

Библиографический список

1. Воскресенский В.Е. Системы пневмотранспорта, пылеулавливания и вентиляции на деревообрабатывающих предприятиях. Теория и практика / В.Е. Воскресенский. – Т. 1: Аспирационные и транспортные пневмосистемы. – СПб.: Политехника, 2008. – 430 с.
2. Трофимов С.П. ТКП 510–2014. Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования / С.П. Трофимов, П.И. Дячек. – Минск: Беллесбумпром, 2014 – 78 с.
3. Трофимов, С.П. Цеховые системы аспирации и пневмотранспорта измельченных древесных отходов / С.П. Трофимов. – Минск: БГТУ, 2010. – 193 с.
4. Трофимов С.П. Проектирование деревообрабатывающих предприятий: в 2-х ч. Ч. 2. Технологическая и общетехническая подготовка производства / С.П. Трофимов. – Минск: БГТУ, 2013. – 417 с.
5. Trofimov S. Aspiration and pneumatic conveying systems in woodworking production: norm of designing, solutions and engineering personnel / S. Trofimov // Proceedings of the 19th International conference. «Mechanika-2014», 24–25 April 2014. – Kaunas: KTU. – Pp. 274–276.

УДК 674.055: 539.23621

В.В. Чаевский, А.А. Гришкевич, В.В. Жилинский

(БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь),

В.В. Углов, А.К. Кулешов

(БГУ, г. Минск, Республика Беларусь), doctorv_v_ch@mail.ru

**УПРОЧНЕНИЕ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ФОРМИРОВАНИЕМ
КОМБИНИРОВАННЫХ ZrN-Ni-Co-ПОКРЫТИЙ**

**STRENGTHENING WOOD-CUTTING TOOLS BY FORMING
COMBINED ZrN-Ni-Co-COATINGS**

Подобраны режимы формирования электрохимических Ni-Co-, ионно-плазменных ZrN- и комбинированных ZrN-Ni-Co-покрытий на лезвиях стальных (марки Р6М5) ножей дереворежущего фрезерного инструмента. Значение микротвердости ZrN-Ni-Co-покрытий в 1,2–1,5 раза превышает величину микротвердости Ni-Co-покрытия на стальной подложке и стали без покрытия. Основным видом износа стального лезвия ножа с Ni-Co- и ZrN-Ni-Co-покрытиями при резании ламинированных древесно-стружечных плит является абразивный износ. Объемный износ лезвия ножа с ZrN-Ni-Co-покрытием при резании ламинированных ДСтП в лабораторных условиях имел более чем в 3 раза меньшее значение, чем для лезвия с Ni-Co-покрытием. Проведенные опытно-промышленные испытания на ОАО «Минскдрев» модифицированных фрез с комбинированными ZrN-Ni-Co-покрытиями на лезвиях ножей показали увеличение периода стойкости фрез при резании сосны (штакетик) до 30 % по сравнению с инструментом без покрытий.

Modes were selected and formed electroplated Ni-Co-coatings, ion-plasma ZrN-coatings as well as combined ZrN-Ni-Co-coating on the edges steel (type R6M5) knives of wood-cutting milling tools. Microhardness of combined ZrN-Ni-Co-coatings is to 1,2–1,5 times more than microhardness of steel base and bare steel. When cutting laminated

chipboard by steel knives of milling tool with a Ni-Co- and ZrN-Ni-Co-coatings under laboratory conditions, abrasive surface wear type of edges knives is observed. Calculating bulk wear of edges knives with ZrN-Ni-Co-coatings showed reduction of more than 3 times value in comparison with knives with Ni-Co-coatings. Pilot testing of tool modified with combined ZrN-Ni-Co-coatings at OJSC "Minskdiver" when cutting pine confirmed relevance of the tests carried out, as well as showed an increase in durability period of cutters to 30 % compared with bare tool.

В используемом в Республике Беларусь дереворежущем инструменте применяются в основном импортные ножи. Установлено, что в контактной области при процессах резания древесины возникают как интенсивные деформационные нагрузки, так и высокие температуры (800–1200 К), которые стимулируют высокую скорость диффузионных и окислительных процессов, приводящих к быстрому разрушению поверхностного слоя инструмента. Стойкость режущего инструмента определяется в первую очередь физико-механическими свойствами инструментального материала.

В последнее время для модификации инструмента активно создаются методом конденсации металлов из плазменной фазы с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) и исследуются ионно-плазменные покрытия на базе нитридов тугоплавких металлов (Ti, Mo, Zr и др.), которые позволяют существенно увеличить физико-механические свойства различных материалов и, соответственно, улучшить эксплуатационные свойства изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, в т.ч. в станкостроении [1].

Другим направлением модификации поверхности деревообрабатывающих материалов является электрохимическое осаждение износостойких сплавов из сульфатных электролитов на поверхность ножей из высоколегированной аустенитной стали [2, 3]. Полученные Fe-Ni-Co- и Ni-Co-покрытия имеют высокие значения микротвердости. Ni-Co-покрытие, содержащее 67 % Co и 33 % Ni, достигает максимальной величины микротвердости 550,7 HV [2]. Установлено, что наличие покрытия сплавом Fe-Ni на лезвии стального ножа дереворежущего инструмента способствует уменьшению интенсивности его износа до 50 % по сравнению с лезвием без покрытия [3].

Формирование комбинированных градиентных покрытий на лезвии ножа дереворежущего инструмента способствует значительному уменьшению интенсивности ее износа, причем создание промежуточного слоя между твердым ионно-плазменным покрытием и основой увеличивает эффект уменьшения интенсивности износа основы. В качестве переходного слоя наиболее подходящими являются гальванические покрытия сплавами никеля [4].

В связи с этой целью работы являлось получение электрохимических покрытий сплавом Ni-Co и комбинированных гальвано-ионно-плазменных ZrN-Ni-Co-покрытий на поверхности двухлезвийных стальных (P6M5) ножей хвостовых фрез, исследование износа обработанных лезвий ножей при резании ламинированных ДСтП с учетом фазового, элементного состава и микротвердости сформированных слоев, определение периода стойкости модифицированного фрезерного инструмента.

Гальванические покрытия сплавом Ni-Co наносили на подготовленную поверхность лезвий ножей при токах 0,4–0,8 А из сернокислого электролита при температуре 40–50 °С. Толщина покрытий не превышала 10 мкм.

ZrN-покрытия осаждались на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСИ) в два этапа. Проводилась предварительная обработка ионами циркония в вакууме 10^{-3} Па при потенциале подложки -1 кВ с последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении 100 В в атмосфере азота при давлении 10^{-1} Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450 °С. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

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.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K_α -излучении. Микротвердость испытуемых покрытий определялась при помощи микротвердомера ПМТ-3 по методу Виккерса при нагрузке 50 г.

Лабораторные испытания на период стойкости лезвий ножей сборной фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированных ДСтП толщиной 25 мм проводили на обрабатывающем центре ROVER-B4.35 (Италия) на кафедре ДОСиИ при следующих режимах: число ножей на фрезе – 2; частота вращения фрезы – 15000 мин^{-1} ; припуск – 1,0 мм/проход; длина резания – 1200 м. п. Критерием потери режущей способности резца являлось появление сколов отделки плиты. Объемный износ лезвия ножа после испытаний рассчитывался по методике определения поперечных размеров кромки лезвия по всей ее длине с помощью микротвердомера ПМТ-3 с учетом первоначального неизношенного угла заточки лезвия.

Установлено, что сформированные комбинированные ZrN-Ni-Co-покрытия состоят из отдельных фаз нитрида ZrN, имеющего гранецентрированную кубическую структуру никеля и кобальта с гексагональной решеткой (рис. 1).

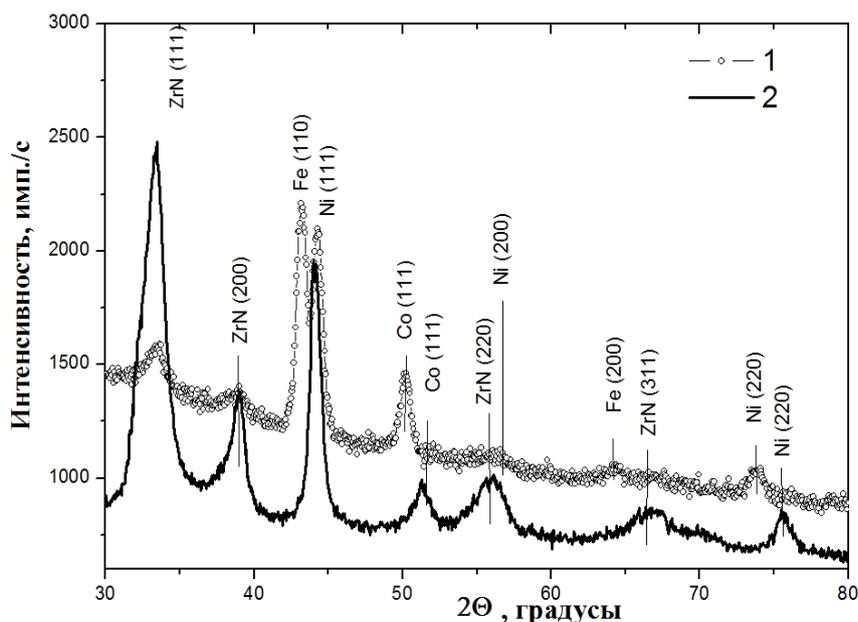


Рис. 1. Рентгенограммы Ni-Co-покрытий (1) и ZrN-Ni-Co-покрытий (2)

Среднее значение микротвердости Ni-Co-покрытия на стальной основе составило 9,6 ГПа, а ZrN-Ni-Co-покрытия – 13,0 ГПа, что практически в 1,3 раза превышает величину микротвердости Ni-Co-покрытия и в 1,5 раза величину микротвердости стальной подложки без покрытия (8,5 ГПа).

Выполненные расчеты усредненного объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний показали, что объемный износ комбинированного ZrN-Ni-Co-покрытия ($6,75 \cdot 10^7 \text{ мкм}^3$) уменьшается в 3,4 раза по сравнению с упрочняющим лезвием Ni-Co-покрытием ($2,30 \cdot 10^8 \text{ мкм}^3$).

Оптические снимки изношенной кромки лезвия ножа с ZrN-Ni-Co- и Ni-Co-покрытиями (рис. 2) подтверждают расчеты объемного износа и показывают, что степень износа лезвия ножей с ZrN-Ni-Co-покрытием (рис. 2, а) значительно меньше, чем в случае лезвия ножей с Ni-Co-покрытием (рис. 2, б).

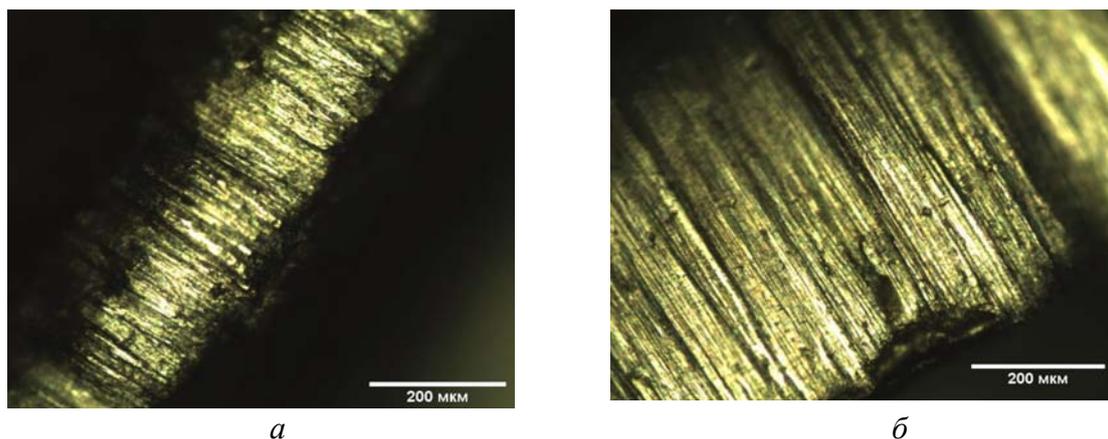


Рис. 2. Снимки изношенного лезвия ножа с ZrN-Ni-Co-покрытием (а) и с Ni-Co-покрытием (б) после резания ламинированной ДСтП

В процессе резания ламинированной ДСтП наблюдается абразивный износ как гальванических (типа Fe-Ni-, Ni-Co-покрытий), так и гальвано-ионно-плазменных ZrN-Ni-Co-покрытий на лезвии ножа, хотя степень износа лезвия ножей с ZrN-покрытием значительно меньше, чем в случае лезвия ножей с Ni-Co-покрытием [1, 3].

Несмотря на то что высокая твердость и прочность сформированных твердых покрытий к воздействию деформационных нагрузок позволяет, по-видимому, увеличить стойкость к хрупкому износу лезвия модифицированных ножей при резании ДСтП [1], в процессе резания на некотором этапе происходит хрупкое частичное разрушение этих покрытий в области лезвия ножа. Вероятно, это связано с ухудшением адгезии покрытия к подложке вследствие резкого увеличения температуры на границе «лезвие ножа – ДСтП», приводящего к отслаиванию и разрушению покрытия. Тем не менее необходимо отметить, что наличие нитрида циркония, обладающего высокой термической и окислительной стойкостью [5] в комбинированном ZrN-Ni-Co-покрытии, позволяет до разрушения покрытия значительно уменьшать воздействие деформационных нагрузок на износ лезвия ножа.

Проведенные на ОАО «Минскдрев» (г. Минск) опытно-промышленные испытания модифицированных фрез с ZrN-Ni-Co-покрытиями при резании сосны (штапик) подтвердили выполненные расчетные оценки объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний и показали, что период стойкости фрезерного инструмента с покрытиями увеличивается до 30 % по сравнению с необработанным инструментом.

Выводы:

1. Установлено, что сформированные гальваническим методом и КИБ-обработкой Ni-Co- и ZrN-Ni-Co-покрытия на лезвиях стальных ножей хвостовых фрез обеспечивают при резании материалов из ламинированных ДСтП и хвойных пород древесины повышение периода стойкости режущего инструмента.

2. Величина объемного износа лезвия ножей с ZrN-Ni-Co-покрытием значительно меньше, чем в случае лезвия ножей с Ni-Co-покрытием. Основным видом износа стального лезвия ножа с твердыми Ni-Co- и ZrN-Ni-Co-покрытиями при резании ламинированных ДСтП является абразивный износ.

Библиографический список

1. Влияние ZrN, Mo-N покрытий, сульфатирования на износ ножей дерево-режущего инструмента / А.К. Кулешов [и др.] // Трение и износ. – Т. 35. – № 3. – Гомель: ГНУ ИММС НАН Беларуси, 2014. – С. 276–286.
2. Электрохимическое и ионно-плазменное формирование комбинированных износостойких покрытий для упрочнения режущей кромки деревообрабатывающих ножей / В.В. Жилинский [и др.] // Теория и практика современных электрохимических производств: сб. тезисов докладов III Междунар. научно-практ. конф., 17–19 ноября 2014 г., г. Санкт-Петербург. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2014. – С. 127.
3. Кубрак П.Б. Осаждение износостойких покрытий сплавом Fe-Ni из сульфатных электролитов / П.Б. Кубрак, В.В. Жилинский, В.В. Чаевский // Труды БГТУ. – 2014. – № 3: Химия и технология неорганических веществ. – С. 51–53.
4. Комбинированная гальваническая и ионно-плазменная обработка лезвий ножей дереворежущего инструмента / В.В. Чаевский [и др.] // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IX Междунар. евразийского симпозиума, Екатеринбург, 23–25 мая 2014 г. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2014. – С. 202–206.
5. Особенности износа упрочненных методом КИБ лезвий ножей дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ДСТП / А.А. Гришкевич [и др.] // Сборник мат-лов VII Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», 19–21 сентября 2012 г., г. Минск. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. – Кн. 2. – С. 297–303.