

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

Analiza zjawiska nieciągłości tworzenia mikrowiórów w procesie wygładzania foliami ściernymi

Analysis of the phenomenon discontinuities create the micro-chips in the process of microfinishing films

**WOJCIECH KACALAK
 KATARZYNA TANDECKA
 ŁUKASZ RYPINA ***

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.366

W artykule przedstawiono badania mikrowiórów tworzonych w procesie mikrowygładzania foliami ściernymi. Przeanalizowano cechy geometryczne mikrowiórów i stwierdzono występowanie bardzo długich wiórów w porównaniu do ich szerokości. Zaobserwowano również, występowanie wiórów kulistych, co należy uznać za skutek występowania lokalnie bardzo wysokich temperatur w strefie obróbki. Zaobserwowano istnienie dwóch charakterystycznych struktur wiórów kulistych oraz zbadano ich skład chemiczny. Na podstawie płytkowej budowy wiórów wstęgowych wyznaczono cechy mikronieciągłości w procesie mikroskrawania.

SŁOWA KLUCZOWE: mikrowióry, produkty obróbki, folie ścierne, nieciągłość procesu

Studied micro-chips created in the process of micro-abrasive films. Analyzed geometrical characteristics of the micro-chips, are at very long chips compared to their width. It was also observed, the presence of high temperature in the treatment zone, which resulted in the formation of chip like sphere. It has been observed that there are two characteristic structures of spherical chips and examined their chemical composition. On the basis of the strip-like plate construction chip set features micro-discontinuities in the Microcutting.

KEYWORDS: chips, products after machining, abrasive films, discontinuity of the process.

Wstęp

W odmiennym od szlifowania procesie obróbki, jakim jest mikrowygładzanie foliami ściernymi, podatne zamocowanie

* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl),
 dr inż. Katarzyna Tandecka (katarzyna.tandecka@tu.koszalin.pl),
 mgr inż. Łukasz Rypina (lukasz.rypina@tu.koszalin.pl)

ziaren ściernych w folii, dociskanych do przedmiotu elastyczną rolką, powoduje w strefie obróbki zmniejszanie różnic wysokości wierzchołków ziaren, co zwiększa równomierność obciążeń mechanicznych i cieplnych [10]. Prędkość przesuwu folii jest wielokrotnie mniejsza od prędkości przedmiotu, która z kolei jest znacznie mniejsza od prędkości szlifowania, co powoduje powstawanie bardzo długich śladów obróbkowych [8, 9, 11].

Proces wygładzania składa się z kilku zabiegów, w których stosuje się narzędzia o coraz drobniejszych ziarnach [12, 13, 14]. Obróbka realizowana jest poprzez przewijanie folii ścierniej z rolki podającej na rolkę zwijającą. Między tymi rolkami, znajduje się rolka dociskająca folię ścierną do przedmiotu obrabianego. Od twardości rolki dociskowej i od siły jej docisku zależy pole powierzchni strefy styku narzędzia z przedmiotem obrabianym. Cechą charakterystyczną procesu jest fakt, że prędkość przesuwu folii ścierniej jest od 500 do 3000 razy mniejsza od prędkości posuwu przedmiotu obrabianego. Skutkiem tego ziarna ściernie znajdują się długo w strefie obróbki i tworzą ślady obróbkowe o znacznej długości. Produkty obróbki, powstające w strefie wygładzania muszą pomieścić się w przestrzeniach między ziarnami [4].

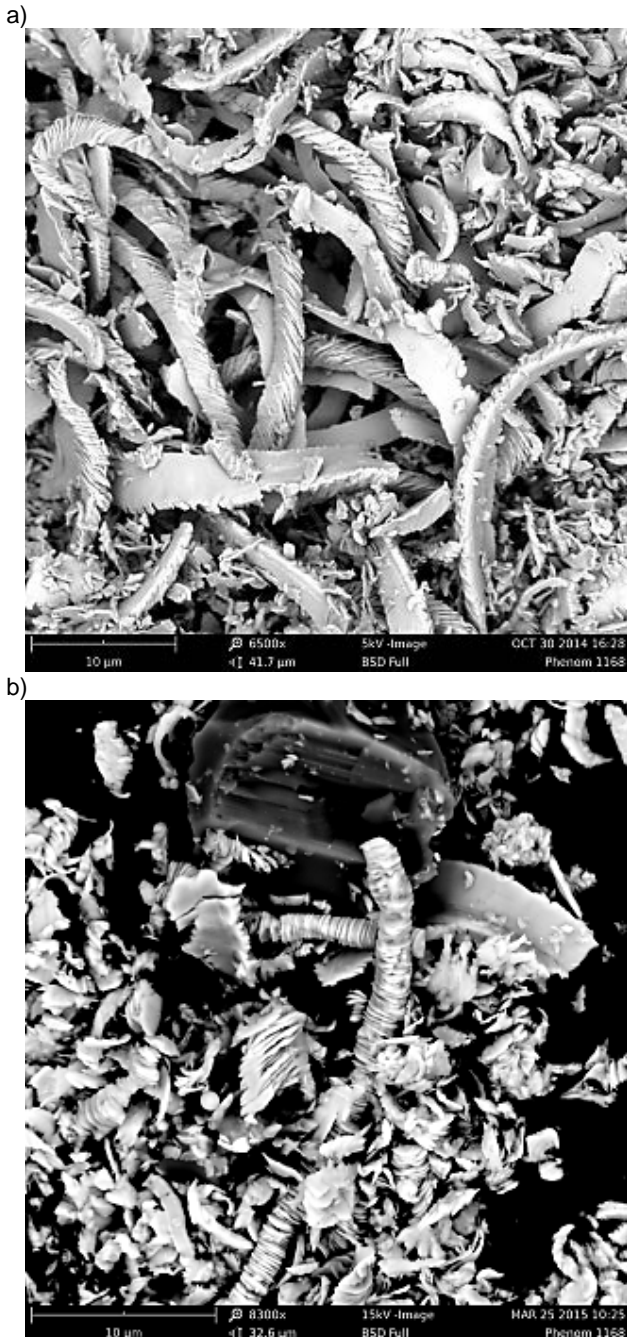
Cechy geometryczne mikrowiórów

Do badań geometrycznych cech mikrowiórów, wykorzystano produkty powstające podczas mikrowygładzania foliami ściernymi.

Proces mikrowygładzania foliami ściernymi przeprowadzono z zastosowaniem folii ściernych typu IMFF, czyli folii do mikrowygładzania, gdzie ziarna ściernie z elektrokorundu osadzone są na powierzchni nośnika poliestrowego, metodą elektrostatyczną. Powoduje to orientowanie ziaren ściernych sprzyjające zwiększeniu ich zdolności skrawnej. W procesie obróbki zastosowano folie o nominalnym rozmiarze ziarna

15 μm , przedmiotem obrabianym był wałek ze stali 40H ulepszonej cieplnie do twardości 60 HRC. Obróbkę realizowano przez 160 sekund z prędkością przesuwu przedmiotu 35 m/min, z zastosowanymi rolkami dociskowymi o twardości elastomeru 80°Sh A. Prędkość przesuwu taśmy wynosiła 160 mm/min, a siła docisku wyniosła 60 N.

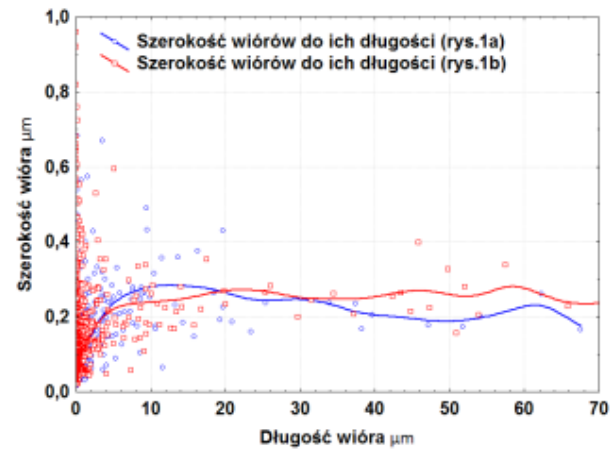
Po procesie wygładzania pobrano mikrowióry z powierzchni folii ścierniej (rys. 1). W celu wyznaczenia ich cech geometrycznych dokonano akwizycji danych z wykorzystaniem stołowego mikroskopu skaningowego Phenom, umożliwiające uzyskanie powiększenia do 100.000.



Rys. 1. Obrazy dwóch grup mikrowiórków, produktów procesu mikrowygładzania folią ścierną IMFF15

Zaobserwowano, że mikrowióry charakteryzują się dużym stosunkiem ich długości do szerokości. Aby wyznaczyć cechy geometryczne produktów obróbki, wykorzystano analizę obrazów z wykorzystaniem aplikacji Scanning Probe Image Processor firmy Image Metrology A/S. Wyniki bada-

nia szerokości i długości wiórów po procesach mikrowygładzania przedstawiono na rysunku 2.

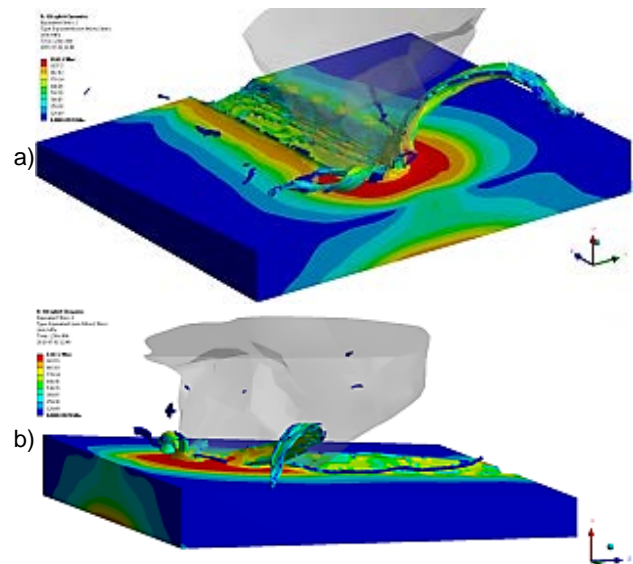


Rys. 2. Wykres zależności szerokości wiórów od ich długości

Stwierdzono występowanie długich i wąskich wiórów, co ma bezpośredni związek ze specyfiką obróbki i skutkuje długą drogą kontaktu pojedynczego ziarna z materiałem obrabianym [1].

Modelowanie procesu przemieszczania materiału w strefie kontaktu ziaren z przedmiotem obrabianym

W przeprowadzonych badaniach mikroskopowych mikrowiórków zaobserwowano duże zróżnicowanie w kształtach i formach produktów obróbki, jak również charakterystyczną schodkową ich budowę. Aby lepiej zrozumieć mechanizm powstawania tak zróżnicowanych postaci mikrowiórków [2, 3, 5], przeprowadzono modelowanie procesu mikroskrawania pojedynczym ziarnem w układzie 3D w środowisku wykorzystującym metodę elementów skończonych (rys. 3).



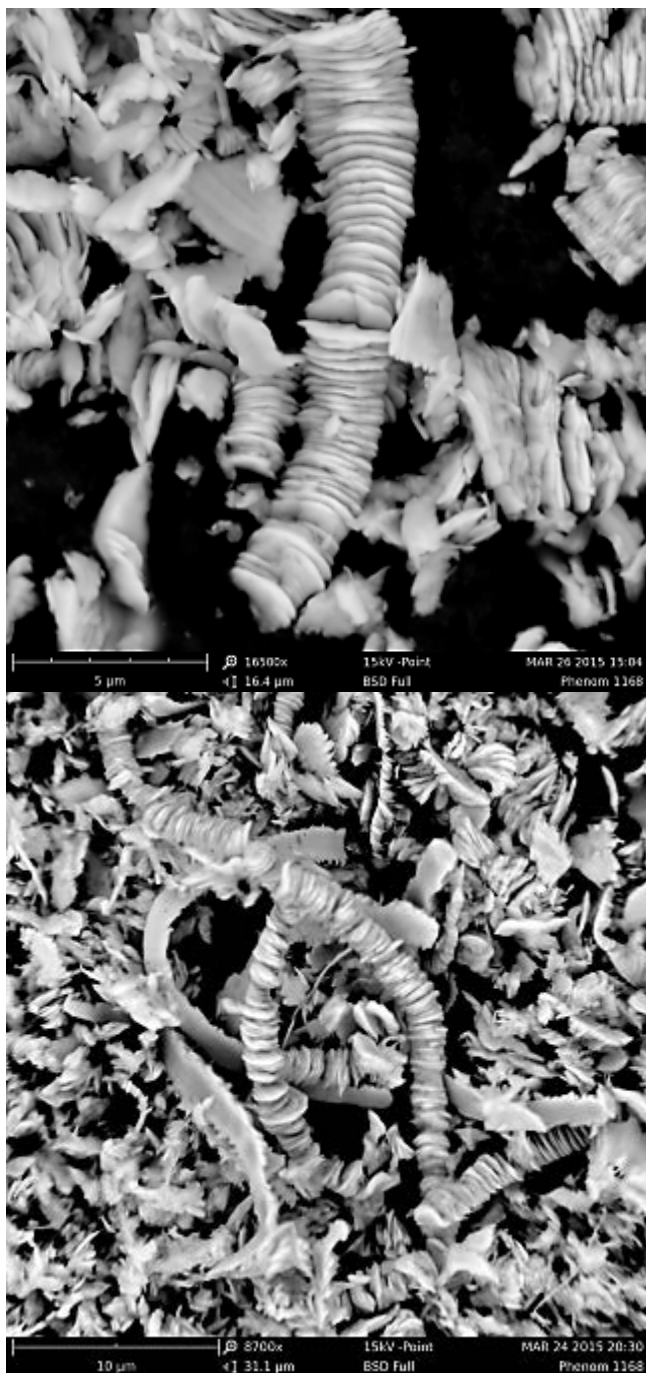
Rys. 3. Obrazy nieciągłości w procesie tworzenia wióra w mikroskrawaniu pojedynczym ziarnem (a, b)

Modelowanie przeprowadzono w systemie Ansys dla ziaren ściernych zilustrowanych na rysunku 3 oraz dla obrabianego materiału - stali 4340 i prędkości mikroskrawania $v_s=25$ m/s. W celu uzyskania danych o procesie dla różnych zagłębień ziaren powierzchnia próbki została pochylona tak aby głębokość mikroskrawania zmieniała się od 0 do 200 μm .

Zaobserwowano, że w wyniku oddziaływania pojedynczego ziarna na materiał obrabiany powstaje wiele mikrowiórów, co udowadnia, że im bardziej skomplikowana geometria ziarna ściernego, tym więcej, bardziej zróżnicowanych geometrycznie mikrowiórów powstaje w procesie obróbki, co ma bezpośredni związek z istnieniem wielu płaszczyzn natarcia ziarna ściernego o skomplikowanym kształcie [6, 7, 15, 16].

Metoda oceny nieciągłości oddzielenia materiału w procesie wygładzania foliami ściernymi

Mikronieciągłość procesów obróbki uwidacznia się w postaci schodkowej budowy mikrowiórów (rys. 4). Badanie grubości płytek g_p tworzących wióry pozwoliło, z uwzględnieniem współczynnika spęczania w_{sp} , określić częstość mikronieciągłości w mikrowygładzaniu foliami ściernymi.



Rys. 4. Schodkowa budowa mikrowiórów



Rys. 5. Schodkowa budowa mikrowiórów po procesie mikrowygładzania foliami ściernymi z wyznaczoną grubością ich płytek g_p

Częstość oddzielenia materiału w procesie mikroobróbki wyznaczono z następującego wzoru (1):

$$f_w = \frac{v_p}{g_p w_{sp}} \quad (1)$$

gdzie:

f_w – częstość mikronieciągłości w procesie oddzielenia materiału wyznaczana metodą badania struktury wióra, Hz

v_p – prędkość przedmiotu obrabianego w mikrowygładzaniu foliami ściernymi, m/min

g_p – grubość płytki wióra o budowie schodkowej (rys. 5), nm

w_{sp} – współczynnik spęczania (wynikający również z przemieszczeń płytek tworzących schodkową budowę wióra), który według oszacowania danych wynosi około 10.

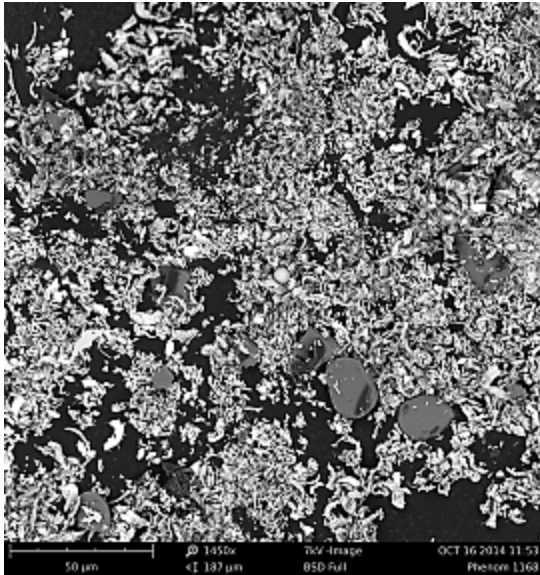
Uzyskano następujące wyniki:

$$f_w = 0,57 \text{ MHz}$$

Częstość oddzielenia materiału f_w wyznaczona metodą badania struktury wióra dla procesu mikrowygładzania z prędkością 35 m/min wynosi 0,57 MHz.

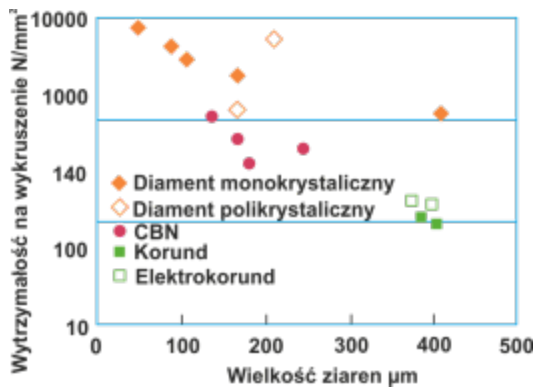
Ocena procesu mikrowygładzania z wykorzystaniem informacji o produktach obróbki

Przeprowadzone badania mikroskopowe produktów obróbki jednoznacznie wskazały, że oprócz wiórów występują również wykruszone pojedyncze ziarna ścierne (rys. 6). Ziarna ścierne, które ulegają wykruszeniu i muszą zostać usunięte ze strefy obróbki w przestrzeniach pomiędzy ziarnami utwardzonymi w spoiwie i mogą powodować powstawanie długich i głębokich rys na powierzchni obrabianej.



Rys. 6. Produkty obróbki procesu mikrowygładzania z widocznymi wykruszonymi ziarnami ściernymi z powierzchni czynnej narzędzia

Dla procesów precyzyjnego mikrowygładzania wskazane jest stosowanie folii z ziarnami diamentowymi, które mają znacznie większą wytrzymałość na wykruszenie (rys. 7). Powinno temu towarzyszyć zwiększenie siły utwardzenia ziaren na powierzchni nośnika.



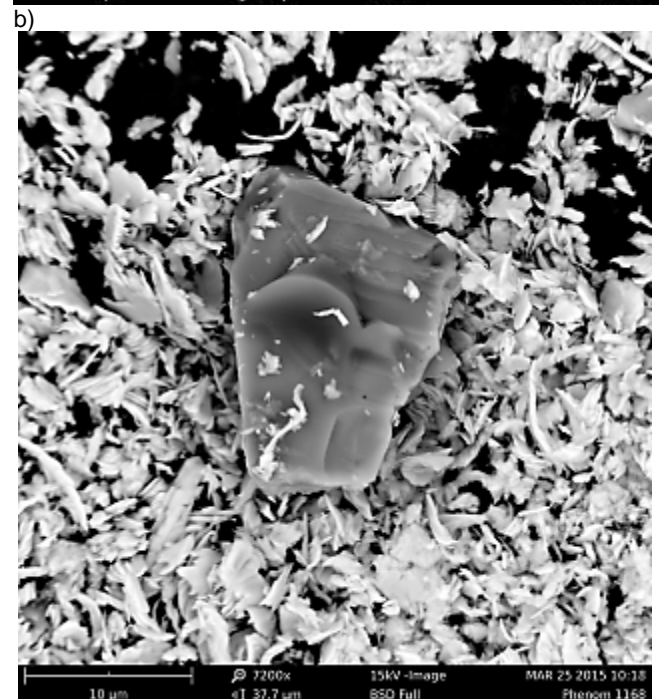
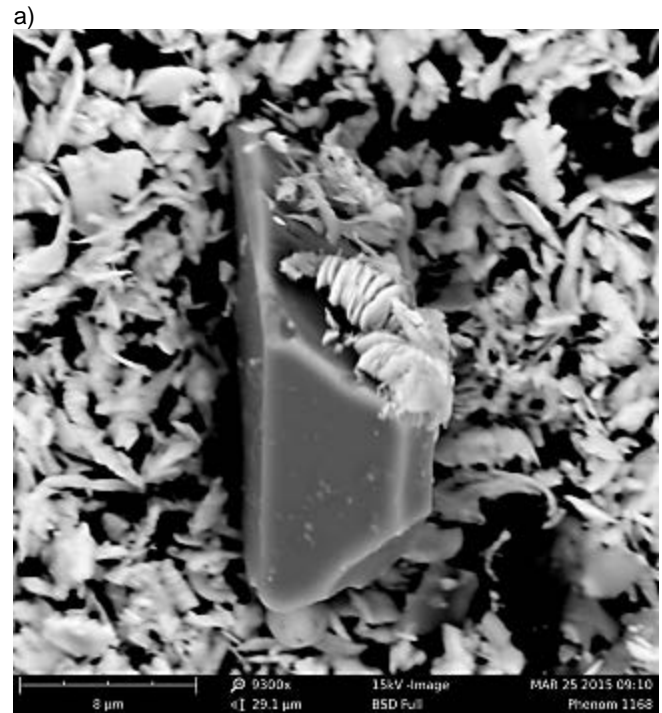
Rys. 7. Wytrzymałość na wykruszenie ziaren ściernych z różnych materiałów [17]



Rys. 8. Produkty obróbki procesu mikrowygładzania z widocznym pojedynczym znacznie większym wiórem

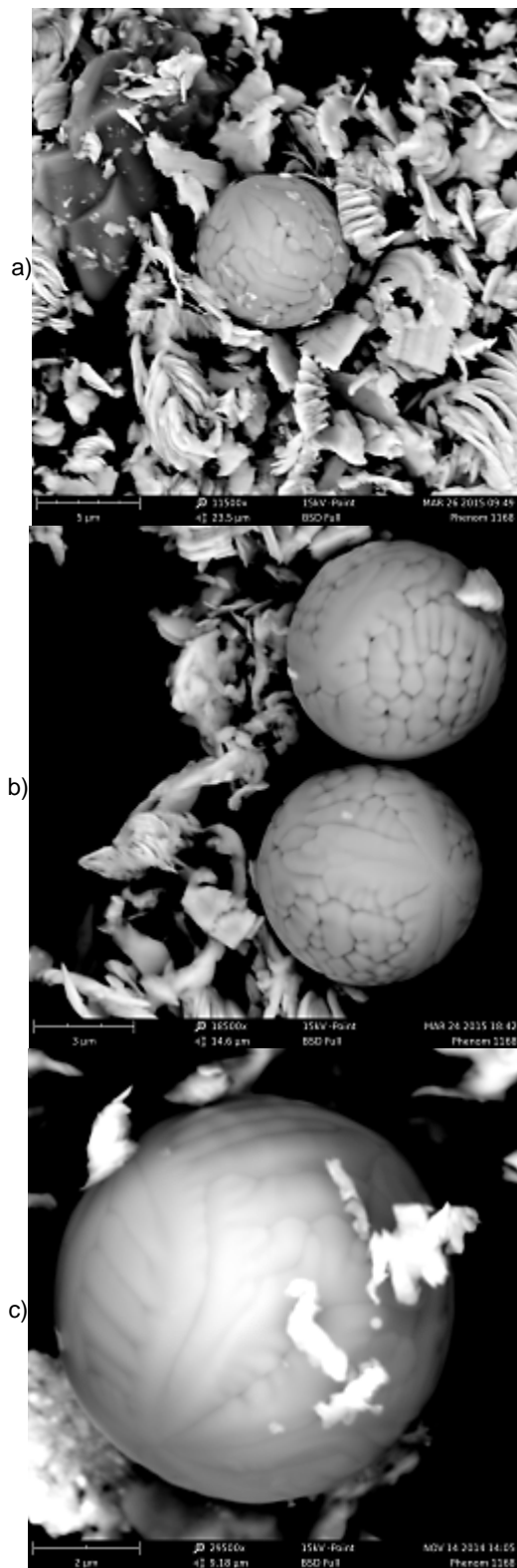
Po analizie uzyskanych obrazów SEM mikrowiórów, zaobserwowano występowanie pojedynczych, znacznie szerszych wiórów (rys. 8), co wskazuje na występowanie znacznych różnic w polach powierzchni natarcia ziaren ściernych, co jest zjawiskiem niekorzystnym, należy dążyć do jak najmniejszego rozrzutu wielkości ziaren ściernych.

Można zauważyć, że prawie wszystkie mikrowiórki, powstające w procesie mikrowygładzania są znacznie mniejsze od ziaren ściernych, wynika to do faktu podatności układu przedmiot narzędzie, a co za tym idzie małych głębokości skrawania. Na rysunku 9 przedstawiono zdjęcia ziaren ściernych z widocznym aktywnym wierzchołkiem, który brał udział w procesie usuwania materiału.



Rys. 9. Obrazy SEM ziaren ściernych z widocznymi aktywnymi wierzchołkami biorącymi udział w procesie mikrowygładzania

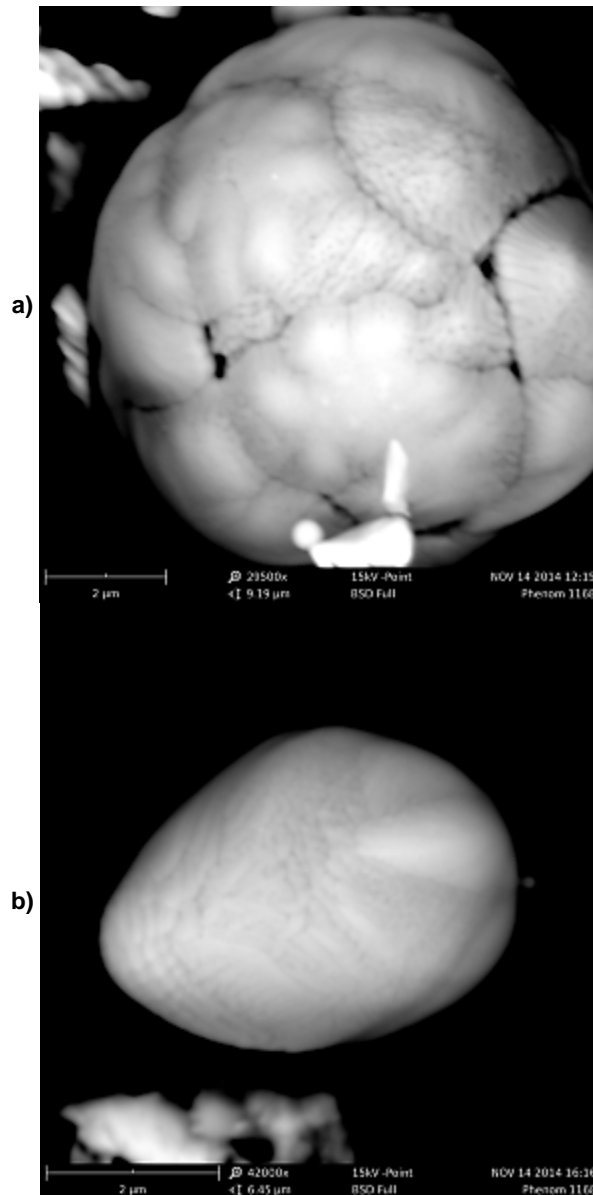
W produktach obróbki po procesie mikrowygładzania ściernego, zauważono również wióry o postaci zbliżonej do kulistej (rys. 10), co wskazuje na występowanie wysokich temperatur w strefie obróbki. Powoduje to topnienie i szybkie krzepnięcie małych fragmentów materiału, co skutkuje powstawaniem wiórów kulistych o bardzo złożonej strukturze na powierzchni sfer. Zaobserwowano różne wielkości mikrosfer, których średnica wyniosła od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów.



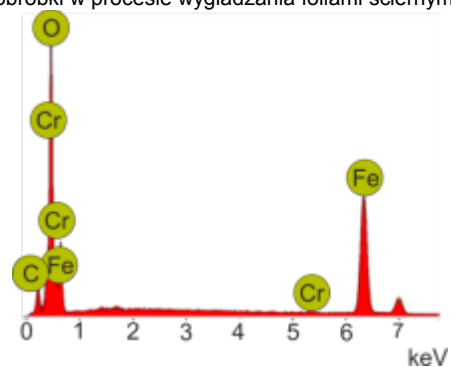
Rys. 10. Wióry o postaci kulistej powstałe w procesie wygładzania foliami ściernymi (a, b, c)

Zaobserwowano również występowanie, wiórów, które powstały w wyniku działania wysokiej temperatury w strefie obróbki, lecz ich kształt jest mniej zbliżony do sfery (rys. 11).

Po zbadaniu składów chemicznych kulistych wiórów (rys. 12, tab. 1) i wiórów mniej zbliżonych do sfery zaobserwowano silne utlenienie się materiału, w porównaniu do wiórów w klasycznej postaci.



Rys. 11. Wióry powstałe w wyniku działania wysokich temperatur w strefie obróbki w procesie wygładzania foliami ściernymi (a, b)



Rys. 12. Wykres energii rozproszonego promieniowania rentgenowskiego z badanego mikroobszaru wióra w postaci mikrosfery

Tab. 1. Wykres energii rozproszonego promieniowania rentgenowskiego z badanego mikroobszaru wióra w postaci mikrosfery

Symbol pierwiastka	Nazwa pierwiastka	Zawartość objętościowa %
O	Tlen	72.4
Fe	Żelazo	25.1
C	Węgiel	2.4
Cr	Chrom	0.2

Podsumowanie

Zjawisko mikronieciągłości tworzenia wiórow oraz jego częstotliwość można określić na podstawie ich charakterystycznej schodkowej budowy. Stwierdzono, że grubości schodkowo ułożonych płytek tworzących wiór wynosiły około 100 nm, co pozwala oszacować częstość poślizgów (przemieszczeń elementów wióra) $f_w=0,57$ MHz.

Przyjęta metodyka pozwala na określenie mikronieciągłości oraz parametrów statystycznych wiórow i cech ich budowy. Wyniki badań pozwalają na formułowanie zaleceń dotyczących zwiększenia efektywności bardzo dokładnej obróbki, w tym budowy folii oraz właściwości rolek dociskowych.

Zaobserwowano niekorzystne zjawisko wykruszania się ziaren w trakcie procesu mikrowygładzania, które poprzez niekontrolowane przemieszczanie się w strefie obróbki, mogą powodować powstawanie pojedynczych, głębokich rys na powierzchni obrabianej.

Po analizie obrazów SEM mikrowiórow powstających w strefie obróbki, stwierdzono występowanie wysokich temperatur, powodujących topnienie wiórow i bardzo szybkie krzepnięcie materiału, w skutek tych przemian powstają wióry kuliste lub silnie utlenione bryły o kształcie mniej zbliżonym do sfer.

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

- CORONADO J.J., SINATORA A., Effect of abrasive size on wear of metallic materials and its relationship with microchips morphology and wear micromechanisms . Wear 271 (2011) str. 1794– 1803.
- HUA J., SHIVPURI R., Prediction of chip morphology and segmentation during the machining of titanium alloys, Journal of Materials Processing Technology 150 (2004) str. 124–133.

- Kacalak W., Królikowski T., Rypina Ł., Modelowanie naprężeń i przemieszczeń materiału w strefie mikroskrabania z wykorzystaniem środowiska LS-DYNA, Mechanik NR 8-9/2013 str. 226-240.
- Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., Mathia T. G. , Micro and nano - discontinuities of chips formations in diamond foils abrasive finishing process , 2nd International Conference on Abrasive Processes - ICAP 2014, str. 25, Cambridge UK, 2014.
- Kacalak W., Tandecka K., Sempruch R., Badania modelowe procesu mikroskrabania, MECHANIK NR 8-9/2013.
- Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., Szafraniec F., Metody identyfikacji zmian stanu czynnej powierzchni ściernic w wyniku starcia, zalepienia lub wykruszenia ziaren, Mechanik nr 8-9/2014, str. 193-199.
- Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., Szafraniec F., Socha E. Metody identyfikacji zmian stanu czynnej powierzchni ściernic w wyniku starcia, zalepienia lub wykruszenia ziaren, Mechanik, Zeszyt: 8-9/2014, str. 193-199/724, 2014.
- Kacalak W., Tandecka K. Prognozowanie właściwości technologicznych folii ściernych z zastosowaniem analiz widmowych powierzchni czynnej narzędzia, Mechanik, Zeszyt: 8-9/2014, str. 212-218/725, 2014.
- Kacalak W., Tandecka K., Efekty mikrowygładzania foliami ściernymi o nieciągłej powierzchni czynnej, Mechanik, Zeszyt: 8-9, str. 207-211/725, 2014.
- Kacalak W., Bałasz B., Tomkowski R., Lipiński D., Królikowski T., Szafraniec F., Tandecka K., Rypina Ł., Problemy naukowe i kierunki rozwoju procesów mikroobróbki ściernic, Mechanik, Zeszyt: 8 – 9, str. 157-170/724, 2014.
- Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł., Efekty stosowania modyfikowanych rolek dociskowych o zmiennej lokalnie podatności w procesach mikrowygładzania foliami ściernymi, Mechanik, Zeszyt: 8-9, str. 200-206/724, 2014.
- Kacalak W., Tandecka K., Effect of superfinishing methods kinematic features on the machined surface, Journal of Machine Engineering, Tom: 12 Zeszyt: 4, str. 35-48, 2012.
- Kacalak W., Tandecka K., Basics of the superfinishing results prognosis by the diamond lapping films, Journal of Machine Engineering, Tom: 12 Zeszyt: 4, str. 49-62, 2012.
- Kacalak W., Tandecka K., Analiza wpływu cech stereometrycznych i rozmieszczenia wierzchołków ziaren folii ściernic na ukształtowanie nierówności obrabianej powierzchni, Mechanik, Zeszyt: 8-9, str. 115-127, 2012.
- Kacalak W., Szafraniec F., Tandecka K., Metodyka modelowania powierzchni czynnej narzędzi ściernych z uwzględnieniem korelacji przestrzennego rozmieszczenia ich wierzchołków dla określonych ściernic rzeczywistych, Mechanik, Zeszyt: 8-9, str. 185-192/724, 2014.
- 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.
- List E., Frenzel J., Vollstaedt H.: Ein neues System zur Ermittlung der Einzelkornfestigkeit von Schleifkornungen, IDR Industrie Diamanten Rundschau, nr II/06, 2006, str. 6–18.