

**П.В. Рудак, Д.В. Куис, С.Д. Латушкина, О.Г. Рудак, О.Ю. Пискунова**  
(P.V. Rudak, D.V. Kuis, S.D. Latushkina, O.G. Rudak, O.YU. Piskunova)  
(БГТУ, г. Минск, РБ)

E-mail для связи с авторами: RudakPV@belstu.by

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ  
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ  
СИСТЕМЫ TiZrN ДЛЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**CORROSION RESISTANCE  
OF NANOSTRUCTURED VACUUM-PLASMA TiZrN COATING SYSTEM  
FOR WOODCUTTING TOOLS**

*Установлено, что для покрытий системы TiZrN основной кристаллической составляющей является твердый раствор TiZrN на основе кубической решетки структурного типа NaCl. Введение легирующих элементов в покрытия TiN (в зависимости от их концентрации) приводит к уменьшению размера зерна до 6–8 нм в случае покрытий TiZrN, в то время как для покрытий TiN этот показатель составляет 30–40 нм. Период же решетки покрытий TiZrN увеличивается с повышением концентрации Zr. Для всех исследованных покрытий характерны высокие значения сжимающих остаточных напряжений порядка 13–20 ГПа.*

*It was found that for TiZrN system covers the main crystal component is a solid solution based on TiZrN cubic NaCl-type lattice. Introduction of the alloying elements to TiN coverings, depending on their concentration, leads to reduction of the size of grain up to 6–8 nanometers in case of TiZrN coverings, while for TiN coverings this indicator makes 30–40 nanometers, and the period of a lattice of coverings of TiZrN increases with increase in concentration of Zr. All the coatings are characterized by high values of compressive residual stresses around 13–20 GPa. The highest corrosion resistance has TC3 coating on the steel plate samples.*

Современный дереворежущий инструмент эксплуатируется в широком диапазоне скоростей резания и подач, в условиях сложного напряженного состояния. Кроме этого, в процессе резание древесины и композиционных материалов на ее основе на инструмент воздействуют продукты деструкции древесины и связующего. Это может приводить к явлениям химического, механо-химического и электрохимического характера на лезвиях инструмента, которые оказывают существенное влияние на стойкость [1]. Способность металла сопротивляться коррозионному воздействию среды определяют термином коррозионная стойкость.

Возможности по повышению стойкости дереворежущего инструмента открывают применение вакуумно-плазменных покрытий различных составов и структур [2, 3].

Целью работы является изучение структурообразования и экспериментальное исследование коррозионной стойкости покрытий системы TiZrN, осажденных вакуумно-плазменным электродуговым методом из многокомпонентных плазменных потоков.

Для достижения поставленной цели требуется применение методов электронной микроскопии с микрорентгеноспектральным анализом, рентгеноструктурным анализом, а также необходимо проведение комплексных электрохимических испытаний образцов с покрытиями путем хронопотенциометрирования и снятия поляризационных кривых.

Осаждение покрытий системы TiZrN проводилось на вакуумно-дуговой установке УРМЗ.279.048, оснащенной сепаратором макрочастиц. При этом были использованы катоды из титана ВТ1-0 из циркония. Осаждение при различных режимах осуществляли на подложки из стали 10X18H10T. Парциальное давление азота составило  $1,8-2,0 \cdot 10^{-4}$  Торр. Ток дуги для титанового катода  $I_{Ti}$  устанавливался из диапазона 40–80 А, ток дуги для циркониевого катода  $I_{Zr}$  – из диапазона 55–80 А.

Исходя из максимальной скорости осаждения равномерных покрытий, выбраны ток фокусирующей катушки (3 А) и ток направляющей катушки (0,7 А).

Образцы с покрытиями изучали методом электронной микроскопии с микро-рентгеноспектральным анализом, методом рентгеноструктурного анализа. Режимы нанесения и результаты исследований образцов с покрытиями, в том числе концентрации титана и циркония (соответственно  $C_{Ti}$  и  $C_{Zr}$ ), представлены в таблице.

Режимы нанесения и результаты исследований образцов с покрытиями

Номер образца	$I_{Ti}$ , А	$I_{Zr}$ , А	$C_{Ti}$ , ат. %	$C_{Zr}$ , ат. %	Внутренние напряжения, ГПа
ТЦ1	60	60	53,37	15,36	–
ТЦ2	40	60	40,57	28,62	–22,2
ТЦ3	80	60	55,46	13,36	–25,4
ТЦ4	60	80	45,64	23,84	–13,1
ТЦ5	80	55	48,08	5,04	–

Для покрытий системы TiZrN вне зависимости от концентрации Zr основной кристаллической составляющей является твердый раствор TiZrN на основе кубической решетки структурного типа NaCl.

Интенсивность отражения от кристаллографической плоскости (111) имеет ярко выраженный пик для покрытий TiZrN при различных концентрациях Zr. Рост текстуры (111), возможно, связан с минимизацией общей свободной энергии покрытия, которая включает в себя энергию деформации и поверхностную энергию.

Период решетки покрытий TiZrN увеличивается с повышением концентрации Zr, поскольку атомный радиус циркония (0,160 нм) превышает атомный радиус титана (0,146 нм). Происходило образование твердого раствора  $Ti_xZr_{1-x}N$  на базе решетки TiN. Установлено, что введение легирующих элементов в покрытия TiN приводит к уменьшению размера зерна до 6–8 нм в случае покрытий TiZrN в зависимости от концентрации легирующего элемента в покрытии. В то время как для покрытий TiN этот показатель составляет 30–40 нм.

Необходимо отметить, что для всех исследованных покрытий характерны высокие значения сжимающих остаточных напряжений порядка 13–20 ГПа. Это свойственно конденсатам нитридов, полученным в условиях ионной бомбардировки, способствующей улучшению адгезии покрытия к материалу основы и развитию в нем структурных напряжений сжатия, обусловленных atomic peening эффектом.

Испытания на коррозионную стойкость образцов стальных пластин (сталь 10X18H10T) с вакуумно-плазменными покрытиями проводились электрохимическими методами: путем измерения временных зависимостей потенциалов образцов и методом снятия поляризационных кривых.

Снятие поляризационных кривых проводилось потенциостатическим методом с использованием стандартной электрохимической ячейки с применением потенциостата IPC Pro M в комплекте с персональным компьютером.

Согласно общим изменениям во времени электродных потенциалов, показанных на рисунке 1, наибольшей стабильностью характеризуются хронопотенциометрические зависимости для электродов, выполненных из образцов ТЦ1 и ТЦ3.

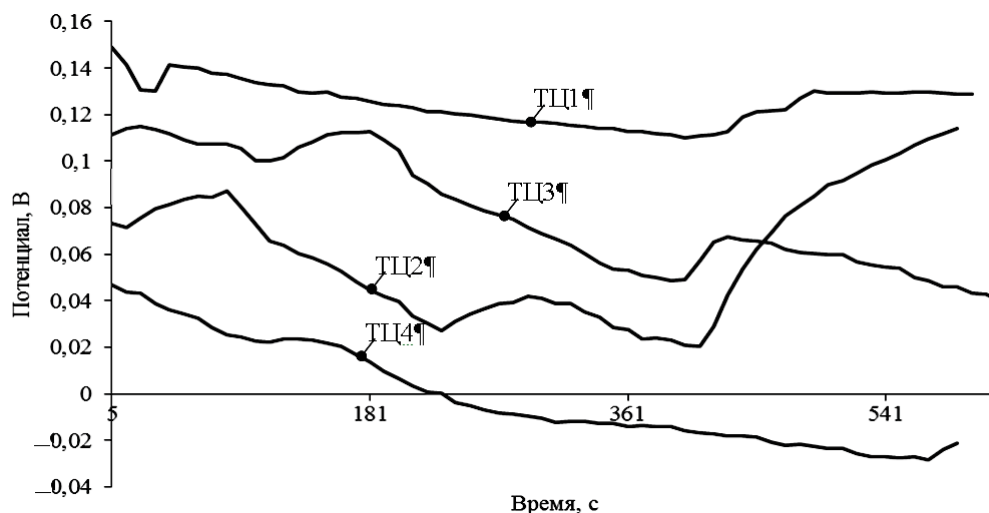


Рис. 1. Общее изменение во времени электродных потенциалов для образцов стальных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями системы TiZrN

На рисунке 2 представлены зависимости плотности тока  $i$  от электродных потенциалов для образцов стальных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями системы TiZrN.

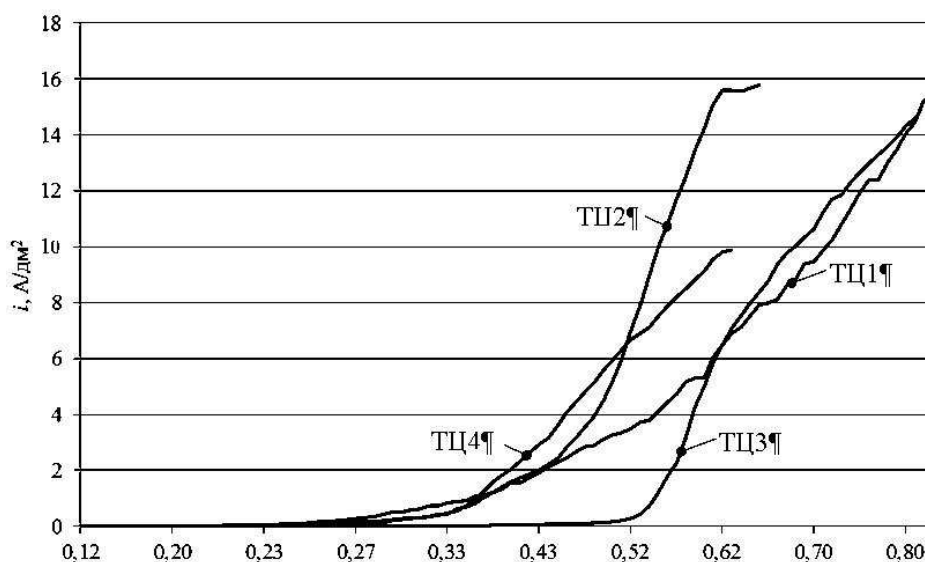


Рис. 2. Зависимости плотности тока  $i$  от электродных потенциалов для образцов стальных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями системы TiZrN

Поляризационные кривые позволяют сделать вывод о том, что при изменении плотности тока наибольшую стабильность проявляют потенциалы электродов из образцов ТЦ3 и ТЦ1. Электрод из образца ТЦ3 проявил наибольшее сопротивление протеканию на нем реакции.

Таким образом, результаты электрохимических испытаний на коррозионную стойкость путем хронопотенциометрирования и снятия поляризационных кривых для образцов пластин из стали 10X18H10T с вакуумно-плазменными покрытиями системы TiZrN позволяют сделать вывод о наибольшей коррозионной стойкости (в  $\approx 1,5$ –2 раза по сравнению с наименее стойким покрытием из исследованных) покрытия ТЦЗ ( $C_{Ti} = 55,46$  ат. %,  $C_{Zr} = 13,36$  ат. %).

### Библиографический список

1. Моисеев, А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента / А.В. Моисеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 112 с.
2. Рудак, П.В. Снижение шумовых характеристик и повышение эффективности удаления стружки из зоны резания при эксплуатации дереворежущих машин / П.В. Рудак, Д.В. Куис // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2011. – Вып. XIX. – С. 245–247.
3. Аспирационное устройство для фрезерных групп деревообрабатывающих станков с числовым программным управлением / П.В. Рудак, П. Бир, А. Балтрушайтис, О.Г. Рудак, Е.Ю. Разумов, Е.А. Зборин // Лесная и деревообраб. пром-сть: труды БГТУ. – 2015. – №2. – С. 238–241.

УДК 675.815

**П.В. Рудак, О.Г. Рудак, Д.В. Куис**  
(P.V. Rudak, O.G. Rudak, D.V. Kuis)  
(БГТУ, г. Минск, РБ)

E-mail для связи с авторами: puma.legno@inbox.ru

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ СТРУЖКИ

### INFLUENCE OF PARTICLE BOARDS MILLING MODE ON CHIP FRACTIONAL STRUCTURE

*Для исследованных режимов фрезерования ДСтП установлены величины математических ожиданий, дисперсий и среднеквадратических отклонений, характеризующие распределение размеров образующихся частиц стружки по фракциям.*

*For the studied modes of milling of DSTP sizes of population means, dispersions and the mean square deviations, characterizing distribution of the sizes of being formed particles of shaving on fractions are established.*

На эффективность работы системы аспирации при фрезеровании древесины и древесных материалов большое влияние оказывает фракционный состав улавливаемых стружки и пыли. С размерами древесных частиц связаны силы сопротивления их движению со стороны воздушной среды. Частицы стружки больших размеров в момент выхода из зоны резания обладают высокой кинетической энергией, их скорость падает медленно, что затрудняет улавливание [1].

Процесс фрезерования характеризуется различной толщиной стружки в зависимости от режима резания, направления подачи (встречной или попутной) и, как правило,