

	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		

Ocena potencjału obróbkowego folii ściernych z wykorzystaniem sumarycznego aktywnego profilu wyznaczonego z uwzględnieniem kształtu strefy obróbki

Evaluation of the potential machining abrasive foil using active profile summary determined taking into account the shape of the processing zone

WOJCIECH KACALAK
 KATARZYNA TANDECKA
 THOMAS G. MATHIA *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.365

W publikacji opisano metodykę oraz wyniki badań dotyczących cech stereometrycznych powierzchni diamentowych folii ściernych. Narzędzia te stosowane są w różnych zabiegach precyzyjnego wygładzania powierzchni o bardzo wysokiej gładkości i dokładności. Przedstawiono wyniki analizy rozmiarów wierzchołków w płaszczyźnie równoległej do powierzchni folii oraz w kierunku do niej prostopadłym, dokonano oceny odległości pomiędzy ziarnami z wykorzystaniem dekompozycji powierzchni na komórki Voronoi. W celu określenia powierzchni folii niezbędnej do realizacji określonej operacji wygładzania opracowano wskaźnik, który zależy od sumarycznego profilu folii w postaci obwiedni sumy rzutów wierzchołków wzniesionych ponad pewien określony poziom z uwzględnieniem kształtu strefy obróbki oraz zagłębień ziaren w materiał obrabiany.

SŁOWA KLUCZOWE: folia ścierna, mikrowygładzanie, potencjał obróbkowy, diamentowe ziarna ścierne

The publication describes the methodology and results of research on the characteristics of the surface stereometric diamond abrasive film. These tools are used in various treatments precise smoothing of very high smoothness and accuracy. We present the results of the analysis of the size of vertices in a plane parallel to the film surface. The evaluation of the distance between the grains using the decomposition of the surface of the Voronoi cell. To determine the film surface

* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wk5@tu.koszalin.pl), dr inż. Katarzyna Tandecka (katarzyna.tandecka@tu.koszalin.pl), prof. Thomas G. Mathia (Thomas.Mathia@ec-lyon.fr) Centre National de la Recherche Scientifique, (CNRS) Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, Lyon, France

is necessary to providing a predetermined finishing operation indicator has been developed. The indicator depends on the profile summary foil envelope in the form of the vertices of the sum throws elevated above a certain level. Included the shape of the tool in the treatment zone. KEYWORDS: abrasive foil, microfinishing, the potential machining, diamond abrasive grains

Wstęp

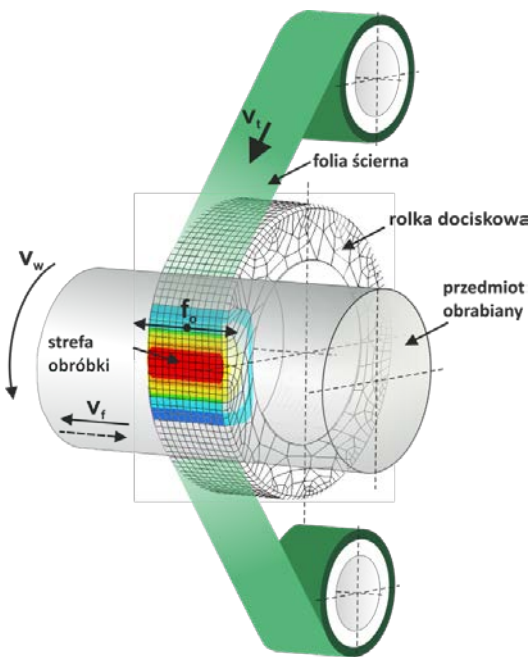
Mikrowygładzanie foliami ściernymi jest obróbką powierzchniową, w której folia ścierna dociskana jest do powierzchni przedmiotu z użyciem rolki o określonej podatności (rys. 1)[1, 2, 3]. Prędkość przemieszczania powierzchni przedmiotu względem folii jest duża i wynosi zazwyczaj 10-170 m/min. Prędkość przesuwu folii jest mała i wynosi 10-150 mm/min, czyli jest nawet 1000 razy mniejsza. Cechą charakterystyczną procesu jest jednokrotne wykorzystanie powierzchni folii ścierniej [6].

Ziarna aktywne przez pewien czas, zależny od prędkości przesuwu folii, pozostają w strefie obróbki i ponownie już nie biorą udziału w kształtowaniu obrabianej powierzchni. Nie wszystkie ziarna ścierne biorą udział w kształtowaniu obrabianego przedmiotu, jednak udział ziaren aktywnych jest większy, niż w przypadku obróbki z użyciem narzędzi o większej sztywności [7, 8].

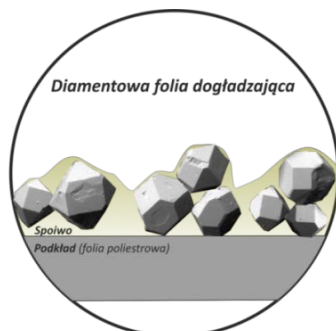
Celem pracy jest określenie możliwości zwiększenia aktywności ziaren ściernych, poprzez modyfikacje cech folii ściernych i właściwości układów docisku folii do obrabianej powierzchni, a w wyniku tego, zmianę rozkładu nacisków i zagłębień ziaren. Określenie prawdopodobieństwa kontaktu wierzchołków ziaren folii i obrabianej powierzchni jest

ważne dla wyznaczenia potencjału obróbkowego i doboru prędkości jej przesuwu. Ważnymi cechami narzędzia są parametry charakteryzujące objętości i ukształtowanie otoczenia ziaren. Przestrzenie służą do wynoszenia produktów obróbki ze strefy kontaktu.

Folie do mikrowygładzania typu IDLF (Imperial Diamond Lapping Films) składają się z diamentowych ziaren skupiających się w agregaty zwłaszcza w przypadku ziaren o mniejszych wymiarach. Folie te charakteryzują się długą żywotnością oraz zapewniają bardzo dobre efekty wygładzania powierzchni. Główne zastosowania diamentowych folii ściernych to obróbka złączy światłowodowych, dogładzanie powierzchni płaskich, wygładzanie powierzchni walcowych. Folie typu IDLF stosowane są do obróbki materiałów trudnoobrabialnych, takich jak szkło, węgliki spiekane, ceramika, hartowana stal, stopy typu Inconel oraz kompozyty. Do wytwarzania folii stosuje się ziarna z syntetycznego diamentu w rozmiarach od 0,1 do 60 μm , które są zatopione w żywicy osadzonej na taśmie poliestrowej (rys. 2). Ocena właściwości folii ściernych typu IDLF jest złożonym problemem, z powodu zróżnicowanej geometrii ziaren ściernych oraz ich agregatowania na powierzchni folii. Badając ukształtowanie powierzchni agregatów ściernych, można wnioskować o potencjale obróbkowym diamentowych folii ściernych i określać warunki jego pełnego wykorzystania [4].



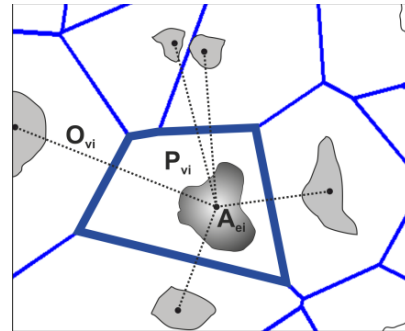
Rys. 1. Układ obróbkowy do dogładzania powierzchni (a), gdzie: f_o - ruch oscylacyjny narzędzia, v_w - kierunek ruchu obrotowego przedmiotu, v_f - kierunek ruchu posuwowego, v_r - kierunek przesuwu folii ściernej



Rys. 2. Budowa diamentowych folii ściernych

Metodyka analizy i oceny topografii powierzchni czynnej folii ściernej

W analizie topografii powierzchni ważnym problemem jest określenie, które z wierzchołków ziaren tworzą zbiór wierzchołków sąsiednich z określonym ziarnem wybranym jako centralne. Dla rozwiązania tego problemu poddano dane opisujące położenie wierzchołków ziaren ściernych dekompozycji na komórki Voronoi, gdzie punkt centralny każdego podobzaru stanowi wierzchołek ziarna. Podobzary służą do odnalezienia najbliższych sąsiadów, przyjmując, że wszystkie komórki Voronoi przylegające bezpośrednio do rozpatrywanej komórki stanowią jej najbliższe sąsiedztwo (rys.3).

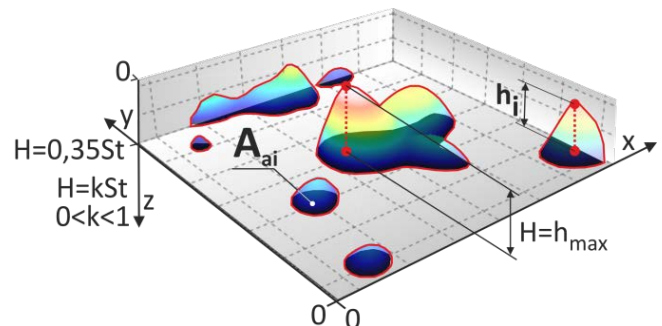


Rys. 3. Reprezentacja dekompozycji powierzchni folii ściernej na komórki Voronoi

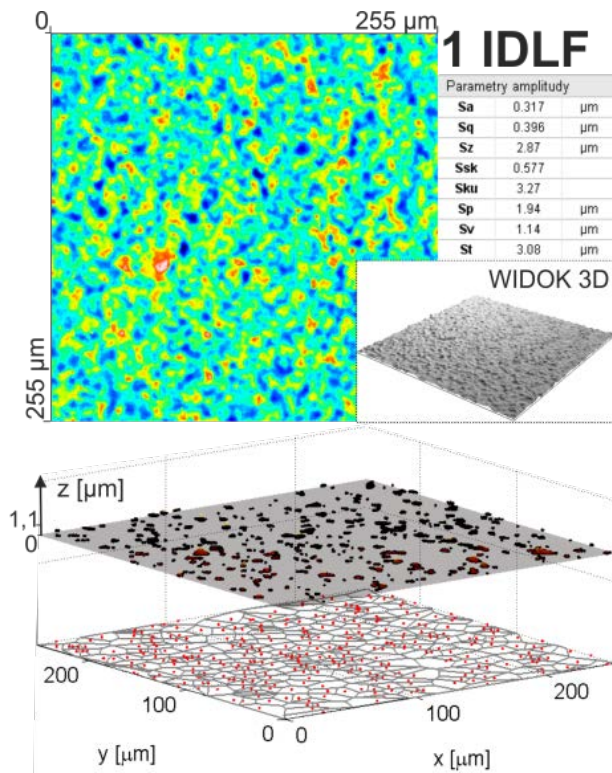
Pola powierzchni komórek Voronoi P_{vi} dla różnych folii i poziomów H (tablica 1) (rys. 4), wyznaczono jako dekompozycję powierzchni na podobzary z wierzchołkiem centralnym $z(x,y)$ jako punktem środkowym.

Średnie pole komórek Voronoi maleje wraz ze wzrostem $H=kSt$, $0 < k < 1$, czyli odległości płaszczyzny odcinania wzniesień od najwyższego wierzchołka powierzchni, gdyż zwiększa się liczba wzniesień N_a nad poziom H . Odległości, pomiędzy wierzchołkami wzniesień najbliższych sąsiadów O_{vi} oraz pola powierzchni komórek Voronoi P_{vi} zawarto w tablicy 1.

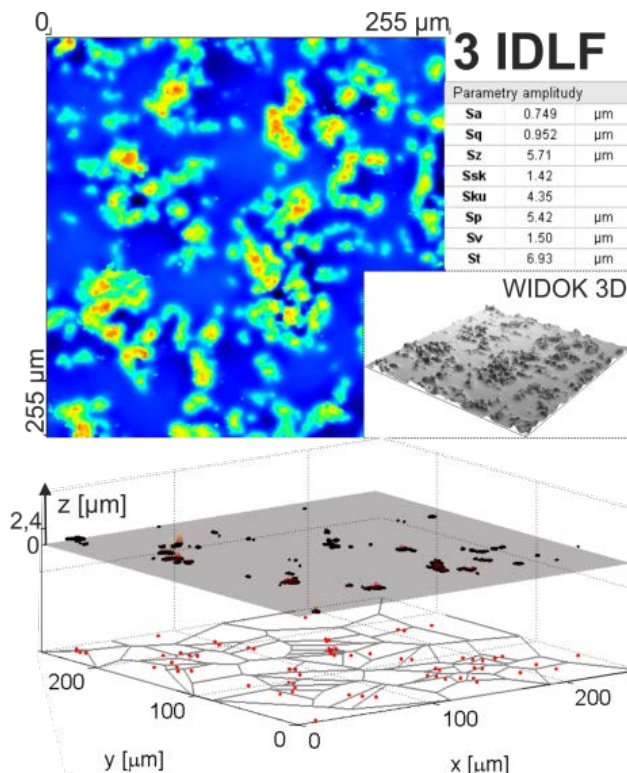
W celu usprawnienia obliczeń opracowano aplikację do analizy cech geometrycznych wzniesień ponad ustalony poziom, od 20% do 40% wartości parametru St od najwyższego wierzchołka powierzchni. Na rysunkach 5...7, przedstawiono powierzchnie wzniesień, dla których określono najwyższy punkt wzniesienia oraz zrzutowano komórki Voronoi na płaszczyznę Oxy . Elementem centralnym komórek Voronoi są najwyższe wierzchołki wzniesień. Operację badania wzniesień przeprowadzono dla różnych poziomów H .



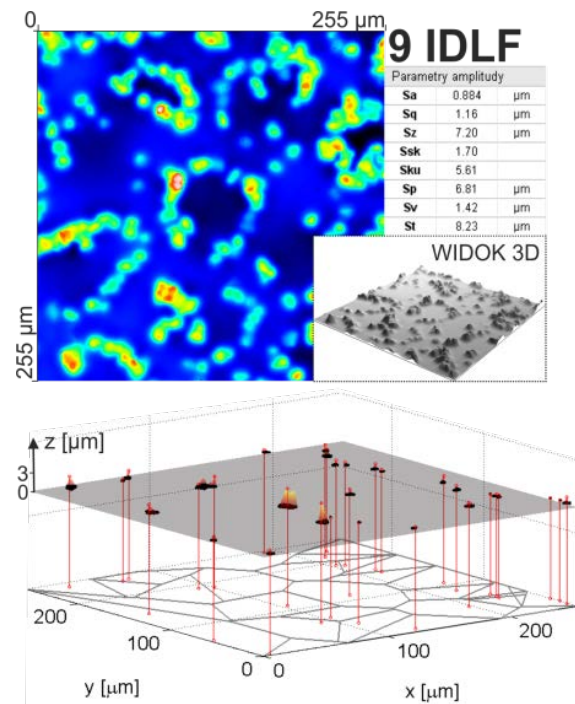
Rys. 4. Wysokości i pola wzniesień ponad płaszczyznę oddaloną od najwyższego wierzchołka o wartość kSt



Rys. 5. Wysokości i pola wzniesień ponad płaszczyznę oddaloną od najwyższego wierzchołka o wartość $H=kSt$ oraz reprezentacja dekompozycji powierzchni na komórki Voronoi dla diamentowych folii ściernych o nominalnych wielkościach ziaren a_g 1 μm



Rys. 6. Wysokości i pola wzniesień ponad płaszczyznę oddaloną od najwyższego wierzchołka o wartość $H=kSt$ oraz reprezentacja dekompozycji powierzchni na komórki Voronoi dla diamentowych folii ściernych o nominalnych wielkościach ziaren a_g 3 μm



Rys. 7. Wysokości i pola wzniesień ponad płaszczyznę oddaloną od najwyższego wierzchołka o wartość $H=kSt$ oraz reprezentacja dekompozycji powierzchni na komórki Voronoi dla diamentowych folii ściernych o nominalnych wielkościach ziaren a_g 9 μm

Tab. 1. Zbiór wartości wskaźników do oceny powierzchni diamentowych folii ściernych

Folia	k	St μm	H μm	P_V μm ²	O_{vi} μm	a_g μm	O_{vi}/a_g	N_a /mm ²
1IDLf	0,2	3,08	0,616	264	7,9	1	7,9	1350
1IDLf	0,3	3,08	0,924	260	7,5	1	7,5	3990
1IDLf	0,4	3,08	1,232	180	4,1	1	4,1	7245
3IDLf	0,2	6,01	1,202	820	16,55	3	5,51	300
3IDLf	0,3	6,01	1,803	585	11,9	3	3,96	350
3IDLf	0,4	6,01	2,404	372	8,68	3	2,89	780
9IDLf	0,2	6,61	1,32	1820	15,6	9	1,73	170
9IDLf	0,3	6,61	1,98	1578	14,7	9	1,63	400
9IDLf	0,4	6,61	2,64	1011	12,42	9	1,38	770

Oznaczenia wskaźników w tabelicy 1 są następujące:

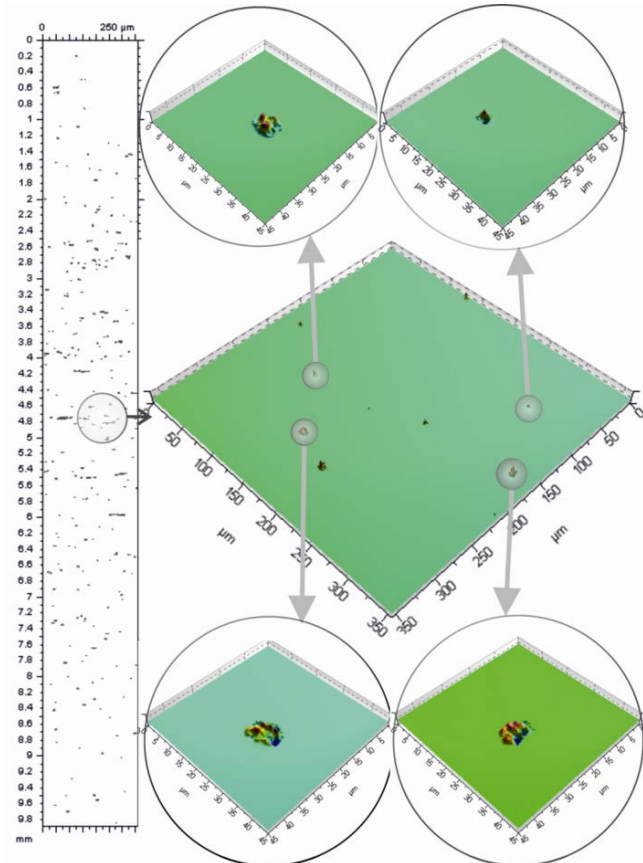
P_V – średnie pole powierzchni komórek Voronoi,
 O_{vi} – odległość od najbliższych sąsiadów wyznaczona z wykorzystaniem komórek Voronoi,
 a_g – nominalny rozmiar ziarna,
 N_a – liczba wzniesień nad płaszczyznę oddaloną o odległość H liczoną od najwyższego wierzchołka.

Wraz ze wzrostem odległości położenia płaszczyzny oddalonej o odległość H od najwyższego wierzchołka na powierzchni folii ściernej, w przypadku wszystkich badanych folii o nominalnych wielkościach ziaren 1, 3 i 9 μm odległości między ziarnami O_{vi} , wyznaczone metodą najbliższych sąsiadów, maleją co jest bezpośrednio związane ze zwiększającą się liczbą N_a aktywnych wzniesień ponad tą płaszczyznę.

Metodyka wyznaczania położenia aktywnych wierzchołków na powierzchni folii ściernych z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu

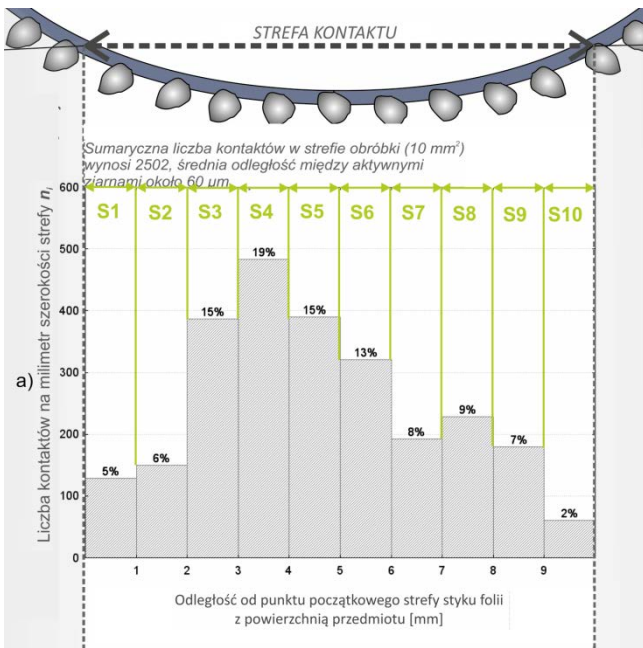
Autorzy w poprzedniej publikacji [5] wyznaczyli aktywność wierzchołków w strefie kontaktu. Przyjęta metodyka zakładała badanie liczby kontaktów z płaską powierzchnią obrabianą, wyznaczanej z zastosowaniem metody odwzorowania. W celu zbadania potencjalnej aktywności ziaren, przeprowadzono badania polegające na dociskaniu folii

ściernej do powierzchni próbki o bardzo gładkiej powierzchni (rys. 8).



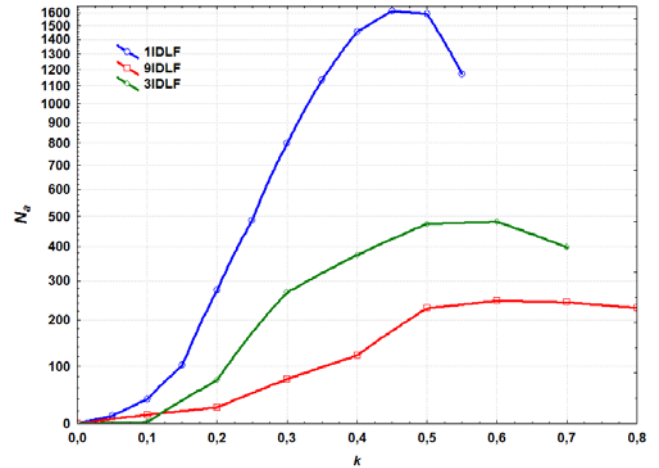
Rys. 8. Obraz strefy kontaktu folii ścierniej 15IMFF z przedmiotem z widocznymi odciskami ziaren [5]

W celu wyznaczenia częstości liczby kontaktów w strefie obróbki, podzielono ją na dziesięć obszarów. Wyznaczono liczbę kontaktów w każdej podstrefie oraz wyznaczono częstości prawdopodobieństwa kontaktu folii z przedmiotem obrabianym (rys. 9).

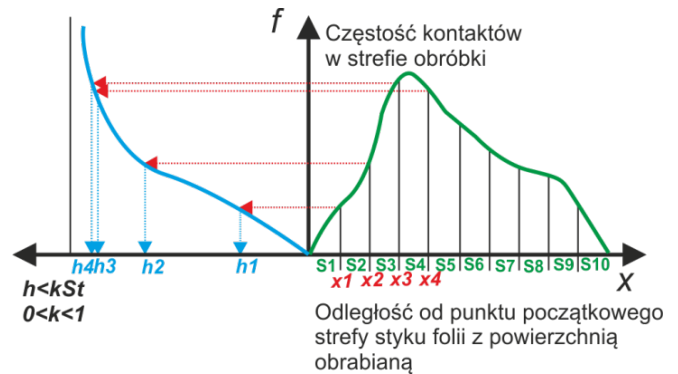


Rys. 9. Histogram liczby kontaktów na całej długości strefy kontaktu folii ścierniej IMFF15 z przedmiotem obrabianej [5]

Aby wyznaczyć potencjalne położenie wierzchołków w strefie obróbki, dla każdej badanej diamentowej folii ścierniej wyznaczono liczbę kontaktów N_a w zależności od H , czyli odległości od najwyższego wierzchołka na powierzchni narzędzia (rys. 10). Następnie wyznaczono częstość kontaktów w zależności od położenia płaszczyzny H , co pozwoliło wyznaczyć ukształtowanie topografii powierzchni w wyznaczonych dziesięciu podobszarach strefy kontaktu. Opracowano aplikację, do wyznaczania tych wartości z wykorzystaniem opisanej metodyki (rys. 11), co pozwoliło na wygenerowanie powierzchni kształtu strefy kontaktu, następnie do wygenerowanej powierzchni kształtu dodano dane opisujące powierzchnię folii ścierniej. Zbadano topografię powierzchni folii ściernych z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu, a wyniki badań zestawiono w tablicy 2.



Rys. 10. Liczba wierzchołków aktywnych w zależności od położenia płaszczyzny odcinającej w odległości $H=kSt$ mierzony od najwyższego wierzchołka badanej powierzchni



Rys. 11. Metodyka wyznaczania liczby i położenia aktywnych ziaren ściernych na powierzchni folii ścierniej w strefie obróbki z wykorzystaniem informacji o częstości kontaktów

Tab. 2. Zbiór wartości wskaźników do oceny powierzchni diamentowych folii ściernych z uwzględnieniem cech strefy kontaktu

Folia	k	$St \mu m$	$H \mu m$	$N_a 1/mm^2$
1IDLf	0,2	3,33	0,666	1075
1IDLf	0,3	3,33	0,999	3535
1IDLf	0,4	3,33	1,332	6540
3IDLf	0,2	7,15	1,43	430
3IDLf	0,3	7,15	2,145	1190
3IDLf	0,4	7,15	2,86	1895
9IDLf	0,2	8,4	1,68	75
9IDLf	0,3	8,4	2,52	210
9IDLf	0,4	8,4	3,36	415

Metodyka oceny potencjału folii ściernych z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu

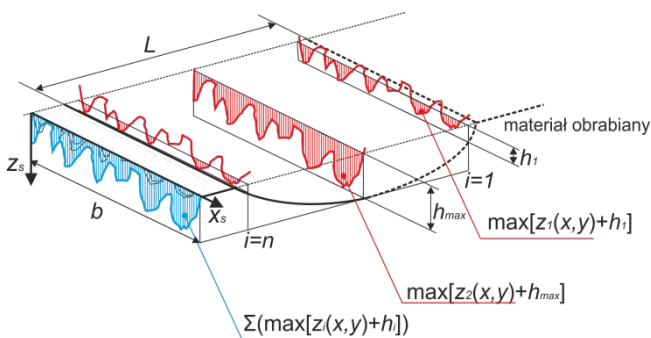
Wykorzystanie potencjału obróbkowego folii ścierniej zależy od doboru parametrów obróbki: prędkości ruchu przedmiotu obrabianego v_p , prędkości przesuwu folii v_f oraz średniej wartości nacisków jednostkowych q w strefie styku powierzchni przedmiotu i powierzchni folii.

Produkty obróbki przez określony czas pozostają w przestrzeniach między ziarnami ściernymi folii. Im wolniej przesuwana się folia tym bardziej wypełnione zostają te przestrzenie. Zbyt szybki przesuw folii, zwłaszcza gdy docisk folii jest mały, powoduje, że możliwości obróbkowe ziaren nie są wykorzystane. Można zatem wyznaczyć, dla określonych parametrów i warunków obróbki taką prędkość przesuwu folii v_f , że przestrzenie między ziarnami są wypełnione w optymalnym stopniu.

Zbyt wolny przesuw folii powoduje, że przestrzenie między ziarnami są przepelnione i nie mogą pomieścić produktów obróbki. Wydajność wygładzania wówczas znacznie się obniża.

W ocenie potencjału obróbkowego należy uwzględnić, że nie wszystkie ziarna ściernie są wykorzystywane w kształtowaniu obrabianej powierzchni, co zależy od ich położenia na powierzchni folii, od topografii powierzchni folii, podatności rolki dociskowej i nacisków jednostkowych.

W celu określenia oczekiwanej efektywności wygładzania opracowano wskaźnik, który zależy od sumarycznego profilu folii (rys. 12), w postaci obwiedni sumy rzutów wzniesień nad poziom h , przy czym w tworzeniu sumy rzutów uwzględniono położenie wierzchołków ziaren w strefie obróbki. Ziarna w środkowej części strefy obróbki są zagłębione w obrabiany przedmiot bardziej niż ziarna w początkowym i końcowym fragmencie strefy obróbki. Z tego wynika wzór (1) w którym h_i opisuje średnie zagłębienie ziaren w strefie $i=1...10$. Obrazy powierzchni na rysunkach 13, 14, 15 już uwzględniają liczbę ziaren aktywnych oraz ich położenie w rozpatrywanych strefach. Dlatego w części środkowej widoczne jest zagęszczenie ziaren aktywnych. Można stosować wskaźnik w_{sf} , będący stosunkiem pola pod sumarycznym profilem do wartości bh , do wyznaczenia potencjału obróbkowego folii ścierniej w strefie kontaktu.

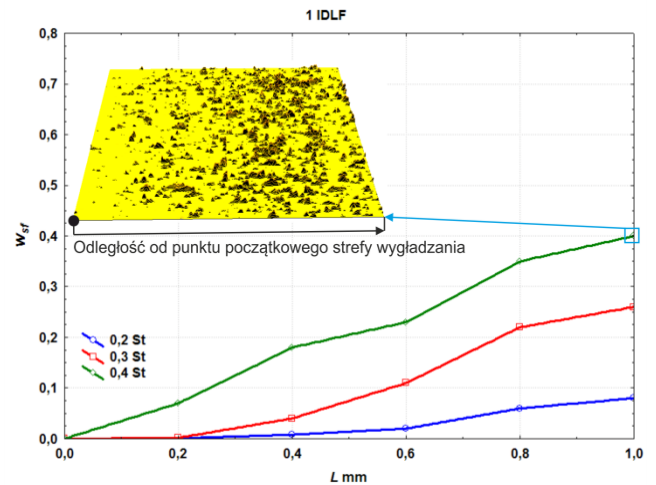


Rys. 12. Sumaryczny profil folii $z_s=f(x_s)$ w postaci obwiedni sumy rzutów wzniesień nad poziom H , na płaszczyznę $z_s x_s$

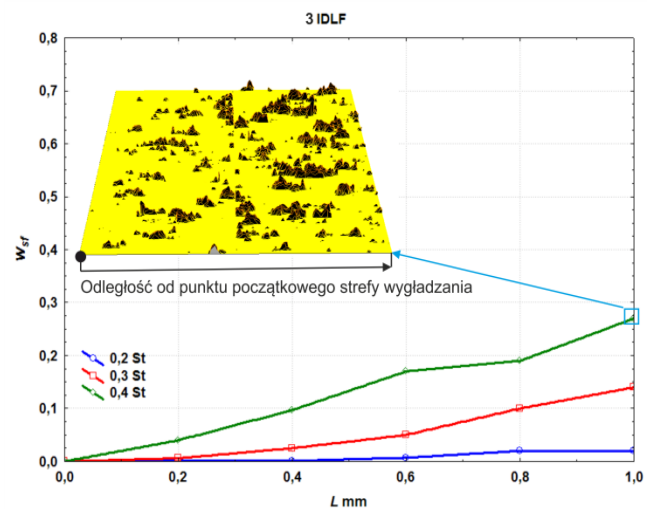
Wskaźnik w_{sf} (1) zależy od długości strefy kontaktu folii ścierniej z przedmiotem obrabianym. Może być to wykorzystane do określenia potencjału obróbkowego folii w strefie kontaktu.

$$w_{sf} = \frac{1}{bh_{max}} \sum_{i=1}^n [\max(z_i(x,y)) + h_i], \text{ gdzie } H = kSt_{folii} \text{ (z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu)} \quad (1)$$

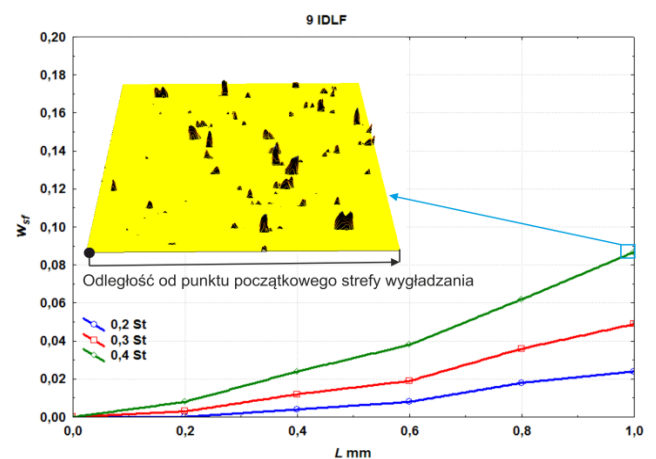
Zmiany wartości wskaźnika w_{sf} w zależności od długości strefy kontaktu dla różnych wartości k ($H=kSt_{folii}$) przedstawiono na rysunkach 12, 13, 14.



Rys. 13. Wskaźnik w_{sf} folii 1IDLf z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu

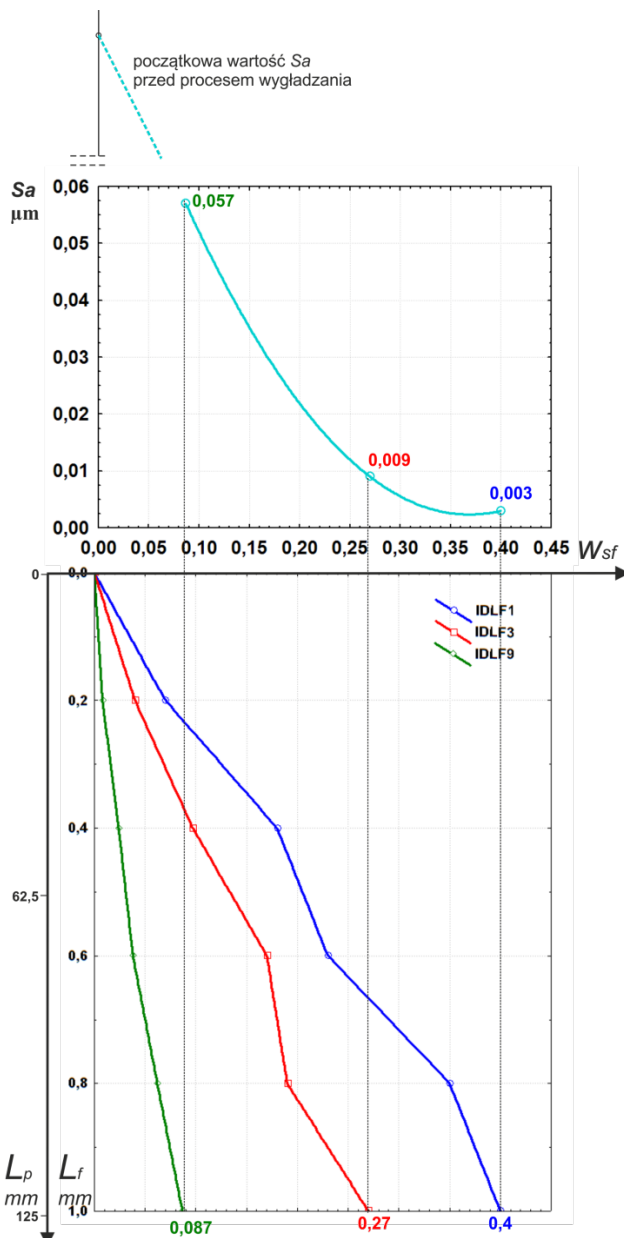


Rys. 14. Wskaźnik w_{sf} folii 3IDLf z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu



Rys. 15. Wskaźnik w_{sf} folii 9IDLf z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu

W celu weryfikacji zaproponowanego wskaźnika przeprowadzono badania procesu mikrowygładzania. Jako przedmioty obrabiane wybrano talerze dysków stałych ze względu na dokładność porównywania wyników wygładzania na podstawie krótkich cykli obróbkowych. Obróbkę realizowano, z prędkością przemieszczenia powierzchni przedmiotu w strefie obróbki $v_w=75$ m/min, z zastosowaną rolką dociskową o twardości 50°Sh. Wygładzanie realizowano z oscylacją folii z częstotliwością $f_o=80$ Hz, prędkość przesuwu folii v_t wynosiła 60 mm/min. W celu wyznaczenia parametrów Sa powierzchni obrabianych, przeprowadzono badania wygładzonych powierzchni z wykorzystaniem profilografometru CCI6000 firmy Taylor Hobson. Na rysunku 16 przedstawiono zależność parametru Sa obrabianej powierzchni od wartości wskaźnika w_{sf} .



Rys. 16. Wskaźnik w_{sf} folii 9IDLf z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu

Z danych zawartych na rysunku 16 wynika, że opracowany wskaźnik jest prostą i skuteczną miarą przydatną do oceny potencjału technologicznego folii ściernych w strefie obróbki. Może być również wykorzystany do określenia długości folii niezbędnej do uzyskania wyznaczonych cech powierzchni w określonej operacji wygładzania.

Podsumowanie

Proces dogładzania powierzchni z wykorzystaniem diamentowych folii do precyzyjnego wygładzania znacznie różni się od innych metod obróbki. Powierzchnia obrabiana przemieszcza się z większą szybkością niż folia ścierna. Powolnie przewijana folia ścierna dociskana do powierzchni obrabianej za pomocą rolki dociskowej, jest wykorzystywana tylko jeden raz. Jednokrotne wykorzystanie narzędzia oznacza, że ziarna ściernie wykorzystane są tylko przez pewien czas, zdeteminowany przez prędkość przesuwu folii, a po wyjściu ze strefy obróbki nie biorą ponownego udziału w procesie.

W celu optymalnego wykorzystania folii ścierniej oraz prognozowania warunków procesu wygładzania opracowano wskaźnik w_{sf} , będący stosunkiem pola pod sumarycznym profilem do wartości bh_{max} , z uwzględnieniem kształtu strefy kontaktu, który może być stosowany do określenia potencjału obróbkowego folii w strefie kontaktu.

Najwyższą oczekiwaną efektywność wygładzania obserwuje się dla folii ścierniej o nominalnej wielkości ziaren ściernych 1 mikrometr, co bezpośrednio wiąże się z ukształtowaniem topografii powierzchni jak i zaobserwowanym silnym agregatowaniem ścierniwa. Wartość współczynnika w_{sf} dla folii 1IDLf jest około czterokrotnie wyższa od współczynnika w_{sf} dla folii 9IDLf.

Badania zrealizowano w ramach projektu:



Projekt "Innowacyjne, hybrydowe narzędzia ściernie 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

- Kacalak W., Tandecka K., Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol.57, nr5/2011, str.531-535.
- Kacalak W., Tandecka K.: Efekty mikrowygładzania foliami ściernymi o nieciągłej powierzchni czynnej. *Miesięcznik Naukowo-Techniczny MECHANIK*, nr 8-9/2014, str. 36-40.
- Wojciech Kacalak, Katarzyna Tandecka, Analiza wpływu cech stereometrycznych i rozmieszczenia wierzchołków ziaren folii ścierniej na ukształtowanie nierówności obrabianej powierzchni, *Mechanik*, Zeszyt: 8-9, str. 115-127, 2012.
- Wojciech Kacalak, Katarzyna Tandecka, Dariusz Lipiński, Thomas G. Mathia, Apparent and active areal topography of diamond abrasives surfaces, 2nd International Conference on Abrasive Processes - ICAP 2014, str. 13, Cambridge UK, 2014.
- Wojciech Kacalak, Katarzyna Tandecka, Analiza aktywności i zmienności obciążeń ziaren w strefie obróbki w procesach mikrowygładzania foliami ściernymi, *Innovative Manufacturing Technology*, str. 150-163, Kraków 2011.
- Khellouki A., Rech J., Zahouani H., The effect of lubrication conditions on belt finishing, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 50, 2010, str. 917-921.
- Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R.: Methodology of evaluation of abrasive tool wear with the use of laser scanning microscopy, *Journal of Scanning Microscopy*, Wiley, 2013, dx.doi.org/10.1002/sca.21088.
- Mezghani S., El Mansori M., Abrasiveness properties assessment of coated abrasives for precision belt grinding, *Surfaces & Coatings Technology*, vol. 203, 2008, str. 786-789.