



## Wpływ wybranych sposobów modyfikacji powierzchni ostrzy WC-Co na siły skrawania podczas frezowania płyty wiórowej

### The effect of selected WC-Co blades surface modifications on cutting forces during of particleboard milling

Jacek Wilkowski<sup>a,\*</sup>, ORCID: 0000-0001-5798-6761  
Marek Barlak<sup>b</sup>, ORCID: 0000-0003-1416-7461

<sup>a</sup>Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Technologii Drewna, Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa, Polska

<sup>b</sup>Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku, Departament Fizyki Materiałów, Zakład Technologii Plazmowych i Jonowych, ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock, Polska

\*Osoba do korespondencji: [jacek\\_wilkowski@sggw.pl](mailto:jacek_wilkowski@sggw.pl)

---

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ dwóch sposobów modyfikacji powierzchni ostrzy ze standardowego węgla spiekane (WC-Co) na siły skrawania, podczas frezowania trójwarstwowej płyty wiórowej. W badaniach wykorzystano wymienne noże do głowic frezarskich w trzech wariantach: kontrolne (niemodyfikowane), modyfikowane powierzchniowo w procesie implantacji jonów azotu, oraz modyfikowane poprzez naniesienie na powierzchnię powłoki z azotku tytanu (TiN). Frezowano trójwarstwową płytę wiórową nowymi ostrzami na sterowanym numerycznie frezarskim centrum obróbczym (CNC). Zastosowano stałe parametry skrawania. Podczas obróbki rejestrowano siły skrawania przy użyciu platformy pomiarowej z przetwornikiem piezoelektrycznym. Zarejestrowane sygnały pomiarowe analizowano w dziedzinie częstotliwości z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Najniższe wartości sił zaobserwowano dla ostrza implantowanego jonami azotu, najwyższe dla ostrza z powłoką TiN.

#### Abstract

The paper presents the effect of two methods of surface modification of indexable knives from standard cemented carbide (WC-Co) on cutting forces during of three-layer

particleboard milling. The tests used indexable knives for milling heads in three variants: control (unmodified), surface modified in the process of nitrogen ion implantation, and modified by applying titanium nitride (TiN) coating. A three-layer particleboard has been milled with new tools on a numerically controlled milling machining center (CNC). Constant cutting parameters were used. During machining, cutting forces were recorded using a measuring platform with a piezoelectric transducer. The recorded measurement signals were analyzed in the frequency domain using the Fast Fourier Transform (FFT). The lowest values of forces were observed for the tool implanted with nitrogen ions, the highest for the tool with the TiN coating.

**Słowa kluczowe:** węgiel spiekany WC-Co, trójwarstwowa płyta wiórowa, frezowanie CNC, siły skrawania, implantacja jonów azotu, powłoka TiN, analiza FFT

**Keywords:** WC-Co cemented carbide, three-layer particleboard, CNC milling, cutting forces, nitrogen ion implantation, TiN coating, FFT analysis

### **Wprowadzenie**

Dominującym materiałem na ostrza skrawające dla przemysłu meblarskiego, a może nawet dla szeroko rozumianego przemysłu drzewnego, jest niewątpliwie węgiel spiekany. Najbardziej rozpowszechnionym jego rodzajem jest WC-Co, czyli węgiel wolframu z niewielkim dodatkiem spoiwa (do 4% udziału wagowego) w postaci kobaltu. Ostrza z WC-Co są trwalsze od narzędzi ze stali szybko tnącej (HSS) i konkurencyjne cenowo w porównaniu do ostrzy z diamentu polikrystalicznego (DPI). Wykorzystuje się je przy różnych sposobach obróbki (piłowanie, frezowanie, wiercenie), przy pracy w szerokim zakresie parametrów skrawania (Ramasamy, Ratnasingam 2010).

Właściwości węgla WC-Co są wyjątkowe z użytkowego punktu widzenia. Charakteryzuje się on dużą twardością, sztywnością, odpornością na odkształcenia ściskające i odpornością na zużycie w temperaturze pokojowej, jak również w wyższych temperaturach do 400°C (Sheikh-Ahmad, Bailey 1999; Bonny i in. 2010; Choi i in. 2010; Olovsjö i in. 2013).

Powyższe właściwości WC-Co są determinowane przez parametry mikrostruktury, np. odporność na kruche pękanie zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości spoiwa (Co), a twardość i odporność na zużycie wzrastają wraz ze zmniejszaniem się wielkości ziarna WC (Okamoto i in. 2005; Luyckx i in. 2007; Saito i in. 2006; Wilkowski i in. 2018). Wpływ na wielkość i kształt ziaren oraz udział spoiwa w materiale jest możliwy tylko na etapie wytwarzania WC-Co (Marshall, Kusoffsky 2013; Zhang i in. 2013). Natomiast, w przypadku narzędzi już wytworzonych istnieje możliwość poprawy ich właściwości poprzez modyfikację ich powierzchni roboczych (Belbah i in. 2014).

W literaturze możemy znaleźć informacje na temat trzech sposobów poprawy właściwości użytkowych narzędzi do obróbki materiałów drzewnych, w tym zwiększenia ich trwałości:

- osadzanie na powierzchni dodatkowej warstwy,
- modyfikację warstwy wierzchniej,
- obróbkę dupleksową, tj. modyfikacja warstwy wierzchniej + osadzanie dodatkowej warstwy.

Osadzanie dodatkowej warstwy oznacza zwykle nakładanie twardych powłok, wytwarzanych metodą PVD lub CVD (Beer i in. 1999; Nouveau i in. 2005; Faga, Settineri 2006; Darmawan i in. 2008). Modyfikację warstwy wierzchniej przez domieszkowanie realizowano głównie metodą azotowania (Beer i in. 2005; Sokołowska i in. 2009). Wyniki zastosowania implantacji jonów ze źródła azotu do stali narzędziowej przedstawiono w pracach Raebel i in. (1990) oraz Wilkowskiego i in. (2019).

W pierwszym etapie obróbki dupleksowej materiał narzędzia jest azotowany jonowo. Twarda powłoka może być osadzana w drugim etapie, np. w procesie rozpylania magnetronowego lub w procesie odparowywania łukowego (Beer i in. 2003; Labidi i in. 2005). Twarda powłoka ma lepsze właściwości adhezyjne, gdy jest osadzana na wstępnie obrobionym (azotowanym) podłożu. Ten sposób zwiększania przyczepności warstwy jest powszechnie znany i wykorzystywany (Barlak i in. 2007; Narojczyk i in. 2009).

#### **Cel i zakres pracy**

Celem pracy było zbadanie wpływu dwóch sposobów modyfikacji powierzchni ostrzy (implantowanych jonami azotu oraz z powłoką z azotku tytanu TiN) ze standardowego węgla spiekanego (WC-Co) na siły skrawania podczas frezowania trójwarstwowej płyty wiórowej.

#### **Materiały i metodyka badań**

W badaniach wykorzystano trzy wymienne noże do głowic frezarskich z węgla spiekanego WC-Co (rodzaj KCR08) o wymiarach 29,5×12,0×1,5 mm<sup>3</sup>. Podstawowe właściwości badanego materiału narzędziowego przedstawiono w Tabeli 1 a jego mikrostrukturę na Rys. 1. Dwa noże poddano modyfikacjom, trzeci był nożem niemodyfikowanym i stanowił wariant kontrolny podczas pomiarów sił skrawania - nóż nr 2 (Rys. 2). Pierwsza z modyfikacji polegała na naniesieniu na powierzchnię noża powłoki TiN metodą PVD (nóż nr 1). Druga modyfikacja wiązała się z procesem implantacji powierzchni przyłożenia ostrzy dawką 5e17 cm<sup>-2</sup> jonów azotu o energii 50 keV - nóż nr 3 (Rys. 2).

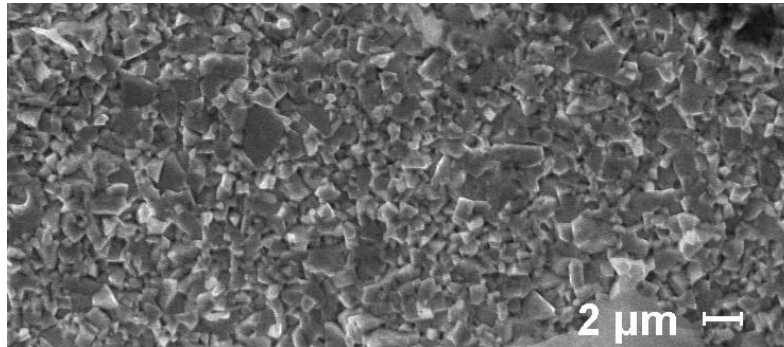
Materiałem obrabianym była trójwarstwowa płyta wiórowa o grubości 18 mm. W celu dokładnej charakterystyki materiału obrabianego określono istotne z punktu widzenia oporów skrawania właściwości fizyko-mechaniczne (Tabela 2). Badania właściwości płyt

przeprowadzono zgodnie z normami: PN-EN 310, PN-EN 323 i ISO 3340. Profil gęstości badanej płyty przedstawiono na Rys. 3.

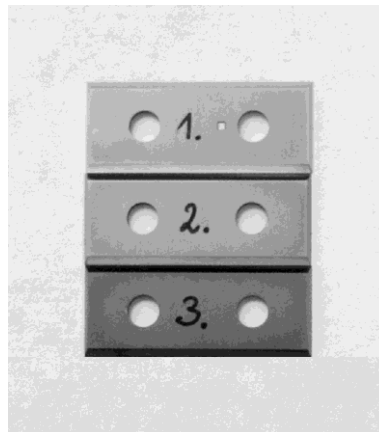
**Tabela 1.** Podstawowe właściwości frezarskich noży wymiennych WC-Co do obróbki materiałów drzewnych wykorzystywanych w badaniach ([www.ceratzit.com/en/products/wood-stone-working](http://www.ceratzit.com/en/products/wood-stone-working))

**Table 1.** The basic properties of WC-Co milling indexable knives for wood-based materials machining used in research

Oznaczenie	Producent	Wielkość ziarna WC	Zawartość spoiwa Co	Gęstość	Twardość			Wytrzymałość na zginanie	
		µm	%	g/cm <sup>3</sup>	HV10	HV30	HRA	MPa	P.S.I.
KCR08	Ceratzit (Austria)	0,5-0,8	3,2	15,2	1920	1885	93,4	2300	334



**Rys. 1.** Mikrostruktura przelomu badanego węgliku spiekanego WC-Co  
**Fig. 1.** The microstructure of WC-Co cemented carbide

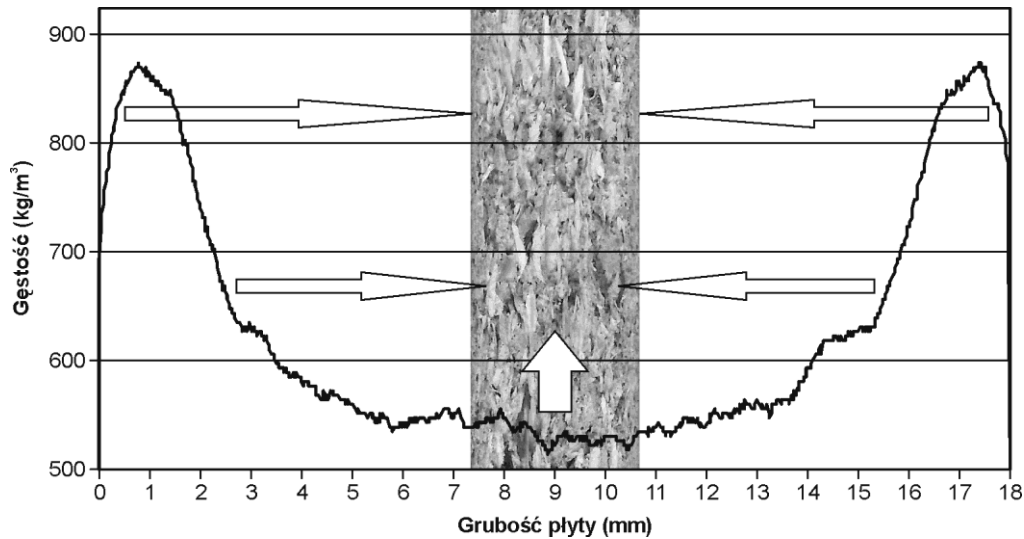


**Rys. 2.** Frezarskie noże wymienne WC-Co wykorzystywane w badaniach: 1 - z powłoką TiN, 2 - kontrolny (niemodyfikowany), 3 - implantowany jonami azotu

**Fig. 2.** The WC-Co indexable knives used in research: 1 - with TiN coating, 2 - control (unmodified), 3 - implanted with nitrogen ions

**Tabela 2.** Wybrane właściwości badanej trójwarstwowej płyty wiórowej  
**Table 2.** The selected properties of the tested three-layer particleboard

Płyta drewnopochodna	Gęstość (kg/m <sup>3</sup> )	Twardość Brinella	Wytrzymałość na zginanie (%)	Moduł sprężystości (MPa)	Zawartość piasku (%)
Wiórowa trójwarstwowa	649	2,6	8,7	2212	0,185



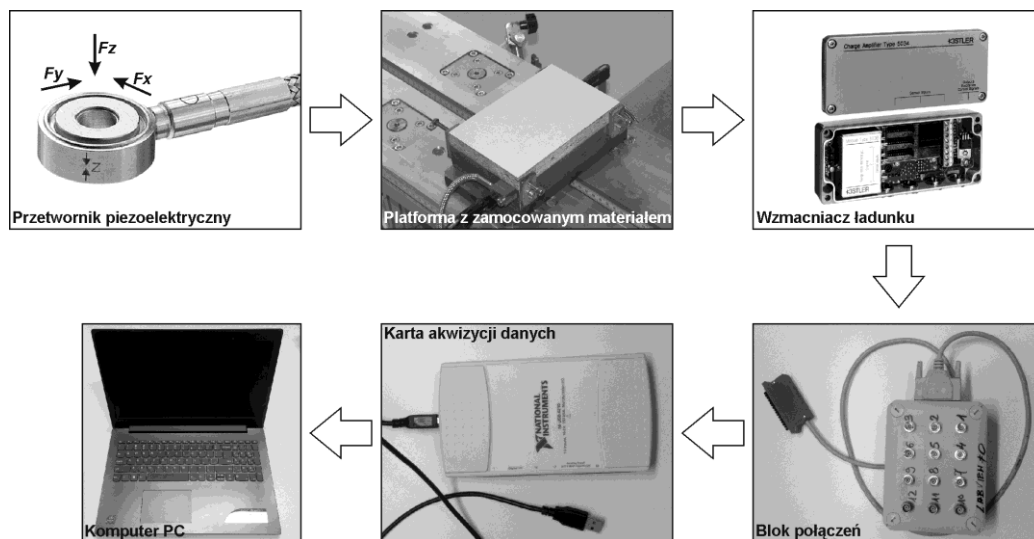
**Rys. 3.** Profil gęstości płyty wiórowej wykorzystywanej podczas obróbki  
**Fig. 3.** The density profile of the particleboard used in machining

Płyty frezowano na centrum obróbczym CNC Busellato Jet 130 z wykorzystaniem jednoostrzowej głowicy frezarskiej Faba FTS.07L4043.01 o średnicy 40 mm (Rys. 4). Skrawano rowki o głębokości 6 mm w formatkach płytowych o wymiarach 200×100×18 mm<sup>3</sup>, zamocowanych na platformie pomiarowej sił skrawania. Podczas pomiaru sił stosowano stałe parametry skrawania: obroty wrzeciona 18 000 obr./min, posuw na ostrze 0,15 mm. Skrawanie powtarzano pięciokrotnie dla każdego z noży w celu statystycznej analizy wyników.



**Rys. 4.** Głowica frezarska Faba FTS.07L4043.01  
**Fig. 4.** The FTS.07L4043.01 milling head

Rejestracja składowych sił skrawania odbywała się z wykorzystaniem toru pomiarowego przedstawionego na Rys. 5. Podstawowym elementem tego toru jest trójskładowy czujnik piezoelektryczny (Kistler 9601), współpracujący z odpowiednim wzmacniaczem ładunku (Kistler 5036). Układ ten daje możliwość pomiaru sił skrawania w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach. Sygnały pomiarowe są rejestrowane cyfrowo z wykorzystaniem 16-bitowej karty akwizycji danych - National Instruments NI USB-6210, o częstotliwości próbkowania 250 kS/s. Akwizycja danych pomiarowych oraz ich późniejsza obróbka odbywała się w aplikacji opracowanej w środowisku programowania NI LabVIEW 2015.

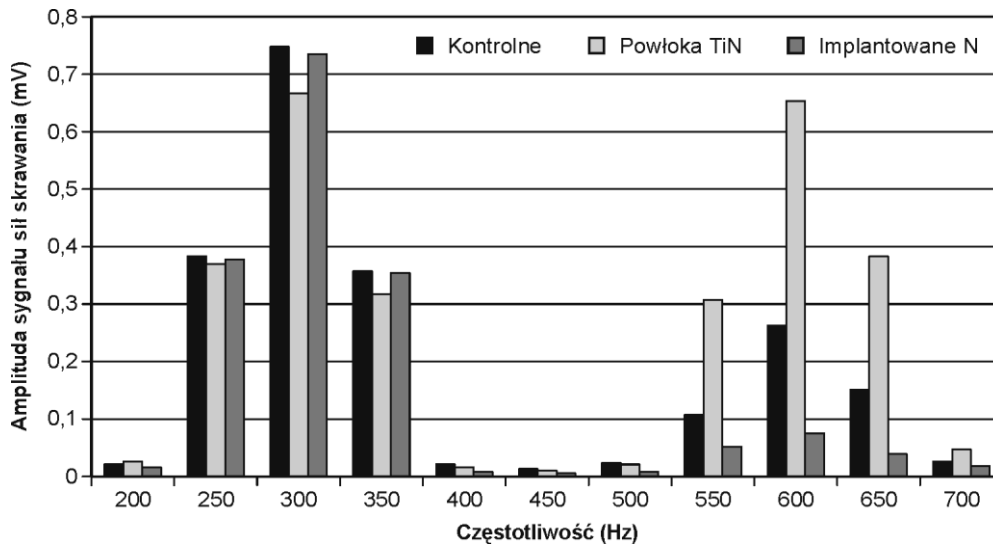


**Rys. 5.** Elementy toru pomiarowego sił skrawania podczas frezowania  
**Fig. 5.** The measuring chain of cutting forces during milling

Zarejestrowane sygnały składowej sił ( $F_y$ ) analizowano w dziedzinie częstotliwości z wykorzystaniem szybkiej transformacji Fouriera FFT (ang. *Fast Fourier Transform*). Algorytm FFT (zwany algorytmem FFT o podstawie 2) jest bardzo efektywną procedurą wyznaczania dyskretnej transformaty Fouriera (DFT) pod warunkiem, że liczba punktów sygnału poddawanych przekształceniu wynosi  $N = 2^k$ , gdzie  $k$  jest liczbą naturalną, czyli jest potęgą liczby 2. I tak, np. jeśli  $N = 512$ , to DFT wymaga 200 razy więcej mnożeń zespolonych, w stosunku do wymaganych w algorytmie FFT. Wyznaczenie DFT na komputerze klasy PC dla 2 mln punktów sygnału pochłonie ponad 3 tygodnie, natomiast wyznaczenie FFT na tym samym komputerze ponad 2 mln punktów ( $N = 2097152$ ) zabierze ok. 10 sekund (Lyons 2010).

### Wyniki badań i analiza

Na Rys. 6 przedstawiono fragment widma częstotliwościowego składowej siły skrawania  $F_y$  po szybkiej transformacji Fouriera FFT. Dla wszystkich badanych noży dominuje częstotliwość związana z wchodzeniem ostrza w obrabiany materiał podczas obróbki (300 Hz) oraz częstotliwość harmoniczna będąca jej wielokrotnością (600 Hz).



**Rys. 6.** Fragment widma FFT sił skrawania (składowa  $F_y$ ) noży modyfikowanych i kontrolnego  
**Fig. 6.** The part of cutting forces FFT spectrum (component  $F_y$ ) of modified and control knives

Po takiej obserwacji zdecydowano się na analizę uśrednionych amplitud tych dwóch częstotliwości (300 i 600 Hz) dla każdego noża oraz wyznaczenie względnego wskaźnika siły skrawania zgodnie ze wzorem 1:

$$F_w = F_m / F_k \quad (1)$$

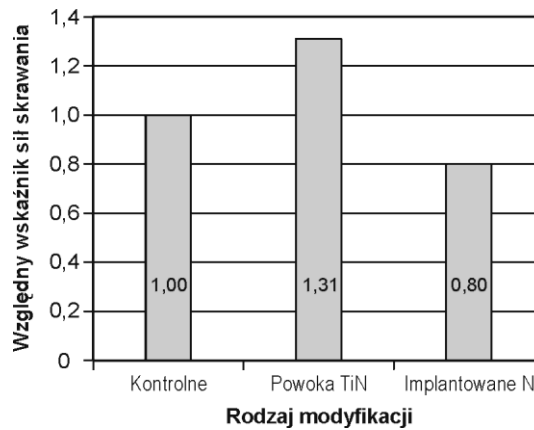
gdzie:

$F_w$  - względny wskaźnik sił skrawania,

$F_m$  - średnia amplituda składowej siły  $F_y$  dla częstotliwości 300 i 600 Hz podczas frezowania ostrzem modyfikowanym,

$F_k$  - średnia amplituda składowej siły  $F_y$  dla częstotliwości 300 i 600 Hz podczas frezowania ostrzem kontrolnym (niemodyfikowanym).

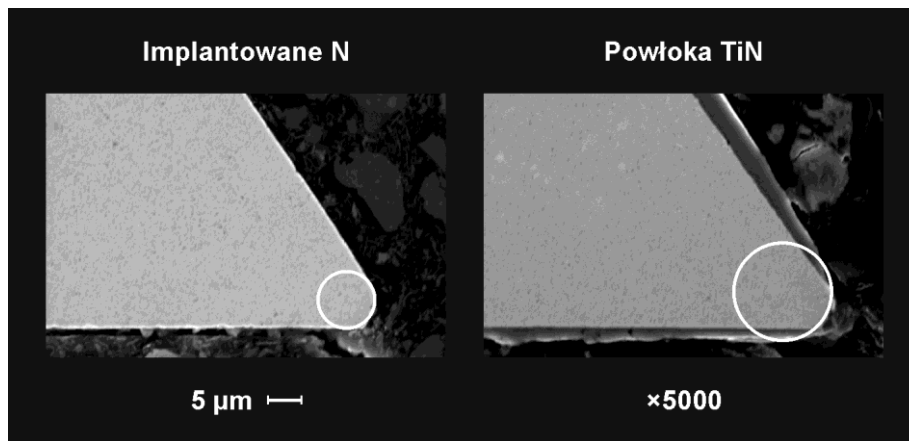
Ostrza implantowane jonami azotu charakteryzowały się o 20% niższym względnym wskaźnikiem sił skrawania w porównaniu z ostrzami niemodyfikowanymi, natomiast ostrza z powłoką TiN wykazywały ponad 30% wzrost sił skrawania w odniesieniu do noży kontrolnych (Rys. 7). Spadek sił skrawania po implantacji azotem zaobserwowano również u innych autorów (Wilkowski i in. 2019; Kanazawa i in. 1988; Onikura i in. 1988). Efekt ten może być wynikiem obniżenia współczynnika tarcia na styku implantowane azotem ostrze - materiał obrabiany, co potwierdzono w publikacjach (Sun i in. 1997; Mikkelsen i in. 1992, Kaminski i in. 2018).



**Rys. 7.** Względny wskaźnik sił skrawania badanych noży  
**Fig. 7.** The relative index of cutting forces of the tested knives

Wzrost siła skrawania dla nowego ostrza WC-Co z powłoką TiN można wytłumaczyć zwiększonym promieniem zaokrąglenia ostrza po naniesieniu powłoki o grubości ok. 2  $\mu\text{m}$ . Obrazy SEM (ang. *Scanning Electron Microscopy*) przekrojów badanych ostrzy - implantowanego jonami azotu i z powłoką TiN pokazano na Rys. 8.





**Rys. 8.** Przekroje ostrzy: implantowanego jonami azotu i z powłoką TiN  
**Fig. 8.** The cross-section of blades: implanted with nitrogen ions and with TiN coating

### Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników można wyciągnąć następujące wnioski:

- Ostrze WC-Co implantowane jonami azotu charakteryzowało się niższymi o 20% siłami skrawania od ostrza niemodyfikowanego (kontrolnego) podczas frezowania trójwarstwowej płyty wiórowej.
- Podczas obróbki nowym ostrzem WC-Co z powłoką TiN zaobserwowano ponad 30% wzrost sił skrawania w odniesieniu do ostrzy kontrolnych.

### Literatura

Barlak M., Piekoszewski J., Stanislawski J., Werner Z., Borkowska K., Chmielewski M., Sartowska B., Miskiewicz M., Starosta W., Walis L., Jagielski, J., 2007: The effect of intense plasma pulse pre-treatment on wettability in ceramic-copper system. *Fusion Engineering and Design* 82(15-24), 2524-2530. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2007.08.010>

Beer P., Djouadi M.A., Marchal R., Sokolowska A., Lambertin M., Miklaszewski, S., 1999: Influence of knife-surfaces modification with hard coatings on the peeling wood process. *Journal of Materials Processing Technology* 92-93, 264-268. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00224-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00224-1)

Beer P., Rudnicki J., Ciupinski L., Djouadi M.A., Nouveau C., 2003: Modification by composite coatings of knives made of low alloy steel for wood machining purposes. *Surface and Coatings Technology* 174-175, 434-439. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00588-7](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00588-7)

Beer P., Rudnicki J., Bugliosi S., Sokołowska A., Wnukowski E., 2005: Low temperature ion nitriding of the cutting knives made of HSS. *Surface and Coatings Technology* 200(1), 146-148. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.02.031>

Belbah A., Mkaddem A., Ladaci N., Mebarki N., El Mansori M., 2014: Low energy implantation to inhibit wear in N<sup>+</sup> ions implanted WC-Co composite. *Materials and Design* 53, 202-208. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.014>

Bonny K., De Baets P., Perez Y., Vleugels J., Lauwers B., 2010: Friction and wear characteristics of WC-Co cemented carbides in dry reciprocating sliding contact. *Wear* 268, 1504-1517. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.02.029>

Choi S.H., Kang S.D., Kwon Y.S., Lim S.G., Cho K.K., Ahn I.S., 2010: The effect of sintering conditions on the properties of WC-10wt%Co PIM compacts. *Research on Chemical Intermediates* 36(6-7), 743-748. <https://doi.org/10.1007/s11164-010-0176-8>

Darmawan W., Usuki H., Quesada J., Marchal R., 2008: Clearance wear and normal force of TiN-coated P30 in cutting hardboards and wood-chip cementboards. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(2), 89-97. <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0213-5>

Faga M.G., Settineri L., 2006: Innovative anti-wear coatings on cutting tools for wood machining. *Surface and Coatings Technology* 201(6), 3002-3007. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.06.013>

Kaminski M., Budzynski P., Wiertel M., Drozdziel A., 2018: Use of nitrogen ion implantation for modification of the tribological properties of titanium alloy Ti6Al4V. *Materials Science and Engineering* 421, 032013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/421/3/032013>

Kanazawa K., Chijiwa K., 1988: Characteristics of a nitrogen ion implanted cutting tool. *Journal of the Metal Finishing Society of Japan* 39 (10), 603-609.

Labidi C., Collet R., Nouveau C., Beer P., Nicosia S., Djouadi M.A., 2005: Surface treatments of tools used in industrial wood machining. *Surface and Coatings Technology* 200(1-4), 118-122. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.02.098>

Luyckx S., Sacks N., Love A., 2007: Increasing the abrasion resistance without decreasing the toughness of WC-Co of a wide range of compositions and grain sizes. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 25(1), 57-61. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2005.11.015>

Lyons R.G., 2010: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów. *WKŁ*, Warszawa.

Marshall J.M., Kusoffsky A., 2013: Binder phase structure in fine and coarse WC-Co hard metals with Cr and V carbide additions. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 40, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2013.04.001>

Mikkelsen N.J., Straede C.A., 1992: Enhanced wear resistance of production tools and steel samples by implantation of nitrogen and carbon ions. *Surface and Coatings Technology* 51 152-156.

Narajczyk J., Werner Z., Barlak M., Morozow, D., 2009: The effect of Ti preimplantation on the properties of TiN coatings on HS 6-5-2 high-speed steel. *Vacuum* 83(1), 228-230. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.01.069>

Nouveau C., Jorand E., Decès-Petit C., Labidi C., Djouadi M.A., 2005: Influence of carbide substrates on tribological properties of chromium and chromium nitride coatings: application to wood machining. *Wear* 258(1-4), 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.034>

Okamoto S., Nakazono Y., Otsuka K., Shimoitani Y., Takada J., 2005: Mechanical properties of WC/Co cemented carbide with larger WC grain size. *Materials Characterization* 55(4-5), 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2005.06.001>

Olovsjö S., Johanson R., Falsafi F., Bexell U., Olsson M., 2013: Surface failure and wear of cemented carbide rock drill buttons - The importance of sample preparation and optimized microscopy settings. *Wear* 302(1-2), 1546-1554. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.01.078>

Onikura H., Ishimaru Y., Katsuki A., 1988: Cutting characteristics of nitrogen-ion-implanted drills. *Journal of the Japan Society for Precision Engineering* 54(4) 781-786.

Raebel S., Worzala F.J., Conrad J.R., 1990: PSII nitrogen implanted M2 tool steel for wear resistance in wood machining tools. *Surface Engineering* 198-207. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0773-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0773-7_21)

Ramasamy G., Ratnasingam J., 2010: A review of cemented tungsten carbide tool wear during wood cutting processes. *Journal of Applied Sciences* 10(22), 2799-2804. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2799.2804>

Saito H., Iwabuchi A., Shimizu, T., 2006: Effects of Co content and WC grain size on wear of WC cemented carbide. *Wear* 261(2), 126-132. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.09.034>

Sheikh-Ahmad J.Y., Bailey J.A., 1999: High-temperature wear of cemented tungsten carbide tools while machining particleboard and fiberboard. *Journal of Wood Science* 45(6), 445-455. <https://doi.org/10.1007/BF00538952>

Sokołowska A., Rudnicki J., Wnukowski E., Beer P., Wierzchoń T., Kurzydłowski K.J., 2009: Glow discharge assisted low - temperature nitriding of knives used in wood processing. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 37(2), 690-693. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BOS2-0021-0077>

Sun J.S., Yan P., Sun X.B., Lu G., Liu F., Ye W., Yang J.Q., 1997: Tribological properties of nitrogen ion implanted WC-Co. *Wear* 213, 131-134. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(97\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(97)00165-8)

Wilkowski J., Barlak M., Werner Z., Czarniak P., Wachowicz J., 2018: The effect of the WC-Co properties on the tool wear during particleboards milling. *Chip and Chipless Woodworking Processes*, 11(1), 211-216.

Wilkowski J., Barlak M., Werner Z., Zagórski J., Czarniak P., Podziewski P., Szymanowski K., 2019: Lifetime improvement and the cutting forces in nitrogen-implanted

drills during wood-based material machining. Wood and Fiber Science 51(2), 209-220.  
<https://doi.org/10.22382/wfs-2019-021>

Zhang L., Xie M.W., Cheng X., Nan Q., Wang Z., Feng Y.P., 2013: Micro characteristics of binder phases in WC-Co cemented carbides with Cr-V and Cr-V-RE additives. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 36(2013), 211-219.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.08.017>

#### **Wykaz norm**

PN-EN 310:1994 Płyty drewnopochodne - Oznaczenie modułu sprężystości przy zginaniu i wytrzymałości na zginanie.

PN-EN 323:1999 Płyty drewnopochodne - Oznaczenie gęstości.

ISO 3340: 1976 Płyty piłśniowe - Oznaczenie zawartości piasku.

#### **Źródła internetowe**

[www.ceratizit.com/en/products/wood-stone-working](http://www.ceratizit.com/en/products/wood-stone-working) (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.04.2019)

---

*Artykuł recenzowany / Reviewed paper*

*Zgłoszony / Submitted: 14.05.2019*

*Opublikowany online / Published online: 16.06.2019*