

А. А. Гришкевич, доцент; В. В. Чаевский, ассистент; В. В. Углов, профессор (БГУ);  
А. К. Кулешов, ст. науч. сотрудник (БГУ)

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ TiN-, ZrN-, Ti – Zr – N- И Ti-ПОКРЫТИЙ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЦАХ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

The TiN, ZrN, Ti – Zr – N and Ti coatings were formed by the method of condensation from a plasma phase in a vacuum with ion bombardment of surfaces tools. The element and phase composition coatings and tools, the surface morphology of cutting tools were studied by X – ray microanalysis, X – ray diffraction and transmission electron microscopy. The conducted investigations of hard-alloy inserts with the TiN coatings for milling special woods growth of wear resistance 1,8–2,0 times in comparison with non-coating inserts. It is obtained the different mechanism of wear coatings and cutting inserts.

**Введение.** Твердосплавные концевые фрезы позволяют эффективно осуществлять высококачественную обработку различных материалов в том числе и древесных композиционных материалов. Демонстрируемая износостойкость твердосплавных фрез не является достаточной для более широкого применения данного инструмента, так как в определенных периоды эксплуатации наблюдается хрупкое разрушение рабочих поверхностей [1]. Повышение износостойкости резцов путем улучшения их геометрических параметров уже не приносит значительных результатов, поэтому поиск, исследование и внедрение новых технологий, направленных на повышение надежности режущего инструмента является актуальной и важной задачей. Решение указанной проблемы достигается путем нанесения различных износостойких покрытий. Для твердосплавного инструмента наибольшее распространение получил метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности инструмента (КИБ) [1, 2].

Целью данной работы было исследование износостойкости ионно-плазменных TiN-, ZrN-, Ti – Zr – N- и Ti-покрытий с учетом их фазового и элементного состава на твердосплавных резцах концевых фрез.

**Экспериментальная часть.** Покрытия TiN, ZrN, Ti – Zr – N и Ti осаждались на неперетачиваемые твердосплавные пластины (производство – Германия) методом конденсации с ионной бомбардировкой на установке типа «Булат».

Проводилась предварительная обработка ионами титана или хрома в вакууме  $10^{-3}$  Па при отрицательном потенциале подложки –1 кВ. Покрытия наносились при опорном напряжении  $U_{оп} = 120$  В в атмосфере азота при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450°C. Толщина покрытий составляла 2–3 мкм.

Морфология сформированных покрытий и элементный состав покрытий и резцов определялся методами рентгеноспектрального мик-

роанализа (РСМА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO 1455VP. Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра ДРОН-3.0. Измерения микротвердости покрытий выполнялись посредством прибора ПМТ-3.0 методом Виккерса.

В качестве режущего инструмента использовалась сборная концевая фреза  $D = 21$  мм. Износостойкость режущего инструмента исследовалась на обрабатывающем центре ROVER В4.35 – универсальном многооперационном обрабатывающем центре.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно фазовой диаграмме (рис. 1), TiN-покрытие имеет ОЦК структуру с преимущественной ориентацией (111), что свидетельствует о столбчатой структуре покрытий.

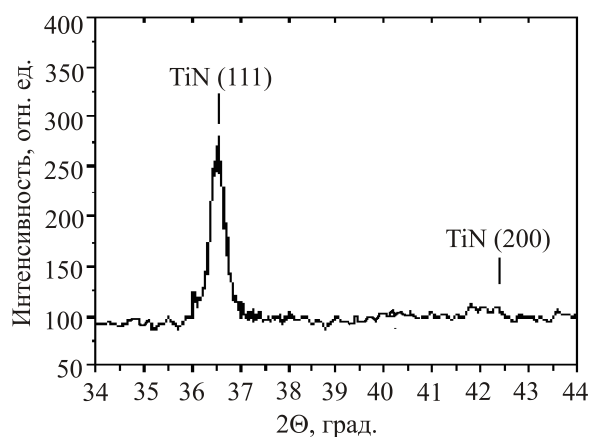


Рис. 1. Рентгенограмма TiN-покрытий

Представленная на рис. 2 типичная РЭМ – микрофотография скола TiN-покрытия подтверждает вывод о столбчатом строении сформированной системы. Аналогичной структурой обладают ZrN-покрытия. РЭМ – изображение режущей кромки инструмента с ZrN-покрытием показывает, что осажденный монокристалл ZrN имеет также столбчатое строение.

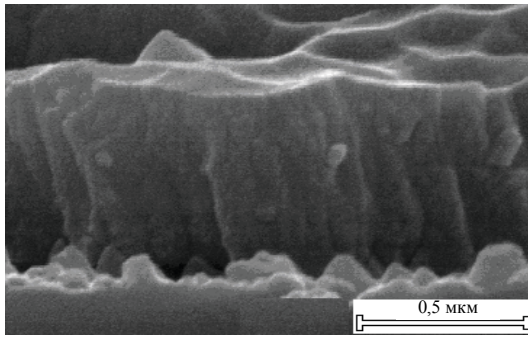


Рис. 2. Микрофотография скола TiN-покрытия (РЭМ)

Установлено, что покрытия Ti – Zr – N, полученные на твердых сплавах T15K6, образуют твердый раствор  $Ti_xZr_{x-1}N$  с ГЦК структурой типа NaCl и имеют такую же преимущественную ориентацию (111) роста кристаллов, как и для системы TiN [3]. При этом максимум твердости покрытия  $Ti_xZr_{x-1}N$  наблюдается для  $x = 0,66$  и составляет 26 ГПа.

Микротвердость TiN- и ZrN-покрытий на испытуемом резце составила 31,5 и 38,3 ГПа соответственно.

Методом РСМА был установлен неизвестный состав испытуемых резцов: WC – 97%, Co – 3%, что соответствует твердому сплаву отечественной марки ВК-3.

Для определения влияния покрытий на износостойкость и изучения механизмов износа режущих пластин концевой фрезы обрабатывалась древесно-стружечная плита (ДСтП) толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей. Тип обработки – раскрой ДСтП. Режим резания составлял: частота вращения фрезы –  $16\ 000\ \text{мин}^{-1}$ ; скорость подачи – 4 м/мин. Кри-

терием потери режущей способности резца являлось появление сколов отделки плиты.

Полученные результаты резания плиты (таблица) показывают, что наибольшей стойкостью среди четырех видов сформированных покрытий обладают резцы с покрытием TiN, наименьшей – с ZrN. Указанные покрытия на резцах увеличивают их ресурс работы на 14,8 и 10,4% соответственно по сравнению с наилучшим среди двух видов испытуемых резцов без покрытия.

Как показывают данные РЭМ (рис. 3), рабочая поверхность твердосплавных ножей без покрытия подвержена хрупкому разрушению в виде скалывания и выкрашивания в процессе эксплуатации.

Осаждение покрытия на поверхность резца изменяет характер износа режущей кромки инструмента: наблюдается сглаживание образующихся в процессе износа трещин поверхности материала (рис. 4, 5).

Как уже установлено, при резании ДСтП и ДВП имеет место абразивный износ [4].

Поэтому ZrN-покрытие, обладая более высокой микротвердостью по сравнению с TiN-покрытием, но имея такую же столбчатую структуру, характеризуется меньшей износостойкостью, по-видимому, за счет более интенсивного диспергирования в контактную область взаимодействия с обрабатываемым материалом. Проведенные в ЗАО «Пинскдрев» (г. Пинск) производственные испытания концевых фрез с TiN-покрытиями увеличили стойкость инструмента в 1,8–2,0 раза, подтвердив их высокую износостойкость по сравнению с фрезами без покрытия.

Таблица

### Результаты резания ДСтП

Полученное значение параметра	Резец без покрытия (Германия)		Резец с покрытием			
	№ 1	№ 2	TiN	(Ti, Zr) N	Ti	ZrN
Значение длины пути резца в обрабатываемом материале до потери стойкости, м	1310,3	1392,8	1504,0	1488,5	1470,1	1446,9
Увеличение значения длины пути резца в обрабатываемом материале по сравнению с наименее стойким резцом без покрытия, м	–	81,5	193,7	178,2	159,8	136,6
Увеличение значения длины пути резца в обрабатываемом материале по сравнению с наименее стойким резцом без покрытия, %	–	6,3	14,8	13,6	12,2	10,4

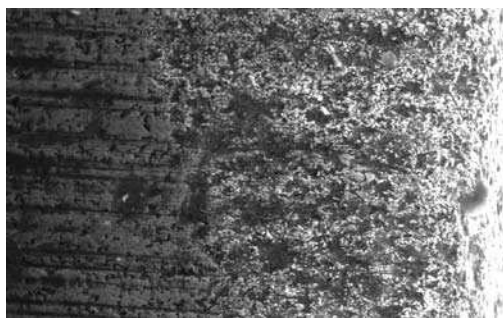


Рис. 3. Изображение поверхности режущей кромки инструмента без покрытия после деревообработки (РЭМ)

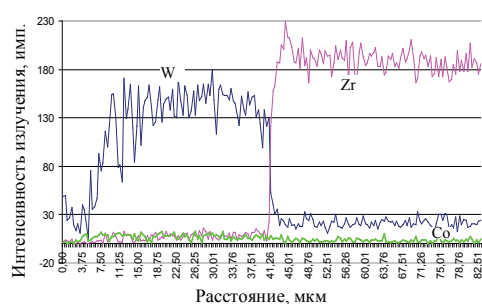
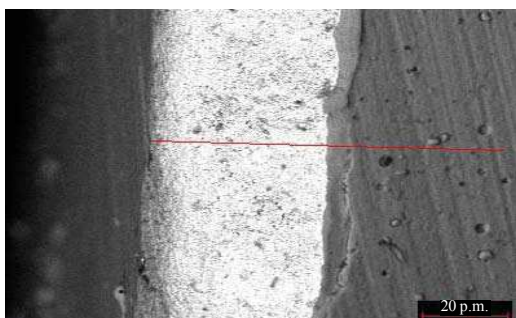


Рис. 4. Изображение с распределением характеристического излучения поверхности режущей кромки инструмента с ZrN-покрытием после деревообработки (РЭМ)

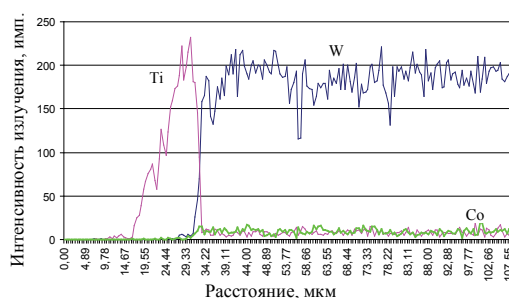
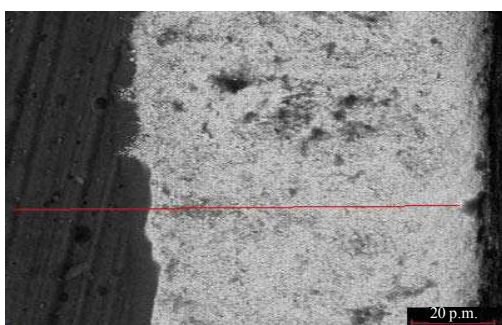


Рис. 5. Изображение с распределением характеристического излучения поверхности режущей кромки инструмента с TiN-покрытием после деревообработки (РЭМ)

**Заключение.** Таким образом, осажденные методом КИБ покрытия на твердосплавные пластины концевых фрез обеспечивают при обработке материалов из ДСтП повышение износостойкости инструмента. При этом наиболее эффективным является покрытие TiN. Сформированные покрытия изменяют характер износа режущей кромки инструмента.

Опытно-промышленными испытаниями, проведенными в условиях производства ЗАО «Пинскдрев», подтверждена высокая эффективность TiN-покрытий, которые позволили увеличить стойкость сборных концевых фрез в 1,8–2,0 раза при обработке материалов из ДСтП по сравнению с импортным инструментом без покрытия.

#### Литература

1. Майснер, Д. А. Анализ существующих твердых сплавов в деревообработке и способ повышения их износостойкости / Д. А. Май-

снер, В. В. Огурцов, В. К. Косарев // Вестник СибГТУ. – 2003. – № 1. – С. 55–57.

2. Табаков, В. П. Многослойное покрытие для твердосплавного режущего инструмента для торцевого фрезерования / В. П. Табаков, А. В. Циркин // Инновации в машиностроении: материалы Всероссийской НТК. – Пенза, 2002. – С. 80–82.

3. Злоцкий, С. В. Структура и механические свойства нитридных систем Ti–Zr–N, сформированных при совмещении плазменных потоков различной плотности / С. В. Злоцкий, В. В. Чавевский // Материалы 6-й Международной конференции «ВИТТ-2005», Минск, 28–30 сент. 2005 г. / БГУ. – Минск, 2005. – С. 170–172.

4. Моисеев, А. В. Контактные явления в микрообласти лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Моисеев. – М., 1983. – С. 15–16.