

Projektowanie operacji mikrowygładzania za pomocą diamentowych folii ściernych

Designing micro-finishing operations with the use of diamond abrasive foils

WOJCIECH KACALAK
KATARZYNA TANDECKA
FILIP SZAFRANIEC
THOMAS G. MATHIA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.4.48>

Mikrowygładzanie foliami ściernymi polega na wykonaniu kilku zabiegów wygładzania z użyciem folii ściernych o coraz mniejszym nominalnym rozmiarze ziarna, aby uzyskać bardzo gładką powierzchnię. Ziarna ściernie na powierzchni folii IDLF, zwłaszcza te o wymiarach 3 i 9 μm , często mają formę agregatów. To zjawisko opisano z wykorzystaniem nowych parametrów do oceny stopnia rozwinięcia powierzchni agregatów. Z uwagi na jednokrotne użycie diamentowych folii ściernych w procesie wygładzania i związane z tym koszty narzędziowe opracowano zasadę takiego doboru folii do kolejnych zabiegów, aby optymalnie wykorzystać potencjał zmniejszania wysokości nierówności.

SŁOWA KLUCZOWE: diamentowa folia ścierna, mikrowygładzanie, obróbka precyzyjna, obróbka sekwencyjna

Micro-finishing with abrasive foils consists in performing several smoothing operations using abrasive foils of smaller and smaller nominal grain size in order to obtain a high smoothness of the surface being processed. The abrasive grains on the surface of the IDLF film, in particular with the grain size of 3 and 9 μm , are often arranged in the form of aggregates. This phenomenon has been described with the use of new parameters to assess the degree of surface development of aggregates. Due to the one-time use of diamond abrasive foils in the smoothing process and the associated tool costs, the principle of selecting abrasive foils for subsequent treatments was developed in such a way that the potential for reducing the unevenness height was used optimally.

KEYWORDS: diamond abrasive film, micro-smoothing, precision machining, finishing ability

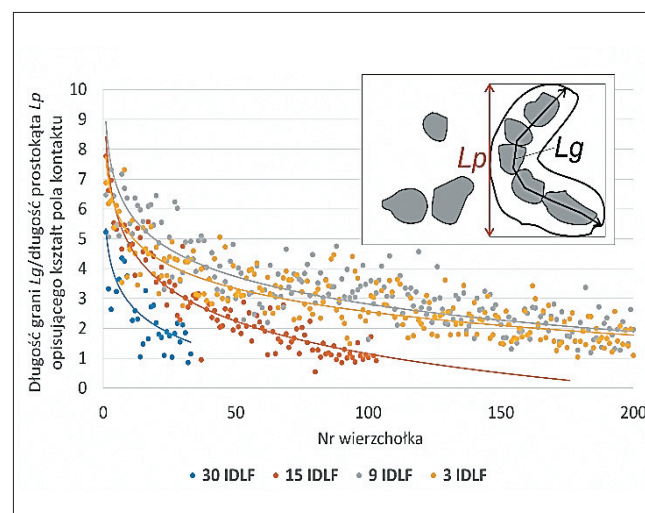
Diamentowe folie ściernie służą do bardzo precyzyjnej obróbki powierzchni [7]. Mikrowygładzanie odbywa się poprzez usuwanie materiału w warstwie nierówności powstałych w procesie obróbki poprzedzającej [8, 11]. Takie folie produkowane są w szerokim zakresie rozmiarów nominalnych ziaren – najczęściej od 0,5 do 60 μm [2, 8]. Ziarna zatopione w spoiwie znajdują się na poliestrowej taśmie. Charakterystyczne dla diamentowych folii ściernych są agregatowanie ścierniwa oraz wolne przestrzenie wokół ziaren [10].

* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl), dr inż. Katarzyna Tandecka (katarzyna.tandecka@tu.koszalin.pl), mgr inż. Filip Szafranec (filip.szafranec@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 (LTD), École Centrale de Lyon, France

Mikrowygładzanie z zastosowaniem folii ściernych charakteryzuje się sekwencyjnością, co oznacza, że proces dogładzania wykonuje się kolejnymi foliami o coraz mniejszych ziarnach [3]. Biorąc pod uwagę jednorazowe użycie narzędzia z drogim diamentowym nasypem ściernym, niezwykle istotne jest optymalne jego wykorzystanie oraz badanie prędkości usuwania nierówności – jako czynnika decydującego o zakończeniu obróbki folią z ziarnem określonej wielkości i o wymianie folii na narzędzie o mniejszym ziarnie ściernym [4].

Analiza agregatowania ziaren ściernych na powierzchni diamentowych folii ściernych

Diamentowe folie ściernie charakteryzują się agregowaniem ziaren ściernych na swojej powierzchni. Ocena rozwinięcia powierzchni przekroju agregatów ściernych jest ważną cechą opisującą zdolność folii do mikrowygładzania. Aby w jednoznaczny sposób określić rozwinięcie powierzchni agregatów, opracowano wskaźnik będący stosunkiem długości grani agregatu L_g do długości prostokąta opisującego kształt L_p (rys. 1). Im ten stosunek jest większy, tym przekrój agregatu charakteryzuje się lepszymi właściwościami skrawnymi ze względu na szerokość krawędzi skrawającej [1]. Należy również dodać, że dość duże obszary między agregatami przyczyniają się do skutecznego wynoszenia produktów mikrowygładzania ze strefy obróbki, co może mieć pozytywny wpływ na



Rys. 1. Wyniki analizy kształtu agregatów ziaren występujących na powierzchni diamentowych folii ściernych

jakość wygładzanej powierzchni [6]. W pracy [5] wskazano, że produkty obróbki – takie jak wióry i ziarna wykruszone z powierzchni folii – w przepelnionych przestrzeniach między ziarnami mogą spowodować powstawanie pojedynczych głębokich rys na powierzchni obrabianej.

Analizując cechy topografii folii ściernych o wielkościach ziaren 30, 15, 9 i 3 μm , dla każdego agregatu na powierzchni danej folii wyznaczono stosunek wartości długości jego grani do długości prostokąta opisanego na nim (rys. 1). Folia ścierna o nominalnym rozmiarze ziarna 9 μm charakteryzuje się agregatami o najbardziej rozwiniętym kształcie, co bezpośrednio może się przełożyć na wysoką efektywność usuwania materiału obrabianego, gdyż zwiększa się szerokość warstwy usuwanej w procesie mikroskrawania [1].

Zasada doboru folii ściernych w sekwencyjnym mikrowygładzaniu

Mikrowygładzanie przeprowadzono diamentowymi foliami ściernymi IDLF 30, 15, 9 i 3. Wygładzaniu poddano

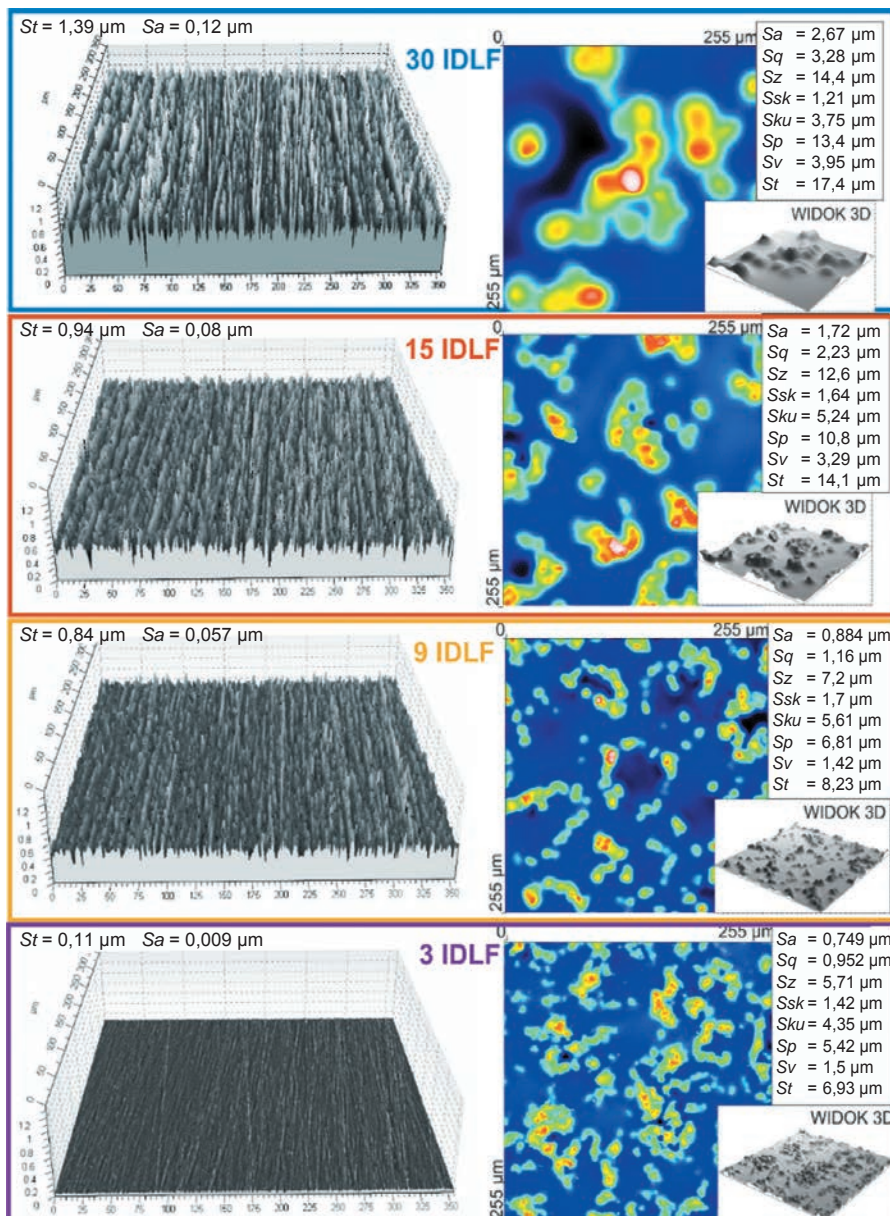
powierzchnie talerzy dysków stałych z warstwą zewnętrzną z amorficznego stopu niklu i fosforu NiP. Efekty mikrowygładzania powierzchni przedstawiono w postaci ich obrazów 3D oraz parametrów S_t i S_a (rys. 2).

Na rys. 2 przedstawiono również obrazy z mapą wysokości oraz podstawowe parametry do oceny topografii powierzchni diamentowych folii ściernych użytych w procesie mikrowygładzania.

Do oceny zdolności do mikrowygładzania folii ściernych wykorzystano opracowany wskaźnik w_w :

$$w_w = \frac{L_k \cdot \sqrt{P_k}}{h_k \cdot \sigma_{h_k}}$$

gdzie: L_k – normalizowana liczba kontaktów, P_k – normalizowane średnie pole powierzchni kontaktów, h_k – normalizowana średnia wartość zagłębienia ziaren, σ_{h_k} – normalizowane odchylenie standardowe wysokości wierzchołków aktywnych dla maksymalnej głębokości mikrowygładzania wartości parametru $0,2 \cdot S_t$ folii.



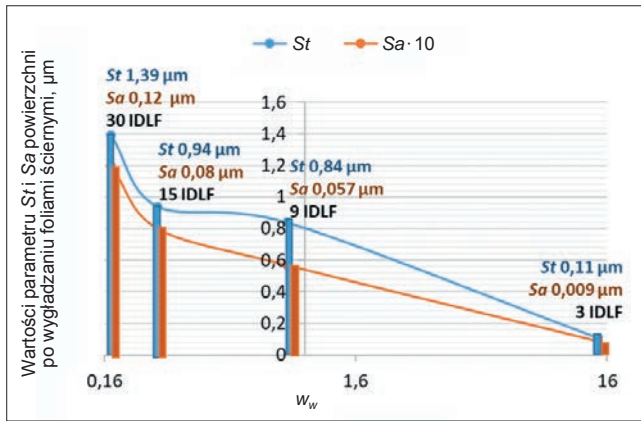
Rys. 2. Zestawienie obrazów obrabionych powierzchni w procesie wygładzania oraz użytych powierzchni folii ściernych IDLF o rozmiarach ziaren 30, 15, 9 i 3 μm

Normalizacja wartości parametrów nastąpiła poprzez określenie stopnia ich przynależności do przedziału $\langle 0,1 \rangle$. Wartości S_t oraz $10 \cdot S_a$ powierzchni po mikrowygładzaniu przedstawiono w funkcji wskaźnika w_w (rys. 3).

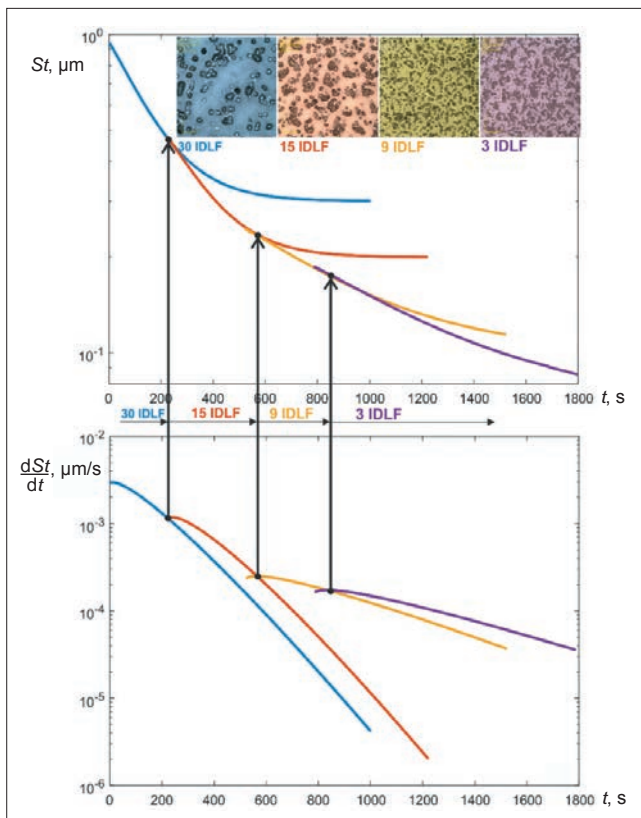
Dobór czasów obróbki powierzchni wygładzanej określoną folią ścierną powinien uwzględniać maksymalne wykorzystanie powierzchni narzędzia, a więc maksymalizowanie udziału wierzchołków ziaren ściernych w procesie obróbki oraz maksymalne wypełnienie produktami obróbki przestrzeni między ziarnami.

Dobrym kryterium doboru momentu rozpoczęcia kolejnego zabiegu z zastosowaniem folii o mniejszym nominalnym rozmiarze ziarna jest szybkość zmniejszania wysokości nierówności powierzchni obrabianej. Przykład postępowania według tej metodyki doboru czasu pracy kolejnych narzędzi w procesie mikrowygładzania foliami ściernymi o nominalnych wielkościach ziaren 30, 15, 9 oraz 3 μm przedstawiono na rys. 4.

Czasy kolejnych zabiegów mikrowygładzania można wyznaczyć dla danych warunków procesu, z uwzględnieniem określonych parametrów obróbki (takich jak: prędkość przemieszczania się folii ścierniej, prędkość przedmiotu obrabianego oraz prędkość posuwu, twardość rolki dociskowej, siła docisku oraz częstotliwość oscylacji) i wyników badań prędkości zmniejszania wysokości nierówności powierzchni.



Rys. 3. Wartości parametrów St oraz $10 \cdot Sa$ powierzchni po procesie mikrowygładzania foliami IDLF o rozmiarach ziaren 30, 15, 9 i 3 μm w funkcji wskaźnika w_w (logarytmiczna skala wartości w_w)



Rys. 4. Wykres zmian parametru St oraz wartości dSt/dt (zmniejszania wysokości nierówności) jako kryterium zakończenia zabiegu i rozpoczęcia obróbki kolejną folią (oś wartości St oraz dSt/dt w skali logarytmicznej)

Wnioski

- Diamentowe ziarna ścierne na powierzchni folii wykazują tendencję do agregowania. Przyjmując jako kryterium opracowany parametr oceny rozwinięcia powierzchni przekroju agregatu ściernego płaszczyzną równoległą do powierzchni podłoża, będący stosunkiem długości grani agregatu do wysokości prostokąta opisującego jego kształt, najwyższą zdolność do efektywnego usuwania materiału wykazuje folia ścierna o nominalnym rozmiarze ziarna 9 μm . Wysoki stopień rozwinięcia wykazują również agregaty ścierne na powierzchni folii ścierniej o nominalnym rozmiarze ziaren 3 μm . Za pomocą tej folii uzyskano powierzchnię o najniższej chropowatości: $St = 0,11 \mu\text{m}$ oraz $Sa = 0,009 \mu\text{m}$.
- Najmniej rozwinięte kształty agregatów ściernych wykazuje folia o nominalnym rozmiarze ziarna 30 μm (rys. 1),

co jest akceptowalne w przypadku sekwencyjnego procesu dogładzania, gdy zadaniem tej folii ścierniej jest wstępne usuwanie największych nierówności obrabianej powierzchni.

- Ocena rozwinięcia kształtu agregatów ściernych może być dobrym parametrem oceny zdolności wnoszenia produktów obróbki ze strefy mikrowygładzania, z jednoczesnym uwzględnieniem objętości między diamentowymi agregatami.
- Na podstawie analizy chropowatości obrobionych powierzchni w funkcji opracowanego wskaźnika w_w , służącego do oceny zdolności usuwania materiału przez folię ścierną z uwzględnieniem sprężystego docisku (rys. 3), stwierdzono, że folię ścierną o nominalnym rozmiarze ziarna 15 μm można pominąć w sekwencyjnym procesie mikrowygładzania, gdy jednocześnie zastosuje się folię ścierną o nominalnym rozmiarze ziarna 9 μm .
- Jako kryterium wstępnego doboru folii do procesu mikrowygładzania można przyjąć stosunek wartości St powierzchni folii do parametru St wygładzonej powierzchni. W warunkach przeprowadzonych badań wartości te są następujące: 12 dla folii 30 IDLF i – odpowiednio – 15, 9 i 63 dla folii 15 IDLF, 9 IDLF oraz 3 IDLF. Wartość tego stosunku obrazuje, że w procesie wygładzania udział biorą tylko nieliczne wierzchołki ziaren ściernych. Z tego wynika, że w przypadku folii o bardzo małych ziarnach ściernych niezwykle ważne jest stosowanie większych docisków folii do przedmiotu obrabianego w celu powiększenia pola strefy obróbki. Osiąga się to za pomocą rolek o dużej podatności.
- Optymalne wykorzystanie diamentowych folii ściernych jest istotne ze względu na dość wysoką cenę ścierniwa oraz jednokrotne użycie narzędzia. Ważnym elementem metodyki doboru czasu mikrowygładzania w pojedynczym zabiegu z wykorzystaniem folii o danej gradacji ziaren jest analiza szybkości zmniejszania wysokości nierówności obrabianej powierzchni (rys. 4). To dobre kryterium, ponieważ pozwala na optymalne wykorzystanie potencjału technologicznego folii ścierniej w poszczególnych zabiegach mikrowygładzania.

LITERATURA

1. Kacalak W., Lipiński D., Bałasz B., Rypina Ł., Tandecka K., Szafraniec F. "Performance evaluation of the grinding wheel with aggregates of grains in grinding of Ti-6Al-4V titanium alloy". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 94 (2018): s. 301–314.
2. Kacalak W., Tandecka K. „Prognozowanie właściwości technologicznych folii ściernych z zastosowaniem analiz widmowych powierzchni czynnej narzędzia”. *Mechanik*. 9 (2014): s. 212–218.
3. Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł. „Efekty stosowania modyfikowanych rolek dociskowych o zmiennej lokalnie podatności w procesach mikrowygładzania foliami ściernymi”. *Mechanik*. 9 (2014): s. 200–206.
4. Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.G. "A method and new parameters for assessing the active surface topography of diamond abrasive films". *Journal of Machine Engineering*. 16, 4 (2016): s. 95–108.
5. Kacalak W., Tandecka K. „Efekty mikrowygładzania foliami ściernymi o nieciągłej powierzchni czynnej”. *Mechanik*. 9 (2014): s. 207–211.
6. Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.G. „Ocena potencjału obróbkowego folii ściernych z wykorzystaniem sumarycznego aktywnego profilu wyznaczonego z uwzględnieniem kształtu strefy obróbki”. *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 173–178.
7. Khellouki A., Rech J., Zahouani H. "The effect of lubrication conditions on belt finishing". *International Journal of Machine Tools & Manufacturing*. 50 (2010): s. 917–921.
8. 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.
9. Khellouki A., Rech J., Zahouani H. "Micro-scale investigation on belt finishing cutting mechanisms by scratch tests". *Wear*. 308 (2013): s. 17–28.
10. Mezghani S., El Mansori M., Zahouani H. "New criterion of grain size choice for optimal surface texture and tolerance in belt finishing production". *Wear*. 266 (2009): s. 578–580.
11. Ściegienka R. „Teoretyczne i doświadczalne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi”. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2012.