

Wojciech KACALAK, Katarzyna TANDECKA
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, KATEDRA MECHANIKI PRECYZYJNEJ
ul. Raławicka 15/17, 75-620 Koszalin

Ocena potencjału technologicznego diamentowych folii ściernych z wykorzystaniem informacji o topografii powierzchni czynnej

Prof. dr hab. inż. Wojciech KACALAK

Autor kieruje Katedrą Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Specjalizuje się w technologii maszyn, diagnostyce, optymalizacji i automatyzacji procesów technologicznych, budowie i eksploatacji precyzyjnych urządzeń technologicznych, mikro i nanoinżynierii oraz zastosowaniach sztucznej inteligencji. Jest vice przewodniczącym Komitetu Budowy Maszyn PAN.



e-mail: wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl

Mgr inż. Katarzyna TANDECKA

Od roku 2006 doktorantka, a od roku 2011 pracownik na stanowisku Samodzielny referent inżynierjno-techniczny w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się procesami mikrowygładzania z zastosowaniem folii ściernych o nieciągłej powierzchni oraz rolek dociskowych o strefowo zmiennej podatności.



e-mail: katarzyna.tandeka@tu.koszalin.pl

Streszczenie

Ocena parametrów charakteryzujących powierzchnię czynną folii ściernych jest podstawą prognozowania cech stereometrycznych powierzchni po wygładzaniu [1]. W artykule przedstawiono wyniki badań i analiz topografii powierzchni czynnej diamentowych folii ściernych. Określone fragmenty folii ściernych jednokrotnie są aktywne, gdyż folia jest w sposób ciągły przewijana w jednym kierunku z rolki podającej na odbierającą. Dobre wykorzystanie potencjału obróbkowego zależy zatem od doboru parametrów zapewniających wypełnienie produktami obróbki przestrzeni między ziarnami [2, 3]. Badając ukształtowanie agregatów diamentowych ziaren ściernych i przestrzenie między nimi można wnioskować o potencjale obróbkowym folii ściernych oraz określać zalecaną prędkość przesuwu folii, zapewniającą maksymalne wykorzystanie tego potencjału.

Słowa kluczowe: folia ścierna, ziarno ściernie, IDLF, potencjał technologiczny.

Assessment of the technological potential of Diamond Lapping Films to superfinishing using information about the active surface topography

Abstract

Abrasive films are produced by the American company 3M. 3M™ Diamond Lapping Films are comprised of tightly graded diamond mineral uniformly coated on a polyester film backing enabling long abrasive life with a superior finish throughout the life of the product. Main applications of diamond abrasive tools is fiber optic connector processing, flat lapping, roll superfinishing. Diamond Lapping Films are used for hard finishing of grind materials such as glass, stone, carbide, ceramics, hardened metals, exotic alloys and composites. Parameters of the backing polyester film are: nominal thickness: 1...3 mil (25,4...76,2 μm), actual thickness: 0.92 mil...2.97 mil (23,37...75,44 μm), ultimate tensile strength - 26,500 psi (≈ 0,18 MPa). Nominal sizes of diamond grains vary in the range: 0,1...60 μm. Grains are embedded in bonding resin on the backing polyester film [3]. Assessment of the properties of coated abrasives for use in Diamond Lapping Film is a complex problem due to a wide range of superfinishing conditions and nonuniform geometry of aggregates of grains (Fig. 1) [4]. One important task of forecasting the surface stereometric features, after superfinishing with abrasive films, is to define the parameters characterizing the active flank. The paper presents results of research and analysis of the diamond abrasive film surface topography. Studying the shape of aggregates of diamond grains and the spaces between them enables one to conclude about the technological potential of abrasive film (Fig. 5). Investigations of the topography surface of tools for precise finishing were carried out with use of confocal laser scanning microscopy (Fig. 6).

Keywords: abrasive film, grain, Imperial Diamond Lapping Film, technological potential.

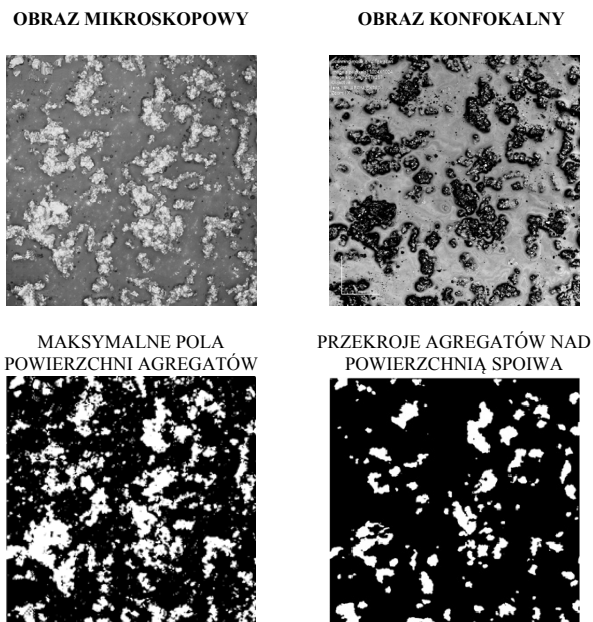
1. Wstęp

Folie do mikrowygładzania typu IDLF (Imperial Diamond Lapping Films) składają się z upakowanych w agregaty diamentowych ziaren ściernych, osadzonych na poliestrowym podłożu. Narzędzia charakteryzują się długą żywotnością oraz zapewniają bardzo dobre efekty obróbkowe. 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. Stosowana nominalna grubość podkładowej taśmy poliestrowej wynosi od 24,5...76,2 μm o wytrzymałości na rozciąganie 0,18 MPa. Do wytwarzania folii stosuje się ziarna z syntetycznego diamentu w rozmiarach od 0,1 do 60 μm, które są zatopione w żywicy osadzonej na podkładowej taśmie poliestrowej. Ocena właściwości materiałów ściernych typu IDLF jest złożonym problemem, z powodu zróżnicowanej geometrii ziaren ściernych oraz zjawiska ich agregatowania w procesie produkcyjnym narzędzi. Badając ukształtowanie powierzchni agregatów ściernych, można wnioskować o potencjale obróbkowym diamentowych folii ściernych i zapewnić warunki jego pełnego wykorzystania [5, 6, 7, 8, 9].

2. Ocena topografii powierzchni folii ściernych typu IDLF 3 μm

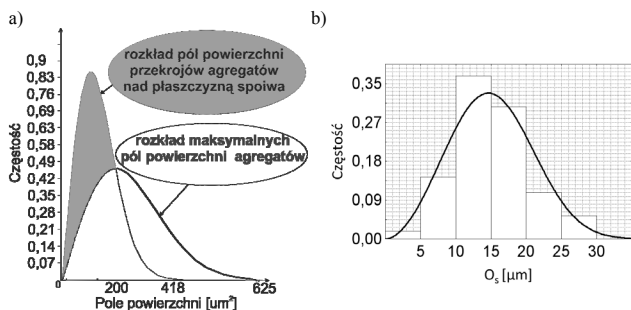
Badania topografii folii ściernych IDLF3 przeprowadzono z wykorzystaniem konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej. Mikroskop LEXT OLS4000 pracuje w dwóch trybach: mikroskopowym i konfokalnym, tryb mikroskopowy umożliwia obserwację diamentowych ziaren pod powierzchnią transparentnej żywicy, natomiast tryb konfokalny umożliwia analizę topografii powierzchni (rys. 1).

Pola powierzchni agregatów ściernych z obrazu mikroskopowego, czyli maksymalne pola powierzchni agregatów oraz przekroje agregatów nad powierzchnią spoiwa (rys. 1), uzyskano z wykorzystaniem przestrzennej mapy powierzchni czynnej narzędzia. Po analizie rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych pól powierzchni ścierniwa oraz pól powierzchni przekrojów agregatów nad płaszczyznę spoiwa (rys. 2a), stwierdzono, że duża część materiału ściernego nigdy nie zostanie wykorzystana w procesie obróbki, który charakteryzuje się jednokrotnym wykorzystaniem narzędzia. Dla wyznaczonych odległości agregatów od najbliższego sąsiada (rys. 2b), w zbiorze agregatów wyniesionych ponad powierzchnię spoiwa, otrzymano symetryczny rozkład odległości.



Rys. 1. Obrazy: mikroskopowy i konfokalny powierzchni folii IDLF o nominalnej wielkości ziarna diamentowego 3 mikrometry z zaznaczonymi polami powierzchni agregatów ściernych

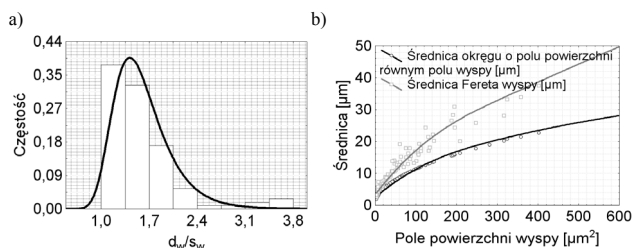
Fig. 1. Images: microscopic and confocal IDLF film surface with a nominal grain size of 3 micrometers with marked fields of abrasive aggregates



Rys. 2. Rozkłady pól powierzchni przekrojów agregatów wyniesionych ponad płaszczyznę spoiwa oraz maksymalnych powierzchni przekrojów agregatów (a), odległości O_s sąsiednich wyniesień agregatów ponad powierzchnię spoiwa (b)

Fig. 2. Distributions of cross-sections of aggregates elevated above the plane of the binder surface and the maximum aggregate (a), distance O_s between neighboring aggregates protruding above the binder surface (b)

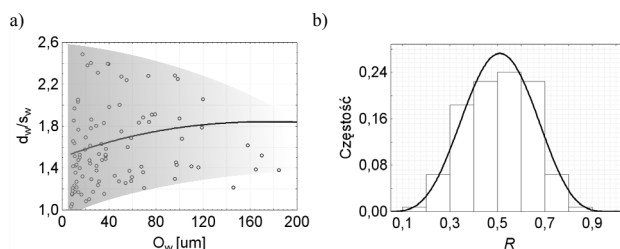
Wykazano, że ważnym parametrem opisu cech agregatów jest stosunek długości agregatu do jego szerokości (rys. 3a)(rys. 4a), definiowanych jako długość i szerokość prostokąta opisanego na polu powierzchni agregatu.



Rys. 3. Rozkład wartości stosunku długości wyspy d_w do jej szerokości s_w (a), średnica okręgu o polu powierzchni równym polu wyspy oraz średnica Fereta wyspy w zależności od pola powierzchni wysp wyniesionych ponad powierzchnię spoiwa (b)

Fig. 3. Ratio of the length d_w of the island to its width s_w (a), diameter circle with an area equal to the island and the island of Feret's diameter, depending on the surface area of the islands elevated above the binder surface (b)

Parametr opisuje kształt przekroju, dla koła i kwadratu zawsze wynosi 1, natomiast dla bardziej skomplikowanych kształtów jest większy od 1. Zaobserwowano przy tym duży zbiór agregatów o najmniejszych polach zbliżonych kształtem do okręgu. Jako kolejny parametr opisujący kształt agregatów wyniesionych ponad powierzchnię spoiwa, przyjęto średnicę okręgu o ekwiwalentnym polu powierzchni przekroju agregatu oraz średnicę Feret'a (największa odległość pomiędzy dwoma punktami położonymi na obwodzie agregatu) (rys. 3b). Wraz ze wzrostem pola powierzchni agregatu rośnie złożoność jego kształtu, co za tym idzie większa jest zdolność do wynoszenia produktów obróbki. Kolejnym współczynnikiem opisującym kształt agregatu jest okrągłość (rys. 4b) (1), o wartości bliższej 1, dla kształtów zbliżonych do okręgu.



Rys. 4. Stosunek długości d_w do szerokości s_w wyspy dla różnych długości ich obwodu O_w (a), współczynniki okrągłości R (1) wyniesień ponad powierzchnię spoiwa (b)

Fig. 4. Ratio of length d_w to width s_w of the island for different length of the perimeter O_w (a), The roundness factors R of a shapes elevated above the binder surface (b)

Zbiór wykorzystanych parametrów oceny ukształtowania agregatów ściernych zawierał:

$$R = \frac{4P_w}{\pi d_w^2} \quad (1)$$

$$FF = \frac{4\pi P_w}{O_w^2} \quad (2)$$

$$Com = \sqrt{\frac{4P_w}{\pi}} = \sqrt{R} \quad (3)$$

$$Con = \frac{W_{ow}}{O_w} \quad (4)$$

$$E = \frac{|d_w - s_w|}{d_w} \quad (5)$$

$$S = \frac{P_w}{W_{PW}} \quad (6)$$

$$FF = \frac{4\pi P_w}{O_w^2} = \frac{\pi^2 R d_w^2}{O_w^2} = \left(\frac{\pi d_w}{O_w}\right)^2 \cdot R \quad (7)$$

R - współczynnik okrągłości

P_w - pole powierzchni przekroju agregatu wyniesionego ponad powierzchnię spoiwa

d_w - długość agregatu ściernego

s_w - szerokość agregatu ściernego

FF - współczynnik kształtu

O_w - obwód przekroju agregatu wyniesionego ponad powierzchnię spoiwa

Com - współczynnik kolistości

Con - współczynnik wypukłości

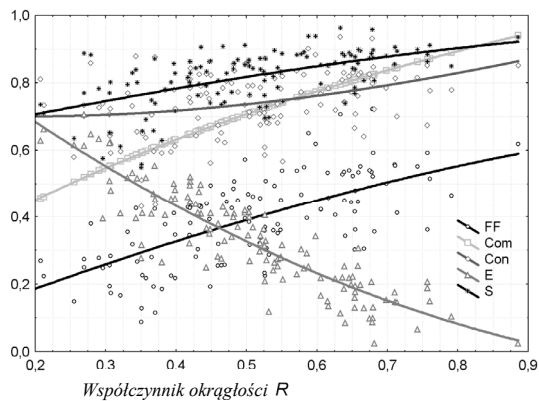
W_{ow} - długość obwodu wypukłego agregatu

E - współczynnik wydłużenia

S - współczynnik wypełnienia

W_{PW} - wypukłe pole powierzchni agregatu

W zależności od okrągłości agregatów przedstawiono serię współczynników opisujących ich kształt (rys. 5). Współczynnik kolistości rośnie wraz z współczynnikiem okrągłości (3), dla okręgu współczynnik wynosi 1, dla kwadratu 1,1284, natomiast dla wydłużonych i nieregularnych kształtów wskaźnik wyniesie poniżej 1. Współczynnik wypukłości (4) jako stosunek długości obwodu najmniejszej figury wypukłej, w którą można wpisać analizowany obiekt, do rzeczywistego obwodu agregatu, im mniejszy współczynnik wypukłości tym większy potencjał obróbkowy narzędzia. Współczynnik wydłużenia (5) dla okręgu i kwadratu wyniesie 0, dla wydłużonego kształtu agregatu jest zbliżony do jedności, co ze względu na wydajność obróbkową jest wskazane. Współczynnik wypełnienia (6) jako stosunek pola powierzchni agregatu do wypukłego pola agregatu, im mniejszy, tym bardziej złożony kształt agregatu ściernego.



Rys. 5. Wartości współczynników kształtu agregatów wyniesionych ponad powierzchnię spoiwa: *FF*, *Com*, *Con*, *E*, *S* w zależności od okrągłości wyniesień, *FF* - współczynnik kształtu, *Com* - współczynnik zwartości, *Con* - współczynnik wypukłości, *E* - współczynnik wydłużenia, *S* - współczynnik wypełnienia

Fig. 5. Aspect ratio of elevations above the surface of the binder depending on their roundness, *FF* - form factor, *Com* - compactness, *Con* - convexity, *E* - elongation, *S* - solidity

3. Ocena ukształtowania agregatów ściernych dla folii typu IDLF 3, 6, 9, 15 μm

Badania topografii folii do mikrowygładzania przeprowadzono z wykorzystaniem systemu pomiarowego LEXT OLS4000 firmy Olympus. Badano folie ściernie o różnej nominalnej wielkości ziaren diamentowych (IDLF3, IDLF6, IDLF9 oraz IDLF15) (rys. 6). Wyznaczono pola przekroju agregatów ściernych wyniesionych ponad powierzchnię spoiwa, a następnie zestawiono wyniki analiz w postaci dystrybuanty (rys. 7). Dokonano uszeregowania agregatów według pola powierzchni przekroju, wyróżniające kolejne graniczne wartości agregatów, składające się z jednego ziarna $P_{01}=1P_e$, z dwóch ziaren $P_{02}=2P_e$, z czterech ziaren $P_{03}=4P_e$, ośmiu ziaren $P_{04}=8P_e$ oraz szesnastu ziaren $P_{05}=16P_e$ (rys. 9). Zbadano długość grani d_g (długość linii szkieletowej) agregatów ściernych, wyznaczoną jako sumę długości odcinków tworzących grań obiektu. Przyjęto, że grań obiektu składa się z połączonych ze sobą fragmentów linii o różnej długości oraz stanowi zbiór połączonych środków wszystkich możliwych okręgów wpisanych w ten obiekt, co najmniej dwa punkty okręgu stykają się z brzegiem agregatu. Następnie wyznaczono szerokości grani s_g agregatów, jako iloraz pola powierzchni przekroju agregatu ponad powierzchnię spoiwa oraz długości linii grani (8). Wyznaczono gęstości wartości stosunków długości grani do szerokości grani agregatu w zbiorze agregatów większym od P_{0j} (9) dla czterech folii ściernych zróżnicowanych wielkością nominalną ziarna ściernego IDLF3 (rys. 10), IDLF6 (rys. 11), IDLF9 (rys. 12), IDLF15 (rys. 13).

$$s_g = \frac{P_w}{d_g} \Big|_{P_w, P_{0j}} \quad (8)$$

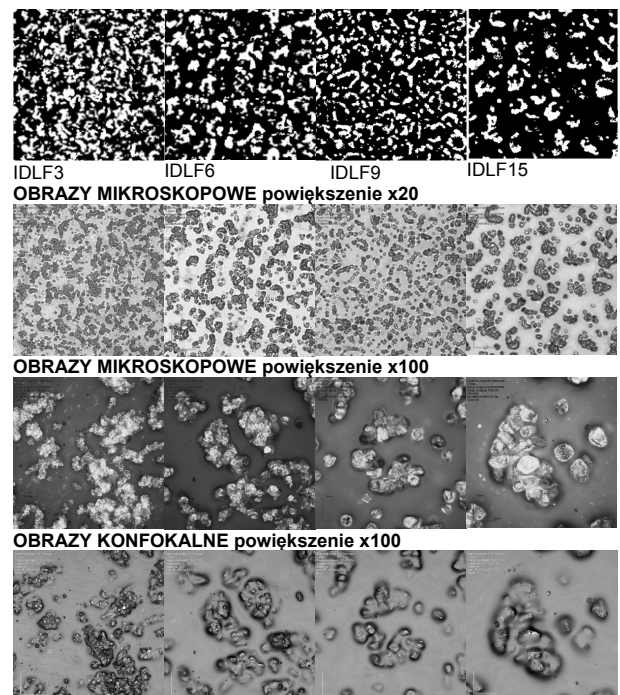
s_g - szerokość grani agregatów ściernych
 d_g - długość grani agregatów ściernych
 P_w - pole powierzchni przekroju agregatu wyniesionego ponad powierzchnię spoiwa

$$P_{0j} = iP_e \quad (9)$$

$$i=1,2,4,8,16$$

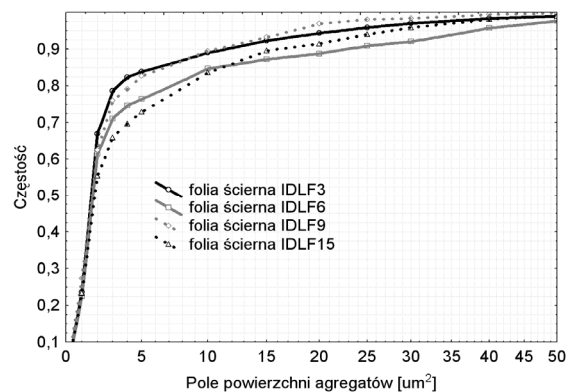
$$j=1,2,3,4,5$$

P_e - elementarne pole powierzchni diamentowego ziarna ziarna ściernego



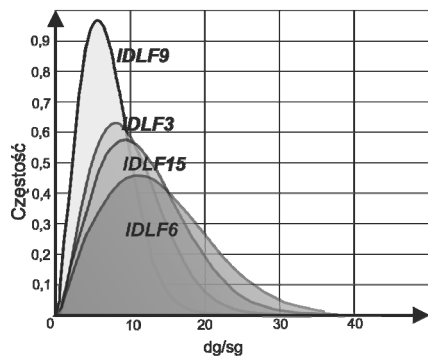
Rys. 6. Obrazy powierzchni folii ściernych typu IDLF z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego LEXT OLS4000 firmy Olympus

Fig. 6. Images of abrasive surface of the film type IDLF obtained from confocal laser scanning microscope by Olympus LEXT OLS4000



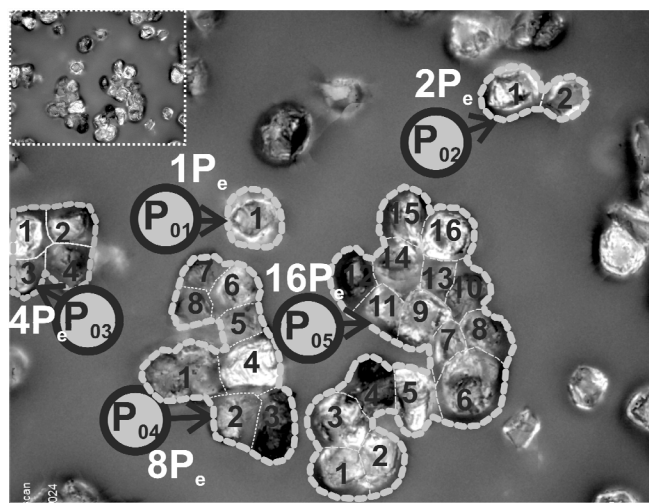
Rys. 7. Dystrybuanta empiryczna pól powierzchni agregatów diamentowych folii ściernych o różnej ziarnistości

Fig. 7. Empirical distribution of aggregate areas of diamond abrasive films with different grain sizes



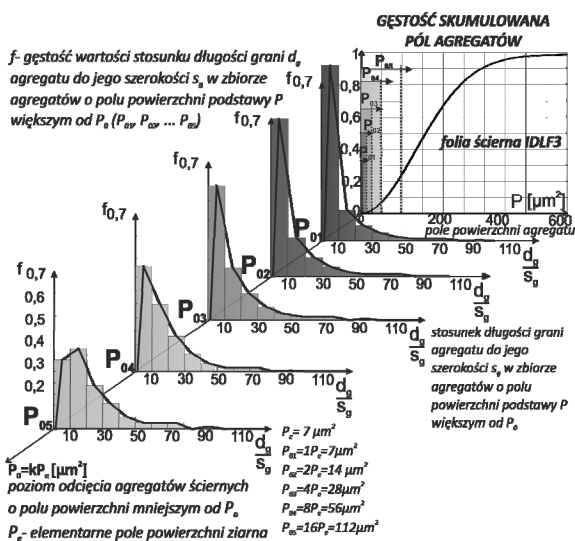
Rys. 8. Rozkłady ilorazu długości do szerokości grani przekroju agregatów wyniesionych ponad płaszczyznę spoiwa folii ściernych IDLF3, IDLF6, IDLF9, IDLF15

Fig. 8. The density ratio to the aggregate length of root of its width in a set of aggregates cross-sectional area of aggregates elevated above the plane of the binder films IDLF3, IDLF6, IDLF9, IDLF15



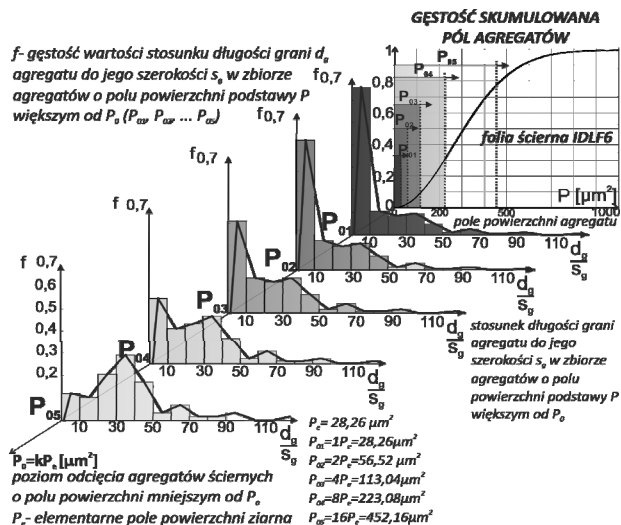
Rys. 9. Obraz mikroskopowy (powiększenie x100) uzyskany za pomocą konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego LEXT OLS4000 firmy Olympus powierzchni folii ścierniej typu IDLF z zaznaczonymi agregatami o określonych polach powierzchni P_{0j}

Fig. 9. Microscope image (zoom x100) type abrasive surface of the film IDLF obtained from confocal laser scanning microscope by Olympus LEXT OLS4000 with marked aggregates with specific surface areas P_{0j}



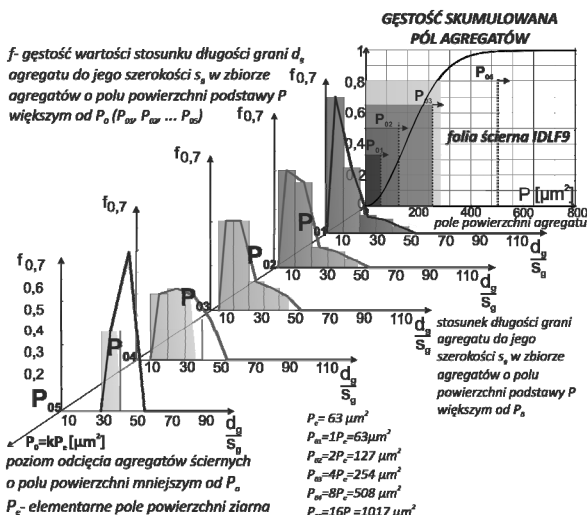
Rys. 10. Gęstość wartości stosunku długości do szerokości grani agregatu w zbiorze agregatów o polu powierzchni większym od P_{0j} folii ścierniej IDLF3

Fig. 10. The density ratio to the aggregate length of root of its width in a set of aggregates with an area greater than P_{0j} for IDLF3 film



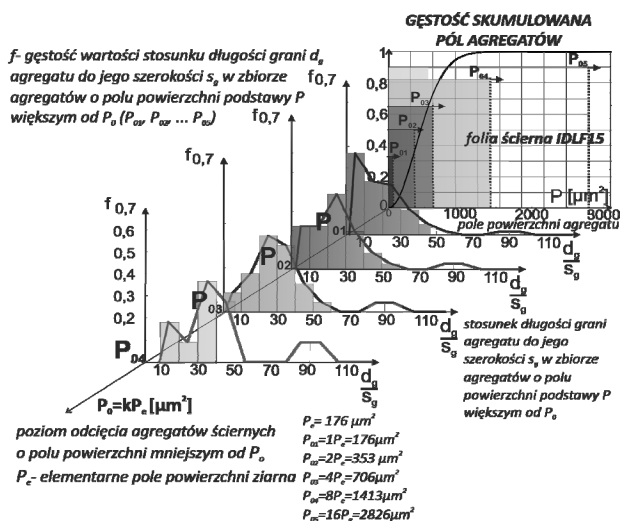
Rys. 11. Gęstość wartości stosunku długości do szerokości grani agregatu w zbiorze agregatów o polu powierzchni większym od P_{0j} folii ścierniej IDLF6

Fig. 11. The density ratio to the aggregate length of root of its width in a set of aggregates with an area greater than P_{0j} for IDLF6 film



Rys. 12. Gęstość wartości stosunku długości do szerokości grani agregatu w zbiorze agregatów o polu powierzchni większym od P_{0j} folii ścierniej IDLF9

Fig. 12. The density ratio to the aggregate length of root of its width in a set of aggregates with an area greater than P_{0j} for IDLF9 film



Rys. 13. Gęstość wartości stosunku długości do szerokości grani agregatu w zbiorze agregatów o polu powierzchni większym od P_{0j} folii ścierniej IDLF15

Fig. 13. The density ratio to the aggregate length of root of its width in a set of aggregates with an area greater than P_{0j} for IDLF15 film

Po analizie wyznaczonych gęstości wartości stosunków długości do szerokości grani agregatów, stwierdzono, że folie typu IDLF 9 oraz IDLF15, wykazują mniejszą zdolność do agregatowania ścierniwa w procesie produkcji oraz do tworzenia mniej skomplikowanych kształtów agregatów. Agregaty o małych wymiarach $P_w < 2P_e$ charakteryzowały się małą wartością stosunku długości do szerokości grani. Dla większych wymiarów ziaren (9 i 15 μm) agregaty o dużym polu mają prawie wyłącznie wydłużony kształt (dużą wartość stosunku długości do szerokości grani wynoszącym 30...50) (rys. 12 i 13), co oznacza korzystne właściwości eksploatacyjne.

4. Podsumowanie

Proces doglądania powierzchni z wykorzystaniem diamentowych folii do precyzyjnego wygładzania znacznie różni się od innych metod obróbki. Powierzchnia obrabiana przemieszcza się znacznie szybciej 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 ściernic wykorzystane są tylko przez pewien czas, zdeteminowany przez prędkość przesuwu folii, a po wyjściu ze strefy obróbki nie biorą ponownego udziału w procesie.

Dzięki badaniom topografii diamentowych folii ściernych z wykorzystaniem konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej, zaobserwowano charakterystyczne agregatowanie ścierniwa. Wielkość agregatów oraz ich kształt jest zróżnicowany zależnie od wielkości ziaren. Agregaty o podłużnym kształcie wykazują lepsze zdolności skrawne w stosunku do agregatów w kształcie kulistym. Dobrym parametrem opisującym potencjał technologiczny narzędzia jest stosunek długości grani do szerokości grani agregatu diamentowego. Im współczynnik ten jest większy, tym powierzchnia przekroju agregatu wyniesiona ponad powierzchnię spoiwa, jest bardziej złożona, co powoduje wzrost zdolności skrawnej oraz wyższą skuteczność w wynoszeniu produktów obróbki poza strefę mikrowygładzania.

5. Literatura

- [1] Kacalak W., Tandecka K.: Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 57, nr 5/2011, str. 531-535.
- [2] Kacalak W., Tandecka K.: Metodyka oceny topografii folii ściernych do precyzyjnego doglądania, *Archiwum technologii maszyn i automatyzacji*, vol. 31, nr 4/2011.
- [3] Weiss E.: Kształtowanie jakości wyrobów o wydajności obróbki w procesie doglądania, *Rozprawa habilitacyjna*, Poznań, 1999.
- [4] Publikacja internetowa 3M. Precision Abrasives 3M. http://solutions.3m.com.my/wps/portal/3M/en_MY/Abrasives/Home/Products/LappingFilm/, 2012.
- [5] Mezghani S., El Mansori M.: Abrasiveness properties assessment of coated abrasives for precision belt grinding, *Surfaces & Coatings Technology*, vol. 203, 2008, str. 786-789.
- [6] Mezghani S., El Mansori M., Zahouani H.: New criterion of grain size choice for optimal surface texture and tolerance in belt finishing production, *Wear*, vol.266, 2009, str. 578-580.
- [7] 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.
- [8] Mezghani S., El Mansori M., Massa A., Ghidossi P.: Correlation between surface topography and tribological mechanisms of the belt-finishing process using multiscale finishing process signature, *Science Direct, C.R. Mecanique* 336, 2008, str. 794-799.
- [9] Bałasz B., Królikowski T.: Ocena wpływu cech stereometrycznych ściernicy na jakość topografii powierzchni, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol.55, nr 4/2009, str. 263-268.
- [10] Kacalak W., Szafranec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz.: Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol.57, nr5/2011, str. 542-547.

otrzymano / received: 03.03.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.05.2012

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Nowa inicjatywa PAK

Na stronie internetowej Wydawnictwa PAK został utworzony dział: **Niepewność wyników pomiarów** w którym są zamieszczane aktualne informacje dotyczące problemów teoretycznych i praktycznych związanych z szacowaniem niepewności wyników pomiarów. W dziale znajdują się:

- aktualne informacje o publikacjach dotyczących niepewności wyników,
- informacje o przedsięwzięciach naukowo-technicznych i edukacyjnych, o tematyce związanej z niepewnością,
- dokumenty dotyczące niepewności,
- pytania do ekspertów (FAQs).

Zapraszamy:

- autorów opublikowanych prac dotyczących niepewności o nadsyłanie tekstów do zamieszczenia w tym dziale,
- organizatorów przedsięwzięć naukowo – technicznych lub edukacyjnych do nadsyłania informacji o imprezach planowanych lub odbytych,
- zainteresowanych zagadnieniami szczegółowymi do nadsyłania pytań do ekspertów.

Materiały mogą mieć formę plików lub linków do źródeł. Warunkiem zamieszczenia w tym dziale strony internetowej PAK materiałów lub linków jest przysłanie do redakcji PAK pocztą zwykłą zgody właściciela praw autorskich na takie rozpowszechnienie. Zamieszczanie i pobieranie materiałów i informacji w tym dziale strony internetowej jest bezpłatne. Redakcja PAK będzie nadzorować zawartość działu, ale za szczegółowe treści merytoryczne odpowiadają autorzy nadsyłanych materiałów.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK