

УДК 674.055:621.934(043.3)

И. И. Бавбель, старший преподаватель (БГТУ); **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)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ

Определены параметры комбинированной обработки методом КИБ и ХТО лезвий ножей, при которых период стойкости фрезерного инструмента с TiN-, ZrN-покрытиями, сульфационированными слоями, увеличивается до 50%, с Cu-, Mo-N-покрытиями – до 70% по сравнению с необработанным инструментом при резании ДСтП. При резании ламинированных ДСтП ионно-плазменные TiN-, ZrN-покрытия на поверхности твердосплавных лезвий ножей уменьшают интенсивность их износа, не меняя абразивного вида износа лезвия ножа. Комбинированные Mo-N-покрытия изменяют вид износа с механического диспергирования в сочетании с абразивным на окислительный или с теплового на окислительный в зависимости от материала лезвия.

The parameters of the combined treatment by PVD and Chemical Treatment Temperature of shears edges knives at which durability period of cutting tool with TiN-, ZrN-coatings, layers based on S when cutting chipboard increases to 50%, with Cu-, Mo-N-coatings – up to 70% compared with bare tool are determined. Ion-plasma TiN-, ZrN-coatings on the surface of shears hard alloy knives reduce the intensity of wear when cutting laminated chipboard, without changing the form of abrasive wear of the shear knife. Combined Mo-N-coatings change the form of mechanical dispersion wear in combination with abrasive to an oxidative or from thermal to an oxidative form of wear depending on the material of the shear knife.

Введение. На деревообрабатывающих производствах древесные композиционные материалы подвергаются различным видам механической обработки с использованием современного высокоавтоматизированного оборудования, эффективность работы которого существенно зависит от стойкости и надежности режущего инструмента. В связи с этим инструмент должен обладать высокими эксплуатационными характеристиками и в полной мере обеспечивать возрастающие требования к точности и качеству обработки в условиях высокопроизводительного резания.

Уровень показателей стойкости и надежности режущего инструмента определяется, в первую очередь, характеристиками физико-механических свойств инструментального материала. При резании композиционных материалов на древесной основе действие входящих в их состав абразивосодержащих минеральных частиц или частиц затвердевшего полимера, 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].

Кроме того, при резании древесностружечных плит (ДСтП) фрезерным инструментом с твердосплавными (на основе WC) ножами формирующиеся химические активные продукты распада (формальдегид, восковые и клеевые наполнители) взаимодействуют с кобальтом, инициируя процесс вырывания зерен карбида

вольфрама WC из твердосплавного материала лезвия [2]. В результате лезвие ножа быстро теряет свою остроту и режущую способность. Следует также учесть, что высокие температуры, возникающие в поверхностных слоях лезвия ножей дереворежущих инструментов (700–800°C для хвостовых фрез), приводят к уменьшению прочности металла, которое способствует размягчению и размазыванию тонких поверхностных слоев лезвия из стали [3]. В связи с этим направление, связанное с совершенствованием и разработкой новых материалов с высоким периодом стойкости, является актуальным.

Для модификации инструмента активно создаются методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) и исследуются ионно-плазменные покрытия на базе нитридов тугоплавких металлов (Ti, Mo, Cr, Zr), которые позволяют существенно увеличить физико-механические свойства различных материалов и, соответственно, улучшить эксплуатационные свойства изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, в т. ч. при деревообработке [4]. Уменьшения сил трения и процессов окисления при интенсивной обработке деревосодержащих композиционных материалов инструментом из твердых сплавов возможно достичь путем комбинированной химико-термической обработки (ХТО) инструмента с помощью сульфационирования и термообработки, которые позволят внедрить на достаточную

глубину по границам карбидов сплава атомы серы, углерода, азота, являющиеся мощным барьером проникновения кислорода и окисления сплава и снижающие коэффициент трения при резании [5].

В данной работе исследовалось влияние комбинированной методом КИБ обработки (формирование ионно-плазменных TiN-, ZrN-, Mo-N-, Cu-покрытий) и методом ХТО (сульфацианирование) поверхности двухлезвийных ножей из твердого сплава (на основе WC) и стали Ст20 фрезерного инструмента с целью повышения периода стойкости инструмента при резании ламинированных ДСтП с учетом фазового и элементного состава сформированных слоев.

Основная часть. TiN-, ZrN-, Cu- и Mo-N-покрытия осаждались на поверхности 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 Ti, Zr и Cu), 180 А (для Mo) и опорном напряжении 100 В в атмосфере азота при давлении 10^{-1} Па. Температура при осаждении покрытий соответствовала 400–450°C. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм. С помощью ХТО формировались S₂-слои воздействием NH₂-CS-NH₂ жидкой фазы на нож в течение 6 ч.

Для определения элементного состава сформированных слоев, видов износа обработанных лезвий ножей и их периода стойкости при резании ламинированных ДСтП были проведены с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), растровой и сканирующей электронной микроскопии (РЭМ и СЭМ) на сканирующем 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).

Лабораторные испытания на износостойкость лезвий ножей сборной фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированной ДСтП толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей проводились 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.

Фазовый состав сформированных слоев исследовался методом рентгеноструктурного

анализа (РСА) при помощи дифрактометра «ДРОН-3.0» в Cu-K_α излучении.

Объемный износ лезвия ножей после испытаний определялся с помощью программы обработки СЭМ-изображений нескольких поперечных изломов ножей путем расчета площади сложной фигуры на изображении поперечных изломов, ограниченной лучами, являющимися продолжением граней лезвия и сложной линией поверхности износа кромки лезвия ножа (рис. 1).

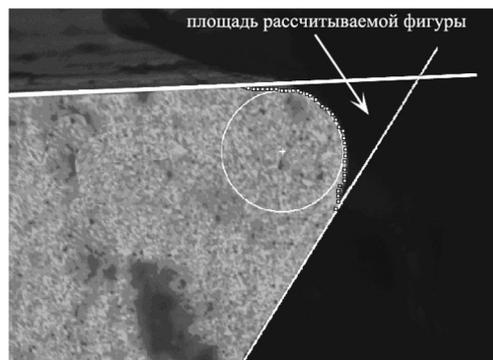


Рис. 1. СЭМ-фотография излома изношенной кромки лезвия ножа

Программа позволяла с высокой точностью численно описывать линию поверхности кромки лезвия ножа на СЭМ-фотографии его излома и определять износ пропорционально относительному изменению площади фигуры на СЭМ-фотографии поперечных изломов до и после испытаний.

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 (практически без износа), область 2 длиной менее 1 мм напротив мест крепления ножа с максимальным износом на единицу длины кромки лезвия, область 3 основного износа по величине меньше области 2, но длина этой области составляет 25–26 мм.

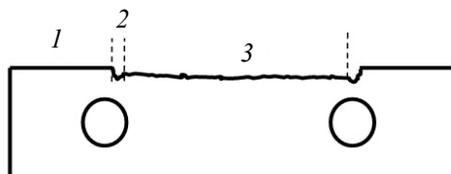


Рис. 2. Схематическое изображение распределения износа по длине кромки лезвия ножа

РЭМ-снимок изношенной кромки лезвия ножа без покрытия в области 3 (рис. 3) подтверждает литературные данные о тепловом износе режущих поверхностей металла инструмента при их трении о древесину из-за возникающих

высоких температур в тонких поверхностных слоях лезвий ножей и приводящих к их размазыванию [3].

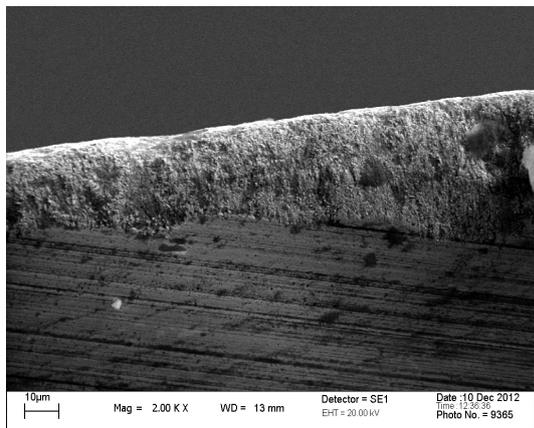
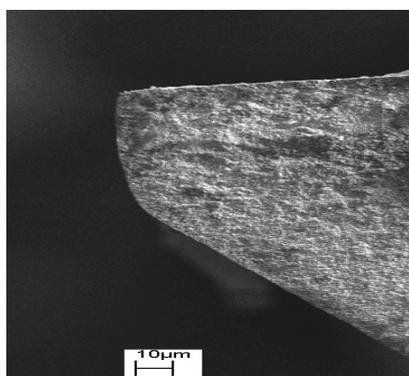
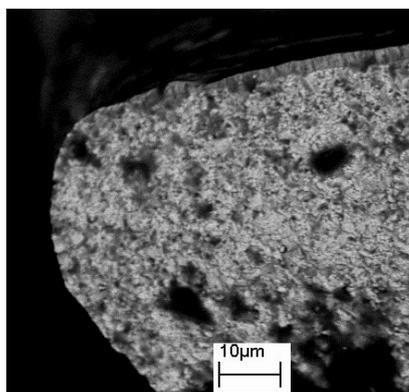


Рис. 3. РЭМ- снимок кромки лезвия ножа без покрытия в области 3 после резания ламинированных ДСтП

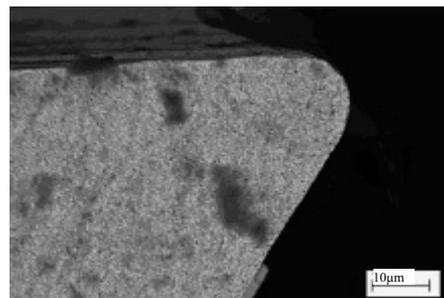
Анализ СЭМ-изображений изломов лезвия ножей после резания ламинированных ДСтП (рис. 4), проведенный для сравнения радиуса закругления режущей кромки лезвия, показывает, что степень износа лезвия ножей с Мо–N-покрытием (рис. 4, б) и с ZrN-покрытием (рис. 4, в) значительно меньше, чем в случае лезвия ножей без покрытия (рис. 4, а).



а



б



в

Рис. 4. СЭМ-фотографии излома изношенной кромки лезвия ножа без покрытия (а), с Мо–N-покрытием (б), с ZrN-покрытием (в) после резания ДСтП

Выполненные по описанному выше методу расчетные оценки усредненного объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний (таблица), показывают, что объемный износ лезвия с Cu-, Мо–N-покрытием уменьшается более чем в 2 раза по сравнению с лезвием без покрытия.

Результаты расчета объемного износа лезвия ножей после резания ламинированной ДСтП

Вид обработки	Объемный износ, (* 10 ⁶) мкм ³
Без покрытия	2,3 ± 0,4
Мо–N-покрытие	0,9 ± 0,2
Cu-покрытие	0,8 ± 0,3
ZrN-покрытие	1,1 ± 0,2
Сульфацианирование	1,0 ± 0,3

Исследования с помощью РСМА элементного состава лезвия ножей показали, что при резании ДСтП происходит истирание (механическое диспергирование) Мо–N-покрытия на лезвии и значительное окисление лезвия ножа [6]. Механическое диспергирование подтверждает СЭМ-изображение излома изношенной кромки лезвия с покрытием (область E на рис. 5).

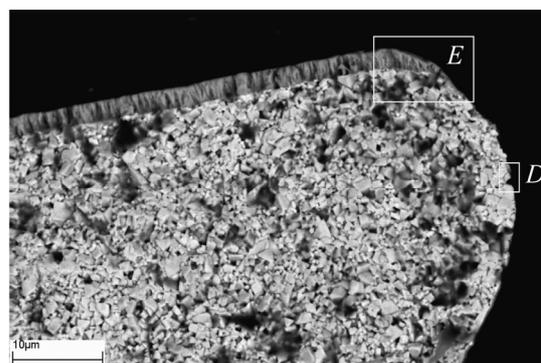


Рис. 5. СЭМ-снимок излома изношенной кромки лезвия ножа с Мо–N-покрытием

Исходя из анализа СЭМ-изображения изношенного лезвия ножа с Mo-N-покрытием (рис. 5) 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. 5). Полученный результат подтверждает установленную закономерность о абразивном виде износа в процессе эксплуатации рабочей поверхности твердосплавных ножей без покрытия [6].

Данные РСА показывают присутствие значительной доли фазы металлического молибдена в Mo-N-покрытии, что, вероятно, вызывает его истирание за счет налипания на лезвие металлических частиц α -Mo покрытия и последующего их деформационного втирания в лезвие в области его контакта с обрабатываемым материалом, способствующего снижению коэффициента трения при резании.

Проведенные на предприятиях концерна «Беллесбумпром»: ОАО «Минскдрев» (г. Минск), ООО «Пинскдрев-Адриана», Городищенская мебельная фабрика (ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев», г. Пинск), ОАО «Борисовский ДОК» (г. Борисов) опытно-промышленные испытания модифицированных фрез при резании ламинированных ДСтП подтвердили выполненные расчетные оценки усредненного объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний и показали, что период стойкости фрезерного инструмента с TiN-, ZrN-покрытиями, сульфацианированными слоями, увеличивается до 50%, с Cu-, Mo-N-покрытиями – до 70% по сравнению с необработанным инструментом.

Заключение. Установлено, что обработанные методом КИБ и ХТО с помощью сульфационирования двухлезвийные ножи из твердых сплавов и сталей хвостовых фрез обеспечивают при резании материалов из ламинированных ДСтП повышение периода стойкости режущего инструмента.

Опытно-промышленные испытания модифицированного инструмента с сформированными упрочненными слоями на лезвиях ножей подтверждают актуальность проведенных исследований, а также необходимость повышения периода стойкости и, тем самым, ресурса работы дереворежущего инструмента.

Комбинированные Mo-N-покрытия изменяют вид износа лезвия ножа с механического диспергирования в сочетании с абразивным на окислительный или с теплового на окислительный в зависимости от материала лезвия при резании ламинированных ДСтП.

Литература

1. Абраумов 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. М., 2006. № 6 (48). С. 138–141.
2. Моисеев А. В. Контактные явления в микрорегионах лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01. М., 1983. С. 15–16.
3. Ульянов А. А. Оптимизация свойств поверхностей слоев инструментальных сталей для повышения износостойкости дереворежущих инструментов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. Брянск, 2001. – 151 с.
4. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N- и Ti-покрытий на твердосплавных резаках при обработке ламинированных деревостружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2008. – Вып. XVI. С. 52–54.
5. Химико-термическая обработка деревообрабатывающего твердосплавного инструмента / В. В. Углов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. материалов VII Междунар. науч.-техн. конф., 19–21 сентября 2012 г., Минск. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. Кн. 2. С. 152–157.
6. 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., 19–21 сентября 2012 г., Минск. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. Кн. 2. С. 297–303.

Поступила 27.02.2014