

УДК 674.055:621.934(043.3)

**В. В. Чаевский**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ);  
**А. А. Гришкевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);  
**В. Н. Гаранин**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**В. В. Углов**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГУ);  
**А. К. Кулешов**, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией (БГУ)

### ВЛИЯНИЕ ZrN- И Mo-N-ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОС ЛЕЗВИЯ НОЖА ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕЗАНИИ ДСтП

Определены параметры обработки методом КИБ лезвий ножей фрезерного инструмента, при которых период стойкости модифицированного инструмента с ZrN-покрытиями увеличивается до 50%, с Mo-N-покрытиями – до 70% по сравнению с необработанным инструментом при резании ДСтП. Износ твердосплавных лезвий ножей без обработки является абразивным. Mo-N-покрытия изменяют вид износа лезвия с механического диспергирования в сочетании с абразивным на окислительный износ при резании ламинированных ДСтП.

The parameters of the treatment by PVD of shears edges knives of a milling tool at which durability period of modified milling tool with ZrN-coatings when cutting chipboard increases to 50%, with Mo-N-coatings – up to 70% compared with bare tool are determined. Wear shears of hard alloy knives without treatment is abrasive. Mo-N-coatings change the form of shear knife wear from mechanical dispersion in combination with abrasive to an oxidative form of wear when cutting laminated chipboard.

**Введение.** Развитие технологии деревообработки потребовало применения износостойкого материала при изготовлении ножей инструмента, выдерживающего большие динамические и вибрационные нагрузки. Кроме того, для обработки древесины, пропитанной антисептиками, клееной различными клеями, древесностружечной плиты необходимо применение режущего инструмента с ножами повышенной твердости и износостойкости, так как различные кристаллические включения и клеевая прослойка обладают значительными абразивными свойствами, быстро изнашивающими металл ножа. Поэтому наиболее подходящим материалом для инструмента, применяющегося при обработке клееной древесины, являются твердые сплавы [1].

Однако установлено, что используемый при изготовлении резца твердый сплав с высоким содержанием кобальта является достаточно хрупким материалом. Формирующиеся при резании древесностружечной плиты химически активные продукты распада (формальдегид, восковые и клеевые наполнители), а также связующие компоненты ДСтП взаимодействуют с кобальтом, инициируя процесс вырывания зерен карбида вольфрама WC из твердосплавного материала лезвия [1, 2]. В результате лезвие ножа быстро теряет свою остроту и режущую способность из-за механического удаления крупных частиц лезвия за счет абразивного действия твердых включений, присутствующих в материале ДСтП. При этом в процессе износа лезвия степень шероховатости среза плиты и количество сколов на нем заметно возрастает [2].

Поэтому определение состава материала и установление оптимальных методов обработки

лезвий ножей инструмента, направленных на улучшение его эксплуатационных свойств (прежде всего – периода стойкости), является актуальной задачей.

Износ современных дереворежущих инструментов представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий в различных сочетаниях механическое диспергирование, тепловой износ, окислительный износ, электрохимическую коррозию, абразивный износ [1], а также оказывает существенное влияние на режимы резания инструмента и, соответственно, его период стойкости. Поэтому выяснение физической сущности износа ножей инструмента является необходимым для правильного выбора материала дереворежущего инструмента и методов его упрочнения.

Среди наиболее эффективных способов обработки поверхности твердосплавных и стальных лезвий ножей дереворежущих инструментов является метод конденсации вещества (например, тугоплавких металлов Ti, Mo, Cr, Zr и др.) из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), существенно увеличивающий эксплуатационные свойства резцов [3].

В данной работе исследовалось влияние обработки методом КИБ поверхности двухлезвийных из твердого сплава (на основе WC) ножей фирмы Leitz (Германия) фрезерного инструмента путем формирования ионно-плазменных ZrN-, Mo-N-покрытий с целью повышения периода стойкости инструмента при резании ламинированных ДСтП с учетом фазового и элементного состава сформированных слоев.

**Основная часть.** ZrN- и Mo-N-покрытия осаждались на поверхность лезвий ножей фрез

методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСИИ) БГТУ в два этапа – с предварительной обработкой ионами металла в вакууме  $10^{-3}$  Па при потенциале подложки  $-1$  кВ и последующим нанесением покрытий при токах горения дуги катода 100 А (для Zr) и 180 А (для Mo), опорном напряжении  $-100$  В в атмосфере азота при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении покрытия соответствовала  $400-450^\circ\text{C}$ . Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

Для определения элементного состава сформированных слоев, видов износа обработанных лезвий ножей и их периода стойкости были проведены с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), растровой и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе LEO-1455 VP фрактографические исследования морфологии режущей кромки лезвия ножа после лабораторных испытаний на кафедре ДОСИИ на многооперационном центре ROVER-B 4.35 (Италия) при резании ламинированной ДСтП толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей сборной фрезой диаметром 21 мм при установленных режимах [4]. Критерием потери режущей способности реза являлось появление сколов отделки плиты.

Фазовый состав сформированных слоев исследовался методом рентгеноструктурного анализа при помощи дифрактометра ДРОН-3.0.

Объемный износ лезвия ножей определялся с помощью программы обработки СЭМ-снимков поперечных изломов ножей путем расчета площади фигуры на изображении поперечного излома, ограниченной лучами, являющимися продолжением граней лезвия и сложной линией поверхности износа кромки лезвия ножа (рис. 1). Программа позволяла с высокой точностью численно описывать линию поверхности кромки лезвия ножа на СЭМ-снимке и определять износ пропорционально относительному изменению площади фигуры на СЭМ-снимках до и после испытаний.

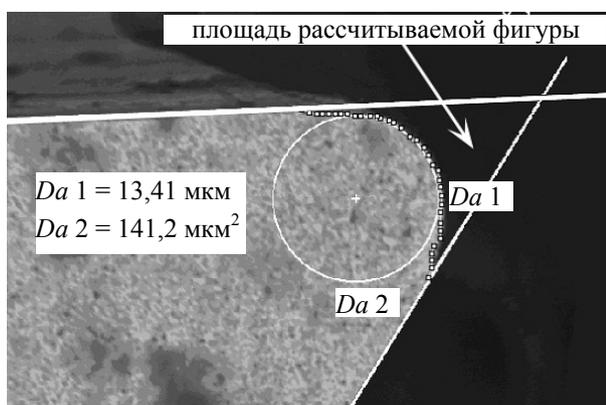


Рис. 1. Способ расчета износа лезвия ножа с помощью СЭМ-снимка излома изношенной кромки лезвия

Установлено, что полученное ZrN-покрытие состоит из нитрида ZrN, имеющего гранецентрированную кубическую структуру с текстурой (111), формирование которой обусловлено ростом зерен в направлении плазменного потока. Mo-N-покрытие содержит металл  $\alpha$ -Mo и нитрид молибдена  $\delta$ -Mo<sub>2</sub>N.

Исследования показали, что объемный износ режущей кромки лезвия ножа с покрытием и без него имеет одинаковое неоднородное распределение по длине (рис. 2). Имеются три области: область 1 – от края кромки лезвия ножа до места крепления ножа (без износа), область 2 длиной менее 1 мм напротив мест крепления ножа с максимальным износом, область 3 основного износа, по величине меньшего, чем износ в области 2, но длиной  $\sim 25$  мм.

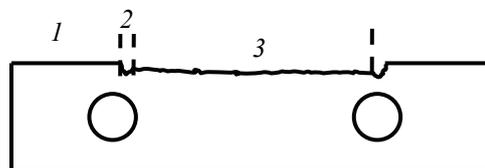


Рис. 2. Схематическое изображение распределения износа по длине кромки лезвия ножа

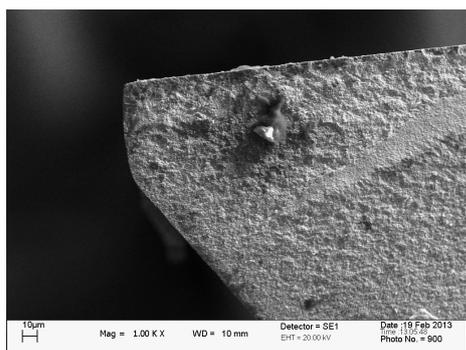
Анализ СЭМ-снимков изломов лезвия ножей после резания ДСтП (рис. 3), проведенный по сравнению радиуса закругления режущей кромки лезвия, показывает, что степень износа лезвия ножей с Mo-N-покрытием (рис. 3, в) и с ZrN-покрытием (рис. 3, б) значительно меньше, чем в случае лезвия ножей без покрытия (рис. 3, а).

Выполненные расчеты усредненного объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний (таблица), показывают, что объемный износ лезвия с покрытием уменьшается до 2 раз по сравнению с лезвием без покрытия.

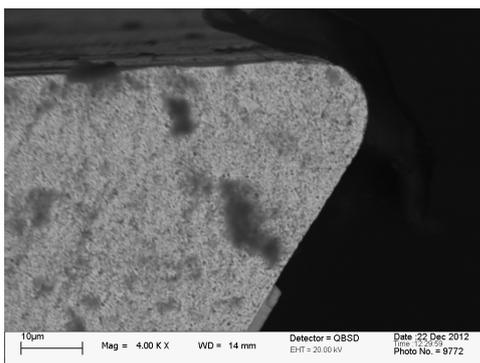
#### Результаты расчета объемного износа лезвия ножей после резания ламинированной ДСтП

Вид обработки	Объемный износ, $10^6$ , мкм <sup>3</sup>
Без покрытия	$2,3 \pm 0,4$
Mo-N-покрытие	$0,9 \pm 0,2$
ZrN-покрытие	$1,1 \pm 0,2$

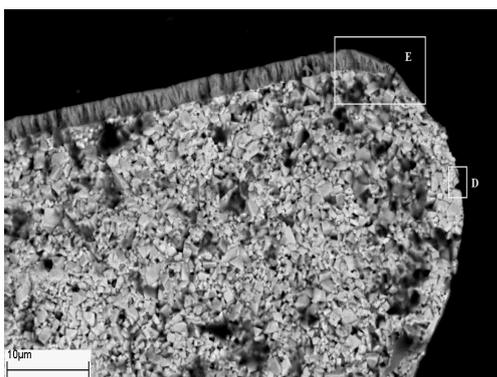
Исследование с помощью РСМА элементного состава лезвия ножей показали, что при резании ДСтП происходит истирание (механическое диспергирование) Mo-N-покрытия на лезвии и значительное окисление лезвия ножа [5]. Механическое диспергирование подтверждает СЭМ-снимок излома изношенной кромки лезвия с покрытием (область Е на рис. 3, в).



а



б



в

Рис. 3. СЭМ-снимки изломов изношенного лезвия ножа без обработки (а), модифицированного ZrN- (б) и Mo-N-покрытием (в) после резания ДСтП

На основании анализа СЭМ-снимка изношенного лезвия ножа с Mo-N-покрытием (область D на рис. 3, в) можно сделать вывод, что основным механизмом износа твердосплавного лезвия без покрытия при резании ламинированных ДСтП является выкрашивание зерен карбидов сплава по их границам (область D на рис. 3, в) – абразивный износ.

Присутствие значительной доли фазы металлического молибдена в Mo-N-покрытиях, вероятно, вызывает истирание Mo-N-покрытия за счет налипания на лезвие металлических частиц  $\alpha$ -Mo и последующего их деформационного втирания в лезвие в области его контакта с

обрабатываемым материалом, способствующее снижению коэффициента трения при резании.

Проведенные на предприятиях ЗАО «Холдингская компания «Пинскдрев», ОАО «Минскдрев», ОАО «Борисовский ДОК» опытно-промышленные испытания модифицированных фрез при резании ламинированных ДСтП подтвердили расчетные оценки объемного износа лезвия ножей и показали, что период стойкости фрезерного инструмента с ZrN- и Mo-N-покрытиями увеличивается до 50 и 70% соответственно по сравнению с необработанным инструментом.

**Заключение.** Установлено, что обработанные методом КИБ ножи из твердых сплавов хвостовых фрез обеспечивают при резании ламинированных ДСтП повышение периода стойкости инструмента. Опытно-промышленные испытания модифицированных фрез подтверждают актуальность и достоверность проведенных исследований.

Mo-N-покрытия изменяют вид износа лезвия ножа с механического диспергирования в сочетании с абразивным на окислительный износ при резании ламинированных ДСтП.

### Литература

1. Абрамов В. В. Износостойкость режущего инструмента при обработке композиционных материалов на древесной основе: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05 / Моск. гос. ун-т леса. М., 2009. С. 9–29.
2. 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 / Моск. гос. ун-т леса. М., 1983. С. 15–16.
3. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N- и Ti-покрытий на твердосплавных резаках при обработке ламинированных древесностружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. Минск, 2008. Вып. XVI. С. 52–54.
4. Аникеев А. Ф., Гришкевич А. А. Методика проведения экспериментальных исследований по фрезерованию древесных плитных материалов на обрабатывающем центре с числовым программным управлением Rover b4.35 // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообработка. Минск, 2007. Вып. XV. С. 213–216.
5. Особенности износа упрочненных методом КИБ лезвий ножей дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ДСтП / А. А. Гришкевич [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. материалов VII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 сент. 2012 г.: в 2 кн. / Нац. акад. наук Беларуси, Физ.-техн. ин-т. Минск, 2012. Кн. 2. С. 297–303.

Поступила 27.02.2014