

*Выводы*

1. Разработана и обоснована модель диагностирования работоспособного ТС узла.
2. Предложено применять трехуровневую оценку работоспособного ТС узлов при диагностировании, исключая событие «отказ».
3. Оценочные критерии технического состояния узлов позволяют применять для контроля ТС различные приборы и диагностируемые параметры.

**Библиографический список**

1. Муромцев Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. М.: Химия, 1990. 143 с.
2. Сиваков В.П., Вихарев С.Н. Динамика роторов дисковых мельниц // Вестник Казанского технологического университета, 2012. № 6. 4 с.
3. Динамические испытания машин – эффективный метод оценки их технического состояния / С.Н. Вихарев, В.П. Сиваков, Е.Г. Сафронов, Ю.С. Вихарева // Вестник Казанского технологического университета, 2013. № 24. Т. 16. С.102–105.
4. Сиваков В.П., Музыкантова В.И., Гребенщиков М.Ю. Диагностирование засорения сит питателя высокого давления // Лесной журнал. 2015. № 1 (343). С. 144–151.

УДК 674.055:621.934(043.3)

**В.В. Чаевский<sup>1</sup>, В.В. Жилинский<sup>1</sup>, А.В. Романовская<sup>1</sup>,  
А.К. Кулешов<sup>2</sup>, Д.П. Русальский<sup>2</sup>**  
(V.V. Chaevskij<sup>1</sup>, V.V. Zhilinskij<sup>1</sup>, A.V. Romanovskaya<sup>1</sup>,  
A.K. Kuleshov<sup>2</sup>, D.P. Rusal'skij<sup>2</sup>)  
(<sup>1</sup>БГТУ, <sup>2</sup>БГУ, г. Минск, РБ)  
E-mail для связи с авторами: chayeuski@belstu.by

**МОДИФИКАЦИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
С ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ НОЖАМИ  
Ni-УДА/MoN-ПОКРЫТИЕМ**

**MODIFICATION OF WOOD-CUTTING TOOL  
WITH HARD ALLOY KNIVES BY Ni-UDD/MoN-COATING**

*В данной работе исследованы механические свойства (микротвердость, адгезия) двухслойных (УДА)/MoN-покрытий с Ni-ультрадисперсными алмазами на твердосплавных (карбид вольфрама WC – 2 вес. % Co) ножах дереворежущего фрезерного инструмента. MoN-покрытия осаждались методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ) на твердосплавные ножи. Ni-УДА слой являлся композиционным содержащим наноалмазы химическим покрытием (КХП), осажденным на образцы с MoN-покрытием с целью увеличения ресурса работы инструмента. Полученное значение критических нагрузок в 40 Н на скретч-треке покрытия свидетельствует о высокой величине адгезии Ni-УДА/MoN-покрытия с подложкой из твердого сплава WC-Co. Благодаря своим высоким механическим свойствам Ni-УДА/MoN-покрытия могут использоваться для увеличения периода стойкости дереворежущего фрезерного инструмента при резании древесно-стружечных плит на станках с ЧПУ.*

*In this work, the mechanical properties (the microhardness, the adhesion strength) of two layers Ni-ultradisperse diamonds (UDD)/MoN-coatings on hard alloys of the tungsten carbide WC – 2 wt. % Co knives of a wood-cutting milling tool have studied. MoN-coatings were deposited by cathode arc evaporation physical vapor deposition (CAE-PVD) technique on hard alloys knives. The Ni-UDD layer was a composite nanodia-mond-containing chemical coating (CChC) to improve tool life. The obtained value of the critical loads on the scratch track of the coating in 40 N proves a high value of the adhesion strength of the Ni-UDD/MoN-coating with hard alloy WC-Co substrate. Due to their high mechanical features Ni-UDD/MoN-coatings can be used to increase the durability period of a wood-cutting milling tool when cutting chipboards by CNC machines.*

Одним из наиболее эффективных методов улучшения функционально-эксплуатационных характеристик изделий и деталей различного назначения является повышение износостойкости поверхностей с помощью специальных покрытий. Среди них выделяются покрытия, получаемые совместным электроосаждением металлов с различными дисперсными частицами композиционных электрохимических покрытий (КЭП), которые показывают высокие физико-механические и электрохимические свойства [1, 2].

Использование ультрадисперсных алмазов (УДА), получаемых детонацией взрывчатых веществ, в качестве композиционного материала в электрохимических и химических металл-алмазных покрытиях приводит к повышению износостойкости покрытий, существенной адгезии, резкому снижению коэффициента трения [3]. Несмотря на то, что никелевая матрица не обладает высокими прочностными характеристиками и износостойкостью, КЭП никель-наноалмазные (Ni-УДА) обладают повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью, микротвердостью, которая в 1,5 раза превышает микротвердость никелевых покрытий [4].

Получение высокой адгезии металл-алмазного КЭП к твердосплавным основам (в т. ч. WC-Co) является серьезной проблемой. В работе использовался метод безэлектролизного осаждения композиционного химического покрытия (КХП) Ni-УДА. Кроме того, формирование градиентных покрытий на режущей кромке инструмента способствует значительному уменьшению интенсивности ее износа, причем создание промежуточного слоя между твердым ионно-плазменным покрытием и основой увеличивает эффект уменьшения интенсивности износа основы [5].

Целью данной работы было исследование механических свойств (микротвердости, адгезии) двухслойных Ni-УДА/MoN-покрытий на твердосплавных (карбид вольфрама WC – 2 вес. % Co) ножах фирмы Leitz (Германия) дереворежущего фрезерного инструмента комбинированным методом химической обработки и конденсацией вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ), позволяющей существенно улучшить эксплуатационные свойства изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, в т. ч. в станкостроении и деревообработке [6].

Ионно-плазменные MoN-покрытия осаждались методом КИБ на поверхность ножей на установке ВУ-1Б «Булат» по стандартной методике [6] – с предварительной обработкой ионами молибдена подложки в вакууме  $10^{-3}$  Па при потенциале подложки, равном –1 кВ, и последующим нанесением покрытий при токах горения дуги катода 180–200 А и опорном напряжении, равном –100 В, в атмосфере азота при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении соответствовала 700–900°C. Толщина MoN-покрытий не превышала 2,7 мкм.

Для химического осаждения Ni-УДА-покрытий использовался раствор следующего состава:

- 1) никель уксуснокислый ( $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) – 25 г/л;
- 2) гипофосфит натрия ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ ) – 25 г/л;

3) глицин ( $C_2H_5NO_2$ ) – 20 г/л;

4) УДА – 0,5 г/л.

В качестве дисперсных углеродсодержащих модификаторов использовались наноалмазы детонационного синтеза марки «УДА-ВК» (ТУ РБ 28619110.001195), являющиеся продуктом детонационного превращения взрывчатых веществ с размерами 3–5 нм, развитой удельной поверхностью 200–450 м<sup>2</sup>/г [7].

Химическое осаждение Ni-УДА-покрытий проводилось в течение 15 мин. Температура в процессе осаждения составляла 95 °С. Образцы с Ni-УДА-покрытиями подвергались отжигу в вакууме в печи SNOL 7.2/1100 при температуре 350 °С в течение 90 мин. Толщина Ni-УДА-покрытия составила 1,7–1,8 мкм.

Микротвердость испытуемых покрытий определялась при нагрузках 100 и 200 г по методу Виккерса на микротвердомерах ПМТ-3 и AFFRI – MVDM8 (Италия).

Измерение адгезионной прочности образцов с полученным покрытием проводилось на установке скретч-тестер, принцип работы которого основан на методе склерометрии – горизонтальном перемещении и царапании поверхности покрытия алмазным индентором (радиус закругления составлял 0,5 мм), предварительно внедренным на определенную глубину при пропорционально возрастающей нагрузке и определении критической нагрузки, при которой происходит отрыв или разрушение покрытия [8]. Адгезионная прочность оценивалась по величине критической нагрузки. Скорость движения индентора была 20 мм/мин, максимальная нагрузка на индентор в конце трека достигала 150 Н.

Сформированное Ni-УДА КХП/МоN-покрытие имеет максимальное значение микротвердости  $18 \pm 1$  ГПа при нагрузке 200 г (глубина проникновения индентора при этом составляет 2,1 мкм). При нагрузке 100 г (глубина проникновения индентора – 2 мкм) значение микротвердости Ni-УДА КХП/МоN-покрытия  $9,4 \pm 0,4$  ГПа практически не отличается от микротвердости Ni-УДА КХП ( $8,3 \pm 0,4$  ГПа). Вероятно, высокое значение микротвердости Ni-УДА КХП/МоN-покрытия при нагрузке 200 г можно объяснить проникновением индентора до твердого МоN-слоя.

Согласно полученным экспериментальным данным трибологических испытаний на скретч-тестере при достижении нагрузки  $40 \pm 1$  Н происходит разрушение Ni-УДА КХП/МоN-покрытий (рис. 1, 2). Сравнение полученного значения критической нагрузки с литературными данными [9] показывает, что прочность сцепления Ni-УДА КХП/МоN-покрытия с твердосплавной основой достаточно высокая.

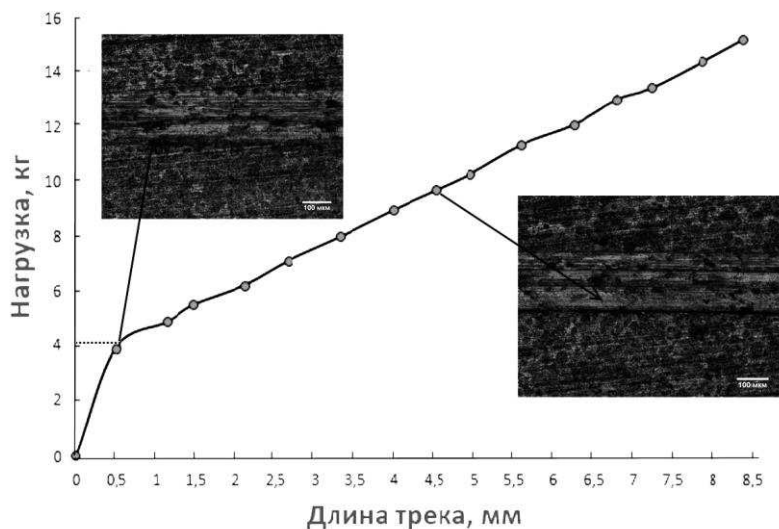


Рис. 1. Кривая микроскретча и снимки скретч-трека Ni-УДА КХП/МоN-покрытия

Таким образом, является перспективным нанесение на основе комбинированных методов воздействий на поверхности ножей фрезерного инструмента Ni-УДА- и MoN-покрытий, которые должны обеспечить существенное повышение периода стойкости и ресурса работы инструментов для деревообработки.

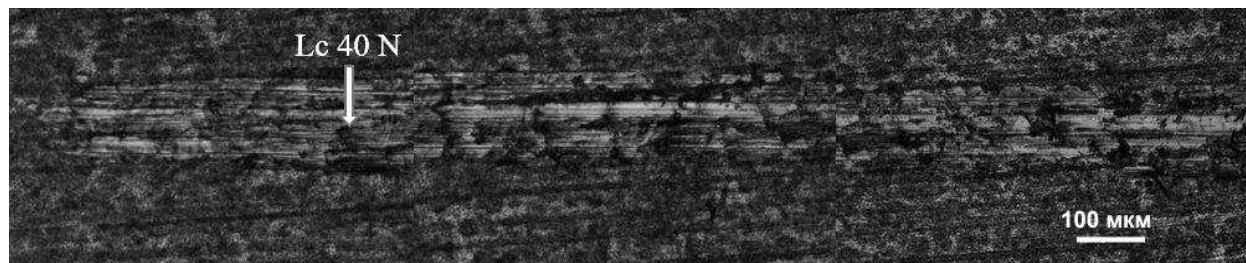


Рис. 2. Оптический снимок скретч-трека Ni-УДА KХП/MoN-покрытия

### *Выводы*

1. На твердосплавных (карбид вольфрама WC – 2 вес. % Co) ножах дереворежущего фрезерного инструмента сформированы комбинированным методом химического и ионно-плазменного осаждения Ni-УДА/MoN-покрытия.

2. Сформированное Ni-УДА KХП/MoN-покрытие имеет высокое значение микротвердости  $18 \pm 1$  ГПа.

3. Критическая нагрузка на скретч-треке Ni-УДА KХП/MoN-покрытия составила 40 Н, на основании чего можно утверждать, что адгезия покрытия с твердосплавной основой высокая.

4. Высокие физико-механические свойства Ni-УДА KХП/MoN-покрытия будут способствовать увеличению периода стойкости модифицированных фрез при резании древесных материалов.

### **Библиографический список**

1. Электрохимическое осаждение и свойства композиционных никелевых покрытий, содержащих углеродные наноматериалы / П.Б. Кубрак, В.Б. Дроздович, И.М. Жарский, В.В. Чаевский // Гальванотехника и обработка поверхности. 2012. Т. XX. № 2. С. 43–49.

2. Целуйкин В.Н. Трибологические свойства композиционных электрохимических покрытий на основе никеля // Трение и износ. 2010. Т. 31. № 5. С. 475–478.

3. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детанационного синтеза: свойства и применение // Успехи химии. 2001. Т. 70. № 7. С. 687–708.

4. Маслов А.Л. Разработка композиционных связей импортозамещающего алмазно-гальванического инструмента, упрочненных нанодисперсными порошками алмаза и оксида алюминия: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06 / НИТУ «МИСиС». М., 2015. 145 с.

5. Комбинированная гальваническая и ионно-плазменная обработка лезвий ножей дереворежущего инструмента / В.В. Чаевский [и др.] // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IX Междунар. евразийск. симпозиума, г. Екатеринбург, 23–25 мая 2014 г. Екатеринбург: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2014. С. 202–206.

6. Влияние ZrN, Mo-N покрытий, сульфатирования на износ ножей дереворежущего инструмента / А.К. Кулешов [и др.] // Трение и износ. 2014. Т. 35. № 3. С. 276–286.

7. Термическая стабильность хромовых покрытий, модифицированных наноразмерными углеродсодержащими добавками / А.Г. Кононов, Я.С. Сачивко, А.П. Корженевский, Р.Г. Штемплук // Актуальные вопросы машиноведения, 2015. Вып. 4. С. 353–357.

8. Определение механических свойств и адгезионной прочности ионно-плазменных покрытий склерометрическим методом / В.М. Матюнин [и др.] // МИТОМ. 2002. № 3. С. 36–39.

9. The effects of the H/E ratio of various Cr-N interlayers on the adhesion strength of CrZrNcoatings on tungsten carbide substrates / Hye-Kun Kim [et al.] // Surface & Coatings Technology. 2015. № 284. Pp. 230–234.

## **ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ В ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

### **PROBLEMS OF SAFETY AND ECOLOGY IN WOOD PROCESSING**

УДК 621.928:674

**Н.М. Горбачев<sup>1</sup>, С.П. Трофимов<sup>2</sup>**

(N.M. Gorbachev<sup>1</sup>, S.P. Trofimov<sup>2</sup>)

(<sup>1</sup>ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, <sup>2</sup>БГТУ, г. Минск, РБ)

E-mail для связи с авторами: [harbachov.nm@gmail.com](mailto:harbachov.nm@gmail.com), [tsp46@mail.ru](mailto:tsp46@mail.ru)

### **ЖАЛЮЗИЙНЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ С ПРОФИЛИРОВАННЫМИ КОЛЬЦАМИ ДЛЯ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

#### **LOUVER DUST COLLECTOR WITH PROFILED RINGS FOR ASPIRATION SYSTEMS**

*Процессы деревообработки часто характеризуются повышенным содержанием пылевой фракции в отходах механической обработки материалов и применением систем аспирации и пневмотранспорта измельченной древесины. Применение плитных композиционных материалов и высокоскоростных режимов работы технологического оборудования и режущих головок сопровождается повышением пылеобразования и необходимостью совершенствования систем очистки воздушных выбросов. В статье приведено краткое содержание результатов разработки жалюзийного пылеуловителя для применения в системах аспирации.*

*The processes of woodworking are often characterized by an increased content of dust fraction in the waste of mechanical processing of materials and the use of aspiration and pneumatic conveying systems of crushed wood. The use of plate composite materials and high-speed operation modes of technological equipment is accompanied by an increase in dust formation and the need to improve air purification systems. The article contains a summary of the results of the development of a louvered dust collector for use in aspiration systems.*

Тенденция роста пылевой составляющей в аэросмеси, перемещаемой системами аспирации и пневмотранспорта многих видов деревообрабатывающих производств, при