Электронный архив УГЛТУ

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 126–133.
Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 126–133.

Научная статья
УДК 674.055:621.934

ПРИМЕНЕНИЕ MoC ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Вадим Витальевич Чаевский[1], Андрей Константинович Кулешов[2], Пётр Коледа[3], Павел Викторович Рудак[4]
[1] Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь
[2] Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
[3] Technical University in Zvolen, Zvolen, Словацкая Республика
[4] ООО «БалансКонтакт», Минск, Беларусь
[1] chayeuski@belstu.by
[2] kuleshak@bsu.by
[3] peter.koleda@tuzvo.sk
[4] rudak.pavel@huawei.com

Аннотация. В статье исследовано влияние обработки методом КИБ лезвий ножей на износостойкость ножей фрезы и на ее режущую способность при плоском фрезеровании древесины дуба. Экспериментальным инструментом являлась торцевая фреза со сменными ножами из быстрорежущей стали HS 18-0-1-5 (ISO 4957:1999). Осажденное на поверхность ножей MoC покрытие увеличивает износостойкость лезвий ножей, в результате чего период стойкости модифицированного инструмента увеличивается в 1,3 раза. Установлено, что параметр шероховатости Ra поверхности древесины для ножей с MoC покрытием практически не изменяется во всем диапазоне применяемых скоростей подачи.

Ключевые слова: покрытия, износ инструмента, фрезерование древесины

Для цитирования: Чаевский В. В., Кулешов А. К, Коледа П., Рудак П. В. Применение MoC покрытий для усовершенствования дереворежущих инструментов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 126–133.

Благодарности: Исследования финансировались в рамках ГПНИ Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 3.2.7 «Исследование и разработка технологии упрочнения инструмента из сталей и сплавов нанесением высокопрочных покрытий гальваническими и плазменными методами»).

© Чаевский В. В., Кулешов А. К., Коледа П., Рудак П. В., 2022

Электронный архив УГЛТУ

Original article

APPLING MoC COATINGS TO IMPROVE WOOD-CUTTING TOOLS

Vadim V. Chayeuski[1], Andrey K. Kuleshov[2], Peter Koleda[3], Pavel V. Rudak[4]

[1] Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus
[2] Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
[3] Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovak Republic
[4] LLC «BalansContact», Minsk, Republic of Belarus
[1] chayeuski@belstu.by
[2] kuleshak@bsu.by
[3] peter.koleda@tuzvo.sk
[4] rudak.pavel@huawei.com

Abstract. The article investigates the effect of processing by Arc-PVD method of knive edges on the wear resistance of cutter knives and on its cutting ability during a flat milling of oak wood. The experimental tool was an end mill with interchangeable knives made of high speed steel HS 18-0-1-5 (ISO 4957:1999). The MoC coating deposited on the surface of the knives increases the wear resistance of the knife blades, as a result of which the durability period of the modified tool increases by 1.3 times. It was found that the roughness parameter Ra of the wood surface for knives coated MoC practically does not change in the entire range of applied feed rates.

Keywords: coatings, tool wear, wood milling

For citation: Chayeuski V. V., Kuleshov A. K., Koleda P., Rudak P. V. Appling MoC coatings to improve wood-cutting tools // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 126–133.

Acknowledgments: This research was financed by the State Budget Programme of Scientific Research of the Republic of Belarus «Materials Science, New Materials and Technologies» (assignment no. 3.2.7 «Research and development of technology for hardening tools made of steels and alloys with a deposition high-strength coatings by galvanic and plasma methods»).

Процесс обработки дерева считается более сложным, чем процесс обработки металлов. Дереворежущие инструменты испытывают высокие механические и термические нагрузки, пластическую деформацию, налипание, диффузный износ и окисление [1, 2]. В этих условиях инструменты из стальных сплавов быстро изнашиваются. Результаты исследований [3] показали, что основной причиной абразивного износа лезвия ножа фрезы при обработке древесины является трение поверхности лезвия ножа с древесиной. Кроме того, на период стойкости инструмента значительно влияют его геометрия и кинематические параметры резания [4, 5]. Затраты

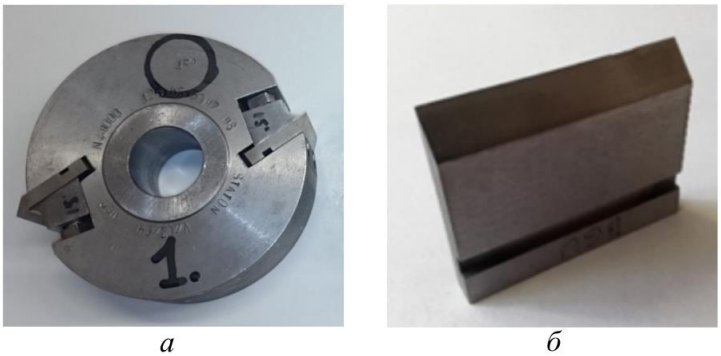
Электронный архив УГЛТУ

на деревообработку в основном состоят из затрат на сырье, энергию, рабочую силу, оборудование и инструменты. Усовершенствования инструментов могут увеличить их производительность, сократить время простоя, вызванное заменой инструмента, снизить потребление энергии и улучшить качество обработки. Использование модифицированных инструментов может позволить увеличить скорость резания [6]. Шероховатость поверхности как одно из важнейших свойств конечных изделий из дерева во многом зависит от особенностей структуры древесины, направления волокон древесины и характеристик режущего инструмента [7].

Установлено, что одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности лезвий ножей фрезерного инструмента с целью сохранения остроты режущей кромки лезвия является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ), с помощью которого сформированные покрытия увеличивают период стойкости инструмента [8]. Поэтому целью работы было исследование влияния КИБ обработки лезвий ножей на износостойкость ножей фрезы и на ее режущую способность.

Для целей эксперимента были использованы образцы черенков дуба (Quercus robus L.) со средним возрастом 95 лет. Пиломатериалы толщиной 30 мм были получены в Техническом университете (ТУ) в Зволене (Словацкая Республика). Пиломатериал был просушен в печи до влажности 8 %. После сушки пиломатериал был разрезан на заготовки. Конечные размеры образцов: толщина – 25 мм, ширина – 100 мм, длина – 750 мм.

Плоское фрезерование образцов проводилось на деревообрабатывающем вертикальном фрезерном станке ZDS-2 производства Liptovské Strojárne (Словацкая Республика). В экспериментальных измерениях в качестве инструмента использовалась фрезерная головка производства Staton (Turany, Словацкая Республика), в которой устанавливалось два ножа (рис. 1, *а*). Исследуемые ножи зажимались так, чтобы диаметр режущей окружности фрезерной головки был D = 125 мм. Фрезерные ножи (рис. 1, *б*) были изготовлены из инструментальной высоколегированной Cr-V-Mo стали HS 18-0-2-5 (ISO 4957:2018) и отшлифованы.



а *б*

Рис. 1. Инструменты экспериментальных измерений:
а – фрезерная головка; *б* – сменный нож фрезы

Электронный архив УГЛТУ

Фрезерный нож *B* был дополнительно обработан с помощью метода КИБ, в то время как нож *A* (контрольный) не подвергался дополнительной обработке поверхности. Нанесение покрытия на нож *B* осуществлялось в лаборатории кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета совместно с кафедрой физики УО «Белорусский государственный технологический университет».

Твердость лезвий ножей *A* и *B* была измерена в ТУ в Зволене с помощью твердомера *Škoda RB1*. Твердость лезвия ножа *A* составила 64 HRC. Характеристики покрытия ножа *B* приведены в табл. 1.

Технические и технологические параметры процесса фрезерования приведены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики покрытия ножа *B*

Параметр процесса фрезерования	Показатели
Тип покрытия	MoC
Толщина покрытия	1 мкм
Температура осаждения	600 °C
Средняя твердость покрытия	57 HRC

Таблица 2

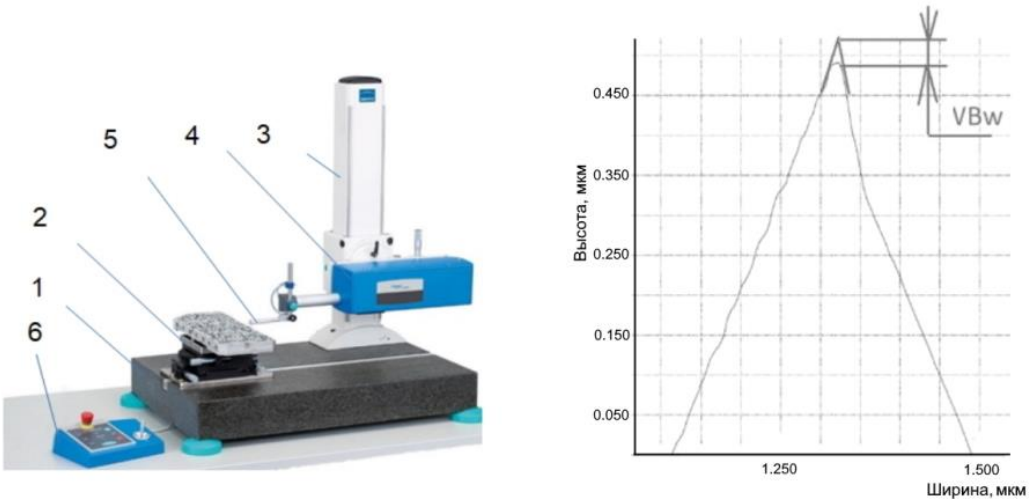
Технические и технологические параметры процесса фрезерования

Параметр		Значение
Геометрия ножа	Угол задней грани γ	15°
	Угол заточки лезвия β	45°
	Угол клиренса α	30°
	Угол резания δ	75°
Скорость вращения *n* фрезы		3000 об./мин; 4000 об./мин; 5000 об./мин
Скорость подачи V_F		6 м/мин; 8 м/мин; 10 м/мин; 12 м/мин; 14 м/мин
Глубина резания a_e		1 мм; 2 мм

Для обработки данных технических и технологических параметров процесса фрезерования использовалась также программа *Statistica 12* (США).

Измерения износа режущей кромки лезвия фрезерных ножей проводились в лаборатории Ironal (предместье Banska Bystrica, г. Зволен) на контурографе модели *Hommel – Etamic C8000 Contour* немецкой фирмы *Hommel* (рис. 2, *а*). Параметр износа WB_W лезвия ножа оценивался по уменьшению острия кромки лезвия ножа [9]: смещению режущей кромки лезвия вдоль оси режущего угла клина VB_W на контурных графиках (рис. 2, *б*) с использованием программы *Evovis*.

Электронный архив УГЛТУ



а *б*

Рис. 2. Измерения износа режущей кромки лезвия фрезерных ножей:
а – контурограф *Hommel – Etamic C8000 Contour*:
1 – гранитное основание, 2 – стол, 3 – консоль, 4 – кронштейн,
5 – сенсорная (сканирующая) головка, 6 – панель управления;
б – профилограмма кромки лезвия ножа с указанием смещения режущей кромки лезвия вдоль оси режущего угла клина VB_W

Экспериментальные измерения шероховатости проводились на оборудовании, расположенном в лаборатории Технического университета в Зволене. Для определения качества шероховатости поверхности был использован бесконтактный лазерный профилометр (LPM-4), работающий по оптическому методу [10]. Лазерный луч создает след света на контролируемой поверхности, который сканируется и после ЖК-камеры преобразуется в двоичную форму изображения.

Полученные зависимости значений параметра износа WB_W кромок лезвий ножей от длины фрезерования L (рис. 3) подтвердили исследования [4, 5]. Характер износа ножей демонстрировали две зоны: зона приработки L = 0–90 м, в которой наблюдался наиболее интенсивный износ кромок лезвий ножей, и зона нормального износа L = 90–270 м.

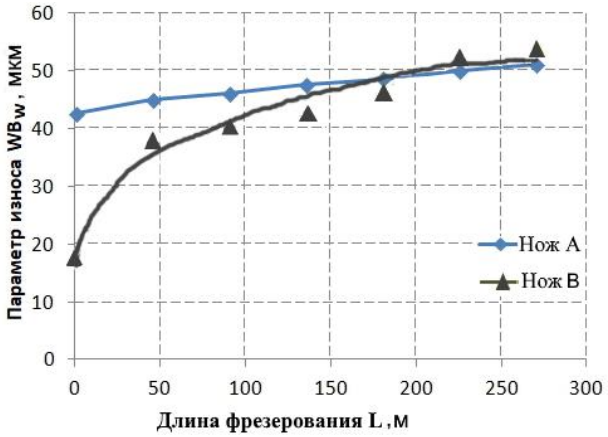


Рис. 3. Зависимость параметра износа WB_W кромок лезвий ножей фрезы от длины фрезерования L (n = 5000 об./мин; a_e = 1 мм; V_F = (6, 8, 10, 12, 14) м/мин)

Электронный архив УГЛТУ

Лезвие ножа без обработки поверхности имело интенсивный износ без существенных изменений значения его величины. Износ лезвий ножей с покрытием имел достаточно монотонный характер с незначительным увеличением величины износа в диапазоне длины фрезерования L = 100–180 м.

Качество поверхности обработанного образца оценивалось параметром шероховатости поверхности *Ra*. На рис. 4 показаны зависимости среднеарифметических значений параметра шероховатости поверхности *Ra* обработанных поверхностей фрезерованных образцов древесины дуба от скорости подачи для всех исследованных ножей фрезы.

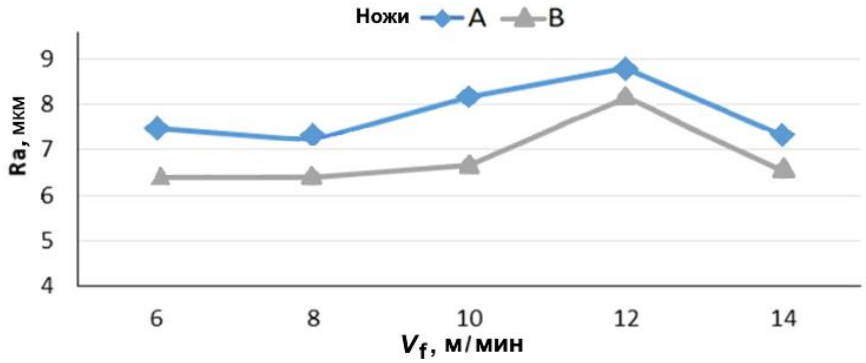


Рис. 4. Влияние скорости подачи V_F на значение шероховатости *Ra* образцов древесины (параметры фрезерования: n = 5000 об./мин, a_e = 1 мм, длина фрезерования L = 11,25–270,00 м)

На основании анализа показанной на рис. 4 зависимостей для всех исследованных ножей при параметрах фрезерования n = 5000 об./мин, a_e = 1 мм, длине фрезерования L = 11,25–270,00 м можно сделать вывод, что в результате нанесения покрытия на лезвия ножей фрезы шероховатость поверхности *Ra* фрезерованных образцов древесины практически не изменилась и увеличилась в среднем на 1,5 мкм на образцах древесины дуба для немодифицированной фрезы во всем диапазоне применяемых скоростей подачи V_F.

Таким образом, ионно-плазменная обработка лезвий ножей фрезы, увеличивая их износостойкость, способствует также сохранению значений параметра шероховатости поверхности *Ra* древесины как критерия качества.

Проведенные лабораторные испытания модифицированного инструмента показали, что сформированное методом КИБ на поверхности лезвий стальных HS 18-0-1-5 ножей фрезерного инструмента MoC покрытие способствует увеличению его периода стойкости в 1,3 раза по сравнению с необработанным инструментом при резании древесины дуба (сертификат лабораторных испытаний на кафедре технологии производства и автоматизации технологического ф-та Технического университета в Зволене (Technical University in Zvolen) от 25.06.2020 г.).

Электронный архив УГЛТУ

Выводы. Осажденное методом КИБ на поверхность лезвий стальных HS 18-0-1-5 ножей фрезерного инструмента MoC покрытие увеличивает износостойкость лезвий ножей, в результате чего период стойкости модифицированного инструмента увеличивается в 1,3 раза**.** Ионно-плазменная обработка лезвий ножей фрезы, увеличивая их износостойкость, способствует сохранению значений параметра шероховатости поверхности *Ra* древесины дуба как критерия качества.

Список источников

1. Corrosion mechanisms in the wood industry, especially caused by tannins / H. Winkelmann, E. Badisch, M. Roy, H. Danninger // Mater. Corros. – 2009. – Vol. 60. – P. 40–48.

2. Lukashov S. V., Pamfilov E. A., Prozorov Y. S. Mechanochemical fracture of the components of wood-cutting equipment // Mater. Sci. – 2014. – Vol. 50. – P. 148–155.

3. Beer P. In situ examinations of the friction properties of chromium coated tools in contact with wet wood // Tribol. Lett. – 2005. – Vol. 18 (3). – P. 373–376.

4. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // Eur. J. Wood Prod. – 2009. – Vol. 67 (2). – P. 173–176.

5. Bendikine R., Keturakis G. The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance // J. Wood Sci. – 2017. – Vol. 63. – P. 606–614.

6. Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools // CIRP J. Manuf. Sci. Technol. – 2017. – Vol. 18. – P. 1–9.

7. Keturakis G., Bendikiene R., Baltrusaitis A. Tool Wear Evolution and Surface Formation in Milling Various Wood Species // BioResources. – 2017. – Vol. 12 (4). – P. 7943–7954.

8. Structural and Mechanical Properties of the ZrC/Ni-Nanodiamond Coating Synthesized by the PVD and Electroplating Processes for the Cutting Knifes / V. Chayeuski et al. // J. Mater. Eng. Perform. – 2019. – Vol. 28 (3). – P. 1278–1285.

9. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors influencing steel tool wear when milling wood // Wood Science and Technology. – 2005. – Vol. 39 (3). – P. 225–234.

10. Effects of technical and technological parameters on the surface quality when milling thermally modified European oak wood / M. Korčok et al. // BioResources. – 2018. – Vol. 13 (4). – P. 8569–8577.

Электронный архив УГЛТУ

References

1. Corrosion mechanisms in the wood industry, especially caused by tannins / H. Winkelmann, E. Badisch, M. Roy, H. Danninger // Mater. Corros. – 2009. – Vol. 60. – P. 40–48.

2. Lukashov S. V., Pamfilov E. A., Prozorov Y. S. Mechanochemical fracture of the components of wood-cutting equipment // Mater. Sci. – 2014. – Vol. 50. – P. 148–155.

3. Beer P. In situ examinations of the friction properties of chromium coated tools in contact with wet wood // Tribol. Lett. – 2005. – Vol. 18 (3). – P. 373–376.

4. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // Eur. J. Wood Prod. – 2009. – Vol. 67 (2). – P. 173–176.

5. Bendikine R., Keturakis G. The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance // J. Wood Sci. – 2017. – Vol. 63. – P. 606–614.

6. Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools // CIRP J. Manuf. Sci. Technol. – 2017. – Vol. 18. – P. 1–9.

7. Keturakis G., Bendikiene R., Baltrusaitis A. Tool Wear Evolution and Surface Formation in Milling Various Wood Species // BioResources. – 2017. – Vol. 12 (4). – P. 7943–7954.

8. Structural and Mechanical Properties of the ZrC/Ni-Nanodiamond Coating Synthesized by the PVD and Electroplating Processes for the Cutting Knifes / V. Chayeuski et al. // J. Mater. Eng. Perform. – 2019. – Vol. 28 (3). – P. 1278–1285.

9. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors influencing steel tool wear when milling wood // Wood Science and Technology. – 2005. – Vol. 39 (3). – P. 225–234.

10. Effects of technical and technological parameters on the surface quality when milling thermally modified European oak wood / M. Korčok et al. // BioResources. – 2018. – Vol. 13 (4). – P. 8569–8577.