

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Topografia śladów skrawania tworzonych przez ziarna na czynnej powierzchni ściernicy podczas szlifowania płaszczyzn

The topography of the cutting traces created by the grain on the active surface grinding wheel during grinding of surface

WOJCIECH KACALAK
FILIP SZAFRANIEC *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.363

W artykule przedstawiono metodykę wyodrębniania śladów skrawania, tworzonych przez poszczególne ziarna na czynnej powierzchni ściernicy ze zbiorów danych opisujących zmiany topografii obrabianej powierzchni w opracowanych procedurach symulacji procesu szlifowania. Określono relacje długości i największej głębokości śladu dla różnych stanów procesu, a także wyznaczono rozkłady grubości przekrojów warstw skrawanych poszczególnymi ostrzami. Wykazano, że występowanie drgań może być przyczyną istotnej zmiany statystyki cech geometrycznych śladów obróbki.

SŁOWA KLUCZOWE: topografia śladów skrawania, symulacja procesu szlifowania, drgania

This paper presents a methodology to extract traces of cutting, created by individual grains on the active surface of the grinding wheel from the collection of data describing the topography change machined surface in the developed of grinding process of simulation procedures. Was specified relationships the length and depth of the largest trace for the various process steps, and the distributions of thickness cross-sectional layers of the individual cut with blades. It has been shown that the presence of vibration can cause a significant change in the statistics of geometrical features traces of processing.

KEYWORDS: topography traces of cut, simulation of grinding process, vibrations

Wstęp

W strefie szlifowania mają miejsce zjawiska, które są opi-

sywane przez cechy o krótkim czasie występowania (około kilku milisekund) i obejmują obszary o małych powierzchniach lokalnych oddziaływań (o wielkości kilkunastu μm^2) oraz występują z wielką częstotliwością (0,3–10MHz). Wymienione właściwości owych cech sprawiają, że stają się one trudne, bądź często niemożliwe, do obserwowania na drodze eksperymentu. Po mimo tych trudności w wielu ośrodkach naukowo-badawczych próbuje się opisać wymienione zjawiska w celu lepszego prognozowania wyników procesu. Jednym ze sposobów, w jaki próbuje się określać wielkości tych zjawisk jest symulacja komputerowa procesu szlifowania [1-7, 21-25], która umożliwia ich opis za pomocą liczb rzeczywistych. W Katedrze Mechaniki Precyzyjnej powstał kompleksowy system do modelowania i symulacji procesu szlifowania [12]. Rezultaty symulacji procesu szlifowania z wykorzystaniem wymienionego systemu zostały opublikowane [8,10,13-14,16,20] oraz są udostępniane w formie gotowych wyników w specjalnym kanale informacyjnym w systemie multimedialnym YouTube (<http://www.youtube.com/user/PrecisionMechanics>).

Symulacja procesu szlifowania

Opracowany system do modelowania i symulacji procesów szlifowania obwodem ściernicy umożliwia:

- dobór ponad 10 parametrów charakteryzujących proces (w tym parametry definiujące cechy procesu tworzenia wypływek oraz parametry opisujące drgania układu obróbkowego), ponad 40 parametrów charakteryzujących narzędzie (w tym parametry definiujące cechy geometryczne ziaren ściernych, parametry opisujące proces kondycjonowania ściernicy, parametry charakteryzujące intensywność procesu zużywania ziaren ściernych), wiele parametrów charakteryzujących rozmiary i cechy powierzchni przedmiotu obrabianego, 26 parametrów charakteryzujących zakres wyprowadzania wyników, dużą liczbę parametrów charakteryzujących cechy procesu symulacji, ponad 50 parametrów

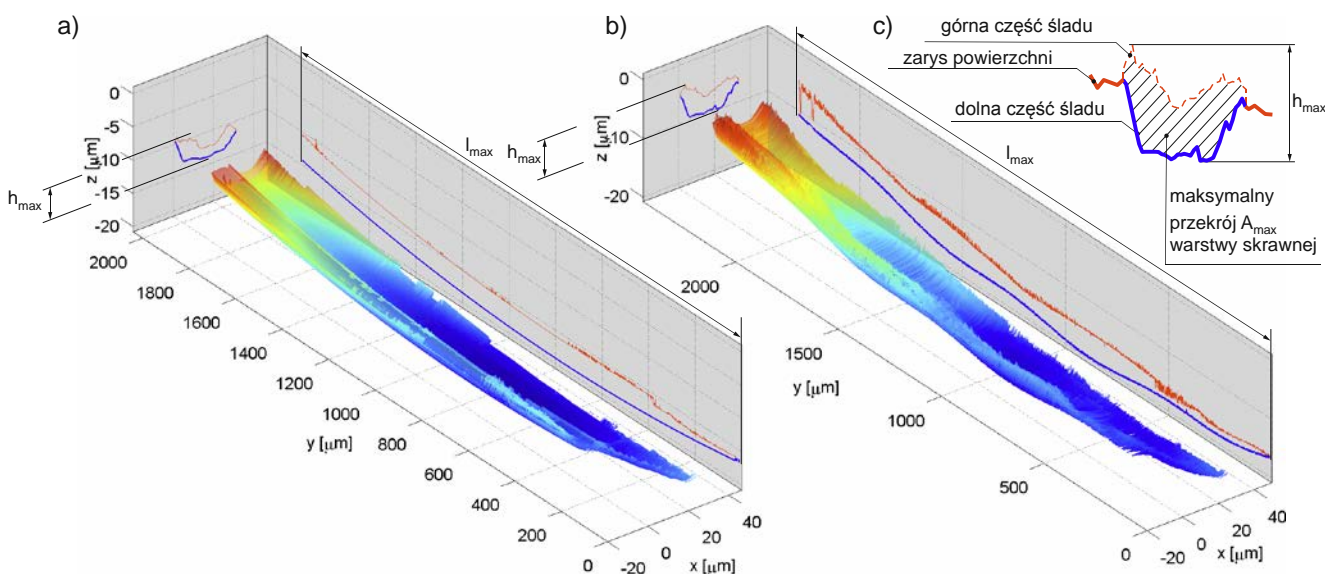
* prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl), mgr inż. Filip Szafraniec (filip.szafraniec@tu.koszalin.pl),

charakteryzujących sposoby wizualizacji, prezentacji wyników oraz animacji procesu, ponad 25 parametrów charakteryzujących zakres zapisywanych danych i wyników,

- generowanie powierzchni ziaren ściernych i przeprowadzanie weryfikacji ich cech [19],
- generowanie powierzchni czynnej ściernicy i analizy cech stereometrycznych rozmieszczenia wierzchołków [18],
- wyznaczenie lokalnych (również w mikrostrefach) i chwilowych wartości parametrów charakteryzujących kształtowanie powierzchni obrabianego przedmiotu (lokalnych – w różnych miejscach strefy szlifowania, chwilowych – w kolejnych momentach procesu, w ustalonych przedziałach czasu) [11,17],
- wyznaczenie zmian stereometrii obrabianej powierzchni i topografii powierzchni ściernicy dla zbiorów parametrów procesu i warunków wykraczających poza obecne lub standardowe zastosowania,
- wyznaczenie lokalnych i chwilowych oraz globalnych pa-

zeń ziaren aktywnych w trójwymiarowym układzie kartezjańskim. Znając położenie określonego ziarna aktywnego można wyznaczyć rzędne powierzchni przed i po wykonaniu przez ostrze operacji skrawania. Rzędne tych powierzchni umożliwiają wyznaczenie śladów obróbkowych powstałych w procesie oddzielania materiału przez poszczególne ziarna ściernic. Na rysunku 1 przedstawiono ślady obróbkowe uzyskane w trakcie trwania symulacji procesu szlifowania dla takich samych parametrów obróbki, ale dla różnych sztywności układu obróbkowego. Na rysunku 1a zaprezentowano ślad uzyskany w procesie symulacji, gdy układ obróbkowy był pozbawiony drgań, a na rysunku 1b zwizualizowano ślad, który powstał w układzie obróbkowym, w którym zamodelowano jego drgania.

Porównując obrazy obu śladów obróbkowych, jednoznacznie można stwierdzić, że na dno śladu 1a składa się tylko powierzchnia, która została utworzona przez cykloidal-



Rys. 1. Schemat do analizy parametrów geometrycznych śladów obróbkowych. a) ślad obróbkowy bez modelowania drgań układu, b) ślad obróbkowy z modelowaniem drgań układu, c) cechy maksymalnego przekroju warstwy skrawanej na płaszczyźnie x-z

rametrów charakteryzujących obciążenie poszczególnych ziaren [9,15], wykonaną pracę (i jej zmiany lokalne oraz zmiany w czasie), rozkład strumieni energii,

- wyznaczenie wpływu cech narzędzi oraz parametrów i warunków obróbki (w tym również wyizolowanych zmian) na wartości lokalnych i chwilowych wartości parametrów charakteryzujących kształtowanie powierzchni obrabianego przedmiotu,
- wyznaczenie wpływu zakłóceń procesu na realizację i wyniki procesu szlifowania,
- analizę procesów z nowymi typami narzędzi o strukturze zmiennej strefowo, z ziarnami agregatowymi i hybrydowymi, o strefowo i kierunkowo zmiennych właściwościach, narzędzi o zmiennej podatności, narzędzi o odmiennych cechach statystycznych dotyczących kształtu i rozmieszczenia ziaren na powierzchni narzędzia,
- wyznaczenie licznych zbiorów danych dla analizy cech stereometrycznych, oceny przydatności nowych parametrów oceny i klasyfikacji oraz opracowania założeń do korzystnych modyfikacji narzędzi oraz doboru parametrów i warunków obróbki.

Wyodrębnianie śladów skrawania

W zaprezentowanym systemie symulacji procesu szlifowania obwodem ściernicy możliwe jest rejestrowanie poło-

ny tor ziarna aktywnego a powierzchnia śladu 1b jest dodatkowo zakłócona przez funkcję drgań układu obróbkowego. W dalszej części publikacji zostanie przedstawiony wpływ funkcji drgań układu obróbkowego na zmianę statystyki parametrów geometrycznych śladów obróbkowych.

Parametry geometryczne śladu obróbkowego

Na rysunku 1 przedstawiono schemat określania wartości cech geometrycznych śladu obróbkowego. Są nimi maksymalna długość śladu l_{max} i jego maksymalna wysokość h_{max} oraz maksymalny przekrój A_{max} warstwy skrawanej

Program badań

Badania topografii śladów skrawania tworzonych przez ziarna na czynnej powierzchni ściernicy podczas szlifowania płaszczyzn przeprowadzono w kompleksowym systemie do symulacji procesu szlifowania obwodem ściernicy. Symulację procesu szlifowania zrealizowano dla dwóch różnych układów obróbkowych. W pierwszym układzie technologicznym (Ut_1) zakłócono tor ruchu ziaren poprzez dodanie składowych harmonicznych i losowych drgań układu, a w drugim (Ut_2) nie modelowano jego zakłóceń w postaci drgań.

■ Parametry wejściowe do procesu symulacji

Parametry procesu szlifowania, cechy narzędzia oraz charakterystykę przedmiotu obrabianego zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry wejściowe do symulacji procesu szlifowania obwodem ściernicy

Symbol	Opis	Wartość	J. m.
v_s	Prędkość szlifowania	35	m/s
v_{ft}	Prędkość wzdłużna przedmiotu	2	m/min
a_p	Posuw poprzeczny	1	mm
a_e	Dosuw	20	μm
D_s	Średnica ściernicy	250	mm
b_s	Szerokość ściernicy	20	mm
-	Numer ziarna	120	-
-	Rodzaj ziarna	99A	-
-	Szerokość przedmiotu	10	mm
-	Długość przedmiotu	6,5	mm
St	Wartość parametru St powierzchni początkowej	4,01	μm
Sa	Wartość parametru Sa powierzchni początkowej	2,83	μm

Wyniki i ich analiza

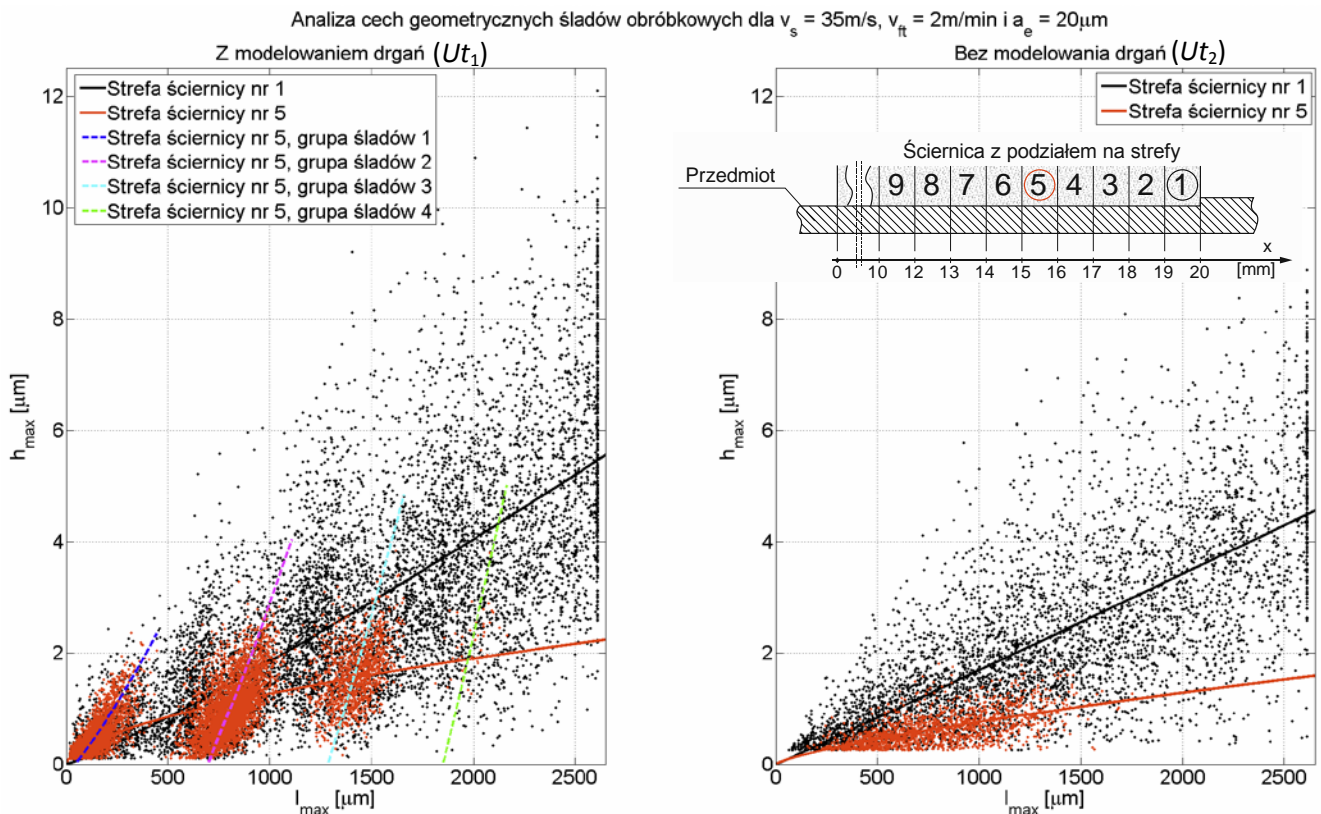
Na rysunku 2 przedstawiono szczegółową analizę cech geometrycznych śladów skrawania. Na wykresach zestawiono wartości maksymalnej głębokości śladów szlifowania w funkcji jego długości utworzonych przez aktywne ziarna ściernicy pracujące na czynnej powierzchni ściernicy w pierwszej i piątej jej strefie dla dwóch różnych układów technologicznych.

W układzie obróbkowym Ut_1 maksymalne wysokości śladów w funkcji ich maksymalnych długości, wyraźnie skupia-

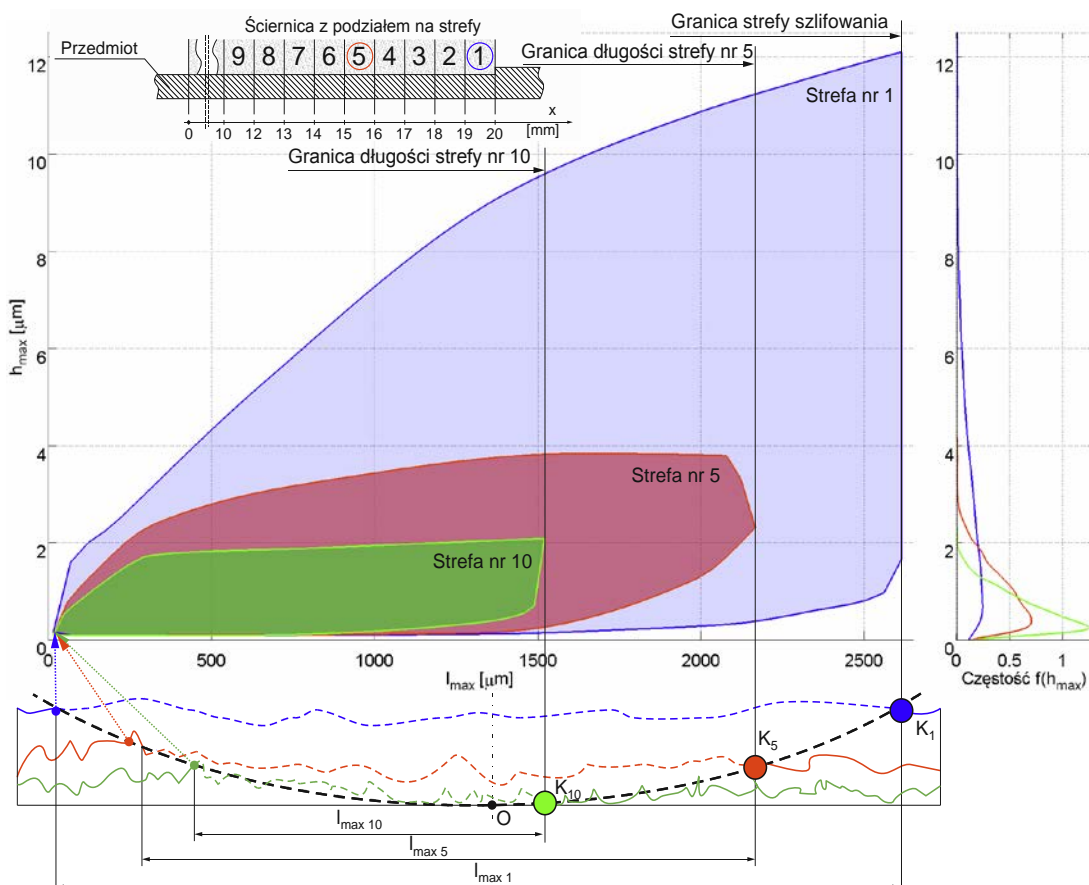
ją się wokół pewnych grup. Do wyznaczenia grup śladów obróbkowych zastosowano samoorganizującą się sztuczną sieć neuronową z kwadratową strukturą topologiczną z 5 neuronami w pierwszej warstwie oraz 1 neuronem w warstwie drugiej. Wyznaczone grupy zostały opisane za pomocą modelu matematycznego w postaci funkcji potęgowej typu ax^p+c . Otrzymane modele grup śladów różnią się tylko wartością współczynnika c , który określa przesunięcie modelowanej krzywej względem początku układu współrzędnych. Grupowanie danych jest wyraźnie widoczne dla śladów tworzonych przez ziarna aktywne pracujące w strefach od 3 do 20. Na rysunku 2 kolorem czerwonym wyróżniono dane dla strefy 5.

Grupowanie śladów w ogóle nie występuje w układzie obróbkowym Ut_2 . Stąd wniosek, że drgania układu technologicznego są przyczyną istotnych zmian statystyki cech geometrycznych śladów obróbkowych.

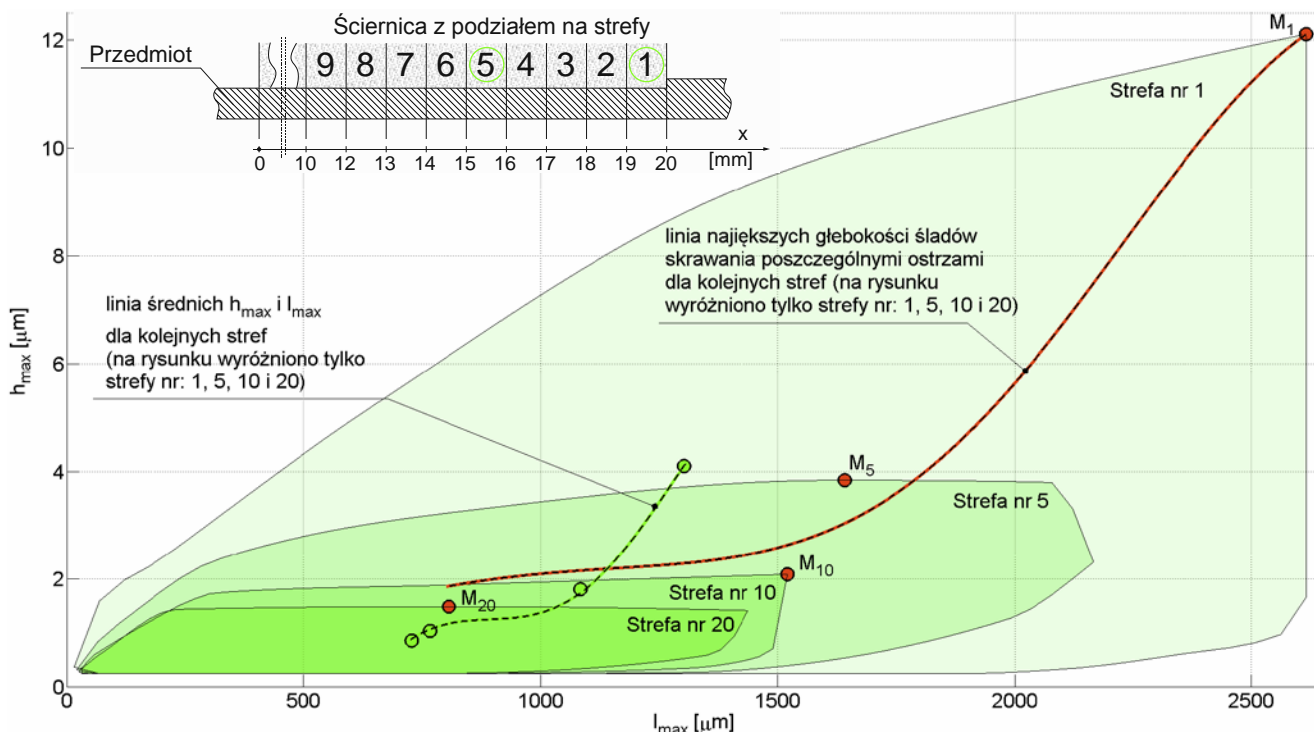
Na rysunku 3 przedstawiono schemat do analizy śladów obróbkowych. Ziarna aktywne pracujące w kolejnych strefach czynnej powierzchni ściernicy usuwają coraz mniej materiału (przekrój warstwy skrawanej maleje), przez co statystyka geometrii śladów ulega zmianie. Ślady są krótsze oraz a ich maksymalne wysokości niższe. Moda rozkładu maksymalnych grubości śladów przesuwana się w kierunku zera. Granica strefy szlifowania dla strefy 1 jest zależna od dosuwu oraz średnicy ściernicy i wysokości nierówności po obróbce danego fragmentu powierzchni pierwszą strefą ściernicy. Dla kolejnych stref ściernicy granica długości szlifowania zmniejsza się, przy czym znacząco zmniejsza się długość prawego fragmentu strefy od punktu O do K_i , gdzie zmienna i oznacza numer strefy szlifowania na czynnej powierzchni ściernicy o szerokości odpowiadającej szerokości posuwu poprzecznego a_p szlifowanego przedmiotu.



Rys. 2. Schemat do analizy cech geometrycznych śladów obróbkowych powstałych w symulacji procesu szlifowania płaszczyzn obwodem ściernicy z modelowaniem (Ut_1) oraz bez modelowania (Ut_2) drgań układu obróbkowego



Rys. 3. Schemat do analizy cech geometrycznych śladów obróbkowych



Rys. 4. Schemat do analizy średnich maksymalnych głębokości i maksymalnych długości oraz największych głębokości śladów skrawania poszczególnymi ostrzami dla kolejnych stref ściernicy

Na rysunku 4 przedstawiono linie średnich (linia zielono czarna) maksymalnych głębokości h_{max} oraz długości l_{max} śladów skrawanych ziarnami aktywnymi pracującymi na powierzchni czynnej ściernicy w strefach 1 do 20. Wyróż-

niono również linię największych głębokości śladów skrawania poszczególnymi ostrzami dla kolejnych stref ściernicy, łącząc punkty M1, M5, M10, M20. Do wyznaczenia

wymienionych linii wykorzystano sztuczną sieć neuronową o radialnych funkcjach bazowych.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodykę wyodrębniania śladów skrawania, tworzonych przez poszczególne ziarna na czynnej powierzchni ściernicy ze zbiorów danych opisujących zmiany topografii obrabianej powierzchni w opracowanych procedurach symulacji procesu szlifowania. Wykazano, że drgania układu technologicznego mają istotny wpływ na zmianę statystyki cech geometrycznych śladów obróbki. Wyznaczono średnie maksymalne głębokości i maksymalne długości śladów skrawania dla ziaren pracujących na czynnej powierzchni ściernicy w strefach odpowiadających szerokości posuwu poprzecznego przedmiotu. Określono również największe głębokości śladów skrawania poszczególnymi ostrzami dla kolejnych stref ściernicy.

Opracowane rezultaty badań pozwalają na lepszy dobór parametrów obróbki w tym zwłaszcza wartości posuwu poprzecznego oraz umożliwiają dokładniejsze prognozowanie wyników procesu szlifowania.

Badania zrealizowano w ramach projektu:



Projekt "Innowacyjne, hybrydowe narzędzia ściernic do obróbki stopów metali lekkich" realizowany w ramach programu "INNOTECH" w ścieżce programowej IN-Tech Nr umowy: INNOTECH-k3/IN3/43/229135/NCBR/14 współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

LITERATURA

- Aslan D., Budak E., Surface roughness and thermo-mechanical force modeling for grinding operations with regular and circumferentially grooved wheels. *Journal of Materials Processing Technology*, 223, 75-90, 2015.
- Butler D., Blunt L., See B., Webster J., Stout K.: The characterisation of grinding wheels using 3D surface measurement techniques. *Journal of Materials Processing Technology*, 127, 234–237, 2002.
- Darafon A., Warkentin A., Bauer R., 3D metal removal simulation to determine uncut chip thickness, contact length, and surface finish in grinding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66, 1715–1724, 2013.
- De Pellegrin D. V., Stachowiak G. W.: Simulation of three-dimensional abrasive particles. *Wear*, 258, 208–216, 2005.
- De Pellegrin D. V., Stachowiak, G. W.: Sharpness of abrasive particles and surfaces. *Wear*, 256, 614–622, 2004.
- Holtermann R., Schumann S., Menzel A., Biermann D., Modelling, simulation and experimental investigation of chip formation in internal traverse grinding. *Production Engineering – Research and Development*, 7, 251–263, 2013.
- Inasaki I., Grinding process simulation based on the wheel topography measurement, *Annals of CIRP* 54 (1), 347–350, 1996.
- Kacalak W., Królikowski T., Szafraniec F., Kunc R., Remelska H., Metodyka doboru parametrów mikro- i nanoszlifowania dla określonych wymagań dotyczących chropowatości powierzchni, w: *Podstawy i technika obróbki ściernic*. Materiały XXXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernic, 413-427, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Łódzkiej, 2010.
- Kacalak W., Kunc R., Szafraniec F., Analiza aktywności ziaren ściernic w procesach mikroszlifowania, w: *Innovative Manufacturing Technology*. 150-163, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, 2011.
- Kacalak W., Kunc R., Szafraniec F., Kunc R., Modelowanie procesów mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej lub hiperboloidalnej powierzchni czynnej, w: *Innovative Manufacturing Technology*. 164-177, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, 2011.
- Kacalak W., Szafraniec F., Analiza prędkości usuwania nadmiaru oraz zmian topografii obrabianej powierzchni w procesie szlifowania ściernicą o hiperboloidalnej powierzchni czynnej, w: *Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernic*. Materiały XXXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernic, 193-203, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Wrocławskiej, 2012.
- Kacalak W., Szafraniec F., Kompleksowy system do modelowania i symulacji procesu szlifowania v. 13, Katedra Mechaniki Precyzyjnej. Politechnika Koszalińska, 2014.
- Kacalak W., Szafraniec F., Królikowski T., Kunc R., Remelska H., Wybrane problemy maksymalizacji wydajności mikro- i nanoszlifowania dla ograniczeń nałożonych na określone parametry chropowatości powierzchni, w: *Podstawy i technika obróbki ściernic*. Materiały XXXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernic, 455-469, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Łódzkiej, 2010.
- Kacalak W., Szafraniec F., Kunc R., Wyniki modelowania i symulacji mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej lub hiperboloidalnej powierzchni czynnej, w: *Obróbka ściernic*. Współczesne problemy. Materiały XXXIV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernic, 356–368, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Gdańskiej, 2011.
- Kacalak W., Szafraniec F., Lipiński D., Probabilistyczna analiza aktywności ziaren na czynnej powierzchni ściernicy. *Mechanik*, 8-9/87, 176-184//724, 2014.
- Kacalak W., Szafraniec F., Metodyka określania granicznej minimalnej grubości warstwy szlifowanej z zastosowaniem ściernic do mikroszlifowania, w: *Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernic*. Materiały XXXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernic, 235-242, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Wrocławskiej, 2012.
- Kacalak W., Szafraniec F., Modelowanie obciążeń ziaren aktywnych i sił w procesie szlifowania. *Mechanik*, 8-9, 241-252, 2013.
- Kacalak W., Szafraniec F., Tandecka K., Metodyka modelowania powierzchni czynnej narzędzi ściernic z uwzględnieniem korelacji przestrzennego rozmieszczenia ich wierzchołków dla określonych ściernic rzeczywistych. *Mechanik*, 8-9/87, 185-192//724, 2014.
- Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Metodyka modelowania powierzchni ziaren określonych materiałów ściernic. *Innovative Manufacturing Technology* 2, 555–562, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, 2012.
- Lipiński D., Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Metodyka tworzenia modeli neuronowych procesu szlifowania z wykorzystaniem wiedzy analitycznych i doświadczalnej. *Mechanik*, 8-9/87, 255-260//726, 2014.
- Myshkin N. K., Grigoriev Y., Chizhik S., Choi K. Y., Petrokovets M. I.: Surface roughness and texture analysis in microscale. *Wear*, 254(10), 1001–1009, 2003
- Nguyen T., Butler D. L.: Simulation of precision grinding process, part 1: Generation of the grinding wheel surface. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1321–1328, 2005.
- Nguyen T., Butler D. L.: Simulation of surface grinding process, part 2: Interaction of the abrasive grain with the workpiece. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1329–1336, 2005.
- Schumann S., Siebrecht T., Kersting P., Biermann D., Holtermann R., Menzel A., Determination of the Thermal Load Distribution in Internal Traverse Grinding using a Geometric-Kinematic Simulation. *Procedia CIRP*, vol. 31, 322–327, 2015.
- Zhou X., Xi F.: Modeling and predicting surface roughness of the grinding process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 969–977, 2002.