

Zastosowanie metod analizy obrazu do oceny powierzchni czynnej narzędzia ściernego

The application of image analysis methods to the evaluation of grinding tool active surface

DARIUSZ LIPIŃSKI
WOJCIECH KACALAK*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.293

Analiza kształtu i rozmieszczenia wierzchołków ziaren ściernych oraz ich zmian następujących podczas procesu szlifowania jest podstawą symulacji i prognozowania wyników obróbki. W pracy przedstawiono możliwości zastosowania metod analizy obrazów do oceny powierzchni czynnej narzędzia ściernego. Ziarna ściernie wyodrębnione w wyniku szeregu operacji morfologicznych poddano analizie w celu określenia ich parametrów geometrycznych. Wyznaczono również parametry statystyczne opisujące rozmieszczenie ziaren ściernych na powierzchni czynnej narzędzia ściernego.

SŁOWA KLUCZOWE: narzędzia ściernie, analiza obrazów, ziarna ściernie

Analysis of the shape and location of abrasive grain tips, as well as their changes during the grinding process, is the basis for simulation and forecasting the grinding process results. This paper presents the application of image analysis methods to the evaluation of grinding tool active surface. The abrasive grains, singled out as a result of the series of morphological operations, were then subject to analysis to determine their geometric parameters. Moreover, statistical parameters describing their location on the abrasive tool active surface were determined.

KEYWORDS: grinding tools, image analysis, abrasive grains

Narzędzia ściernie stosowane w procesie szlifowania charakteryzują się powierzchnią czynną, na której występuje duża liczba nieregularnie ukształtowanych ziaren ściernych. Analiza parametrów geometrycznych oraz wielkości charakteryzujących rozmieszczenie ziaren ściernych, jak również analiza zmian tych wielkości podczas procesu szlifowania, jest podstawą do badania zjawisk zachodzących podczas obróbki [1].

Zagadnienia te nabierają szczególnego znaczenia w odniesieniu do szlifowania nowoczesnych, często trudnych w obróbce materiałów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym i biomedycznym. Rozwój zastosowań tych materiałów pociąga za sobą konieczność projektowania i tworzenia nowych narzędzi o dokładnie określonych i kontrolowanych rozkładach wartości opisujących ukształtowanie oraz rozmieszczenie ziaren ściernych.

W licznych ośrodkach badawczych podejmowane są próby modelowania procesów szlifowania [2, 3], jednak wiele symulacji komputerowych opiera się na uproszczonych modelach powierzchni czynnej narzędzia ściernego. To utrudnia dokładną analizę i ocenę wyników procesu szlifowania, która najczęściej sprowadza się do oceny wizualnej lub oceny parametrów ogólnych i globalnych.

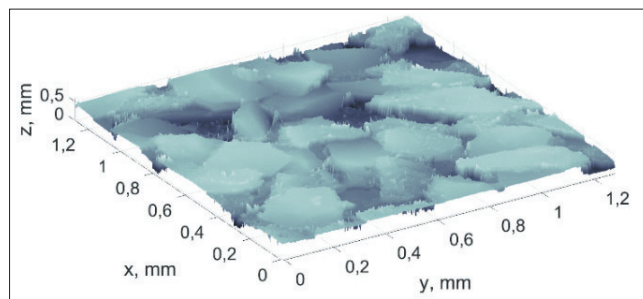
Prowadzone obecnie badania czynnej powierzchni narzędzia ściernego dotyczą zarówno wpływu parametrów

jej kształtowania na topografię [4], jak i oceny zdolności skrawnych narzędzi na podstawie analizy parametrów stereometrycznych powierzchni [5]. Szczegółowa analiza cech stereometrycznych powierzchni czynnej narzędzia ściernego wymaga zastosowania skutecznych metod detekcji ziaren ściernych.

Pomiar powierzchni czynnej narzędzia ściernego

Badaniom poddano narzędzie ściernie wykorzystywane w operacjach wewnętrznego szlifowania otworów o specyfikacji 1-35×20×10-SG/F46M7VTO. Narzędzie zawierało ziarna ściernie z elektrokorundu mikrokryształicznego o wielkości 46 (356 μm). Powierzchnia czynna narzędzia ściernego została ukształtowana obciążaczem jednoziarnistym, z prędkością obwodową $v_d = 6$ m/s, naddatkiem $a_d = 50$ mm oraz posuwem wzdłużnym $v_{fd} = 0,025$ mm/obr.

Do pomiarów powierzchni czynnej narzędzia ściernego zastosowano mikroskop konfokalny z możliwością pomiarów powierzchniowych (LEXT OLS 4000 firmy Olympus). Dokonano pomiarów pięciu fragmentów powierzchni czynnej narzędzia ściernego o wymiarach 1280 × 1280 μm z rozdzielczością poziomą 1,25 μm. Przykładowy wynik pomiaru powierzchni czynnej narzędzia ściernego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wynik pomiaru fragmentu powierzchni czynnej narzędzia ściernego uzyskany za pomocą mikroskopu konfokalnego

Detekcja ziaren ściernych

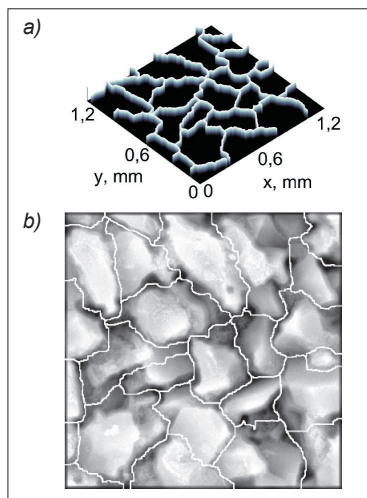
W celu detekcji ziaren ściernych na powierzchni czynnej narzędzia ściernego zastosowano segmentację wododziąłową [6]. Idea segmentacji wododziąłowej została zaczerpnięta z hydrologii i wywodzi się ze sposobu określenia działów wodnych. Istotną rolę w tej metodzie odgrywa pojęcie obszaru zalewowego. W przypadku powierzchni topograficznej za początek obszaru zalewowego przyjmuje się regionalne minima powierzchni bądź znaczniki wskazujące na charakterystyczne cechy powierzchni. Z obszarów zalewowych dokonywana jest symulacja procesu zalewania. W miejscach, w których dochodzi do zlewania się obszarów zalewowych, ustawiane są „tamy”, zwane wododziąłami.

* Dr inż. Dariusz Lipiński (dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl), prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wk5@tu.koszalin.pl) – Katedra Mechaniki Precyzyjnej, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

W zastosowanej metodzie za powierzchnię topograficzną przyjęto odbicie powierzchni czynnej narzędzia ściernego. Jako charakterystyczne cechy powierzchni czynnej narzędzia ściernego przyjęto wierzchołki ziaren ściernych.

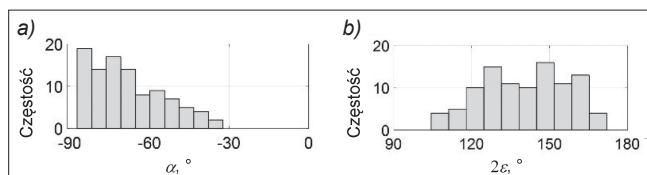
W celu detekcji wierzchołków ziaren ściernych powierzchnię czynną narzędzia ściernego poddano operacji morfologicznej otwarcia przez rekonstrukcję, a następnie wyznaczono obszary minimów lokalnych. Do operacji morfologicznych zastosowano element strukturalny w kształcie dysku o średnicy $19 \mu\text{m}$. Szczegółowy opis metodyki detekcji granic ziaren ściernych na powierzchni czynnej narzędzia ściernego zawarto w pracy [7].

Za początek obszaru zalewowego przyjęto wyodrębniony zbiór wierzchołków ziaren ściernych, stanowiących regionalne minima powierzchni. Następnie poprzez rozrost obszarów i z wykorzystaniem operacji dylacji przeprowadzono symulację procesu „zalewania”. W wyniku segmentacji wyznaczono obszary zalewowe, które po nałożeniu na obraz powierzchni czynnej narzędzia umożliwiły wyznaczenie granic ziaren ściernych (rys. 2).



Rys. 2. Wynik detekcji ziaren ściernych: a) wyodrębnione granice ziaren ściernych (wododziały), b) granice ziaren ściernych naniesione na powierzchnię czynną narzędzia ściernego

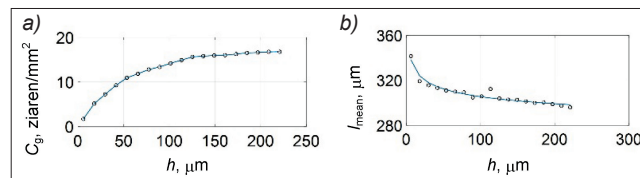
Dla zmierzonych fragmentów powierzchni czynnej narzędzia ściernego wyznaczono kąty natarcia ziaren ściernych α oraz ich kąty wierzchołkowe 2ε . Na rys. 3 przedstawiono histogram kątów natarcia α i kątów wierzchołkowych 2ε dla wysokości odcięcia $h = 20 \mu\text{m}$ liczonej od najwyższej rzędnej wyodrębnionego ziarna ściernego. Wartości kątów α zawierają się w przedziale od -87° do -32° (rys. 3a). Widoczna jest wyraźnie ujemna wartość kątów natarcia ziaren ściernych (z wartością średnią wynoszącą -68°) – typowa dla operacji obróbki ścierniej. W zakresie kątów wierzchołkowych od 120° do 160° zawiera się 78% wszystkich ziaren ściernych.



Rys. 3. Histogram kątów natarcia α (a) oraz kątów wierzchołkowych 2ε (b) na powierzchni czynnej narzędzia ściernego dla $h = 20 \mu\text{m}$

Rozmieszczenie ziaren ściernych stanowi istotny parametr w analizie sił szlifowania, energii procesu szlifowania oraz wielkości przekrojów warstw skrawanych. Podstawowym parametrem tej analizy jest informacja o liczbie ziaren aktywnych na jednostkę powierzchni C_g oraz średniej odległości między ziarnami l_{mean} na danym poziomie h określonym względem maksymalnej rzędnej powierzchni

czynnej narzędzia ściernego (rys. 4). Średnią odległość między wierzchołkami ziaren ściernych wyznaczono z wykorzystaniem triangulacji Delaunaya.



Rys. 4. Ocena rozmieszczenia ziaren ściernych na powierzchni czynnej narzędzia ściernego względem poziomu odcięcia h : a) średnia liczebność ziaren ściernych na jednostkę powierzchni, b) średnia odległość między ziarnami ściernymi

Na rys. 4a widoczny jest nieliniowy wzrost liczebności ziaren ściernych na jednostkę powierzchni czynnej narzędzia ściernego. Liczebność ta zmienia się od 0,6 do 16 ziaren/mm². Dla poziomu odcięcia $h = 20 \mu\text{m}$ średnia liczebność ziaren ściernych wynosi 6 ziaren/mm². Wzrost liczebności ziaren ściernych dla $h > 60 \mu\text{m}$ jest wynikiem odstawiania niżej położonych warstw ziaren ściernych. Z uwagi na małą wielkość (na obrazie mikroskopowym) niżej położonych ziaren ściernych może dochodzić do zwiększenia błędów detekcji ziaren ściernych i wyodrębniania mostków spoiwa.

Wzrost liczebności ziaren ściernych na jednostkę powierzchni skutkuje zmniejszeniem średniej odległości między ziarnami ściernymi (rys. 4b). Średnia odległość między ziarnami ściernymi stabilizuje się na poziomie ok. $300 \mu\text{m}$.

Podsumowanie

Z przedstawionej analizy zastosowań metod segmentacji wododziałowej do oceny powierzchni czynnej narzędzia wynika, że:

- zastosowanie segmentacji wododziałowej z wykorzystaniem wierzchołków ziaren ściernych jako znaczników umożliwia separację ziaren ściernych na powierzchni czynnej narzędzia ściernego,
- dla analizowanego narzędzia ściernego wartości kątów natarcia α (dla $h = 20 \mu\text{m}$) zawierają się od -87° do -32° ; w zakresie kątów wierzchołkowych od 120° do 160° zawiera się 78% wszystkich ziaren ściernych,
- wraz ze zmianą odległości płaszczyzny odcięcia h od maksymalnej rzędnej powierzchni czynnej narzędzia ściernego widoczny jest nieliniowy wzrost liczebności ziaren ściernych na jednostkę powierzchni czynnej narzędzia ściernego – dla analizowanego narzędzia ściernego ta liczebność zmienia się od 0,6 do 16 ziaren/mm².

LITERATURA

1. Marinescu I.D., Hitchiner M., Uhlmann W., Rowe W.B., Inasaki I. "Handbook of machining with grinding wheels". CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.
2. Chen X, Brian Rowe W. "Analysis and simulation of the grinding process. Part I: Generation of the grinding wheel surface". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 36 (1996): pp. 871+882.
3. Nguyen T.A., Butler D.L. "Simulation of precision grinding process. Part 1: Generation of the grinding wheel surface". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 45 (2005): pp. 1321+1328.
4. Xie J., Xu J., Tang Y., Tamaki J. "3D graphical evaluation of micro-scale protrusion topography of diamond grinding wheel". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 48 (2008): pp. 1254+1260.
5. Nguyen A.T., Butler D.L. "Correlation of grinding wheel topography and grinding performance: a study from a viewpoint of three-dimensional surface characterization". *Journal of Materials Processing Technology*. 208 (2008): pp. 14+23.
6. Soille P. "Morphological image analysis: principles and applications". Springer-Verlag, 2004.
7. Lipiński D., Kacalak W. "Metrological aspects of abrasive tool active surface topography evaluation". *Metrology and Measurement Systems*. Vol. 4 (2016) (praca w druku).