

Progress in structured and textured cutting tools. Part 2. Influence of structured and textured cutting tools on the process performance

Postęp w strukturyzowaniu i teksturyzowaniu ostrza skrawającego. Część 2. Wpływ mikro- i nanostruktur na przebieg procesu

WIT GRZESIK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2022.7.8>

This paper presents the possible influence of structured and textured cutting tools made of different cutting tool materials. Some recently published data concerning research works in the influence on the cutting mechanics (componential cutting forces and chip formation mechanism), heat generation and transfer, interface contact conditions and lubrication, interface friction and tool wear are discussed. **KEYWORDS:** structured cutting tools, textured cutting tools, chip formation, tool wear

W artykule przedstawiono możliwy wpływ strukturyzowanych i teksturyzowanych ostrzy skrawających wykonanych z różnych materiałów narzędziowych na przebieg procesu skrawania. Omówiono wnioski z ostatnio opublikowanych prac badawczych na temat czynników mających wpływ na mechanikę procesu (składowych siły skrawania i procesu tworzenia wiórów), generowania oraz rozptyłu ciepła, warunków kontaktu i smarowania, tarcia i zużycia ostrza. **SŁOWA KLUCZOWE:** strukturyzowanie ostrzy skrawających, teksturyzowanie ostrzy skrawających, tworzenie wióra, zużycie ostrza

Wprowadzenie

W numerze 4 z 2022 r. *Mechanika* [1] dokonano przeglądu nowych rozwiązań konstrukcyjnych strukturyzowanych i teksturyzowanych powierzchni roboczych ostrzy skrawających wykonanych ze stali szybko tnących, powlekanych węglików spiekanych i materiałów supertwardych (PCD i CBN). Omówiono najczęściej stosowane – rozdzielnie lub łącznie – techniki wytwarzania mikro- i nanostruktur na powierzchni natarcia i przyłożenia, takie jak: mikroszlifowanie, micro-EDM, micro-ECM, laserowa obróbka powierzchniowa (LST – *laser surface technology*), FIB i fotolitografia. W 2. części artykułu przedstawiono wyniki ważniejszych badań doświadczalnych dotyczących wpływu modyfikacji powierzchni kontaktowych przez nanoszenie mikro- i nanostruktur o różnej konfiguracji geometrycznej i funkcjonalności na mechanikę, termikę i tribologię procesu.

Spośród wielu udokumentowanych oddziaływań celowo tworzonych struktur powierzchniowych należy wymienić tribologiczną i termiczną współpracę elementów par ślizgowych objawiającą się zmniejszeniem tarcia/współczynnika tarcia, efektywnej powierzchni styku oraz zmniejszeniem ilości generowanego i prze-

ływającego do stykających się elementów ciepła [2–4]. W następstwie tych korzystnych oddziaływań pojawia się tendencja do zmniejszenia składowych wypadkowej siły skrawania, ustabilizowania się procesu bez ryzyka wystąpienia drgań samowzbudnych (*chatter*), poprawy smarowania strefy kontaktu w wyniku lepszej/intensywniejszej retencji środka smarowego i odprowadzenia produktów zużycia. W optymalnych warunkach można osłabić lub wyeliminować adhezję, gdy w strefie styku wiór-ostrze zostanie wytworzony ciągły film smarny [4, 5]. W przypadku wystąpienia tarcia granicznego, które zwykle występuje w strefie styku wiór-ostrze ostrzy płaskich, mikrootwory lub mikro-rowki spełniają funkcje rezerwuarów środka smarowego i pomagają w utrzymaniu ciągłego filmu smarnego [4, 6, 7]. Relacje między konfiguracją powierzchniowej struktury/tekstury i jej możliwymi oddziaływaniami na przebieg procesu przedstawiono na rys. 1 w 1. części artykułu [1].

Wpływ strukturyzowania narzędzi skrawających na mechanikę procesu

Wpływ strukturyzowania powierzchni ostrza skrawającego według koncepcji przedstawionej na rys. 4 w części 1. artykułu [1] na wartości składowych sił skrawania przedstawiono na rys. 1.

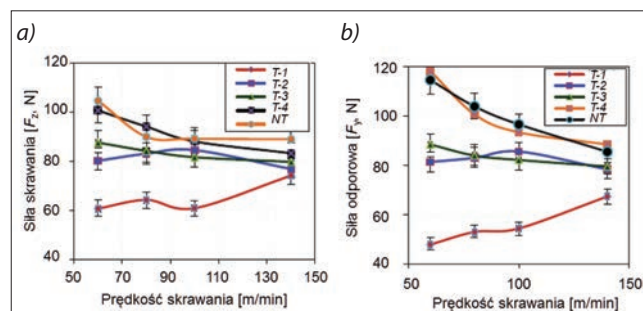


Fig. 1. Influence of cutting speed on: a) the cutting F_z and b) radial F_y forces for conventional carbide tool (NT) and textured tool (T): T-1 – micro-holes filled with MoS_2 in rake face, T-2 – micro-holes filled with MoS_2 in flank face, T-3 – micro-holes without MoS_2 in rake face, T-4 – micro-holes without MoS_2 in flank face [2]

Rys. 1. Wpływ prędkości skrawania na przebieg składowych: a) F_z i b) F_y siły skrawania w przypadku węglkowego ostrza nieteksturyzowanego (NT) i teksturyzowanego (T): T-1 – wypełnienie czterech otworów na powierzchni natarcia, T-2 – wypełnienie otworów na powierzchni przyłożenia, T-3 – bez wypełnienia otworów na powierzchni natarcia, T-4 – bez wypełnienia otworów na powierzchni przyłożenia [2]

* Prof. dr hab. inż. Wit Grzesik, em. prof. zw. Politechniki Opolskiej, wge103@wp.pl, <https://orcid.org/0000-0003-3898-5119>
– Opole, Polska

Mikrostruktury na powierzchni natarcia i przyłożenia mają postać czterech wgłębień o średnicy 200 do 250 μm i głębokości 250 μm wykonanych techniką mikro-EDM, które następnie wypełniano stałym środkiem smarnym – dwusiarczkiem molibdenu (MoS_2). Podstawowym tego efektem jest modyfikacja procesów kontaktowych na roboczych fragmentach powierzchni natarcia i przyłożenia, która wynika z tworzenia się w strefie ostrze-wiór-materiał obrabiany stałego filmu smarnego MoS_2 [4]. Przydatność ostrzy sprawdzono w obróbce na sucho stali utwardzonej; dla porównania zastosowano narzędzie konwencjonalne i różne warianty wypełnienia mikrootworów środkiem smarnym. Z rys. 1a i b wynika jednoznacznie, że wartości sił składowych są wyraźnie mniejsze, gdy stosuje się ostrza teksturyzowane, a minimalne wartości sił odpowiadają przypadkowi tworzenia filmu smarnego na powierzchni natarcia ($T-1$). Jednakże minimalne zużycie ostrza koresponduje z przypadkiem ($T-2$), czyli wytwarzaniem filmu smarnego na powierzchni przyłożenia.

Podobny efekt uzyskano z zastosowaniem teksturyzowanego ostrza z PCD (wiązka rowków równoległych do krawędzi skrawającej jak na rys. 3.2 w [1]) do obróbki stopu tytanu Ti6Al4V [8]. W przypadku ostrzy z teksturyzowaną powłoką $\text{Ti}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ i powłoką naniesioną na teksturyzowane podłoże (warianty d i e jak na rys. 5 w [1]) wartości sił zmierzone w skrawaniu utwardzonej stal AISI 1045 zmniejszają się o 6÷12% zależnie od wariantu teksturyzowania (lepsze wyniki daje wcześniejsze teksturyzowanie podłoża na części powierzchni – rys. 5IIb w [1]) [6]. Przebieg zmiany temperatury skrawania zmierzonej dla tego przypadku metodą termografii na podczerwień przedstawiono na rys. 4.

Okazuje się, że wartości składowych sił skrawania zależą również od średnicy i głębokości mikrootworów, podziałki oraz rozkładu otworów (udziału powierzchniowego) w polu kontaktu, jak na rys. 2 (również rys. 12 w 1. części artykułu [1]). W badaniach opisanych w artykule [10], dotyczących toczenia gniazd zaworowych ze stali PM, wyznaczono następujący zestaw

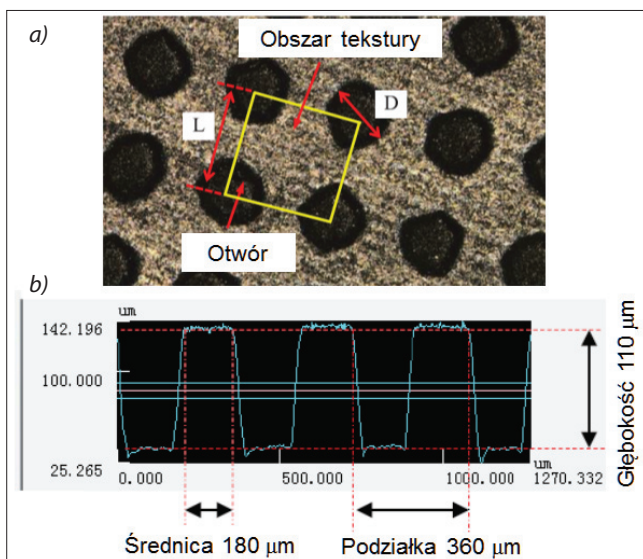


Fig. 2. Parameters describing: a) the distribution of micro-holes in the textured area on the CBN tool surface and b) their dimensions [10]
Rys. 2. Parametry opisujące: a) rozkład mikrootworów w polu tekstury na powierzchni ostrza z CBN i b) ich wymiary [10]

optymalnych warunków obróbki: średnica mikrootworu – 230 μm , głębokość mikrootworu – 90 μm , podziałka – 230 μm , gęstość otworów w polu mikrotekstury – 20%, prędkość skrawania – 110 m/min.

Wpływ strukturyzowania narzędzi skrawających na transfer ciepła i temperaturę

Porównanie transferu ciepła z obszaru styku wiór-ostrze do ostrza skrawającego płaskiego i sktrukturyzowanego w postaci równoległych mikrorowków przedstawiono na rys. 3. W związku z wprowadzeniem do pola kontaktu struktury w mikroskali zmienia się mechanika kontaktu i rozptył ciepła ma charakter dyskretny. W rezultacie strumień ciepła przepływający do ostrza jest mniej intensywny, a temperatura na przynarzędziowej powierzchni wióra obniża się wskutek łatwiejszej penetracji CCS do strefy kontaktu.

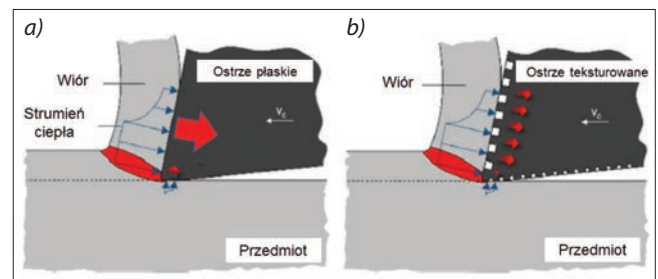


Fig. 3. Scheme of heat flux distribution at the chip-tool interface for: a) non-textured cutting tool and b) textured cutting tool [2]
Rys. 3. Rozkład strumienia ciepła wnikającego do ostrza na powierzchni wiór-ostrze w przypadku: a) nieteksturyzowanych i b) teksturyzowanych powierzchni natarcia ostrza skrawającego [2]

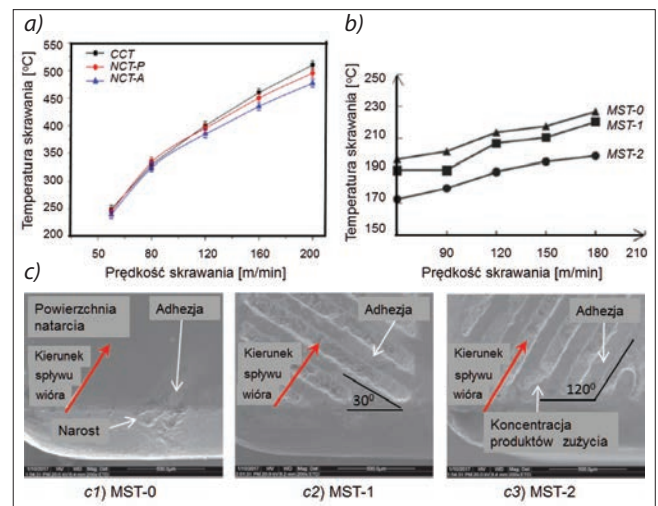


Fig. 4. Influence of cutting speed on: a) temperature at the tool-chip interface for tools coated with $\text{Ti}_{55}\text{Al}_{45}\text{N}$ layer and b) maximum temperature value [6, 11, 12]; symbols: CCT – conventional coated tool, NCT-P – tool firstly nano-textured and then coated with partial textures parallel to the main cutting edge and NCT-A – with areal textures; MST-0 – conventional tool, MST-1 – textured tool, MST-2 – textured tool; c) localization of grooves in relation to the cutting edge for case (b)
Rys. 4. Wpływ prędkości skrawania na: a) temperaturę w strefie kontaktu wiór-ostrze dla ostrzy z powłoką $\text{Ti}_{55}\text{Al}_{45}\text{N}$ oraz b) maksymalną wartość temperatury [6, 11, 12]; oznaczenia: CCT – ostrza konwencjonalne, NCT-P – najpierw teksturyzowane, a następnie powlekane warstwą $\text{Ti}_{55}\text{Al}_{45}\text{N}$ z rowkami równoległymi do krawędzi skrawającej i NCT-A – z wydzielonym obszarem mikrotekstury; MST-0 – ostrze konwencjonalne, MST-1 – ostrze strukturyzowane, MST-2 – ostrze strukturyzowane; c) położenie rowków w stosunku do krawędzi skrawającej dla przypadku (b)

Dodatkowo zmniejsza się pole kontaktu i intensywność tarcia ślizgowego.

Na rys. 4a przedstawiono wyniki pomiaru temperatury metodą termografii na podczerwień ostrzy z nanoteksturą naniesioną na podłoże przed powlekaniami i na powierzchni zewnętrznej powłoki z rowkami równoległymi do krawędzi skrawającej, a także w postaci zamkniętego obszaru jak na rys. 5IIa i b w 1. części artykułu [1]. Widać wyraźnie, że dla wyższych prędkości skrawania pojawia się efekt teksturyzowania ostrza, zwłaszcza dla tekstury typu zamkniętego, w postaci zmniejszenia temperatury o 7% dla prędkości 200 m/min. Na rys. 4b porównano wartości temperatury w skrawaniu stopu niklu Inconel 718 ostrzami konwencjonalnymi i teksturowanymi wykonanymi z kompozytu Al_2O_3 -TiC. Naniesienie samosmarnej mikrotekstury na ostrze powoduje spadek temperatury o 3÷6% dla ostrzy typu MST-1 i 10÷12% dla ostrzy typu MST-2 [11, 12].

Wpływ strukturyzowania narzędzi skrawających na warunki kontaktu i smarowanie

Micro- i nanoteksturyzowanie ostrzy narzędzi skrawających wpływa na warunki kontaktu w strefie wiór-ostrze i ostrze-materiał obrabiany, jeśli zostało wykonane na powierzchni natarcia i/lub na powierzchni przyłożenia. Na rys. 5a przedstawiono znany efekt klina hydrodynamicznego [7], gdy od strony płaskiej powierzchni przyłożenia podaje się CCS pod wysokim ciśnieniem. Przepływ cieczy przez rowki wywołuje lokalne zawirowania/turbulencje (rys. 5b), co poprawia smarowanie i sprzyja intensywniejszemu odprowadzaniu ciepła (zwiększa się współczynnik transferu ciepła). Z kolei klin hydrodynamiczny na styku z powierzchnią natarcia ułatwia zwijanie i łamanie wióra [7, 15].

Na rys. 5c przedstawiono płytkę skrawającą z mikroteksturą nałożoną na powierzchni przyłożenia oraz specjalną dyszę typu L, przez którą podaje się pod ciśnieniem CCS do strefy rowków (rys. 5b), aby wywołać przepływ turbulentny.

W artykule [16] analizowano zmiany linii przepływu CCS dla ostrza bez mikrotekstur złożonych z otworków i z takimi mikroteksturami z uwzględnieniem

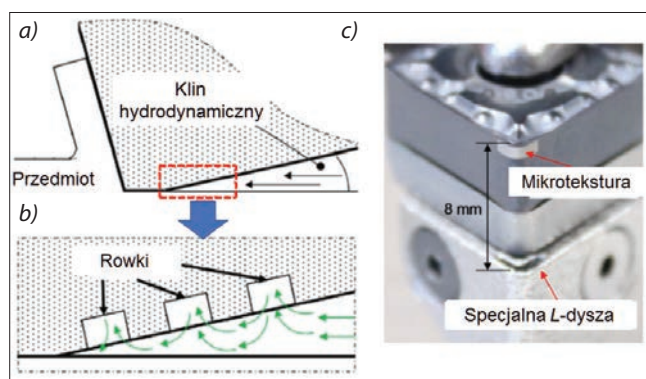


Fig. 5. Scheme of coolant flow patterns for: a) non-textured and b) micro-textured cutting tool, and c) tool holder with a micro-textured flank face inserts and a specially inserted L-nozzle [2, 14, 16].
Rys. 5. Schemat przepływu CCS na powierzchni przyłożenia w przypadku ostrza: a) nieteksturyzowanego i b) z mikroteksturą w postaci rowków oraz c) uchwyt noża ze specjalną dyszą typu L [2, 14, 16]

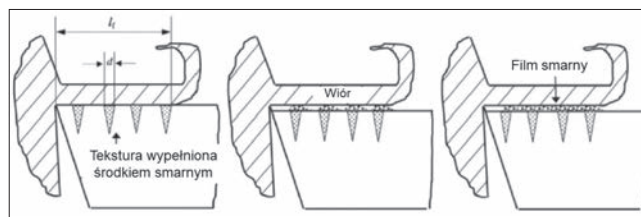


Fig. 6. Scheme of mechanism of formation of solid lubricating film at the textured rake face [2, 3]

Rys. 6. Schemat mechanizmu formowania filmu smarnego na teksturyzowanej powierzchni natarcia [2, 3]

niem obrazu wektorowego przepływu i energii kinetycznej turbulencji (TKE – *turbulence kinetic energy*). Ustalono, że dla ostrzy teksturyzowanych wartości TKE są dużo wyższe niż dla ostrzy płaskich z laminarnym przepływem cieczy, co jednoznacznie wskazuje na poprawę przepływu i odprowadzania ciepła w mikroteksturze utworzonej z mikrowgłębień.

W przypadku wykonania na powierzchni natarcia mikrostruktury z zamkniętymi rowkami o różnym kształcie (rys. 2b1–b3 w 1. części artykułu [2, 3]) i następnie ich wypełnienia stałymi środkami smarnymi WS_2 lub MoS_2 , w czasie spływu wióra tworzy się film smarny o małej wytrzymałości na ścinanie. W skrawaniu na sucho następuje oddzielenie cząsteczek smarnych od powierzchni tekstury i ich rozsmarowanie na całej powierzchni styku. Efektami tego są zmniejszenie rzeczywistego pola kontaktu wiór-powierzchnia natarcia i redukcja tarcia ślizgowego.

Wpływ strukturyzowania narzędzi skrawających na tarcie w strefie styku

W przypadku obróbki na sucho materiałów, które mają tendencję do tworzenia narostu o naturze adhezyjnej, ważny jest właściwy wybór kierunkowości rowków w mikroteksturze wykonanej na powierzchni natarcia [2, 5]. Okazuje się, że usytuowanie rowków prostopadle do kierunku spływu wióra osłabia tworzenie się przywar adhezyjnych w skrawaniu stopu aluminium (rys. 7). Z kolei cienka warstwa narostu tworzy się, gdy rowki są usytuowane równoległe do kierunku spływu wióra (rys. 7). Z tego względu niewłaściwy dobór kierunku rowków mikrotekstury może mieć negatywny wpływ na zużycie ostrza, tworzenie się przywar adhezyjnych i mikrowykruszenia oraz siły skrawania [2, 5]. Czynniki te należy uwzględnić jako bardzo ważne w projektowaniu i doborze teksturyzowanych narzędzi skrawających.

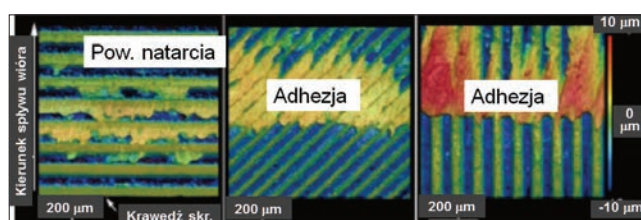


Fig. 7. Dependence of chip adhesion on groove directions. Workpiece material: aluminium alloy grade A5052, cutting speed: $v_c = 380$ m/min [2]

Rys. 7. Zależność intensywności adhezji na powierzchni natarcia od kierunku rowków mikrotekstury. Materiał obrabiany: stop aluminium gatunek A5052, prędkość skrawania: $v_c = 380$ m/min [2]

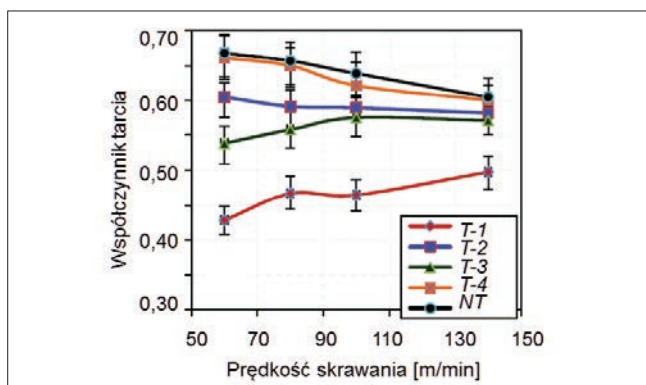


Fig. 8. Dependence of friction coefficient on the cutting speed of hardened steel for different types of micro-texture at the rake and flank faces [3]. Symbols: T-1 – MoS₂ embedded into micro-holes at rake face, T-2 – MoS₂ embedded into micro-holes at flank face, T-3 i T-4 – machining tests without solid lubricants, NT – test with conventional tool. Rys. 8. Zależność współczynnika tarcia od prędkości skrawania w skrawaniu na sucho stali utwardzonej dla różnych rodzajów mikrotekstury na powierzchni natarcia i przyłożenia [3]. Oznaczenia: T-1 – MoS₂ wprowadzono do rowków na powierzchni natarcia, T-2 – MoS₂ wprowadzono do rowków na powierzchni przyłożenia, T-3 i T-4 – próby z ostrzem teksturyzowanym na sucho, bez środka smarowego, NT – próba z konwencjonalnym ostrzem

Na rys. 8 zestawiono efekt samosmaru uzyskany w wyniku wypełnienia czterech mikrorowków wykonanych na powierzchni natarcia i przyłożenia ostrza z WC/TiC/Co (rys. 4a i b w 1. części artykułu [1]) stałym środkiem smarowym MoS₂ (T-1 i T-2) w stosunku do skrawania bez środka smarowego ostrzem teksturyzowanym (T-3 i T-4) i konwencjonalnym (NT). Udowodniono, że najmniejszy współczynnik tarcia uzyskuje się po wprowadzeniu dwusiarczku molibdenu do rowków na powierzchni natarcia. Przypadek ten pokazano schematycznie na rys. 6. W sposób oczywisty najmniejsze zużycie powierzchni przyłożenia koresponduje z próbą T-2 (rys. 10b). Przedstawione wyniki badań wskazują, że połączenie teksturyzowania powierzchni ostrza z wytworzeniem filmu samosmarowego jest skutecznym środkiem ograniczenia zużycia ostrza zarówno na powierzchni przyłożenia, jak i natarcia.

Wpływ strukturyzowania narzędzi skrawających na zużycie ostrza

Skutkiem omówionych oddziaływań strukturyzacji powierzchni ostrza jest ich istotny wpływ na mechanizmy i intensywność zużycia ostrza [2, 5]. Jednym z ważnych aspektów jest znaczne ograniczenie tworzenia się przywar adhezyjnych, co ma duże znaczenie praktyczne w skrawaniu stopów aluminium i superstopów na osnowie z tytanu i niklu [2, 6, 11, 15, 18].

Na rys. 9a przedstawiono intensywne zużycie powierzchni natarcia ostrza płaskiego w postaci krateru o głębokości 9 μ m i szerokości 200 μ m w porównaniu do ostrza teksturyzowanego z rowkami równoległymi do krawędzi skrawającej o głębokości 5 μ m, gdy głębokość krateru zmniejsza się do 3 μ m (jak na rys. 9b). Zmniejszenie zużycia ostrza tłumaczy się poprawą warunków smarowania w strefie styku wiór-ostrze po zastosowaniu obfitego zasilania CCS.

Na rys. 10a i b przedstawiono porównanie intensywności zużycia na powierzchni przyłożenia ostrzy

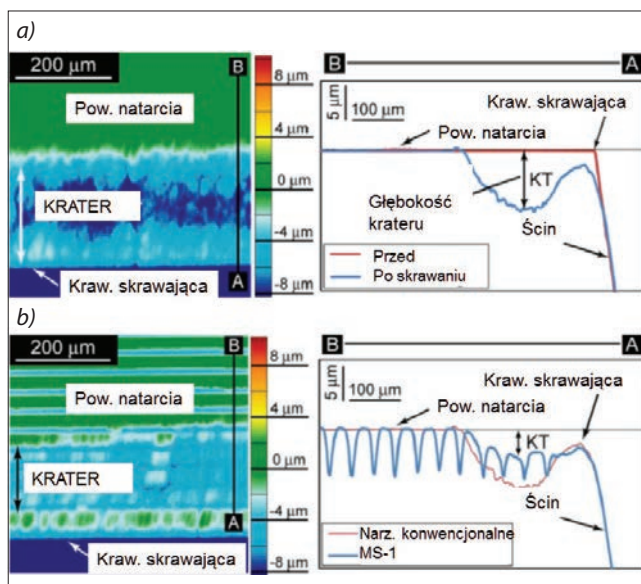


Fig. 9. Comparison of crater size at the rake face for: a) conventional and b) textured tools (MS-1) [2, 14]

Rys. 9. Porównanie wielkości krateru na powierzchni natarcia dla ostrza: a) płaskiego i b) teksturyzowanego (przypadek MS-1) [2, 14]

konwencjonalnych teksturyzowanych jak na rys. 11a w funkcji drogi skrawania (rys. 10a) i prędkości skrawania (rys. 10b). W tym przypadku wyjaśnienia mniejszego zużycia ostrza upatruje się w osłabieniu tarcia i mniejszych obciążeniach mechanicznych w strefie kontaktu.

Wyniki pomiarów wskaźnika zużycia z rys. 10a (VB_{Bmax}) potwierdzają obrazy skaningowe przedstawione na rys. 11. Można zauważyć, że zużycie ostrza płaskiego z powłoką (a) można kolejno ograniczyć przez naniesienie mikrostruktury (b) i nanostruktury na powierzchniach pomiędzy rowkami przed nałożeniem powłoki (c). W ostatnim przypadku zachowuje się gładką krawędź skrawającą bez naniesionych produktów zużycia.

Podobne wyniki uzyskano, testując zamkniętą mikrostrukturę o kształcie kwadratu (rys. 13b w 1. części artykułu [1]), wytworzoną na powierzchni

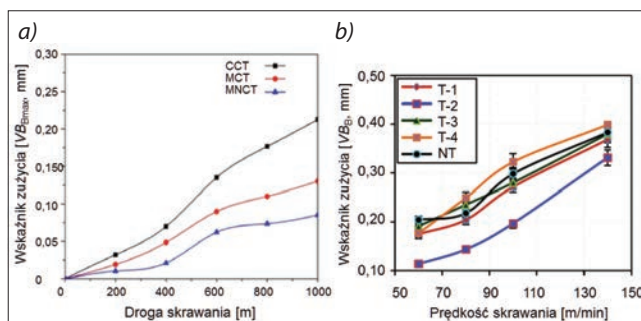
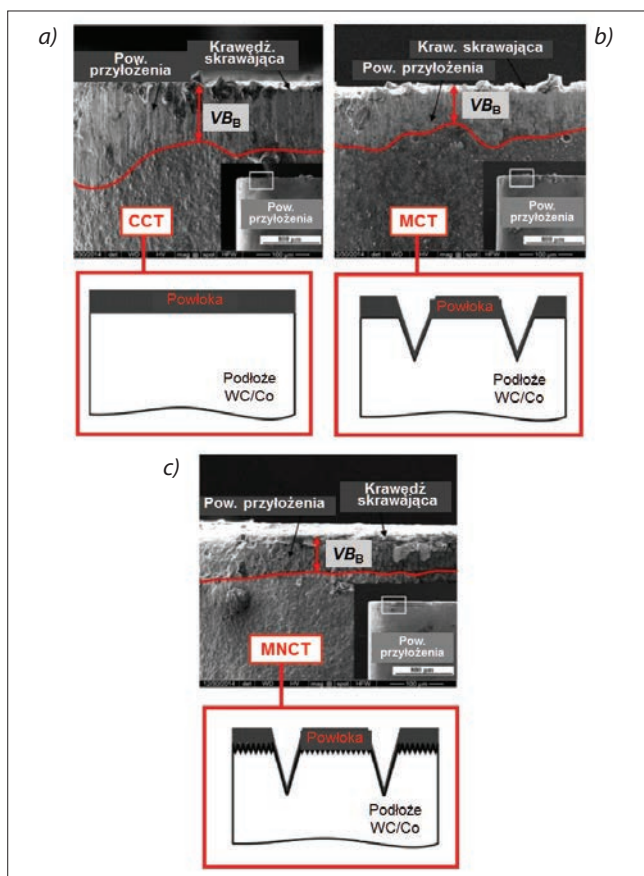


Fig. 10. Influence of cutting distance on the maximum wear width of flank face (wear indicator VB_{Bmax}), $v_c=200$ m/min (a). Symbols: CCT – conventional cutting tool, MCT – micro-textured tool, MNCT – micro- and nanotextured tool [14] and comparison of flank face wear for conventional and textured tools in terms of cutting speed from Fig. 8 [3] (b)

Rys. 10. Wpływ drogi skrawania na wskaźnik zużycia VB_{Bmax} dla ostrzy konwencjonalnych i teksturyzowanych, $v_c=200$ m/min. Symbole: CCT – powlekane ostrze konwencjonalne, MCT – ostrze strukturyzowane powlekane, MNCT – ostrze MCT z nanostrukturą naniesioną przed powlekanem [14] (a) oraz porównanie wielkości zużycia na powierzchni przyłożenia dla ostrza płaskiego i teksturyzowanego z rys. 8 [3] (b)



Rys. 11. Zdjęcia skaningowe (SEM) zużytej powierzchni przyłożenia po 5 min skrawania. Symbol: CCT – powlekane ostrze konwencjonalne, MCT – ostrze strukturyzowane powlekane, MNCT – ostrze MCT z nanostrukturą naniesioną przed powlekaniem [6, 14]
Fig. 11. SEM images of worn flank face after 5 min cutting. Symbols: CCT – conventional cutting tool, MCT – micro-textured tool, MNCT – micro- and nano-textured tool [6, 14]

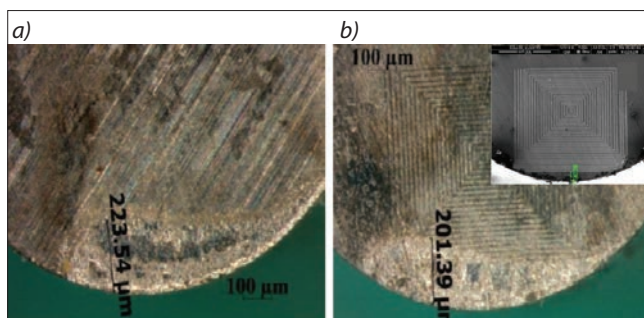


Fig. 12. SEM images of worn rake face of WC/Co cutting insert in cutting Ti6Al4V alloy: a) non-textured insert, b) insert textured with square grooves (width of 2 μm, depth of 2 μm and pitch of 10 μm), $v_c = 80$ m/min [15]

Rys. 12. Zdjęcia skaningowe (SEM) zużytej powierzchni natarcia teksturyzowanych płytek z WC/Co w obróbce stopu tytanu Ti6Al4V: a) płytka bez tekstury, b) płytka z teksturą z rowkami kwadratowymi o szerokości 2 μm, głębokości 2 μm i odstępnie 10 μm, prędkość skrawania $v_c = 80$ m/min [15]

natarcia płytki skrawającej z WC/Co metodą FIB [15]. Na rys. 12b można zauważyć, że tendencja do przywarć adhezyjnych jest wyraźnie mniejsza niż w przypadku ostrza konwencjonalnego.

LITERATURA

[1] Grzesik W. „Postęp w strukturyzowaniu i teksturyzowaniu ostrza skrawającego. Część 1. Nowe konstrukcje i metody wykonywania mikro- i nanostruktur”. *Mechanik*, 4 (2022): 6–11, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2022.4.4>.

[2] Özel T., Biermann D., Enomoto T., Mativenga P. “Structured and textured cutting tool surfaces for machining applications”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 70, 2 (2021): 495–518, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.05.006>.

[3] Gajrani K.K., Sankar M.R. “State of the art on micro to nano textured cutting tools”. *Materials Today: Proceedings*. 4 (2017): 3776–3785, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.274>.

[4] Obikawa T., Kamio A., Takaoka H., Osada A. “Micro-texture at the coated face for high performance cutting”. *Int. J. Machine Tools & Manufacture*. 51 (2011): 966–972, <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.08.013>.

[5] Grzesik W. „Tribologiczne efekty strukturyzowania powierzchni natarcia ostrza skrawającego”. *Mechanik*. 5-6 (2012): 418–423.

[6] Zhang K., Deng J., Meng R. et al. “Effect of nano-scale textures on cutting performance of WC/Co-based $Ti_{55}Al_{45}N$ coated tools in dry cutting”. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 51 (2015): 35–49, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2015.02.011>.

[7] Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa: WNT, 2018.

[8] Su Y., Li Z., Li L., Wang J., Wang G. “Cutting performance of micro-textured polycrystalline diamond tool in dry cutting”. *Journal of Manufacturing Processes*. 27 (2017): 1–7, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.03.013>.

[9] Li Q., Pan Ch., Jiao Y., Hu K. “Investigation on cutting performance of micro-textured cutting tools”. *Micromachines*. 10 (2019): 352, <https://doi.org/10.3390/mi10060352>.

[10] Yang H., Han Z., Xia X., Wang Q. et al. “On the cutting force of micro-textured polycrystalline cubic boron nitride cutting tool for powder metallurgy materials”. *Advances in Mechanical Engineering*. 12, 7 (2020): 1–11, <https://doi.org/10.1177/1687814020938496>.

[11] Singh B., Sasi R., Subbu S.K., Muralidharan B. “Electric discharge texturing of HSS cutting tool and its performance in dry machining of aerospace alloy”. *Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 41, 3 (2019): 41–52, <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1654-6>.

[12] Feng Y., Zhang J., Wang L., Zhang W., Tian Y., Kong X. “Fabrication techniques and cutting performance of micro-textured self-lubricating ceramic cutting tools by in-situ forming of Al_2O_3-TiC ”. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 68 (2017): 121–129, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017-07-007>.

[13] Feng Y., Zhang J., Wang L., Zhang W., Tian Y., Kong X. “Study on secondary cutting phenomenon of micro-textured self-lubricating ceramic cutting tools with different morphology parameters formed via in-situ forming of Al_2O_3-TiC ”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 104, 3 (2019): 3821–3833, <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04045-x>.

[14] Ribeiro F., Lopes J., Bianchi E., Sanchez L. “Application of texturization techniques on cutting tool surfaces – a survey”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 109 (2020): 1117–1135, <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05669-0>.

[15] Rathod P., Aravindan S., Paruchuri V.R. “Evaluating the effectiveness of the novel surface textured tools in enhancing the machinability of titanium alloy (Ti6Al4V)”. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 9, 3 (2015), paper No. 15-00315, <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2015jamdsm0035>.

[16] Fang Z., Obikawa T. “Cooling performance of micro-texture at the tool flank face under high pressure jet coolant assistance”. *Precision Engineering*. 49 (2017): 41–51, <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2017.01.008>.

[17] Song W., Jianxin D., Hui Z., Xing A. “Performance of a cemented carbide self-lubricating tool embedded with MoS_2 solid lubricants in dry machining”. *Journal of Manufacturing Processes*. 13, 1 (2011): 8–15, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2010.08.004>.

[18] Alagan N.T., Zeman P., Hoier P., Beno T., Klement U. “Investigation of micro-textured cutting tools used for face turning of alloy 718 with high-pressure cooling”. *Journal of Manufacturing Processes*. 37(2019): 606–616, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.12.023>. ■