси); **А. А. Гришкевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ); **В. В. Чаевский**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ); **В. Н. Гаранин**, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ TiN-ПОКРЫТИЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ НОЖЕЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСтП

Проведены исследования влияния TiN-покрытий на поверхности ножей дереворежущего фрезерного инструмента на процесс износа ножей при открытом фрезеровании ламинированного ДСтП. TiN-покрытия были сформированы методом конденсации с ионной бомбардировкой на поверхности импортных ножей фрезерного инструмента. Элементный состав покрытий и инструмента, морфология поверхности ножей изучались с помощью рентгеноспектрального микроанализа и растровой электронной микроскопии. Установлено, что исследуемые импортные ножи имеют состав из твердого сплава типа ВК-3. При фрезеровании ламинированных ДСтП инструментом с двухлезвийными ножами с покрытиями TiN значение периода стойкости инструмента увеличивается на 20% в сравнении с инструментом без покрытия. Определен вид износа поверхности кромок твердосплавных ножей фрезерного инструмента как абразивно-химический.

The influence of TiN-coatings surface of cutters mill wood tools on wear of cutters for milling special woods was investigated. The TiN-coatings were formed on surfaces of import cutting inserts of mill tools by the method of condensation from a plasma phase in a vacuum with ion bombardment of surface. The element composition coatings and tools, the surface morphology of cutting tools were studied by X-ray microanalysis and transmission electron microscopy. The phase composition of import cutting tools is a hard alloy with type of WC-3. The tools consist of double-blade cutters with TiN coatings for milling special woods showed growth of wear resistance by 20% in comparison with bare tools. There is abrasive chemical type of wear on surface coating of cutters mill tools.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается тенденция расширения ассортимента обрабатываемых материалов на основе древесины. Кроме того, для механической обработки древесины используется только импортный дереворежущий инструмент. Поэтому увеличение периода стойкости как основного показателя ресурса работы применяемого дереворежущего инструмента, создание новых материалов для изготовления отечественного дереворежущего инструмента является актуальной и экономически обоснованной задачей.

В сравнении с используемым ранее способом получения максимального значения периода стойкости дереворежущего инструмента за счет только расчета его рациональной конструкции и геометрии, нахождения оптимальных режимов резания [1] в настоящее время ведущие зарубежные фирмы по производству дереворежущего инструмента (Leitz, AKE, JSO, TIGRA, Stark, Gold, Schunk, Faba, LEUCO, KANEFUSA CORPORATION) инструмент для повышения периода его стойкости изготавливают из твердых сплавов или быстрорежущей стали с уникальной конфигурацией, широко применяя также твердосплавные напаянные пластинки [2].

Предлагаемый среди технологических новинок зарубежных компаний дереворежущий инструмент с применением синтетического алмаза, несмотря на привлекательную перспективу его

использования, не всегда находит применение в условиях производства предприятий Республики Беларусь.

Одним из наиболее эффективных материалов для деревообработки с точки зрения износостойкости является нанесение на поверхность зуба твердого сплава на основе карбида вольфрама WC. На рынке Республики Беларусь дереворежущего фрезерного инструмента, используемого при обработке древесины и плитных материалов, для изготовления элементов фрез применяются в основном мелкозернистые с низким содержанием связующих компонентов твердые сплавы импортных производителей (табл. 1), что позволяет повысить надежность и стойкость фрез.

Среди наиболее эффективных способов модификации поверхности стальных и твердосплавных лезвий дереворежущих инструментов также является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), существенно увеличивающий ресурс работы резцов [3].

Целью данной работы было получение TiN ионно-плазменных покрытий на поверхности лезвий ножей фирмы Leitz (Германия) фрезерного дереворежущего инструмента, исследование элементного состава импортных ножей, влияния покрытий на износ лезвий инструмента при обработке ламинированных ДСтП.

Таблица 1

Общая классификация твердых сплавов различных фирм производителей

Фирма производитель (страна)	Стандарт ISO										
	0,1	0,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
(Россия)	ВК3				ВК6						
	ВК3М										
TIZIT			ВП322				BK8				
			TW10								
			TW15								
					TW220						
					TW20		TW30		TW40		
			TSM10								
					TSM20						
TIGRA	TSM30										
	T03SMG										
		T04F			T06MF		T08MF		T10MF		T12MF
			T06MG		T06MG		T10MG				Tigra
Ceranetal			HC05		HC20		HC27				
							HC35				
Ceratzil	BC01										
		BC05	BC10		BC20		TS30				

Основная часть. На деревообрабатывающих предприятиях часто сталкиваются с большими трудностями при выборе материала для дереворежущего инструмента. Исходя из каталогов фирм-производителей твердого сплава, можно выделить основные свойства, характеризующие твердые сплавы:

- 1) размер зерна (табл. 2);
- 2) количество связующего вещества.

От этих характеристик зависят физико-механические свойства твердого сплава.

готовка инструмента с небольшими углами заострения становится затруднительной. Снижение размера зерна (при неизменной концентрации связующего вещества) ведет не только к снижению стойкости инструмента, но и к более равномерному износу ножа, что дает возможность более качественно вести подготовку инструмента.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия режущего элемента ножа с обрабатываемым плитным древесным материалом.

Таблица 2
Маркировка зерен твердых сплавов

Маркировка	Размер зерна, мкм
NG	<0,2
UMG	0,2–0,5
SMG	0,5–0,7
MG	0,7–1,0
F	1,0–1,4
MF	1,4–2,5
M	2,5–4,0
C	4,0–10
EC	10>

Установлено, что количество связующего материала (кобальта) влияет на стойкость и восприятие ударных нагрузок. Чем выше содержание кобальта, тем выше предел прочности инструмента.

Несмотря на то, что с увеличением размера зерна улучшается стойкость инструмента, под-

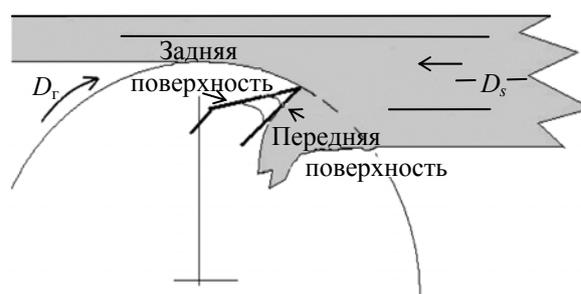


Рис. 1. Схема взаимодействия режущего элемента фрезы с обрабатываемым материалом

специфика обработки плитных материалов, в отличие от резания натуральной древесины, заключается в том, что по передней поверхности отсутствует образование стружки [4]. Эта особенность отражается на характере износа режущего элемента (более интенсивная потеря режущей способности по его задней поверхности).

Из этого следует, что упрочнение режущих элементов следует проводить по их задней поверхности, что позволит, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой после восстановления режущей способности.

TiN-покрытия осаждались на поверхность двухлезвийных ножей хвостовых фрез методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСиИ) БГТУ в два этапа – с предварительной обработкой ионами титана в вакууме 10^{-3} Па при потенциале подложки -1 кВ и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении -100 В в атмосфере азота при давлении 10^{-1} Па [5]. Для получения высокой адгезии покрытия к лезвию ножа варьировалось время предварительной ионной очистки и время непосредственного осаждения покрытия. Температура при осаждении покрытия соответствовала $400 - 450^\circ\text{C}$. Толщина полученных покрытий не превышала $1,5$ мкм.

Для выяснения элементного состава импортного инструмента, механизма износа лезвий инструмента и определения периода стойкости ножей с TiN-покрытиями при обработке ДСтП были выполнены с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV (Япония) фрактографические исследования морфологии и элементного состава изношенных режущих кромок лезвий инструмента. Лабораторные испытания на износостойкость лезвий ножей сборной фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированной ДСтП толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей проводились на кафедре ДОСиИ БГТУ на обрабатывающем центре ROVER-B 4.35 (Италия) при следующих режимах: частота вращения фрезы – $12\,000$ мин $^{-1}$; скорость подачи – 4 м/мин; припуск – $5,0$ мм / проход; толщина стружки на дуге контакта – $0,15$ мм; величина длины резания – $10\,000$ м. Критерием потери режущей способности резца являлось появление сколов отделки плиты.

Ранее установлено, что TiN-покрытия, осажденные методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности на неперетачиваемые твердосплавные ножи (производство – Германия), имеет ОЦК структуру с текстурой (111), формирование которой связано с ростом зерен в направлении плазменного потока [5].

В результате выполненной работы по формированию TiN-покрытий на поверхности двухлезвийных ножей инструмента была определена оп-

тимальная геометрия расположения кромок лезвий ножей при осаждении покрытия – поверхность кромок лезвий ножей должна полностью находиться в зоне плазменного потока.

Установлено, что состав испытываемых ножей WC ~ 96%, Co ~ 4% (табл. 3) соответствует твердому сплаву ВК-3.

Таблица 3

Результаты определения состава ножей

Элемент	Концентрация, ат. %	Погрешность измерения, ат. %
C	32,89	0,22
W	62,86	0,33
Co	4,25	0,34

Согласно данным табл. 1, материал импортного инструмента соответствует мелкозернистому твердому сплаву T03SMG фирмы TIGRA. Использование представленного материала для изготовления фрезерного инструмента, эксплуатируемого при обработке плитных материалов и древесины, обосновано снижением вероятности вырыва зерен карбидов из кобальтовой связи. Это в конечном итоге приводит к повышению надежности дереворежущего инструмента и его периода стойкости.

Исследования морфологии поверхности изношенных кромок лезвий ножей подтверждают вывод о мелкодисперсном характере структуры материала ножей (рис. 2). На основании данных РЭМ можно предположить, что размер зерен Co в структуре материала ножей менее $0,1$ мкм.

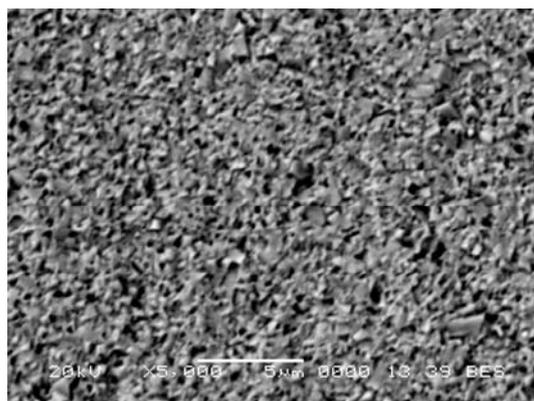


Рис. 2. РЭМ-изображение поверхности изношенной кромки лезвия ножа

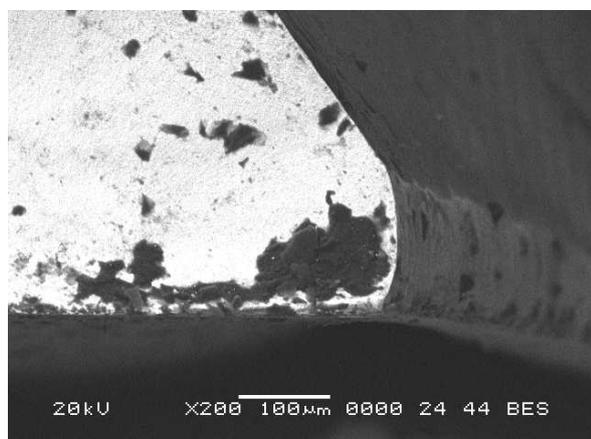
Результаты расчета размеров изношенных кромок ножей при резании плиты (табл. 4), выполненные на основании измерения режущих кромок на РЭМ-снимках (рис. 3), показали, что максимальное значение периода стойкости имеют лезвия ножей с наибольшей полученной толщиной TiN-покрытия.

Таблица 4

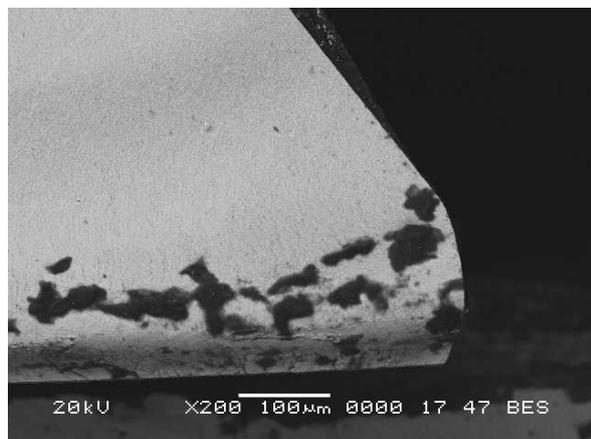
Параметры осаждения TiN-покрытия и результаты расчета размеров изношенных кромок ножа

№ ножа	Время ионной очистки ножа, с	Время осаждения TiN-покрытия на нож, мин	Напыляемая кромка ножа	Размеры кромок ножа $b \times a$, мкм, при фрезеровании ламинированного слоя ДСтП (b – задняя кромка ножа, a – передняя кромка ножа)	Толщина h TiN-покрытия кромки ножа, мкм
1	–	–	–	245×165	0
2	80	5	задняя	230×145	0,5
3	80	10	задняя	210×140	0,8
6	140	10	задняя	45×34	1,2

Ранее установлено, что рабочая поверхность твердосплавных ножей без покрытия подвержена хрупкому разрушению в виде скалывания и выкрашивания в процессе эксплуатации [6].



a



б

Рис. 3. РЭМ-изображение поверхности торца лезвия ножа без покрытия (*a*), лезвия ножа (№ 3) с TiN-покрытием (*б*) после резания ДСтП

На основании полученных РЭМ-снимков изношенных кромок лезвий с TiN-покрытиями (рис. 4) можно заключить, что данные покрытия на поверхности резца не меняют характер износа режущей кромки инструмента.

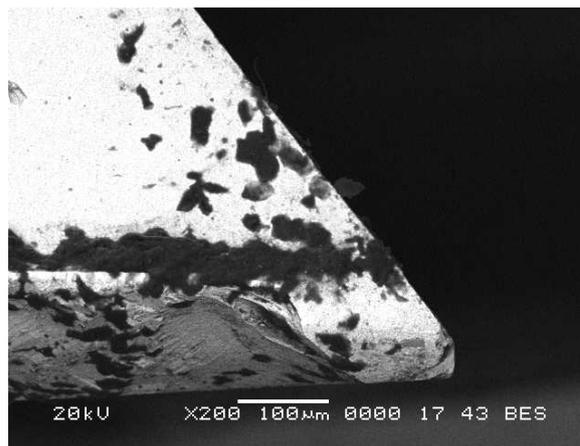


Рис. 4. РЭМ-изображение изношенного лезвия задней кромки ножа (№ 6) с TiN-покрытием после резания ламинированного ДСтП

Промышленные испытания периода стойкости инструмента с неперетачиваемыми режущими пластинами с TiN-покрытиями, проведенные на ОАО «Минскдрев» (г. Минск) при резании ДСтП, показали увеличение периода стойкости инструмента с покрытиями на 20% по сравнению с резцами без покрытия.

Заключение. Установлено, что испытываемые ножи дереворежущего фрезерного инструмента имеют состав мелкозернистого твердого сплава типа ВК-3 и соответствуют материалу ножей импортного инструмента марки T03SMG фирмы TIGRA (Германия).

В связи с тем, что характер износа ножа связан с более интенсивной потерей режущей способности по его задней кромке, упрочнение режущих элементов необходимо проводить по их задней поверхности, что позволит, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой после восстановления режущей способности.

Осажденные методом КИБ TiN-покрытия на импортные двухлезвийные ножи из твердых сплавов типа ВК-3 хвостовых фрез обеспечивают при обработке материалов из ламинированных ДСтП существенное повышение периода стойкости режущего инструмента. Максимальное значение периода стойкости имеют лезвия

ножей с наибольшей полученной толщиной TiN-покрытий. Опытные-промышленные испытания модифицированного инструмента с TiN-покрытиями на ОАО «Минскдрев» (г. Минск) подтверждают актуальность проведенных исследований, а также необходимость повышения периода стойкости и тем самым ресурса работы дереворежущего инструмента.

При резании ламинированных ДСтП двухлезвийными твердосплавными ножами наблюдается абразивно-химический вид износа поверхности твердосплавных лезвий фрезерного инструмента.

Литература

1. Кузнецов, А. М. Износостойкость твердосплавного инструмента при обработке ДСтП / А. С. Янюшкин, А. М. Кузнецов // *Технология машиностроения*, 2008. – № 11. – С. 29–31.
2. Каталоги фирм: Leitz, Leuco, Guhdo, Stehle, Faba, Freud. – 2008–2009.
3. Гришкевич, А. А. Влияние ионно-плазменных покрытий на износостойкость стальных

резцов при резании древесины на фрезерно-брусующих станках / А. А. Гришкевич, В. В. Чаевский // *Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообработ. пром-сть.* – 2010. – Вып. XVIII. – С. 348–351.

4. Раповец, В. В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В. В. Раповец // *Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообработ. пром-сть.* – 2008. – Вып. XVI. – С. 205–208.

5. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N- и Ti-покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесностружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика.* – 2008. – Вып. XVI. – С. 52–54.

6. Моисеев, А. В. Контактные явления в микрообласти лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / А. В. Моисеев; Моск. гос. ун-т леса. – М., 1983. – С. 15–16.

Поступила 19.03.2012