

П.В. Рудак, Д.В. Куис, О.Г. Рудак  
P.V. Rudak, D.V. Kuis, O.G. Rudak

Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», Минск, Беларусь  
Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ НА ЖАРОСТОЙКОСТЬ  
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ НОЖЕЙ  
С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМИ  
ПОКРЫТИЯМИ**  
**HEAT-RESISTANT TEST RESULTS FOR CARBIDE WOOD KNIVES  
WITH NANOSTRUCTURED VACUUM-PLASMA COATINGS**

**Аннотация:** Работа посвящена экспериментальному определению наиболее жаростойкой архитектуры наноструктурированного вакуумно-плазменного покрытия системы TiAlN, нанесенного на дереворежущие ножи из однокарбидного вольфрамокобальтового твердого сплава. Приводятся результаты испытаний на жаростойкость пластин однокарбидного вольфрама-кобальтового твердого сплава SMG 02 с нанесенными вакуумно-плазменными покрытиями системы TiAlN различной архитектуры.

**Summary:** The work is devoted to the experimental determination of the most extra heat-resistant nanostructured TiAlN architecture system vacuum plasma coating deposited on wood cutting carbide knives. The results of the tests on the heat resistance of the SMG 02 carbide plate with applied TiAlN vacuum plasma coating of different architectures.

**Ключевые слова:** Вакуумно-плазменные покрытия; наноструктура; жаростойкость; архитектура покрытия; твердый сплав; дереворежущий нож.

**Key words:** Vacuum plasma coating; nanostructure; heat resistance; covering architecture; hard alloy; woodcutting knife.

**Введение.** На сегодняшний день при обработке резанием плитных композиционных материалов на основе древесины (MDF, ДВП, ДСтП и др.) широко применяются режущие элементы из однокарбидных вольфрамокобальтовых твердых сплавов [1]. Частицы законденсированного связующего в обрабатываемом материале в процессе резания заготовок вызывают повышенный износ инструмента [2]. При этом важным фактором, определяющим интенсивность изнашивания дереворежущего инструмента является высокая температура лезвия (400-800°C) [3] в связи с низкой теплопроводностью древесины, ее стружки и невозможностью применения охлаждающих жидкостей.

Режущие элементы дереворежущего инструмента должны обладать сопротивлением окислению при высоких температурах – жаростойкостью.

Актуальным на сегодняшний день является разработка жаростойких наноструктурированных вакуумно-плазменных покрытий твердосплавных ножей дереворежущего инструмента [4].

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является определение наиболее жаростойкой архитектуры наноструктурированного вакуумно-плазменного покрытия системы TiAlN, нанесенного на дереворежущие ножи из однокарбидного вольфрамокобальтового твердого сплава.

Для достижения поставленной цели необходимо проведение испытаний на жаростойкость пластин однокарбидного вольфрама-кобальтового твердого сплава SMG 02 с нанесенными вакуумно-плазменными покрытиями системы TiAlN различной архитектуры.

**Условия, материалы и методы исследования.** Осаждение покрытий проводилось на вакуумно-дуговой установке УРМЗ.279.048, оснащенной сепаратором макрочастиц [5]. При этом были использованы катоды из титана ВТ1-0 и алюминия [6]. Осаждение при различных режимах осуществляли на подложки из однокарбидного вольфрамокобальтового твердого сплава SMG 02. Основные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 Основные характеристики вольфрамокобальтового твердого сплава SMG 02

Марка твердого сплава		Co, %	Средняя величина зерна WC, мкм	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	RA
по ИСО513	наиболее близкая по ГОСТ 3882-74				
SMG02 (<K 01)	ВК 3 0М	2,5	0,5-0,8	15,25	95,4

Давление азота варьировали в интервале  $0,4 \times 10^{-2}$  Па. Ток дуги для титанового катода устанавливался на уровне – 55 А, для алюминиевого катода составлял 50 А [7].

Исходя из максимальной скорости осаждения и равномерности осаждения покрытий, были выбраны следующие значения: ток фокусирующей катушки – 3 А, ток направляющей катушки – 0,7 А [8].

В качестве материала подслоя использовался титан.

Для определения эффективности защитной способности покрытия в качестве эталона был выбран образец однокарбидного вольфрамокобальтового твердого сплава SMG 02 без покрытия [9].

Испытания на жаростойкость защитных покрытий различных составов проводились в соответствии с ГОСТ 6130-71 «Металлы. Методы определения жаростойкости».

Жаростойкость определяли после выдержки образцов в печи в воздушной атмосфере в течение заданного времени при постоянной температуре.

Перед испытаниями образцы с покрытиями были обезжирены этиловым спиртом. Испытания проводили в керамических тиглях, которые были прокалены до постоянной массы [10]. Перед испытанием тигли с образцами взвешивали на лабораторных аналитических весах с точностью  $\pm 0,1$  мг, затем загружали в печь, имеющую заданную температуру (ГОСТом также допускается загрузка образцов в холодную печь).

Началом испытания считали момент достижения в рабочей зоне печи заданной температуры. Концом испытания считали момент выгрузки образцов по истечении срока испытания.

После нагрева образцы остужали на воздухе и проводили взвешивание на лабораторных аналитических весах с точностью  $\pm 0,1$  мг. Жаростойкость опре-

делялась по привесу  $\Delta m$ , мг/см<sup>2</sup>. Подсчет поверхности производили по суммарной площади, определяемой измерением образца с точностью  $\pm 0,1$  мм.

Применялась универсальная электропечь SNOL 8,2/1100, предназначенная для нагрева, обжига, прокали и других видов термической обработки керамики и различных материалов.

Печь обеспечивает автоматическое регулирование температуры в диапазоне от 50–1100°C. При этом, стабильность температуры в установившемся тепловом режиме составляет  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Нагрев осуществляется с четырех сторон, обеспечивая быстрый и равномерный разогрев образца с отклонением температуры в отдельных точках печи в зоне расположения образцов не более  $\pm 5^\circ\text{C}$ .

Применялись лабораторные аналитические весы ВЛА-200-М. Весы обеспечивают взвешивание с точностью  $\pm 0,1$  мг.

В соответствии с ГОСТ 6130-71 каждая точка определяется как среднее арифметическое результатов испытания не менее трех образцов.

**Результаты исследования.** Результаты испытаний жаростойкости пластин однокарбидного вольфрамакобальтового твердого сплава SMG 02 с нанесенными вакуумно-плазменными покрытиями различной архитектуры представлены в таблице 2.

Таблица 2 Результаты испытаний жаростойкости твердосплавных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями различной архитектуры

Образец	Температура $T$ , °C							
	400		600		700		800	
	$t$ , ч	$\Delta m$ , мг/см <sup>2</sup>	$t$ , ч	$\Delta m$ , мг/см <sup>2</sup>	$t$ , ч	$\Delta m$ , мг/см <sup>2</sup>	$t$ , ч	$\Delta m$ , мг/см <sup>2</sup>
Эталон	1	0,2	1	0,3	1	0,4	1	0,4
	2	0,3	2	0,3	2	0,4	2	0,5
	3	0,3	3	0,4	3	0,6	3	0,6
	4	0,3	4	0,5	4	0,7	4	0,8
	6	0,3	6	0,6	6	0,8	6	0,9
	Покрытие Ti- TiN-(Ti,Al)N	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1
2		0,2	2	0,2	2	0,2	2	0,3
3		0,2	3	0,2	3	0,3	3	0,3
4		0,2	4	0,2	4	0,3	4	0,4
6		0,2	6	0,2	6	0,4	6	0,4
Покрытие Ti-TiN-AlN		1	0,2	1	0,2	1	0,2	1
	2	0,2	2	0,2	2	0,3	2	0,3
	3	0,2	3	0,2	3	0,3	3	0,4
	4	0,2	4	0,3	4	0,3	4	0,4
	6	0,3	6	0,3	6	0,4	6	0,5
	Покрытие Ti- AlN-(Ti,Al)N	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1
2		0,2	2	0,2	2	0,3	2	0,3
3		0,2	3	0,2	3	0,3	3	0,4
4		0,2	4	0,3	4	0,4	4	0,5
6		0,3	6	0,3	6	0,5	6	0,6
Покрытие Ti-(Ti,Al)N- AlN		1	0,2	1	0,2	1	0,2	1
	2	0,2	2	0,2	2	0,3	2	0,3
	3	0,2	3	0,2	3	0,3	3	0,4
	4	0,2	4	0,3	4	0,4	4	0,5
	6	0,3	6	0,4	6	0,5	6	0,6

**Выводы.** Повышение жаростойкости по сравнению с эталоном (пластина однокарбидного вольфрамакобальтового твердого сплава SMG 02 без покрытия), %:

- покрытие Ti-TiN-(Ti,Al)N – до  $\approx 67\%$  (в среднем среди результатов при различном времени выдержки  $\approx 44\%$ );

- покрытие Ti-TiN-AlN – до  $\approx 57\%$  (в среднем среди результатов при различном времени выдержки  $\approx 38\%$ );

- покрытие Ti-AlN-(Ti,Al)N – до  $\approx 50\%$  (в среднем среди результатов при различном времени выдержки  $\approx 35\%$ );

- покрытие Ti-(Ti,Al)N-AlN – до  $\approx 50\%$  (в среднем среди результатов при различном времени выдержки  $\approx 34\%$ ).

Наибольшее повышение жаростойкости по сравнению с пластиной однокарбидного вольфрамакобальтового твердого сплава SMG 02 без покрытия среди исследованных обеспечивает покрытие с архитектурой Ti-TiN-(Ti,Al)N – до  $\approx 67\%$  (в среднем среди результатов при различном времени выдержки  $\approx 44\%$ ).

#### *Библиографический список*

1. Rudak P.V. Experimental researches tribological properties of hard-alloy blades with a vacuum-plasma coating in the chipboards milling process / P.V. Rudak, J. Kováč, D.V. Kuis, O.G. Rudak, Š. Barčík, J. Krilek, E.J. Razumov // Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun. 2015, Volume 63, Issue 5, pp. 1543-1547.

2. Рудак П.В. Структурообразование наноструктурированных вакуумно-плазменных покрытий / П.В. Рудак, Д.В. Куис, С.Д. Латушкина // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых.– Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – С.78.

3. Рудак, П. В. Стойкость режущих элементов концевого фрезерного инструмента при обработке плитных древесных материалов / П. В. Рудак // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2009. С. 306–310.

4. Латушкина, С.Д. Износостойкие наноструктурные композитные вакуумно-плазменные покрытия / С.Д. Латушкина, Д.В. Куис, П.В. Рудак, О.Ю. Пискунова, О.И. Посылкина, А.Г. Жижченко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26-28 ноября 2014 г.: в 2 ч. – Минск: БГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 202-206.

5. Гришкевич, А.А. Повышение ресурса дереворежущего инструмента с помощью упрочняющих технологий при обработке плитных материалов / А.А. Гришкевич, В.В. Чаевский, П.В. Рудак, В.В. Углов, А.К. Кулешов // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19-20 нояб. 2008 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т ; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – Ч.2. – С. 237–241.

6. Карпович, С. И. Оптимизация свойств упрочненного слоя на дереворежущем инструменте / Карпович, С. И., Латушкина С. Д., Жук Д. В., Карпович С. С., Пискунова О. Ю. // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть.– С. 193-195.

7. Латушкина, С.Д., Наноструктурные композитные покрытия (Ti,N)Cu, осажденные из сепарированной вакуумно-дуговой плазмы / С.Д. Латушкина, Д.В. Куис, И.М. Романов, А.Г. Жижченко, О.И. Посылкина, О.Ю. Пискунова // Наноструктуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. / редкол.: П. А Витязь [и др.]. – Минск: ИТМО, 2014. – С. 289-294.

8. Латушкина, С.Д. Использование вакуумно-плазменных покрытий для упрочнения режущего инструмента / С.Д. Латушкина, Д.В. Куис, А.Г. Жижченко, О.И. Гапанович, О.Ю. Пискунова // XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Новые стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий»: сб. материалов. – Запорожье: ЗНТУ, 2014. – С. 175-176.

9. Латушкина, С.Д. Многослойные TiN/(TiN)Cu покрытия, осажденные из сепарированных потоков вакуумно-дуговой плазмы / С.Д. Латушкина, А.Г. Жижченко, О.Ю. Пискунова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, Кн. 2. – С. 205-209.

10. Поболь, И.Л. Упрочняющие покрытия для деревообрабатывающего инструмента / И.Л. Поболь, П.В. Рудак // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. VIII междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 29-30 окт. 2009 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: А.И. Свириденко (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2009. – С. 90-91.

#### ***Сведения об авторах***

1. Рудак Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии металлов Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, ул. Свердлова 13<sup>а</sup>, тел. +375 29 704 44 15, e-mail: RudakPV@belstu.by.

2. Куис Дмитрий Валерьевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой материаловедения и технологии металлов Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, ул. Свердлова 13<sup>а</sup>, тел. +375 29 776 93 86, e-mail: KuisDV@belstu.by.

3. Рудак Оксана Геннадьевна – магистр технических наук, ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, ул. Свердлова 13<sup>а</sup>, тел. +375 29 550 21 04, e-mail: RudakOG@belstu.by.

#### ***Authors' personal details***

1. Rudak Pavel Viktorovich – Candidate of Engineering Sciences, associate professor of the department of materials science and metal technology, Belarussian State Technological University, 13a, Sverdlova str., Minsk, Belarus, tel.: +375 29 704 44 15, e-mail: RudakPV@belstu.by.

2. Rudak Oksana Genadievna – Master of Engineering, assistant lecturer of the department of technology and design of wood products, Belarussian State Technological University, 13a, Sverdlova str., Minsk, Belarus, tel.: +375 29 704 44 15, e-mail: RudakOG@belstu.by.

3. Kuis Dmitriy Valerievich – Candidate of Engineering Sciences, head of the department of materials science and metal technology, Belarussian State Technological University, 13a, Sverdlova str., Minsk, Belarus, tel.: +375 29 776 93 86, e-mail: KuisDV@belstu.by.