

Progress in structured and textured cutting tools Part 1. New designs and methods of fabricating of structured and textured cutting tools

Postęp w strukturyzowaniu i teksturyzowaniu ostrza skrawającego Część 1. Nowe konstrukcje i metody wykonywania mikro- i nanostruktur

WIT GRZESIK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2022.4.4>

This paper presents new designs of structured and textured working surfaces of cutting tools made of different materials such as HSS, uncoated and coated sintered carbides, and superhard materials (PCD and CBN). A review of applied fabricating techniques including: micro-grinding, micro-EDM, micro-ECM, laser surface technology (LST), focused ion beam (FIB) and photolithography is done. Some recently published data concerning research works in the area of fabricating micro-/nano-textures of different geometrical configuration and functionality are discussed.

KEYWORDS: structuring, texturing, cutting tools, micro-textures, nano-textures

W artykule przedstawiono nowe rozwiązania konstrukcyjne strukturyzowanych i teksturyzowanych powierzchni roboczych ostrzy skrawających wykonanych z różnych materiałów narzędziowych – stali szybko tnących, powlekanych węglików spiekanych oraz materiałów supertwardych (PCD i CBN). Dokonano przeglądu technik wytwarzania, w tym: mikroszlifowania, micro-EDM, micro-ECM, laserowej obróbki powierzchniowej, obróbki skoncentrowanym strumieniem jonów i fotolitografii. Omówiono wyniki ostatnio opublikowanych prac badawczych w zakresie wytwarzania mikro- i nanostruktur o różnej konfiguracji geometrycznej i funkcjonalności.

SŁOWA KLUCZOWE: strukturyzowanie, teksturyzowanie, narzędzia skrawające, mikrostruktury, nanostruktury

Wprowadzenie

W numerze 5–6 z 2012 r. [1] i numerze 4 z 2021 r. *Mechanika* [2] opisano ogólne zagadnienia związane z możliwością doskonalenia właściwości tribologicznych ostrzy skrawających wykonanych z PCD i PCBN przez zamierzone strukturyzowanie/teksturowanie powierzchni natarcia i przyłożenia, czyli wytwarzanie na nich regularnych struktur w skali mikro i nano. Stąd wywodzi się nazwa tego typu powierzchni: *micro-/nano-textured surfaces*.

Szczegółne zainteresowanie modyfikacją powierzchni kontaktowych ostrzy skrawających ma swoje uzasadnienie w znacznym zmniejszeniu tarcia ślizgowego pomiędzy powierzchniami z ukształtowanymi fragmentami o wymiarach rzędu mikrometrów i nanome-

trów. Jest to wynikiem gromadzenia się produktów zużycia w wolnych przestrzeniach (mikrorowkach lub tunelach) i poprawy smarowania strefy kontaktu. Udokumentowano [3, 4], że efekt oddziaływania środka smarnego, nawet w postaci nanododatku, może być zniwelowany przez dodatkowe, wtórne oddziaływanie ściernie produktów zużycia. W przypadku wystąpienia tarcia granicznego, co zwykle ma miejsce w strefie styku wiór–ostrze, mikrorowki spełniają funkcje rezerwuarów środka smarnego i pomagają w utrzymaniu ciągłego filmu smarnego. Duże znaczenie ma zmniejszenie intensywności towarzyszących obciążeni mechanicznych i termicznych [5].

Skala naniesionych struktur jest ściśle związana z zauważalnym zmniejszeniem tarcia, nie dla struktur submilimetrycznych, ale dla struktur o określonej konfiguracji geometrycznej w skali mikrometrów i nanometrów albo ich kombinacji [1]. W części 1 artykułu zostaną omówione obecnie stosowane lub testowane techniki mikro- i nanostrukturyzowania powierzchni roboczych, natarcia i przyłożenia – rozdzielnie lub łącznie – ostrzy skrawających. W kolejnych częściach artykułu zostaną przedstawione: ich wpływ na przebieg procesu i stan powierzchni obrobionej, a także umotywowane wynikami badań zastosowania.

Zasada projektowania strukturyzowanych narzędzi skrawających

Strukturyzowanie/teksturyzowanie jest stosunkowo nowym pomysłem i z tego względu badania koncentrują się na optymalizacji nie tylko kształtu i wymiarów elementów struktury, ale również ich usytuowania w stosunku do kierunku spływu wióra (rys. 2), który jest mierzony względem krawędzi skrawającej płytki ostrzowej [1, 4]. Podstawowym przesłaniem jest uwzględnienie specyfiki procesów kontaktowych na roboczych fragmentach powierzchni natarcia i przyłożenia oraz ich wpływu na przebieg procesu i skutki obserwowane w układzie ostrze–wiór–materiał obrabiany [4].

Zgodnie z ideą projektowania strukturyzowanych narzędzi skrawających przedstawioną na rys. 1 proces ten powinien uwzględniać następujące etapy [5]:

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

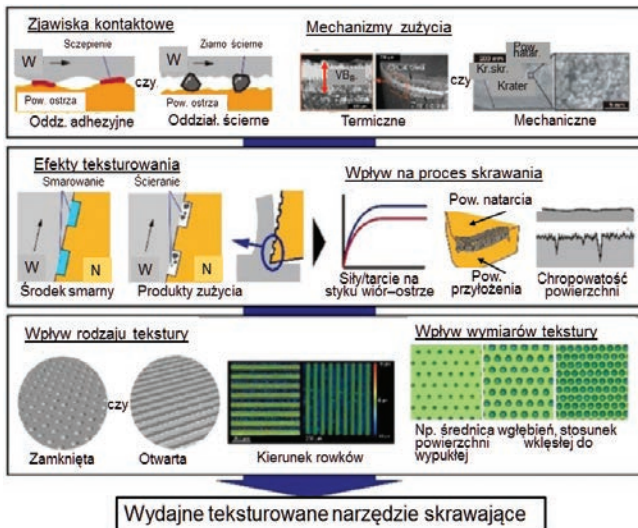


Fig. 1. Scheme of the design process of textured cutting tools [5]

Rys. 1. Schemat procesu projektowania teksturyzowanych narzędzi skrawających [5]

- rozpoznanie właściwej funkcjonalności powierzchni, która ma być poddana modyfikacji; należy m.in. ustalić charakter procesu tarcia ślizgowego (adhezyjny czy ścierny) i zasadniczy czynnik wywołujący kryterialne zużycie ostrza (termiczny czy ścieranie mechaniczne); ważna jest mapa pola kontaktu z wymiarami – długością i szerokością – w zależności od tego czy powierzchnia ostrza jest płaska, czy rowkowana;
- ustalenie funkcjonalności powierzchni w zależności od jej struktury, czyli osiągnięcia efektu smarowania, roli obecnych produktów zużycia i wielkości strefy kontaktu, zmniejszenia oddziaływania adhezyjnego oraz wpływu na przebieg procesu, tj. obciążenia mechaniczne, tarcie w strefie kontaktu, zużycie ostrza, oraz rozważenie, które efekty mogą być uzyskane tą drogą;

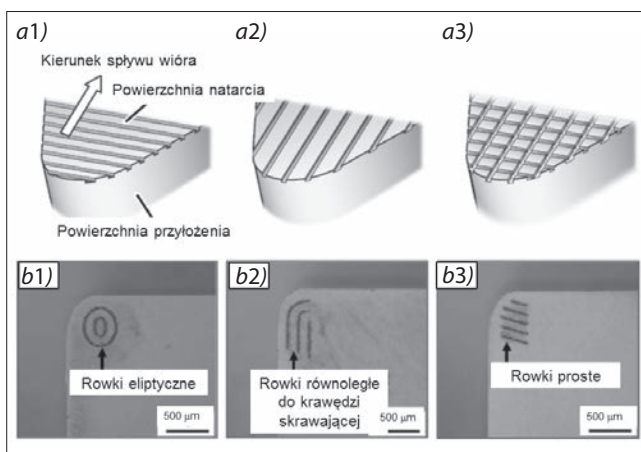


Fig. 2. Directions of grooves on the textured rake face (a) and micrographs of grooves fabricated on the corner area of indexable cutting inserts. Kinds of structures: a1) perpendicular, a2) parallel to the chip flow direction, a3) crossed pattern texture; b1) elliptical grooves, b2) curvilinear grooves parallel to the main cutting edge, b3) linear grooves in the direction of chip flow [6]

Rys. 2. Kierunki rowków na strukturyzowanej powierzchni natarcia (a) i mikrofotografie rowków wykonanych w obszarze naroża płytek ostrzowych. Rodzaje struktur: a1) prostopadła, a2) równoległa, a3) skrzyżowana; b1) rowki eliptyczne, b2) rowki krzywoliniowe równoległe do głównej krawędzi skrawającej, b3) rowki liniowe zgodne z kierunkiem spływu wióra [6]

- przypisanie różnych funkcjonalności do powierzchni natarcia i przyłożenia, jeśli teksturyzowanie ma obejmować jedną z tych powierzchni lub obydwie jednocześnie;
- analiza cech projektowanej struktury (otwarta czy zamknięta), jej elementów (rowki czy występy), jej wymiarów (np. stosunku powierzchni wklęsłej i wypukłej), występowania struktur inspirowanych biologicznie, a także rozważenie alternatywnych rozwiązań w odniesieniu do lokalizacji elementów w obszarze styku;
- rozważenie wpływu kierunku elementów struktury w stosunku do położenia krawędzi skrawającej (rys. 2);
- ustalenie właściwej odległości struktury od krawędzi skrawającej ze względu na zachowanie jej cech geometrycznych i wytrzymałościowych w czasie procesu oraz jej zależności od parametrów skrawania i wymiarów wióra (głównie grubości).

Charakterystyka struktur na ostrzach narzędzi skrawających

Do struktur najczęściej stosowanych przez producentów narzędzi skrawających należą te złożone z regularnie rozmieszczonych rowków, wgłębień i występów o rozmiarach mikrometrowych i nanometrowych oraz struktury faliste zbliżone do regularnego profilu powierzchni o odpowiedniej nośności/udziale materiałowym profilu powierzchni [1, 5, 8].

Na rys. 2a przedstawiono trzy charakterystyczne kierunki teksturowanej na powierzchni natarcia płytki ostrzowej metodą LST (*Laser Surface Technology*): prostopadły (a1), równoległy (a2) i skrzyżowany (a3) w stosunku do kierunku spływu wióra. Na rys. 2b zaprezentowano rowki krzywoliniowe i prostoliniowe tworzące strukturę zamkniętą (b1) i otwartą (b2 i b3).

Na rys. 3 zaprezentowano cztery rodzaje mikrostruktur utworzonych z rowków o różnej kierunkowości

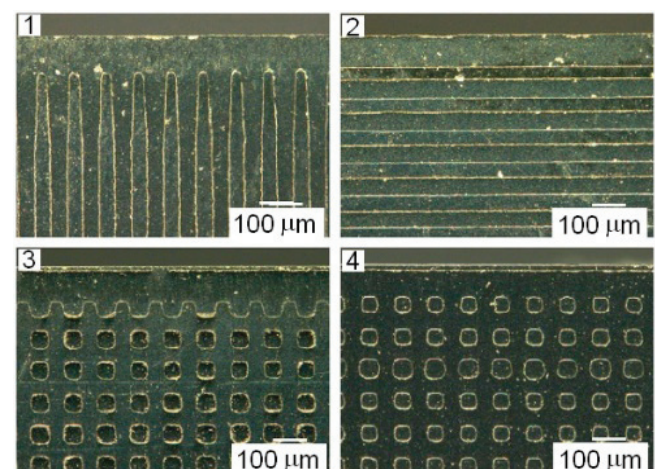


Fig. 3. Micrographs of four different micro-structures fabricated on the rake face of indexable cutting inserts. 1 – perpendicular, 2 – parallel to the cutting edge, 3 – pits, 4 – dots [1, 5, 7]

Rys. 3. Mikrofotografie czterech rodzajów mikrostruktur wytworzonych na powierzchni natarcia płytek ostrzowych. 1 – prostopadła, 2 – równoległa do krawędzi skrawającej, 3 – wgłębienia, 4 – występy [1, 5, 7]

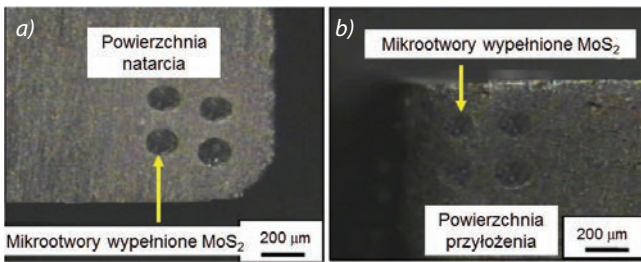


Fig. 4. Micrographs of the rake (a) and flank (b) faces with four micro-holes filled with MoS₂ [5, 6]

Rys. 4. Mikrofotografie powierzchni natarcia (a) i przyłożenia (b) ostrza z wykonanymi czterema mikrowgłębieniami wypełnionymi MoS₂ [5, 6]

(1 i 2) oraz mikrowgłębień (3) i mikrootworów (4). W celu orientacji skali elementów w mikrostrukturze rowki i występy wykonane na powierzchni natarcia (rys. 3) mają szerokość od 20 do 50 µm i głębokości 0,5; 1,0 i 1,2 µm. Aby spełnić warunek stabilnej krawędzi skrawającej, początek mikrostruktury został oddalony o 100÷150 µm.

Na rys. 4 widać proste mikrostruktury wykonane na powierzchni natarcia i przyłożenia przez mikro-EDM, złożone z czterech wgłębień o średnicy Ø200 do 250 µm i głębokości 250 µm. Wgłębienia wypełnia się stałym środkiem smarnym – dwusiarczkiem molibdenu (MoS₂), co wywołuje w czasie skrawania efekt samosmarny w obróbce na sucho stali utwardzonej.

Na rys. 5I przedstawiono możliwe warianty wykonania nanotekstury na ostrzu z węgla WC-Co z powłoką Ti_{0,55}Al_{0,45}N nałożoną na polerowane podłoże, a na rys. 5II i 5III – lokalizację falowej nanostruktury i jej widok izometryczny wykonany na interferometrze na światło białe (WLI – white light interferometry). Nanostruktura może być częściowa w postaci kilku prążków (IIa) lub całkowita (IIb) w obrębie pola

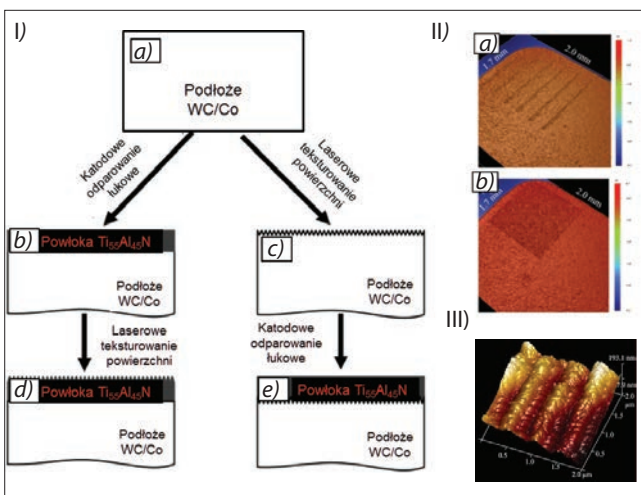


Fig. 5. Variants of textured rake face of WC/Co tool coated with Ti_xAl_{1-x}N layer: I – a) polished substrate, b) coated, c) firstly coated and then textured, d) firstly textured and then coated. II – localization of textures: a) partial texture, b) areal texture. III – topography of nano-texture measured using AFM [5, 8]

Rys. 5. Warianty strukturyzowania powierzchni natarcia ostrza WC/Co z powłoką Ti_xAl_{1-x}N: I – a) polerowane podłoże, b) naniesienie powłoki, c) wykonanie tekstury, d) najpierw naniesienie powłoki i następnie wykonanie tekstury, e) najpierw wykonanie tekstury i następnie naniesienie powłoki; II – lokalizacja nanostruktur: a) częściowej i b) całkowitej wykonane na mikroskopie WLI; III – topografia nanotekstury z użyciem mikroskopu AFM [5, 8]

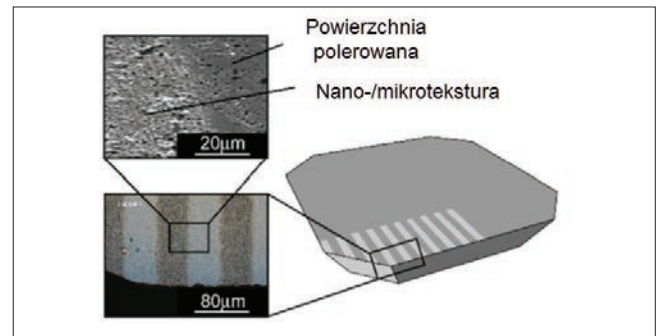


Fig. 6. View of cutting insert with "sandwich" texture [5]

Rys. 6. Widok płytki skrawającej z teksturą typu „sandwich” [5]

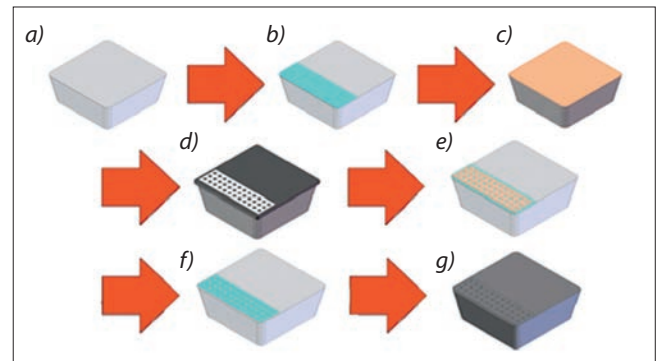


Fig. 7. Scheme of the deposition process of DLC layer on textured rake face of cutting insert [1, 7]

Rys. 7. Schemat procesu nakładania powłoki DLC na strukturyzowaną powierzchnię natarcia płytki ostrzowej [1, 7]

styku. Wariant *Id* z powierzchniową nanoteksturą (areal nano-texture) okazuje się najbardziej efektywny w kontekście poprawy przebiegu procesu. Szczegółowe informacje zostaną podane w 2 części artykułu.

Przypadek pokazany na rys. 5IIa i rys. 6 nazwano teksturą typu „sandwich” [5]. Powierzchnie nieteksturowane pomiędzy fragmentami teksturowanymi zapobiegają wyciekom środka chłodzącego. Często stosuje się przemiennie fragmenty tekstury w skali mikro i nano.

Z kolei do nakładania powłoki diamentopodobnej CVD-DLC na wstępnie strukturyzowaną powierzchnię natarcia (wariant *Ie* z rys. 5) stosowano wieloetapowy proces przedstawiony na rys. 7. Obejmuje on następujące etapy: a) polerowanie i odłuszczenie powierzchni płytki z węgla spiekane, b) nakładanie warstewki Ni, c) nakładanie powłoki fotorezystu, d) naświetlenie

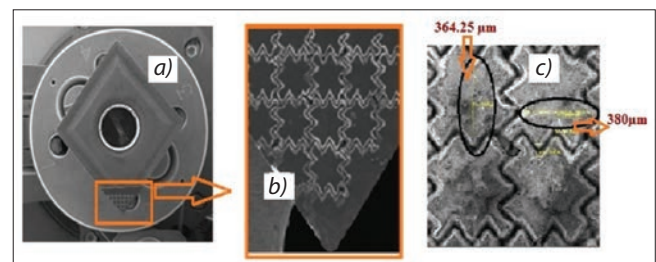


Fig. 8. View of textured corner of WC/Co cutting insert (a), SEM image of cross-chevron texture with magnification of 100× (b) and characteristic horizontal and vertical dimensions of grooves (c) [10]

Rys. 8. Widok teksturyzowanego naroża płytki ostrzowej (a) oraz zdjęcie SEM jodełkowej tekstury w powiększeniu 100× (b) i charakterystyczne wymiary poziome i pionowe jej elementów (c) [10]

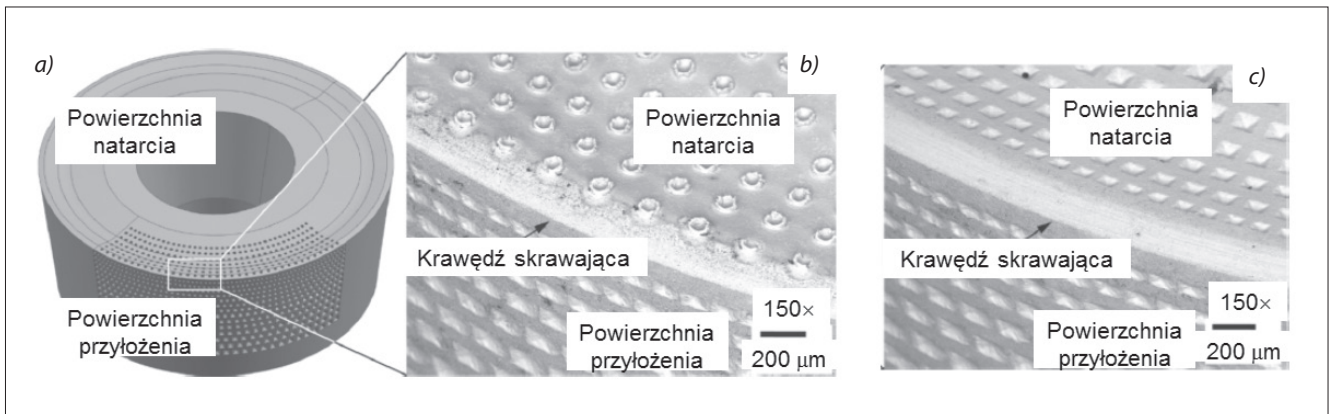


Fig. 9. Example of combined micro-texture fabricated on rake and flank faces of round cutting insert using laser method: a) view of textures on the insert, b) and c) SEM images of grooves [11]

Rys. 9. Schemat łącznego strukturyzowania powierzchni natarcia i przyłożenia okrągłej płytki ostrzowej za pomocą lasera: a) widok płytki, b) i c) obraz SEM elementów mikrostruktury [11]

promieniami UV przez maskę, e) wywoływanie, f) chemiczne trawienie warstewki Ni, g) nałożenie właściwej powłoki DLC.

Na rys. 8 przedstawiono naroże płytki trójkątnej ze skrzyżowaną, jodełkową teksturą, w której rowki obwodowe wypełniono nanocząstkami Al_2O_3 o wielkości 500 ± 550 nm. W ten sposób połączono korzystne efekty teksturyzowania i smarowania, co wzmacnia wpływ teksturyzowania na przebieg procesu skrawania stali austenitycznej.

Na rys. 9 zaprezentowano kombinację struktury złożonej z cylindrycznych mikrootworów na powierzchni natarcia i piramidalnych wgłębień na powierzchni przyłożenia (b) oraz piramidalnych wgłębień na obydwóch powierzchniach ostrza (c), którą wykonano techniką strukturyzowania laserowego. Zachowano stałą podziałkę 0,25 mm pomiędzy rzędami wgłębień i występów. Średnica i głębokość wgłębień cylindrycznych były równe ok. 0,1 mm. Mikrostrukturę tę wykonano na ostrzu, które pracuje z wysokociśnieniowym systemem podawania CCS w skrawaniu stopu Inconel 718 [11]. Podstawowym celem stosowania takich kombinowanych struktur

jest ich wpływ na warunki kontaktu w strefie wiór-ostrze. Podobne rozwiązania opisano w pracach [2] oraz [5].

Na rys. 10 pokazano przykład mikrostruktury na powierzchni przyłożenia płytki skrawającej zaprojektowanej z wykorzystaniem inspiracji natury – w tym przypadku powłoki brzusznej pytona kulkowego. Do wykonania struktury zastosowano laser femtosekundowy.

Przegląd technik strukturyzowania powierzchni ostrzy skrawających

Z punktu widzenia procesu wykonanie struktur i tekstur na ostrzach narzędzi skrawających jest bardzo wymagającym zadaniem technologicznym z uwagi na dużą twardość materiału narzędziowego (zwłaszcza materiałów ceramicznych i polikrystalicznych materiałów supertwardych) oraz skomplikowaną geometrię strukturyzowanej powierzchni złożonej zasadniczo z rowków i wgłębień w postaci regularnych lub nieregularnych układów. Z tego powodu wyróżnia się tekstury rowkowane i wgłębne (*dimple and groove textures*). Dodatkowo wyróżnia się struktury otwarte i zamknięte. Zasadniczo do strukturyzowania stosuje się procesy konwencjonalne i niekonwencjonalne [5]. Strukturyzowanie oraz teksturyzowanie powierzchni natarcia i przyłożenia ostrza można przeprowadzać różnymi metodami, takimi jak [2, 5, 6]:

- wykańczające procesy ściernicze,
- powierzchniowa obróbka laserowa (LST),
- mikroobróbka elektroerozyjna wgłębna (μ EDM),
- mikroobróbka elektrochemiczna (μ ECM),
- obróbka skoncentrowanym strumieniem jonów (FIB),
- rozprysk łukiem i fotolitografia,
- katodowe odparowanie w próżni.

Spśród wykańczających sposobów obróbki ścierniczej do wytwarzania struktur na powierzchniach roboczych ostrza stosuje się mikroszlifowanie, szlifowanie taśmowe i przetłaczanie zawiesiny ścierniczej. Metody te nie zapewniają jednak wysokiej dokładności kształtu ani jakości powierzchni i nie mogą być stosowane do materiałów supertwardych.

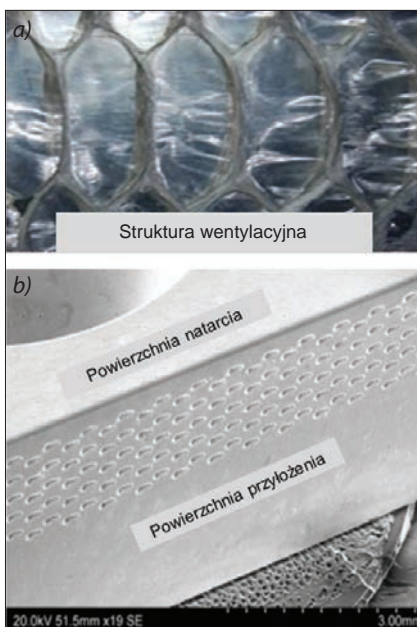


Fig. 10. Example of bio-inspired design of textured cutting tools: a) structure of snake scale, b) textured flank face [5, 9]
Rys. 10. Przykład bio-inspiracji w projektowaniu strukturyzowanych narzędzi skrawających: a) struktura brzuszna skóry węża, b) struktura wytworzona na powierzchni płytki skrawającej [5, 9]

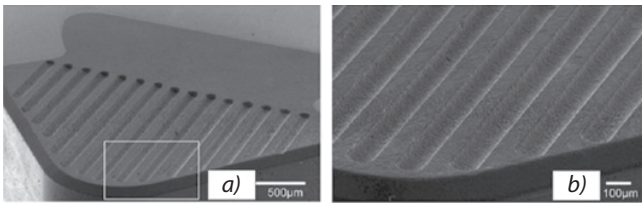


Fig. 11. Example of micro-structure fabricated on the rake face of CBN cutting insert using μ EDM process: a) view of texture on the corner, b) magnified grooves [5]

Rys. 11. Przykład mikrotekstury wytworzonej na powierzchni natarcia płytki skrawającej z CBN metodą μ EDM: a) widok tekstury na narożu, b) powiększone rowki [5]

Mikroobróbka elektroerozyjna wgłębna (μ EDM) jest często stosowana do wytwarzania mikrotekstur na ostrzach z PCD i PCBN (rys. 11). Proces przebiega cyklicznie i obejmuje wgłębienie i wycofywanie elektrody. Problemem są powstające w pierwszej fazie procesu efekty termiczne.

W przykładzie przedstawionym na rys. 11 mikrostrukturę złożoną z diagonalnych rowków o szerokości $100 \mu\text{m}$ i głębokości $50 \mu\text{m}$ wykonano na powierzchni natarcia płytki z CBN w odległości $10 \mu\text{m}$ od krawędzi skrawającej. Metodą μ EDM wykonuje się wgłębienia w ostrzach ze stali szybko tnącej [14].

W stosunku do mikroobróbki elektrochemicznej (μ ECM) obowiązuje ograniczenie co do przewodności elektrycznej materiału narzędziowego i dodatkowo pojawia się konieczność wykonania elektrody z de-

likatnym wypustem (rąbkiem), co znacznie podraża proces. W literaturze podaje się przykłady wykonania tą metodą mikrotekstur na ostrzach narzędzi z węglików spiekanych.

Ze wszystkich wymienionych metod najczęściej stosowana jest metoda LST, ponieważ umożliwia uzyskanie wgłębień o wymiarach nanometrowych. Regularne i dokładne rowki są wykonywane przez nastawianie mocy źródła lasera niewiele powyżej progu ablacji z kontrolą przerwy między regularnymi odstępami równymi lub mniejszymi od długości fali lasera. Tekstury są wytwarzane przez skanowanie w kierunku prostopadłym lub równoległym do kierunku polaryzacji.

Mikrotekstura na powierzchni natarcia płytki skrawającej z CBN z rys. 12 została wykonana metodą ablacji laserowej z użyciem lasera włóknowego o długości fali $1,06 \mu\text{m}$ i częstotliwości impulsów od 20 do 100 kHz. Proces przeprowadzono z maksymalną częstotliwością impulsów 100 kHz oraz z prędkością trasowania 5 m/s .

W przypadku struktur falowych zbliżonych do sinusoidalnych stosuje się laser femtosekundowy (tytanowo-szafirowy system laserowy), co umożliwia wykonanie mikro- lub nanorowków o głębokości odpowiednio 700 nm oraz $100 \pm 150 \text{ nm}$.

Na rys. 13 przedstawiono różne mikrostrukstury wykonane metodą FIB (*focused ion beam*) na powierzchniach natarcia płytek z węglików spiekanych, które

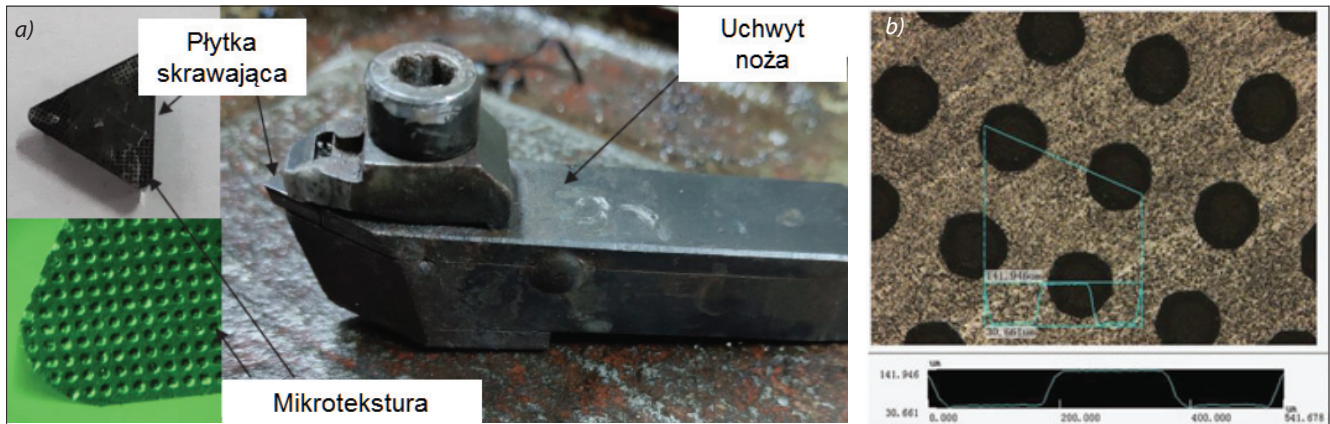


Fig. 12. Example of micro-structure fabricated on the rake face of CBN cutting inserts using laser ablation process: a) view of texture on the corner, b) magnified grooves [12]

Rys. 12. Przykład mikrostruktury wytworzonej na powierzchni natarcia płytki skrawającej z CBN metodą ablacji laserowej: a) tekstura na narożu, b) powiększenie rowków [12]

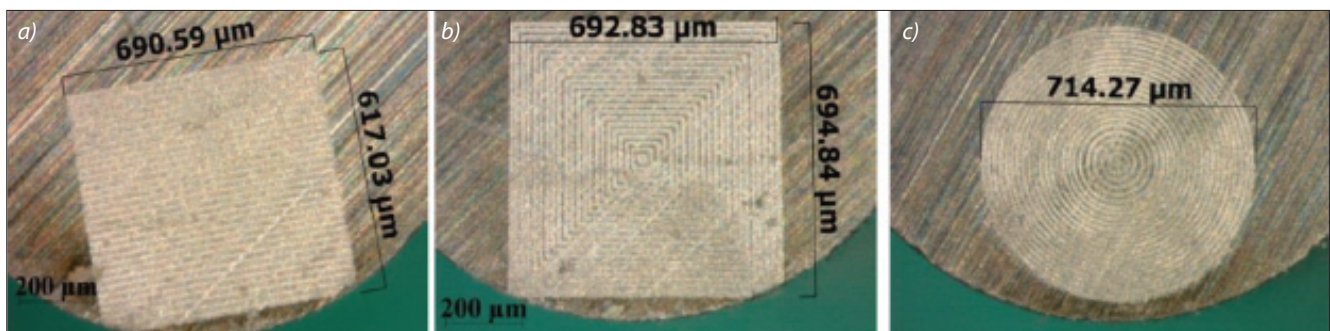


Fig. 13. Examples of micro-structures fabricated on CBN cutting inserts using FIB process: view of texture on the corner with a) linear, b) square and c) circular grooves [13]

Rys. 13. Przykład mikrostruktury wytworzonej na powierzchni natarcia płytki skrawającej z CBN metodą FIB: widok tekstury na narożu z rowkami a) liniowymi, b) kwadratowymi i c) kołowymi [13]

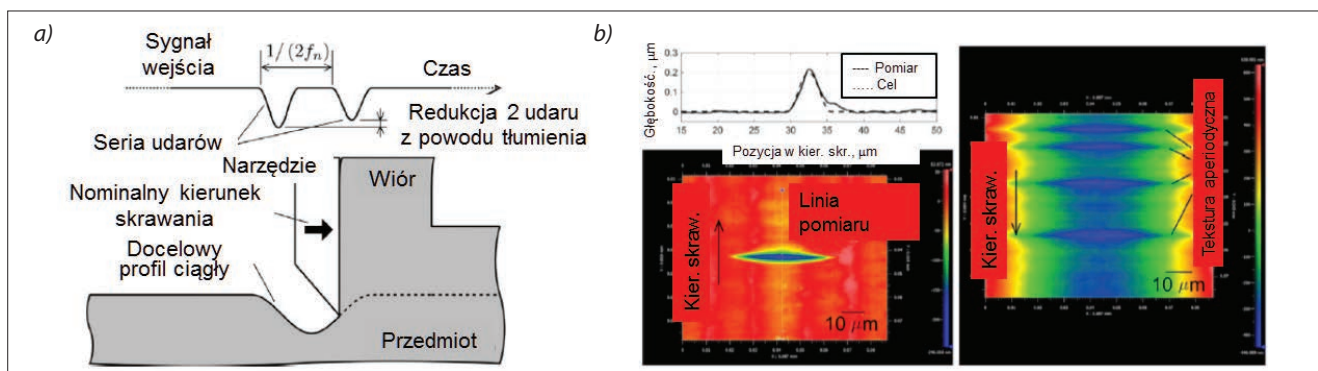


Fig. 14. Scheme of micro-/nano-texture fabricating using ImpEC method (a) and machined single/aperiodic textures [15]
 Rys. 14. Schemat wykonywania mikro- lub nanotekstury metodą ImpEC (a) i wytworzona pojedyncza/aperiodyczna tekstura (b) [15]

następnie zostały pokryte warstwą dwusiarczku wolframu WS_2 . Tekstura (a) składa się z rowków usytuowanych prostopadle do kierunku spływu wióra (KSW). Tekstura (b) jest kombinacją rowków w kierunku prostopadłym i równoległym do KSW, a teksturę (c) tworzą rowki kołowe. Szerokość obszaru teksturowanego wynosiła ok. 700 μm, a długość w kierunku spływu wióra – także ok. 700 μm. Proces przeprowadzono z natężeniem wiązki 42 nA, napięciem wiązki 16 kV i pokryciem wiązki 80%. Otrzymane mikrotekstury sprawdzano w obróbce stopu tytanu Ti6Al4V.

Z innych metod można wymienić metodę powłoki maskującej, którą zastosowano do wykonania segmentowej powłoki typu DLC [5]. Do wykonania odpowiednich struktur na rys. 5 zastosowano popularną metodę fotolitografii. Fotomaski dla każdej kombinacji wzorów wykonano z płytki szklanej pokrytej warstwą chromu i powłoką fotorezystywną, natomiast zbędne fragmenty usuwano z zastosowaniem techniki elektronolitografii (wiązki elektronów).

Na rys. 14 zilustrowano oryginalną metodę wytwarzania mikro- i nanotekstury opartą na wywoływaniu drgań ostrza powyżej częstotliwości rezonansowej (progu wzbudzenia). Nosi ona nazwę uderzeniowo wzbudzonego skrawania (*impact excitation cutting* – ImpEC). W porównaniu ze skrawaniem wibracyjnym wytwarza się submikronowe struktury aperiodyczne (rys. 14b), ponieważ szczytkowe drgania są wygaszane przez inne dodatkowe impulsy (rys. 14a). Możliwe jest wytwarzanie dużych i małych struktur falistych typu cosinus oraz kombinacji struktury falistej cosinus i płaskiej. Metoda została częściowo zweryfikowana w skrawaniu ostrzem diamentowym twardej stali narzędziowej azotowanej powierzchniowo [15].

LITERATURA

- [1] Grzesik W. „Tribologiczne efekty strukturyzowania powierzchni natarcia ostrza skrawającego”. *Mechanik*. 5–6 (2012): 418–423.
- [2] Jarosz K. „A review of the recent investigations regarding texturized cutting tools”. *Mechanik*. 4 (2021): 6–9, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2021.4.7>.
- [3] Grzesik W. „Hybrydowe procesy skrawania wspomagane nanocieczami. Część 1: Właściwości i mechanizmy oddziaływania nanociecz”. *Mechanik*, 2 (2020): 6–9, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2021.2.3>.
- [4] Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa: WNT, 2018.
- [5] Ózel T., Biermann D., Enomoto T., Mativenga P. “Structured and textured cutting tool surfaces for machining applications”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 70 (2021): 495–518, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.05.006>.
- [6] 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>.
- [7] 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>.
- [8] 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>.
- [9] Fatima A., Mativenga P.T. “On the comparative cutting performance of nature-inspired structured cutting tool in dry cutting of AISI/SAE 4140”. *IMEchE Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 231, 11 (2017): 1941–1948, <https://doi.org/10.1177/0954405415617930>.
- [10] Narayanan S., Baskar N., Vedha Hari B.N. et al. “Performance of cutting tool with cross-chevron surface texture filled with green synthesized aluminium oxide nanoparticles”. *Scientific Reports*, www.nature.com/scientificreports.
- [11] 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>.
- [12] 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>.
- [13] 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>.
- [14] 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>.
- [15] Hayasaka T., Sun P., Jung H., Mizutani Y., Shamoto E. “Proposal of 'ImpEC (impact excitation cutting) for realization of high-flexibility and high-efficiency micro/nano surface texturing”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 70 (2021): 41–44, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.023>. ■