

# Analiza nieciągłości procesu mikrowygładzania z uwzględnieniem postaci i cech budowy mikrowiórów

Analysis of the discontinuities of the micro-finishing process, taking into account the form and characteristics of the micro-chips structure

WOJCIECH KACALAK  
KATARZYNA TANDECKA  
FILIP SZAFRANIEC  
ŁUKASZ RYPINA  
THOMAS G. MATHIA \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.4.49>

W mikrowygładzaniu foliami ściernymi narzędzie jest używane jednokrotnie, co powoduje konieczność optymalnego wypełnienia produktami obróbki przestrzeni między ziarnami. Badania mikrowiórów z wykorzystaniem stołowego skaningowego mikroskopu elektronowego umożliwiają pełniejszą ocenę procesu obróbkowego. Na podstawie budowy mikrowiórów opisano zjawiska zachodzące w strefie mikrowygładzania foliami z elektrokorundowymi ziarnami ściernymi o nominalnym rozmiarze 15  $\mu\text{m}$ . Wykazano, że analiza mikrowiórów, den śladów obróbkowych oraz rozmiarów płytek mikrowiórów o budowie schodkowej pozwala oszacować częstość nieciągłości procesu. Przedstawiono również różne rodzaje wiórów sferycznych, powstających w wyniku oddziaływania bardzo wysokiej temperatury, jako zjawisko niekorzystne dla procesu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** folia ścierna, mikrowygładzanie, obróbka precyzyjna, mikrowióry, wióry sferyczne

*Micro-finishing with abrasive foils is characterized by a single use of the tool, which makes it necessary to optimally fill the space between the grains of the processing products. Microscopy research with the use of scanning electron microscopy enables a more complete evaluation of the machining process. Based on the structure of micro-chips, the phenomena occurring in the micro-finishing zone with foils with electrocorundum abrasive grains with a nominal size of 15  $\mu\text{m}$  have been described. It has been shown that the analysis of micro-chips, the bottoms of machining marks and the size of micro-chips with segmentation construction allows to estimate the frequency of process discontinuities. Different types of spherical chips, created as a result of very high temperatures, are also presented as a phenomenon unfavorable for the process.*

**KEYWORDS:** abrasive foil, micro-finishing, precision machining, micro-chips, spherical chips

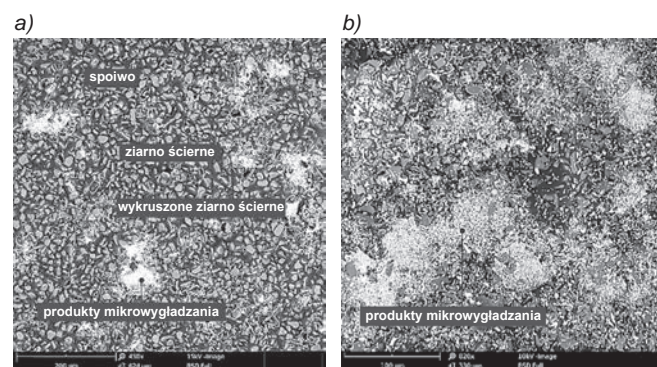
## Analiza powierzchni folii po procesie wygładzania

Proces mikrowygładzania foliami ściernymi zapewnia uzyskanie powierzchni obrabianych o bardzo małej chropowatości [8]. Obróbka polega na sekwencyjnym wygładzaniu powierzchni foliami o coraz mniejszym ziarnie.

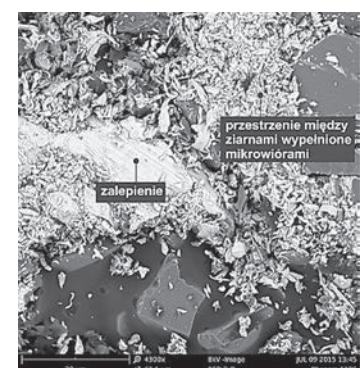
\* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl), dr inż. Katarzyna Tandecka (katarzyna.tandecka@tu.koszalin.pl), mgr inż. Filip Szafraniec (filip.szafraniec@tu.koszalin.pl), dr inż. Łukasz Rypina (lukasz.rypina@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej; Emeritus Research Director, dr hab. inż. Thomas G. Mathia (thomas.mathia@ec-lyon.fr) – Centre National de la Recherche Scientifique, (CNRS) Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (LTDS), École Centrale de Lyon, France

Są dwa rodzaje folii ściernych: folie o wyższej skrawalności, z ziarnami ściernymi osadzonymi w spoiwie w polu elektrostatycznym, co zapewnia optymalne zorientowanie ziaren względem powierzchni obrabianej, oraz folie z ziarnami ściernymi zatopionymi pod cienką warstwą spoiwa. Do folii wytwarzanych w polu elektrostatycznym zaliczają się folie IMFF (*imperial microfinishing film*), stosowane najczęściej do przygotowania powierzchni do dalszej obróbki foliami z ziarnami ściernymi zatopionymi pod cienką warstwą spoiwa – typu ILF (*imperial lapping film*).

Bez względu na rodzaj folii ścierniej narzędzia są jednorazowe [11, 12]. To powoduje, że ze względów ekonomicznych należy tak dobierać parametry obróbkowe, aby optymalnie wykorzystać potencjał obróbkowy folii. Jednocześnie trzeba dodać, że produkty obróbki są wynoszone ze strefy mikroskrawania w przestrzeniach między ziarnami, co również determinuje dobór parametrów obróbki, a zwłaszcza prędkości folii, by optymalnie zapełnić tę przestrzeń (rys. 1).

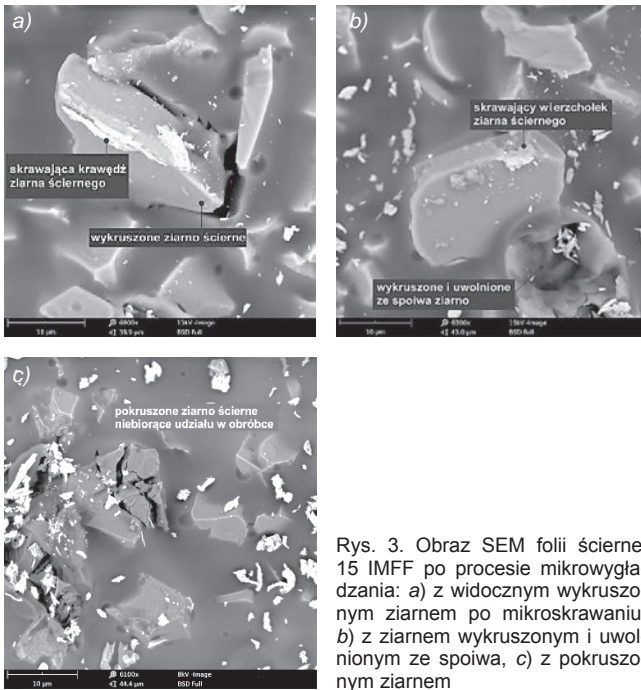


Rys. 1. Obrazy SEM folii ścierniej 15 IMFF po procesie mikrowygładzania: a) z niepełnym wykorzystaniem potencjału narzędzia, b) z optymalnym wypełnieniem wiórami przestrzeni między ziarnami

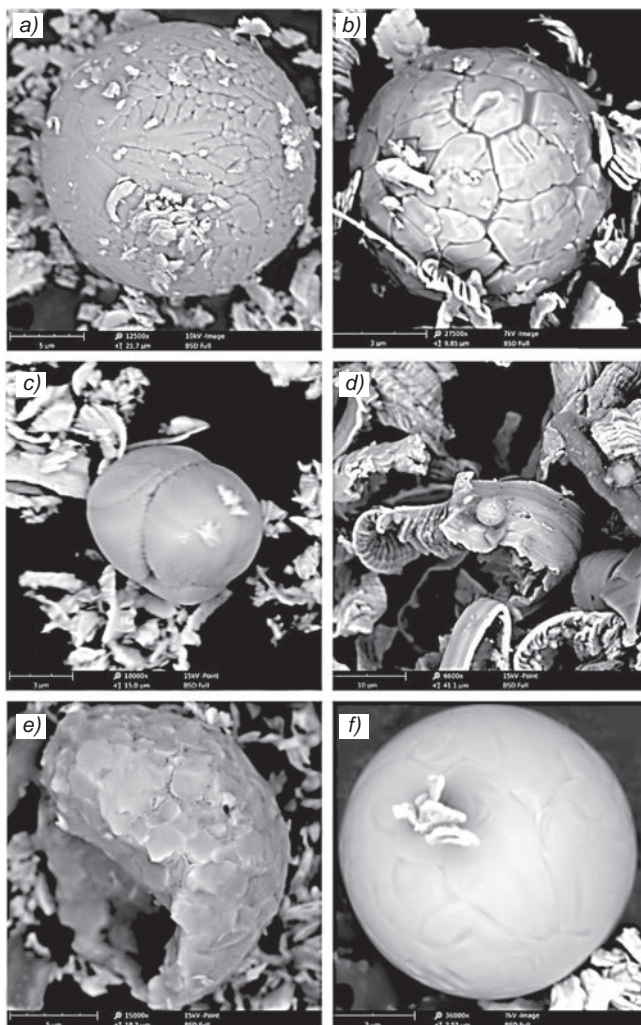


Rys. 2. Obraz SEM folii ścierniej 15 IMFF po procesie mikrowygładzania z widocznym zalepieniem oraz wypełnionymi mikrowiórmi przestrzeniami międzyziarnowymi





Rys. 3. Obraz SEM folii ścierniej 15 IMFF po procesie mikrowygładzania: a) z widocznym wykruszonym ziarnem po mikroskrawaniu, b) z ziarnem wykruszonym i uwolnionym ze spoiwa, c) z pokruszonym ziarnem



Rys. 4. Obrazy SEM mikrowiórów sferycznych po procesie mikrowygładzania: a) z widoczną bardzo złożoną strukturą powierzchni, b) z powierzchnią zbudowaną z dużych, geometrycznych elementów, c) o kształcie odbiegającym od sfery, d) o charakterystycznej schodkowej budowie, przyklejonych do powierzchni e) zbudowanych z drobnych elementów składających się na fragment sfery, f) z bardzo gładką powierzchnią

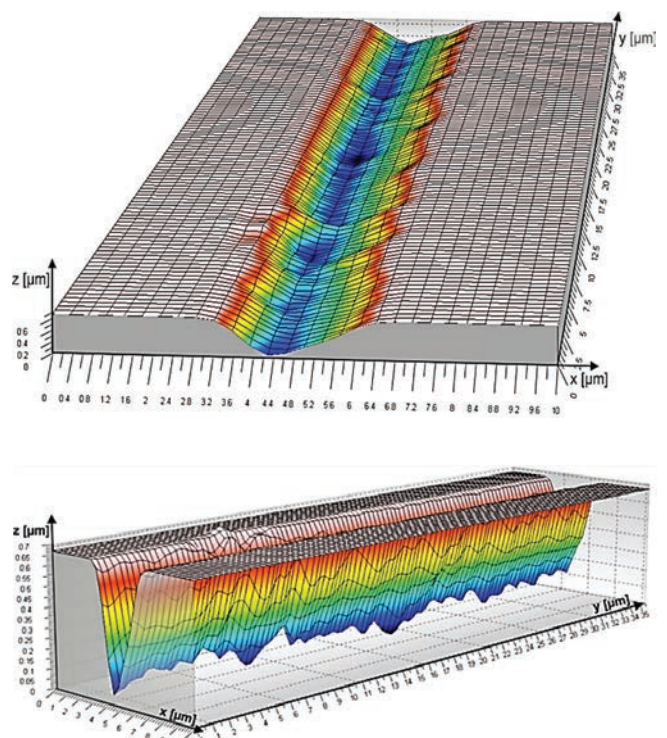
Zbyt wolny przesuw folii ze strefy mikrowygładzania może spowodować przepelnienie przestrzeni między ziarnami produktami obróbki, a następnie, w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury, powstawanie zalepień na powierzchni narzędzia (rys. 2) [7]. Powstawanie zalepień jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ uniemożliwia usuwanie materiału przez sąsiednie ziarna ściernie i znacznie utrudnia wygładzanie mikronierówności obrabianej powierzchni [10].

Folia ścierna jest dociskana przez rolkę dociskową do przedmiotu obrabianego. Można zmaksymalizować liczbę aktywnych ziaren ściernych poprzez dobór siły docisku oraz twardości rolki. Zbyt duże naciski jednostkowe powodują jednak kruszenie się ziaren ściernych (rys. 3), co jest niewskazane, ponieważ luźne ścierniwo w strefie obróbki przyczynia się do powstawania głębokich rys [5, 6]. W wyniku oddziaływania bardzo wysokiej temperatury w strefie obróbki można zaobserwować pojawianie się wiórów kulistych – ich charakterystyczny kształt jest skutkiem topienia się materiału i jego szybkiej krystalizacji (rys. 4) [4, 9].

### Analiza nieciągłości procesu mikrowygładzania

Do badań procesu mikroskrawania pojedynczym ziarnem wykorzystano powierzchnię dysku stałego o bardzo niskiej chropowatości, z amorficznego stopu niklu i fosforu (NiP). Prędkość przedmiotu obrabianego  $v_p = 14,86 \cdot 10^2$  mm/s.

Zaobserwowano, że punkty największych zagłębień nie leżą na prostej zawartej w przekroju podłużnym śladu mikroskrawania. Zakres odchyłek tych punktów od profilu dna śladu nie przekracza – w kierunku prostopadłym do płaszczyzny przekroju – 0,25 szerokości rysy (rys. 5). Częstość mikronieciągłości w procesie oddzielania materiału, wyznaczona metodą badania dna rysy dla danej prędkości mikroskrawania  $v_p$ , wynika z szerokości strefy mikronieciągłości  $S_{m15} = 0,00289$  mm jako odległości



Rys. 5. Fragment śladu mikroskrawania z widoczną nierównością dna rysy i z ziarnem elektrokorundu zamocowanego na powierzchni folii ścierniej 15 IMFF





Rys. 6. Obrazy SEM mikrowiórów powstałych w procesie mikrowygładzania stali 40H o budowie schodkowej i grubości płytki 180 nm

między maksymalnymi zagłębieniami ostrza skrawającego w kolejnych subobjętościach usuniętego materiału, i wynosi 0,514 MHz.

Badania zjawiska nieciągłości przeprowadzono również dla innego procesu, w którym foliami ściernymi typu 15 IMFF wygładzano wałki ze stali 40H o twardości 60 HRC. Prędkość obwodowa wałka wynosiła 35 m/min, a prędkość przesuwu folii – 160 mm/min. Folię dociskano do przedmiotu obrabianego rolką dociskową z siłą 60 N.

Przekształceniu materiału obrabianego w wiór towarzyszą odkształcenia plastyczne [1, 13], wpływające na grubość płytek tworzących wiór o budowie schodkowej (rys. 6) [2, 3]. Stwierdzono, że grubość płytek  $g_p$  badanych wiórów wynosi ok. 180 nm, co pozwala, z uwzględnieniem współczynnika spęczania  $w_{sp} = 10$ , określić częstotliwość mikronieciągłości procesu na podstawie budowy wióra.

$$f_{p15} = \frac{v_p}{S_{m15}} = 0,514 \text{ MHz} \quad f_w = \frac{v_p}{g_p w_{sp}} = 0,32 \text{ MHz}$$

gdzie:

- $f_p$  – częstość mikronieciągłości w procesie oddzielenia materiału, wyznaczana metodą badania dna rysy,
- $f_w$  – częstość mikronieciągłości w procesie oddzielenia materiału, wyznaczana metodą badania struktury wióra,
- $S_m$  – szerokość strefy mikronieciągłości,
- $v_p$  – prędkość przedmiotu obrabianego,
- $g_p$  – grubość płytki wióra o budowie schodkowej,
- $w_{sp}$  – współczynnik spęczania.

## Wnioski

Niewłaściwy dobór parametrów mikrowygładzania może powodować powstawanie zalepień na powierzchni folii, formowanie się mikrowiórów sferycznych (w wyniku oddziaływania zbyt wysokich temperatur), kruszenie ziaren ściernych na powierzchni folii i uwalnianie ścierniwa do strefy mikrowygładzania, wrywanie ziaren ze spoiwa oraz nieekonomiczne zastosowanie folii ścierniej, co w efekcie pogarsza jakość wygładzanej powierzchni.

Podczas mikrowygładzania można zaobserwować nieciągłość procesu, którą da się wyznaczyć na podstawie badania dna rysy, jak również na podstawie schodkowej budowy mikrowióra. Nieciągłość procesu bardzo mocno zależy od prędkości wygładzania. Dzięki zastosowaniu metody badania dna rysy uzyskano wprawdzie wyższą częstość oddzielenia materiału, wynoszącą  $f_{p15} = 0,514$  MHz, jednak jest to metoda łatwiejsza w stosowaniu, ponieważ nie wymaga oszacowania współczynnika spęczania wióra i badań mikroskopowych.

## LITERATURA

1. 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): s. 1794–1803.
2. Hua J., Shivpuri R. "Prediction of chip morphology and segmentation during the machining of titanium alloys". *Journal of Materials Processing Technology*. 150 (2004): s. 124–133.
3. Kacalak W., Kapłonek S. „Wybrane aspekty nieciągłości procesu powstawania wióra podczas skrawania ściernego”. *Materiały V Międzynarodowej Konferencji „Postępy w teorii i technice obróbki materiałów – Obróbka ścierna, materiały i narzędzia ściernie”*. Kraków: 1979, s. 17–20.
4. Kacalak W., Rypina Ł., Tandecka K. „Analiza struktur powierzchni mikrowiórów kulistych powstających w procesach obróbki ścierniej”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1148–1149.
5. Kacalak W., Rypina Ł., Tandecka K., Lipiński D., Szafranec F. "Modelling and analysis of displacement of materials characterized by different properties in the zone of microcutting". *Journal of Machine Engineering*. 15, 4 (2015): s. 46–58.
6. Kacalak W., Tandecka K. „Efekty mikrowygładzania foliami ściernymi o nieciągłej powierzchni czynnej”. *Mechanik*. 9 (2014): s. 207–211.
7. Kacalak W., Tandecka K. „Analiza procesów mikrowygładzania stopów niklowo-chromowych z wykorzystaniem wyników badań topografii powierzchni i cech powstających mikrowiórów”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1170–1171.
8. Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł. „Analiza zjawiska nieciągłości tworzenia mikrowiórów w procesie wygładzania foliami ściernymi”. *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 179–184.
9. Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł. "Evaluation of micromachining processes using data in the format and geometric characteristics of micro-chips". *Journal of Machine Engineering*. 15, 4 (2015): s. 59–68.
10. Kacalak W., Tandecka K., Szafranec F. „Analiza form zużycia i trwałości folii ściernych”. *Mechanik*. 10 (2017): s. 870–872.
11. Khellouki A., Rech J., Zahouani H. "The effect of abrasive grain's wear and contact conditions on surface texture in belt finishing". *Wear*. 263 (2007): s. 81–87.
12. Khellouki A., Rech J., Zahouani H. "Micro-scale investigation on belt finishing cutting mechanisms by scratch tests". *Wear*. 308 (2013): s. 17–28.
13. Liubymov V. „Rozważania nad fenomenem skrawania”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2012. ISBN 978-83-7199-743-3.