Wiarygodność pomiaru mikroskopowego geometrii frezu kulistego oraz jej wpływ na nierówności powierzchni po frezowaniu kopiowym

Credibility of the microscopic measurement of the tool geometry and its influence on surface asperity after ball end milling

MICHAŁ MENDAK MICHAŁ WIECZOROWSKI KAROL GROCHALSKI BARTOSZ GAPIŃSKI*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.112

Zbadano nowe frezy w różnych warunkach oświetlenia i uzyskano szczegółowe modele 3D. Różnice w geometrii wierzchołka narzędzia spowodowały uzyskanie powierzhni o diametralnie różnych parametrach. Zaobserwowano wpływ wykruszenia na postać powierzchni. Otrzymane modele 3D posłużyły do utworzenia mapy ubytków materiału ostrza narzędzia skrawającego.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie, mikroskop różnicowania ogniskowego, zużycie narzędzia, nierówności powierzchni

New ball end mills in various lighting conditions were examined and detailed 3D models were obtained. Differences in the geometry of the tool tip resulted in a surface with drastically different parameters. The effect of the edge break was observed. The obtained 3D models were used to create a map of the material loss on the cutting edge of cutting tool.

KEYWORDS: turning, focus variation microscope, toolwear analysis, surface topography

Obserwacja procesu zużycia narzędzia i wpływu jego geometrii na uzyskiwane nierówności powierzchni były przedmiotem wielu badań i publikacji [1–4]. Często spotyka się sparametryzowane opisy zużycia podające jedynie wartości maksymalne ubytków, jednak takie podejście wydaje się niewystarczające do dokładnego prześledzenia zużycia narzędzia i lokalizacji jego ognisk.

Wykorzystanie w tym celu mikroskopu różnicowania ogniskowego pozwala na wykonanie wszystkich pomiarów jednym urządzeniem [6]. Zarówno w pomiarze narzędzia, jak i nierówności otrzymanej powierzchni wykorzystuje się technologię *focus variation*, dzięki której możliwe jest szczegółowe obrazowanie skomplikowanej geometrii narzędzi obrotowych. W badaniach, opisanych w tej publikacji, użyty został mikroskop InfiniteFocus G5, znajdujący się w siedzibie firmy ITA. Umożliwia on wykrycie zaokrągleń krawędzi rzędu kilku mikrometrów oraz pomiar mocno pochylonych powierzchni. Rozdzielczość tego urządzenia pozwala na wiarygodne pomiary nierówności powierzchni w niemal całym zakresie wielkości otrzymywanych w obróbce skrawaniem [5].

Różnicowanie ogniskowe

Mikroskopia różnicowania ogniskowego to technologia pomiaru powierzchni polegająca na szukaniu najlepszej pozycji ostrości układu optycznego względem mierzonej próbki. Pomiar odbywa się poprzez skanowanie w osi *Z* i ciągłe śledzenie zmiany kontrastu (ostrości) pomiędzy sąsiadującymi pikselami (rys. 1), z jednoczesnym zapisem współrzędnych ostrości dla każdego piksela. Poprzez powtórzenie pionowych skanów z zachowaniem odstępów otrzymuje się chmurę punktów odwzorowującą mierzoną powierzchnię.



Rys. 1. Przebieg zmiany ostrości punktu w trakcie skanowania w osi Z

Pozycja punktu jest obliczana z maksymalnej wartości dopasowanej krzywej ostrości [6].

Przebieg badań

Przedmiotem badań były dwa frezy kuliste, czteroostrzowe, przeznaczone do obróbki zgrubnej i półwykończeniowej, oraz obiekt o geometrii testowej, angażujący zarówno część centralną (wierzchołkową) frezu, jak i pozostałą część kulistą narzędzia.

Jedna strona "kostki" testowej składała się z czteroramiennego gniazda z kulistą geometrią w jego centrum. Z drugiej strony znajdowała się geometria testowa, składająca się z geometrii często spotykanych w obróbce

^{*} Mgr inż. Michał Mendak (michal.a.mendak@doctorate.put.poznan.pl), prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski (michal.wieczorowski@put. poznan.pl), mgr inż. Karol Grochalski (karol.grochalski@put.poznan.pl), dr inż. Bartosz Gapiński (bartosz.gapinski@put.poznan.pl) – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych

skrawaniem: zaokrąglenia, fazy, skosu 45°. Gniazda z pierwszej strony zostały wykonane z takimi samymi parametrami, a celem tego zabiegu było dotarcie krawędzi skrawającej. Druga geometria testowa została wykonana z trzema różnymi parametrami skrawania. W każdym przypadku wykonano obróbkę trzyosiową, z osią wrzeciona pokrywającą się z osią Z detalu.

Zarówno przed obróbką, jak i po niej przeprowadzono pomiary geometrii narzędzia, wykonując skany w dużej rozdzielczości dla każdego ostrza. Wykonano również pojedyncze skany części wierzchołkowej obu narzędzi.

Analiza wyników

Wykorzystanie mikroskopu różnicowania ogniskowego pozwoliło na pomiar badanej powierzchni i wyodrębnienie nawet kilku tysięcy profili dużo szybciej, niż by to miało miejsce w przypadku pomiaru profilometrem stykowym. Dodatkowo zniwelowany został wpływ losowości rozłożenia profili.



Rys. 2. Obraz powierzchni po obróbce narzędziem 1

Na rys. 2 oraz przedstawiono wyniki pomiaru chropowatości w postaci wartości średniej arytmetycznej dla 300 profili rozłożonych równomiernie na całej powierzchni pomiaru. Parametry każdego profilu zostały wyznaczone z tymi samymi parametrami filtracji, w oparciu o normę ISO 4288.

Zbadano również parametry przestrzenne: Sa, Sq oraz Sz, odpowiadające parametrom profilu chropowatości [7]. Na rys. 4 widać wyraźną tendencję spadkową dla każdego parametru. Zwracają uwagę znacznie niższe wartości odpowiadających sobie parametrów dla narzędzia 2, co wynika z innej geometrii jego wierzchołka (rys. 3).

Centralna część narzędzia 2 została zeszlifowana, eliminując punkt zerowy frezu. Dzięki takiemu zabiegowi charakterystyka pracy narzędzia jest zbliżona do frezu torusowego, a jednocześnie pozwala na obróbkę kształtową pochylonym narzędziem.

Wyniki w postaci chmury punktów przekonwertowano na modele 3D, które następnie nałożono na siebie i uzyskano w ten sposób mapy odchyłek.



Rys. 3. Geometria narzędzi: a) narzędzie 1, b) narzędzie 2



Rys. 4. Wartości i przebieg zmian parametrów chropowatości oraz parametrów topografii powierzchni. *N1*, *N2* – oznaczenia narzędzia; 200, 250, 420 – prędkość skrawania v_c w m/min. Posuw na ostrze 0,11 mm, dla v_c = 420 m/min posuw na ostrze 0,06 mm

Na rys. 5 i 6 przedstawiono efekt nałożenia na siebie modeli uzyskanych przed obróbką i po niej. W okolicach krawędzi skrawającej, w rejonie najdłużej obciążonym pracą w materiale, widoczne są ubytki. Na powierzchni przyłożenia występuje koncentracja tych ubytków. Wartości odchyłek zawierają się w zakresie ±3 µm.



Rys. 5. Mapa odchyłek geometrycznych; narzędzie 1



Rys. 6. Mapa odchyłek geometrycznych; narzędzie 2

Wiarygodność pomiaru

Mikroskop różnicowania ogniskowego, jak każde urządzenie optyczne, jest podatny na efekty świetlne, wśród których można wymienić refleksy, lokalne prześwietlenia, soczewkowanie powierzchni itp. [6, 8]. Wszystkie te aspekty musiały zostać wzięte pod uwagę podczas przygotowywania pomiaru. Wykonano szereg pomiarów testowych, w tym pomiary całej geometrii w trybie pięcioosiowym.

Jako kryteria wiarygodności pomiaru przyjęto brak widocznych artefaktów na powierzchni i błędów stitchingu oraz brak obszarów o zmniejszonej rozdzielczości powierzchni.

Pomiar narzędzia 2, posiadającego matową powłokę, nie wygenerował żadnych artefaktów, wskazujących na podwyższoną niepewność pomiaru. Konieczne były jedynie drobne modyfikacje kierunku padania światła z oświetlenia zewnętrznego, by uniknąć sporadycznych odblasków. Zarówno pomiary trzy-, jak i pięcioosiowe wykazały się wyjątkową czystością, tj. brakiem artefaktów

Pomiar narzędzia 1, o powłoce połyskującej, z częściowo odsłoniętym materiałem rodzimym na krawędzi skrawającej, był obarczony znaczną liczbą artefaktów, a w pomiarze pięcioosiowym wystąpiły błędy w stitchingu, zwłaszcza na krawędzi skrawającej (rys. 7). Widoczne były również lokalne zmiany rozdzielczości powierzchni, powodujące jej wygładzenie.



Rys. 7. Odrzucony pomiar narzędzia 1 – widoczne artefakty i błędy w stitchingu



Rys. 8. Prawidłowy pomiar narzędzia 1

W przypadku tego narzędzia, jedynie pomiary trzyosiowe pojedynczych ostrzy wykazały się wystarczającą powtarzalnością, by zakwalifikować je do dalszych badań (rys. 8). Było to możliwe dopiero z użyciem polaryzatora i po dostosowaniu parametrów padającego światła (czasu naświetlania, kontrastu, kierunku oświetlenia). Decydujące są również doświadczenie i umiejętności osoby ustawiającej pomiar.

Podsumowanie

Mikroskop różnicowania ogniskowego jest wszechstronnym urządzeniem, mogącym służyć do kompletnej oceny efektów procesów wytwarzania. Mnogość ustawień oświetlenia i parametrów pomiaru pozwala na zniwelowanie wpływu artefaktów i efektów optycznych na wiarygodność pomiaru.

Modele 3D obrabianych powierzchni ukazały diametralne różnice w uzyskanych nierównościach podczas obróbki narzędziami o odmiennej geometrii. Zarówno modele 3D, jak i otrzymane parametry nierówności wskazują na korzyści osiągane z usunięcia punktu zerowego freza kulistego. Taki zabieg spowodował zmniejszenie się wartości *Ra* i *Rq* o ok. 50%.

Pomiar narzędzia przed obróbką i po niej pozwolił na zobrazowanie ubytków materiałowych powstałych na narzędziu. Dostępne wysokie rozdzielczości pomiarów pozwalają na wykrycie ubytków już wielkości poniżej 1 µm.

Prezentowane wyniki badań, zrealizowanych w ramach zadania badawczego nr 02/22/DSPB/1432, zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Mikroskopy różnicowania ogniskowego wykorzystane na potrzeby prowadzonych badań zostały udostępnione przez firmę ITA ze Skórzewa k. Poznania.

LITERATURA

- Brzozowski D., Wieczorowski M., Gapiński B. "Pomiar geometrii i ocena powierzchni narzędzi za pomocą mikroskopu różnicowania ogniskowego". *Mechanik*. 11 (2017): s. 1020–1022.
- Chwalczuk T., Rybicki M., Korzeniewski D., Przestacki D. "Surface roughness after turning of aircraft materials". *Mechanik.* 10 (2016): s. 1312–1313.
- Danzl R., Helmli F. "Geometry and wear measurement of cutting tools. Int. Conf. On High Performance Cutting. Dublin, 2008.
- Segebade E., Zanger F., Schulze V. "Influence of different asymmetrical cutting edge microgeometries on surface integrity". 3rd CIRP Conference on Surface Integrity. Procedia CIRP. 45 (2016): s. 11–14.
- Danzl R., Helmli F., Scherer S. "Focus Variation a robust technology for high resolution optical 3D surface metrology". *Journal of Mechanical Engineering*. 57, 3 (2011): s. 245–256.
- Leach R.K. "Optical Measurement of Surface Topography". Berlin: Springer-Verlag, 2011, ISBN 978-3-642-12012-1.
- Wieczorowski M. "Teoretyczne podstawy przestrzennej analizy nierówności powierzchni". *Inżynieria Maszyn.* 18, 3 (2013).
- Hiersemenzel F., Petzing J.N., Leach R.K., Helmli F. "Areal texture and angle measurements of tilted surfaces using focus variation methods". Universite de Savoie. Loughborough's Institutional Repository, 2012.