

11. Усталостные явления в режущем инструменте при цилиндрическом фрезеровании древесины и древесных материалов. А.П. Клубков, А.А. Гришкевич, С.С. Макаревич, В.И. Гиль. Материалы, технологии, инструменты. Т.10, 2005, №3, с.28-33.

12. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Мн., «Вышэйшая школа», 1975. 304 с.

Гришкевич А.А., Чаевский В. В. (БГТУ, г. Минск, РБ)

dosy@bstu.unibel.by

**ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НОЖЕЙ ПРИ АГРЕГАТНОЙ ОБРАБОТКЕ
ДРЕВЕСИНЫ**

***INFLUENCE OF REINFORCING ON DURABILITY OF KNIVES
IN WOOD MACHINING***

Введение. Резание древесины и древесных материалов широко применяется на практике деревообрабатывающих производств. Для получения готовой продукции с максимальным экономическим эффектом в настоящее время является недостаточным только нахождение оптимальных режимов резания, расчет рациональной конструкции и геометрии дереворежущего инструмента. Механическая обработка древесных материалов традиционными инструментами, изготовленными из инструментальных сталей, экономически не оправдана из-за низкой стойкости такого инструмента. Наиболее современными направлениями в области совершенствования деревообрабатывающего инструмента являются использование в качестве резцов сверхтвердых материалов, синтетических алмазов, различных способов модификации поверхности резцов [1]. Одним из наиболее эффективных способов модификации поверхности стальных и твердосплавных режущих элементов дереворежущих инструментов является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) [2], позволяющей регулировать специфику износа и существенно увеличивать ресурс работы резцов.

В мировой практике высокое признание для способов переработки бревен диаметром 8–24 см получило использование различных конструкций фрезернопильных и фрезерно-брусующих линий, имеющих преимущества в более высокой производительности и предельно упрощенной технологии перед универсальным оборудованием [3]. Фрезерно-брусующие станки (ФБС) представляют собой агрегаты с системой шпинделей для установки на них инструментов. Для обеспечения подачи и базирования бревен относительно фрез станки имеют конвейерные подающие механизмы. ФБС отличаются друг от друга типами фрезерного инструмента, конвейерных подающих устройств, конструктивным решением базирующих устройств, компоновкой узлов в пространстве. Техническая функция фрез или ножевых валов, устанавливаемых на фрезерно-брусующих станках, состоит в получении из бревна бруса путем фрезерования боковых поверхностей бревна и превращении объема древесины в технологическую щепу. Ус-

танавливая фрезерно-брусующие станки последовательно, можно перерабатывать бревно вначале в двухкантный, а затем в четырехкантный брус.

Один из видов конструкции резцов ФБС – двухлезвийные, и процесс обработки древесины в этом случае происходит двумя режущими кромками: длинной и короткой. Короткая и длинная режущие кромки работают в различных условиях резания. Длинная режущая кромка – в условиях поперечного резания, и износ ее меньше в отличие от короткой режущей кромки, участвующей в продольно-торцовом виде резания. Поэтому упрочнение режущих кромок инструмента является весьма актуальной задачей.

Целью данной работы было изучение износостойкости и характера износа двухлезвийных ножей фрез с напыленными ионно-плазменными покрытиями и определение ресурса работы модифицированного инструмента при процессах резания хвойных пород древесины.

Экспериментальная часть. Мо–N покрытия осаждались на поверхность резцов методом КИБ на установке ВУ-2МБС в два этапа.

Проводилась предварительная обработка ионами молибдена в вакууме 10^{-3} Па при отрицательном потенциале подложки 1 кВ. Затем покрытия наносились при токе горения дуги катода 180 А и опорном напряжении $U_{оп} = 120$ В в атмосфере азота при давлении 10^{-1} Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450 °С. Толщина полученных покрытий не превышала 3 мкм.

Фазовый состав полученных Мо–N покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа при помощи дифрактометра ДРОН-4.0 в $Cu-K_{\alpha}$ излучении. Для выяснения механизмов износа покрытий и определения износостойкости двухлезвийных ножей при механической обработке древесины были проведены фрактографические исследования морфологии и элементного состава режущей кромки инструмента после производственных испытаний с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем электронном микроскопе LEO–1455VP.

В качестве режущего инструмента использовалась фреза, состоящая из двухлезвийных стальных ножей. Износостойкость режущего инструмента исследовалась на фрезерно-брусующей линии фирмы SAB (Германия) при обработке бревен из сосны и ели на деревообрабатывающем комбинате ОАО «Борисовский ДОК» г. Борисова. Средний диаметр обрабатываемых бревен сосны и ели составил 20,4 см, при толщине щепы 5 мм и длине щепы 25 мм. Угол среза торца щепы составлял 45° .

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при КИБ осаждении молибдена в среде азота на резец образуется двухфазное покрытие, состоящее из фаз нитрида молибдена и металла ($\delta-Mo_2N$ и $\alpha-Mo$) с текстурой (200), формирование которой обусловлено ростом зерен в направлении плазменного потока, что соответствует данным [4]. Суммарное количество штук обработанных бревен N фрезами с двухлезвийными ножами рассчитывалось по формуле

$$N = 4Q / \pi D^2 L_{бр}, \quad (1)$$

где Q – объем переработанного материала, D – диаметр бревна, $L_{бр}$ – длина бревна.

В результате суммарное количество обработанных бревен сосны и ели составило $N = 9497$ шт.

Суммарный путь резания резца L без покрытия в древесине вычислялся по формуле [5]:

$$L = N \cdot \frac{L_{\text{ад}}}{S_z} \times \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{\left(\frac{k l \theta}{2\pi} + R \cdot \sin \theta\right)^2 + (R \cdot \cos \theta)^2} d\theta \quad (2)$$

где S_z – подача на резец, мм; θ_1 – угол входа ножа в древесину, град; θ_2 – угол выхода ножа из древесины, град; k – число ножевых спиралей, шт; l – длина элемента щепы, мм; θ – угол контакта ножа, град; R – радиус резания ножа, мм.

Суммарный путь резания двухлезвийного ножа без покрытия в древесине вычислялся в математическом пакете MathCAD.

Полученные результаты суммарного значения пути резания резца без покрытия в древесине сосны и ели по дням недели представлены в таблице.

Проведенный предварительный расчет износостойкости режущего инструмента на основе данных РЭМ (рис. 1) показывает увеличение износостойкости резцов с покрытиями Mo–N в 4 и с покрытиями на основе S-составляющей в 5 раз по сравнению с резцами без покрытия.

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

Осаждение покрытия на поверхность резца изменяет характер износа режущей кромки инструмента: наблюдается сглаживание образующихся в процессе износа трещин поверхности материала (рис. 2, 3).

Присутствие значительной доли фазы металлического молибдена в Mo–N покрытиях, вероятно, вызывает снижение коэффициента трения за счет налипания на резец металлических частиц α -Mo покрытия при износе и последующего их деформационного втирания в инструмент в область контакта с обрабатываемым материалом. В результате происходит уменьшение шероховатости поверхности трека износа. Об этом свидетельствуют заглаженный вид треков износа для этих типов покрытий на РЭМ-фотографиях режущей кромки инструмента (рис. 2, а).

Таблица – Результаты пути резания древесины резцом без покрытия

День недели	Объем обработанных бревен, м ³	Средний диаметр, см	Длина бревен, м	Суммарный путь резания ножа без покрытия, L , мм
понедельник	160	20,4	4,0	$4,933 \cdot 10^6$
вторник	152			$4,686 \cdot 10^6$
среда	204			$6,289 \cdot 10^6$
четверг	230			$7,091 \cdot 10^6$
пятница	162			$4,994 \cdot 10^6$
суббота	333			$1,027 \cdot 10^7$
Всего	1241			$3,826 \cdot 10^7$

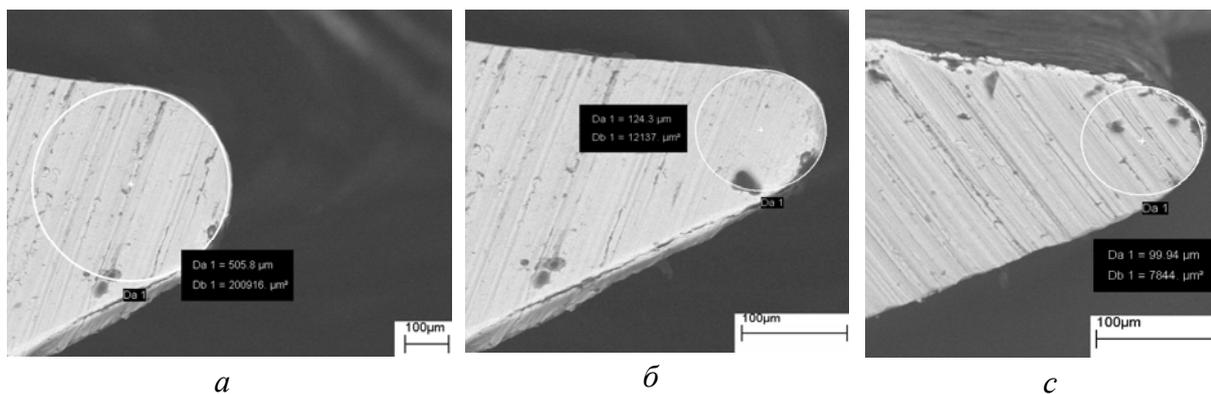


Рисунок 1 – РЭМ – изображение поверхности торца режущей кромки резца с расчетом диаметра закругления изношенной части кромки резца без покрытия (а), с Mo-N покрытием (б), с покрытием на S-основе, (в) после деревообработки

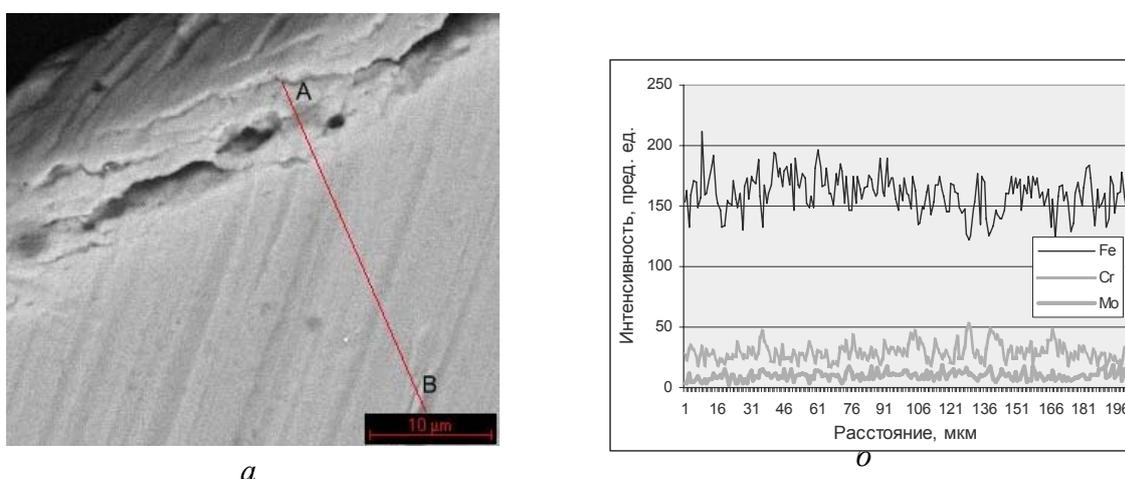


Рисунок 2 – РЭМ изображение поверхности (а) и распределение характеристического рентгеновского излучения Mo, Fe и Cr вдоль линии АВ (б) Mo–N покрытия изношенной режущей кромки резца

Наблюдение трещин и сколов на поверхности режущей кромки стальных резцов с покрытиями как Mo–N, так и на основе S-составляющей (рис. 2, а, 3, а) расширяет вывод о хрупком разрушении в виде скалывания и выкрашивания в процессе эксплуатации модифицированного инструмента, изготовленного не только из твердых сплавов, но и из стальных основ.

Значительное увеличение износостойкости резцов с покрытиями на основе S-составляющей, по-видимому, связано с образованием в процессе резания в зоне контакта резец – дерево слоя-смазки, состоящего из серы и металлических включений материала инструмента. Наличие слоя-смазки существенно уменьшает коэффициент трения за счет преобладания в слое частиц серы, имеющих низкую микротвердость. По нашему мнению, структура покрытия на основе S-составляющей содержит подавляющую долю мелкодисперсных субзерен несвязанной серы, которые легко выделяются на поверхность данного покрытия, образуя основу слоя-смазки и, в итоге, являясь причиной уменьшения коэффициента трения между поверхностями резца и дерева.

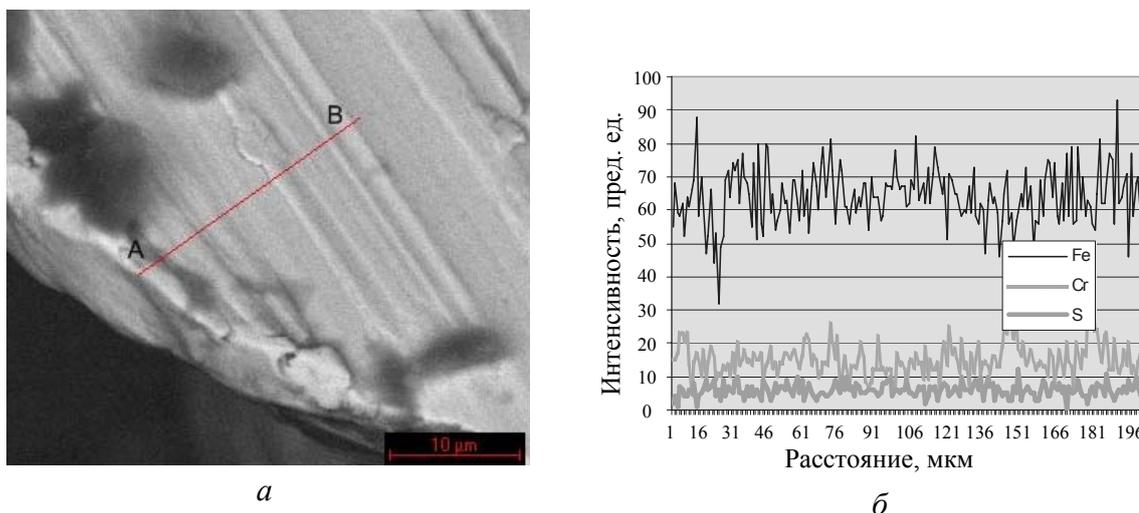


Рисунок 3 – РЭМ изображение поверхности (а) и распределение характеристического рентгеновского излучения Mo, Fe и Cr вдоль линии АВ (б) покрытия на S-основе изношенной режущей кромки резца

На основе вышеизложенного можно заключить, что при резании хвойных пород дерева двухлезвийными ножами наблюдается абразивно-химический вид износа поверхности инструмента.

Заключение. Таким образом, осажденные методом КИБ покрытия на стальные двухлезвийные ножи сборных фрез обеспечивают при обработке материалов из хвойных пород дерева существенное повышение износостойкости режущего инструмента. При этом наиболее эффективным является покрытие на основе S-составляющей.

Опытно-промышленные испытания в условиях производства ОАО «Борисовский ДОК» г. Борисова подтверждают актуальность проведенных исследований, а также необходимость повышения износостойкости и, тем самым, ресурса работы дереворежущего стального инструмента.

Проведенные производственные испытания показали увеличение износостойкости резцов с покрытиями Mo–N и на основе S-составляющей в 4 и в 5 раз соответственно по сравнению с резцами без покрытия.

Сформированные покрытия изменяют характер износа режущей кромки инструмента. При резании хвойных пород дерева двухлезвийными ножами наблюдается абразивно-химический вид износа поверхности инструмента.

Библиографический список

1. Каталоги фирм: Leitz, Leuco, Guhdo, Stehle, Faba, Freud. – 2008–2009.
2. 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.
3. Раповец, В. В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами и фрезерно-брусующих станках / В. В. Раповец // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 205–208.

4. Kazmanli, M.K. Effect of nitrogen pressure, bias voltage and substrate temperature on the phase structure of Mo-N coatings produced by cathodic arc PVD / M. K. Kazmanli, M. Urgen, A. F. Cakir // Surf. Coat. Techn. – 2003. – V. 167.– С. 77–82.

5. Раповец, В. В. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины / В.В. Раповец, Н. В. Бурносков, А. А. Станкевич // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 ноября 2005 г.: в 2 ч. / Белорусский гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005. – Ч.2. – С.306–309.

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

Душина С.А., Морозов А.М.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) kopa.82@mail.ru

ВИБРАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗМАЛЫВАЮЩЕЙ ГАРНИТУРЫ ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

VIBRATION DESIGN FOR CRUSHING DISK MILL

Первой задачей при проектировании рисунка размалывающей гарнитуры является исследование спектров собственных частот и форм колебаний.

Второй задачей является выявление источников и амплитуды колебаний ножей. Колебания ножей гарнитуры возникают при перекрещивании ножей ротора и статора на гарнитурных частотах [1]. Из-за нелинейности динамической системы колебания возбуждаются на гармониках и субгармониках гарнитурных частот. Если частоты импульсов совпадают с частотами собственных колебаний ножей, возникнут резонансные колебания с повышенными амплитудами и динамическими напряжениями. Это сказывается на надежности ножей гарнитуры. При резонансных режимах работы гарнитуры возрастает вероятность поломки ножей.

Ввиду большого числа возмущающих гармоник и частот собственных колебаний ножей определение резонансных режимов производится с помощью резонансной диаграммы. Для гарнитуры 62200 фирмы «DURAMETAL» резонансная диаграмма представлена на рис. 1. По оси абсцисс диаграммы откладывается величина износа. По оси ординат откладываются собственные частоты ножей, гарнитурные частоты и их гармоники.

Сначала на диаграмму наносятся расчетные кривые низших собственных частот колебаний ножей с учетом их износа, F_{0i} . В связи с тем, что проверяются все ножи гарнитуры, кривых собственных частот ножей может быть очень большое количество. Затем, наносят гарнитурные частоты, рассчитанные для каждого ножевого пояса и их гармоники F_{gi} , $2F_{gi}$, $3F_{gi}$...

Резонансная диаграмма дает необходимую информацию, как в процессе проектирования, так и при эксплуатации гарнитуры. В процессе проектирования с помощью