

Ocena nierówności powierzchni toczonej i zużycia ostrza z wykorzystaniem mikroskopu różnicowania ogniskowego

Evaluation of surface asperities and tool wear after turning with use of a focus variation microscope

MICHAŁ MENDAK
MICHAŁ WIECZOROWSKI
KAROL GROCHALSKI
BARTOSZ GAPIŃSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.115>

Autorzy zbadali element cylindryczny, wytoczony w stali 100Cr6 za pomocą okrągłych płytek wykonanych z węgla spiekanego, z czterema różnymi wartościami posuwu na obrót. Po każdym etapie obróbki narzędzie było poddawane pomiarowi, a po zakończeniu obróbki zmierzono topografię powierzchni wału. Następnie uzyskane wyniki poddano analizie oraz wyodrębniono dane dotyczące chropowatości i zużycia narzędzi.

SŁOWA KLUCZOWE: nierówności powierzchni, pomiar zużycia narzędzia, toczenie, mikroskop różnicowania ogniskowego

The authors examined the shaft machined in 100Cr6 steel with four different feeds per revolution using round carbide inserts. After each session, the insert was subjected to measurement, and, finally, roughness of the entire shaft was measured. The obtained results were then analyzed and the roughness and wear data of the tools were presented.

KEYWORDS: surface asperities, tool wear analysis, turning, focus variation microscope

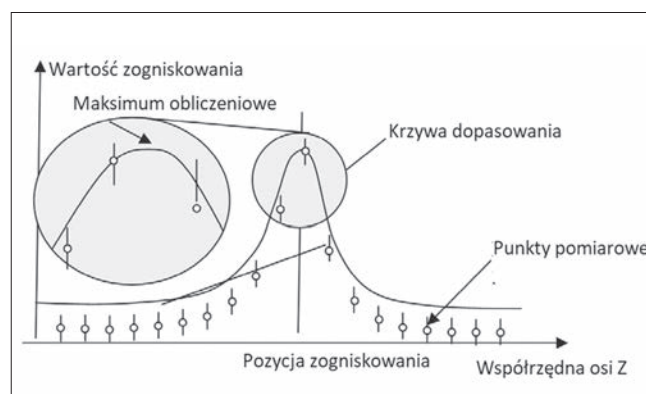
Nierówności powierzchni elementów obrabianych w procesie toczenia były przedmiotem wielu badań [1–3]. W przeważającej części badania te wykorzystywały metodę profilową, więc z jednej strony charakteryzowały się wysoką rozdzielczością pomiaru, a z drugiej – były narażone na losowość jego rozmieszczenia na badanej powierzchni. Obecnie pomiary nierówności powierzchni skłaniają się ku pomiarom obszarowym [4].

Ze względu na możliwość przeprowadzenia dokładnego i wiarygodnego pomiaru powierzchni obrabianej [5, 6] wykorzystano mikroskopy różnicowania ogniskowego Alicona InfiniteFocus G5 oraz SL. Mikroskopy te posłużyły również do pomiaru mikrogeometrii narzędzi skrawających oraz do określenia stopnia ich zużycia na podstawie utworzonej mapy odchyłek.

Pomiar nierówności powierzchni i geometrii narzędzi odbywał się metodą różnicowania ogniskowego (*focus variation*), co zapewnia uzyskanie bardzo wysokiej rozdzielczości pionowej. Pomiar nierówności w odniesieniu do całej powierzchni, a nie tylko do profilu, umożliwia bardziej szczegółową analizę postaci obrabianej powierzchni.

Różnicowanie ogniskowe

Mikroskop różnicowania ogniskowego wykorzystuje obiektywy o bardzo małej głębi ostrości. Na potrzeby pomiaru ustawiany jest zakres skanowania w osi Z, który zapewnia całkowite, obustronne rozogniskowanie obrazu. W trakcie ruchu skanującego w sposób ciągły mierzony jest kontrast między sąsiadującymi pikselami, a z przebiegu zmian jego wartości wyznaczana jest pozycja w układzie współrzędnych dla każdego piksela.



Rys. 1. Graficzne przedstawienie procedury określania współrzędnej ostrego punktu [7]. Pozycja punktu jest uzyskiwana w programowym procesie obliczania maksymalnej wartości dopasowanej krzywej ostrości [7]

Przebieg badań

Przedmiotem badań był wał wykonany ze stali 100Cr6, toczonej na centrum tokarskim DMG MoriSeiki CTX 310 Ecoline ze stałą prędkością skrawania $v_c = 150$ m/min, bez użycia chłodziwa. Obróbkę fragmentu wałka wykonano z czterema różnymi prędkościami posuwu na obrót, aby zaobserwować zmiany parametrów nierówności obrabianej powierzchni oraz zmiany geometrii narzędzia. Każdy fragment miał długość ok. 30 mm. Przed każdą operacją i po niej wykonywano pomiar płytki skrawającej WG 300 mikroskopem różnicowania ogniskowego InfiniteFocus SL, aby później móc przeprowadzić analizę zużycia i zmian geometrii narzędzia. Po wykonaniu obróbki całego wałka wykonano mikroskopowe pomiary nierówności powierzchni w każdym z czterech obszarów. Dla każdego pomiaru płytki skrawającej sporządzono raport zawierający m.in. wartości zaokrąglenia krawędzi skrawającej. Ogólne warunki obróbki zaprezentowano w tablicy.

* 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

TABLICA. Warunki obróbki z wyszczególnieniem materiału skrawanego oraz płytki skrawającej

Etap	I	II	III	IV
Posuw na obrót f_n , mm/obr	0,13	0,092	0,075	0,25
Prędkość skrawania v_c , m/min	150			
Głębokość skrawania a_p , mm	0,1			
Droga skrawania, m	30,4	43,0	52,8	15,8
Materiał skrawany	stal 100Cr6			
Ostrze	płytką okrągłą WG-300, ceramiczna			

Analiza wyników

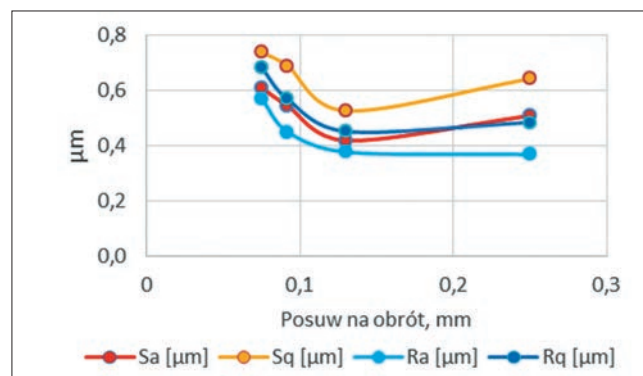
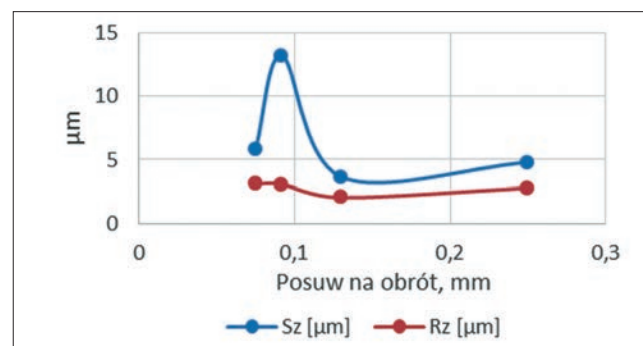
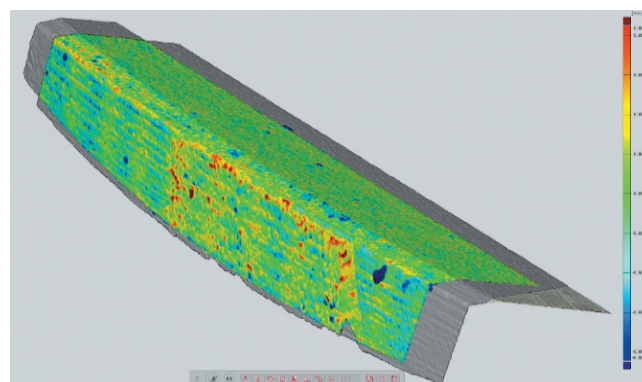
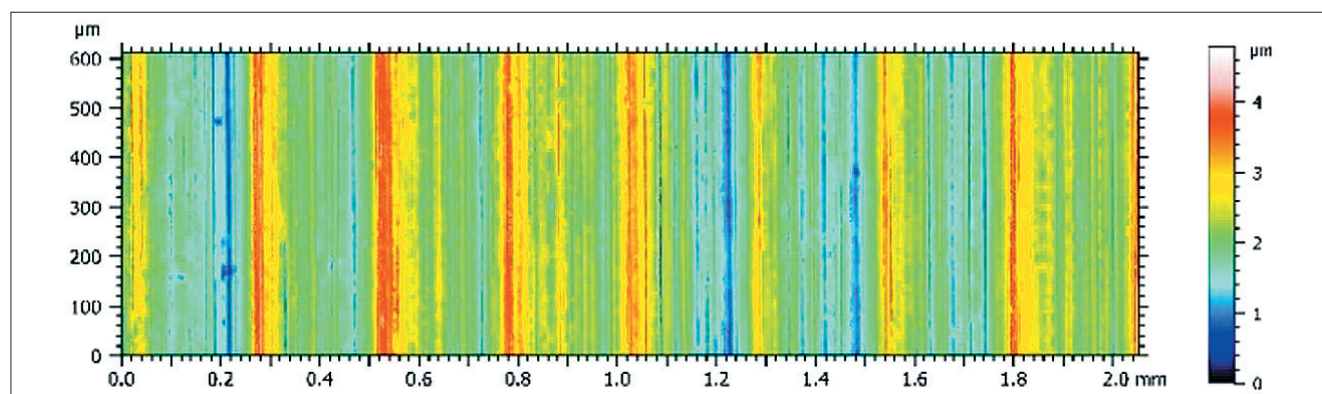
Wykorzystanie mikroskopu różnicowania ogniskowego pozwoliło na sprawny pomiar badanej powierzchni i wyodrębnienie kilkuset profili w czasie znacznie krótszym (ok. 2 min) niż w przypadku konwencjonalnego pomiaru profilometrem stykowym. Uzyskane modele powierzchni (rys. 2) zostały wypoziomowane i usunięto dominujący kształt (walec).

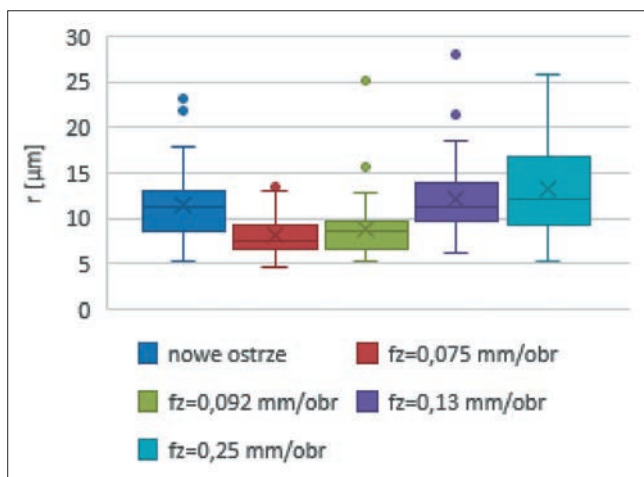
Na rys. 3 i 4 przedstawiono wartości średnie parametrów chropowatości oraz parametry przestrzenne nierówności powierzchni. Parametry Ra , Rq i Rz obliczono w programie MountainsMap na podstawie 340 profili równomiernie rozmieszczonych na całej powierzchni pomiaru. Najniższe wartości wszystkich parametrów (za wyjątkiem Ra) odnotowano dla I etapu ($f_n = 0,13$ mm/obr). Widoczna jest ogólna tendencja spadku wartości charakterystyk nierówności powierzchni wraz ze wzrostem wartości posuwu na obrót. Określenie dokładnego miejsca odwrócenia tej tendencji wymagałoby wykonania większej liczby prób. Wykresy są względnie zgodne w swoim przebiegu. Zauważalne są wyższe wartości parametrów przestrzennych względem odpowiadających im parametrów chropowatości. Na rys. 4 widoczny jest znaczny wzrost parametru Sa dla etapu II ($f_n = 0,092$ mm/obr), który nie został zarejestrowany przy pomiarze profili. Najprawdopodobniej jest to spowodowane rozmieszczeniem profili chropowatości na powierzchni, które ominęły miejsce wystąpienia tej nierówności, co w konsekwencji zaniżyło wynik pomiaru.

Uzyskane modele 3D płytki skrawającej zostały nałożone na siebie i w specjalnym oprogramowaniu utworzono mapę odchyłek od geometrii nominalnej [8], czyli modelu uzyskanego z pomiaru nowej płytki. Nałożenie powierzchni odbyło się metodą best-fit.

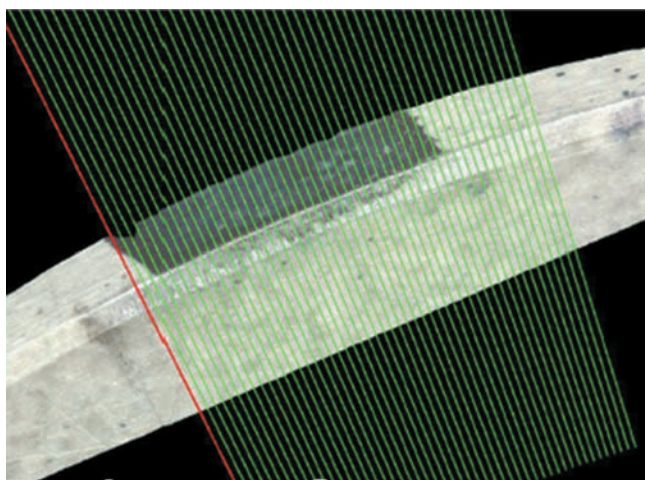
Na rys. 5 przedstawiono efekt takiej operacji z wykorzystaniem modelu nominalnego oraz po IV etapie obróbki. Wartości odchyłek geometrii są podawane w kierunku normalnym do powierzchni nominalnej. Widoczne są narożenia na krawędzi skrawającej oraz na powierzchni przyłożenia, a także koncentracja zmian geometrii na pewnym odcinku

powierzchni przyłożenia i w bezpośredniej bliskości krawędzi oraz pasowy układ zmian geometrii wzdłuż kierunku obróbki. Podobny układ nierówności można zauważyć na obrazie powierzchni wałka na rys. 2. Widać również pojedyncze ogniska wykruszeń (kolor niebieski).

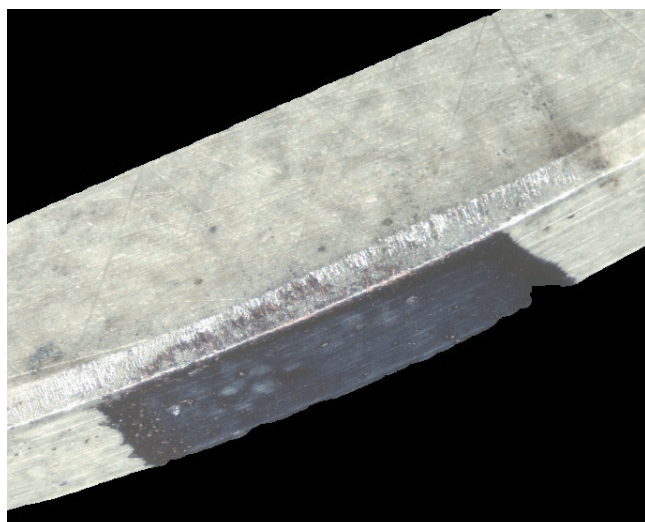
Rys. 2. Wartości oraz przebieg zmian parametrów Ra , Sa oraz Rq i Sq Rys. 3. Wartości oraz przebieg zmian parametrów przestrzennych Sz i Rz Rys. 4. Mapa odchyłek geometrii krawędzi skrawającej. Przedstawione wartości odchyłek zawierają się w przedziale od $-4 \mu\text{m}$ (pola niebieskie) do $4 \mu\text{m}$ (pola czerwone)Rys. 5. Obraz powierzchni po IV etapie obróbki, uzyskany mikroskopem różnicowania ogniskowego. Powierzchnia wypoziomowana, kształt usunięty. Rozdzielczość próbkowania: $0,64 \mu\text{m}$, rozdzielczość pionowa: $0,021 \mu\text{m}$



Rys. 6. Zestawienie wyników pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej



Rys. 7. Wizualizacja rozmieszczenia przekrojów poprzecznych płytki skrawającej. Numeracja profili – rosnąco od lewej strony



Rys. 8. Obraz płytki skrawającej po IV etapie obróbki

Uzyskane modele 3D zostały również użyte do obserwacji zmian mikrogeometrii płytki skrawającej, przy czym uwagę zwrócono głównie na zaokrąglenie krawędzi skrawającej. W tym celu wyodrębniono 50 przekrojów poprzecznych (rys. 7). Opracowanie geometryczne uzyskanych profili odbyło się automatycznie w oprogramowaniu. Otrzymane wyniki wraz z wynikami pomiaru nowego

ostrza (geometrii nominalnej) przedstawiono na rys. 6. Na wykresie widoczne jest wyraźne zmniejszenie wartości badanego parametru dla najniższych wartości posuwu, tj. dla etapów II oraz III (zob. tablicę). Prawdopodobną przyczyną tego było powstawanie narostów. Zwiększenie promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej odnotowano dla największych wartości posuwu, tj. na etapach I oraz IV.

Zaobserwowane zużycie płytek skrawających nie było wystarczająco duże, aby w wiarygodny sposób podać wartości parametrów określonych w normie PN-ISO 3685. Nie zaobserwowano starcia na powierzchni przyłożenia.

Na rys. 8 widoczne jest ognisko żłobienia na powierzchni natarcia, jednak nie znajduje to potwierdzenia ani w analizie modelu 3D (rys. 5), ani w wyodrębnionych profilach przekroju geometrii płytki.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono możliwości analizy procesu toczenia pod kątem nierówności powierzchni obrobionej i zmian geometrii narzędzia.

W analizie wyników zwrócono uwagę na różnicę parametrów nierówności powierzchni, zwłaszcza R_z oraz S_z , która ma źródło we właściwościach pomiaru profilowego – część obszaru na powierzchni mierzonej jest bowiem omijana przez końcówkę pomiarową. Wykonanie pomiaru obszarowego pozwala na uwzględnienie wszystkich mierzalnych nierówności powierzchni.

Uzyskany obraz charakteryzował się rzeczywistym odwzorowaniem kolorów, co pozwoliło na odnalezienie ogniska żłobienia na powierzchni natarcia (rys. 8).

Rozdzielczość pomiaru była wystarczająca do obserwacji zmian cech geometrycznych badanego narzędzia (rys. 5 i 7), mimo że samo zużycie narzędzia, określone jako starcie powierzchni przyłożenia, nie osiągnęło mierzalnych wartości.

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. Urządzenia pomiarowe na potrzeby prowadzonych badań zostały udostępnione przez firmę ITA ze Skrzewu k. Poznania.

LITERATURA

- Chwalczuk T., Rybicki M., Korzeniewski D., Przestacki D. "Surface roughness after turning of aircraft materials". *Mechanik*. 10 (2016): s. 1312–1313.
- 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.
- Stahl J.E., Schultheiss F., Hagglund S. "Analytical and experimental determination of the R_a surface roughness during turning". *1st CIRP Conference on Surface Integrity. Procedia Engineering*. 19 (2011): s. 349–356.
- Wieczorowski M. "Teoretyczne podstawy przestrzennej analizy nierówności powierzchni". *Inżynieria Maszyn*. 18, 3 (2013).
- Danzl R., Helml 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.
- Hiersmenzel F. et al. "Areal texture and angle measurements of tilted surfaces using focus variation methods". Université de Savoie, Loughborough's Institutional Repository, 2012.
- Leach R.K. "Optical Measurement of Surface Topography". Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- Brzozowski D., Wieczorowski M., Gapiński B. "Pomiar geometrii i ocena powierzchni narzędzi za pomocą mikroskopu różnicowania ogniskowego". *Mechanik*. 11 (2017): s. 1020–1022.
- Grossmann D., Hofer A., Brzozowski D., Wieczorowski M., Ziętkiewicz P. "Zapewnienie jakości w produkcji łopatek turbin. Optyczna metrologia 3D w przemyśle lotniczym". *Mechanik*. 12 (2015): s. K80–K83.