

Adam BARYLSKI

ANALIZA WIELKOŚCI MIKROZIAREN ŚCIERNYCH

Streszczenie

W artykule omówiono skomputeryzowaną analizę wielkości i kształtu ziaren i mikroziaren ściernych. W badaniach mikroziaren czarnego węgla krzemu oraz elektrokorundu zwykłego i szlachetnego stosowano stereoskopia mikroskopię optyczną oraz oprogramowanie ScopeImage DynamicPro i ScopeImage Advanced.

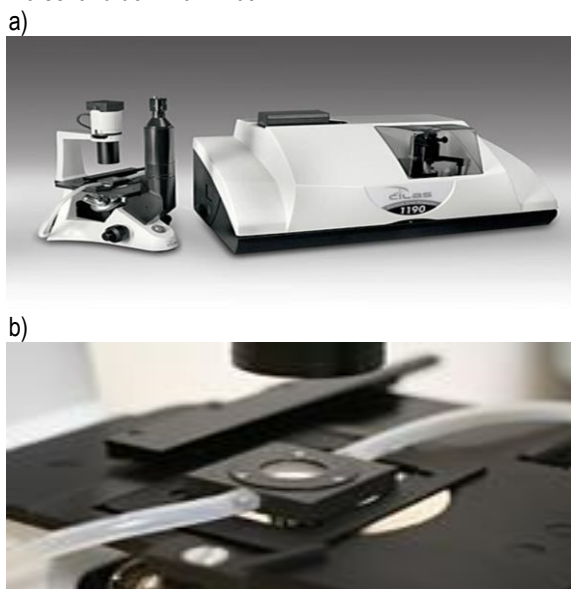
WSTĘP

Współcześnie, znaczenie obróbki bardzo dokładnej części maszyn, w tym elementów środków transportu, ciągle wzrasta. Dotyczy to przede wszystkim kształtowania powierzchni przez obróbkę wiórową i ścierną, również przez docieranie i polerowanie. Metody te nie mają ograniczeń w zakresie gatunków materiałów i konstrukcji obrabianych elementów. Można ją realizować w sposób ręczny, maszynowo-ręczny i maszynowy. Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość obrabianej powierzchni ma rodzaj i właściwości zastosowanego ścierniwa w czynniku docierającym (zawiesinie ścierniej lub paście). Oprócz indywidualnych właściwości chemiczno-strukturalnych (skład chemiczny, mikrostruktura) i mechaniczno-technologicznych (twardość, wytrzymałość na pękanie, odporność na zużycie ściernie) duży wpływ mają właściwości całego zbioru ziaren (mikroziaren) ściernych (rodzaj, kształt, zwilżalność, gęstość nasypowa i zawartość frakcji magnetycznej), w tym rozkład ich wielkości (wymiarów) [2,9].

1. TECHNIKI POMIARÓW

Ze względu na nieregularność kształtów mikroziaren ściernych posługujemy się wymiarem średnim, statystycznym lub równoważnym. Średni wymiar ziarna (mikroziarna) d może być określony jako: $d=b$, $d=0,5(l+b)$, $d=(l \times b)^{1/2}$ lub $d=(l \times b \times h)^{1/3}$, przy czym l , b oraz h są, odpowiednio, długością, szerokością i wysokością prostopadłości opisanego na ziarnie. Pierwsza z zależności ma zastosowanie w analizie sitowej, natomiast pozostałe są wykorzystywane bardzo rzadko. Statystyczny wymiar ziarna ma podstawowe znaczenie w analizie mikroskopowej. Według Fereta jest to odległość między dwiema stycznymi do rzutu powierzchni ziarna, prostopadłymi do kierunku pomiaru. Według Martina zaś jest to długość odcinka równoległego do kierunku pomiaru dzielącego powierzchnię rzutu na dwie równe części. Równoważny wymiar ziarna może być średnicą kuli, której objętość odpowiada objętości ziarna lub średnicą kuli, której powierzchnia odpowiada powierzchni ziarna [10]. W praktyce ważnym jest zaś, aby informować według jakiej metody określono średni wymiar ziarna. Podane powyżej zależności odnoszą się do pojedynczego ziarna ściernego, natomiast dla całego spektrum ścierniwa należy stosować analizę sitową (dla $a \geq 53 \mu\text{m}$, a więc od ziarna F220 według FEPA), sedymentacyjną ($a < 53 \mu\text{m}$), optyczną lub laserową [5]. W przypadku analizy mikroskopowej mikroziaren ściernych analizuje się płaski obraz obiektów badanych, a więc rzuty mikroziaren na płaszczyznę obserwacji. Przyjmowanymi parametrami diagnostycznymi wielkości mikroziaren ściernych są wymiary ich obrazu, a więc długość l i szerokość b oraz pole powierzchni A . W tym celu można wykorzystać mikroskop stereoskopowy, wyposażony w kamerę CCD i odpowiednie oprogramowanie, przy czym konieczna jest zastosowanie filtrów binaryzujących - ze względu na występowanie odcieni tła i stopni szarości ziaren [1].

Przykładem może być tu analizator CILAS 1190 (rys.1), wyposażony w kamerę z inwersją mikroskopową, który umożliwia pomiary pojedynczych ziaren - ich rozmiarów i kształtów. Analizować można emulsje, zawiesiny oraz ścierniwa w stanie suchym. Wykorzystywane jest oprogramowanie Expert Shape. Pomiary można wykonywać zarówno na ziarnach suchych, jak i mokrych (w zakresie wymiarowym od 1 do 300 μm). Wyznaczyć można minimalną i maksymalną średnicę Fereta, pole powierzchni i inne parametry, w czasie analizy od kilku sekund do kilku minut.



Rys. 1. Analizator CILAS 1190: a) widok ogólny, b) przykład sposobu analizy emulsji [3]

Analizator kształtu i wielkości ziaren HAVER TYLER CPA 2-1 należy do grupy urządzeń foto-optycznych, z wykorzystaniem linii kamer cyfrowych (rys.2). Następuje przepływ suchych ziaren przed soczewką kamery, która przeprowadza pomiary z szybkością 20 000 skanów na sekundę.



Rys. 2. Foto-optyczny analizator ziaren HAVER CPA 2-1 [4]

Dobre wyniki dają spektrometryczne techniki laserowo-dyfrakcyjne. Wyróżnić tu można układy optyczne z systemem potrójnych lub pojedynczych laserów. Analizować można zarówno luźne proszki ściernie, jak i zawiesiny. Zakres wymiarowy obejmuje

duży przedział, bo od 0,003 do 2000 μm . Wykorzystywane jest zjawisko statycznego rozpraszania światła, które polega na kierowaniu światła z pojedynczego lasera do obszaru pomiarowego, gdzie następuje ugięcie wiązki i kolejno rozproszenie przez badane ziarna. Kąt rozproszenia jest odwrotnie proporcjonalny do wielkości mikroziaren ściernych. Rozproszone światło trafia na tablice fotodetektorów poprzez układ optyczny, po czym jako sygnał elektryczny przeliczany jest na wynik końcowy za pomocą odpowiedniego algorytmu. W celu umożliwienia detekcji promieniowania świetlnego o bardzo dużym kącie rozproszenia, dla mniejszych cząstek, układ pojedynczego lasera zastąpiono układem trzech laserów. Dla bardzo drobnych ziaren (poniżej 0,02 μm) wykorzystuje się zjawisko dynamicznego rozproszenia światła. Niezależnie od typu użytego recykulatora analizatory laserowe mogą współpracować dodatkowo z układem automatycznego podawania ziaren.

W praktyce stosowane są również czujniki dyfrakcji laserowej, które są pierwszym systemem wykorzystującym zjawisko Fraunhoffera w całym zakresie pomiarowym (od 0,1 do 8750 μm). Istnieje możliwość analizowania wielkości ziaren na sucho i mokro - zarówno płynów, zawiesin, emulsji lub aerozoli. Systemy takie zbudowane są z części pomiarowej, dyspersyjnej i obliczeniowej. Modułowa konstrukcja zapewnia wymiennosc układów. Przykładowo, dyfraktometr laserowy HELOS/F jest klasycznym przyrządem wykorzystującym spójne światło lasera. Dla badania materiałów sypkich sposób podawania ziaren (dawkowanych od kilku do 100 g) opiera się na zasadzie ich rozproszenia w strumieniu powietrza. Do pomiarów ziaren swobodnie opadających stosuje się system dyspersji w zakresie od 0,1 do 3500 μm . Pomiar cząstek w aerozolach jest możliwy dzięki systemowi SPRAYER, gdzie ziarna wprowadzane są do przestrzeni pomiarowej przy pomocy urządzenia INHALER. Fotonowy miernik wielkości ziaren NANOPHOX umożliwia analizę w zakresie nanometrycznym (od 1nm do 10 μm), zarówno emulsji, jak i zawiesin ściernych (pojemność komory 4 ml). analizator QICPIC bada zarówno rozkład uziarnienia, jak i kształt ziaren i mikroziaren (w zakresie od 1 μm do 10 mm). Przykładowo, analizator Mastersizer 2000 (rys.3), jako urządzenie uniwersalne, posiada szeroki zakres pomiarowy - od 0,02 do 2000 μm . Charakteryzuje się wysokim stopniem automatyzacji, zaś przyjazne oprogramowanie Standard Operating Procedures (SOPs) kreuje pomoc przy doborze korzystnej metody pomiarowej.

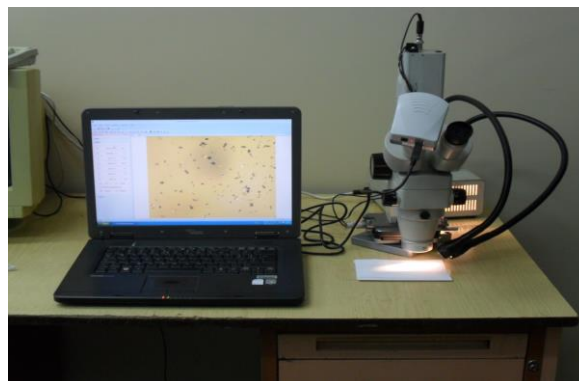


Rys. 3. Widok ogólny analizatora wielkości ziaren Mastersizer 2000 firmy Malvern Instruments Ltd [6]

W praktyce wybór zastosowanej metody pomiarowej uwzględnić powinien aspekty ekonomiczne oraz stosowanie się do zasad unikania rozdrabniania ziaren (pękania) lub ich powiększania (zrostów).

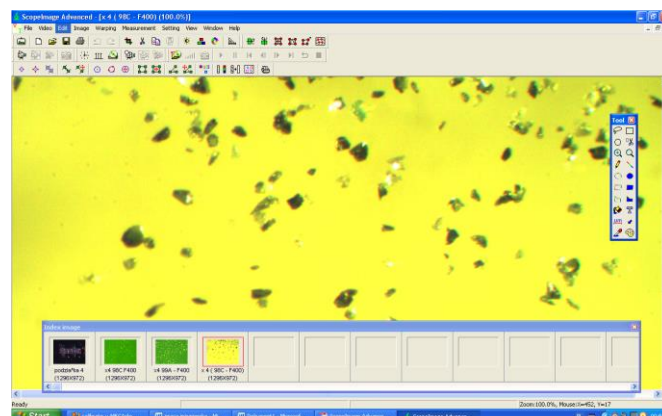
2. WYNIKI BADAŃ

Do badań wielkości ziaren ściernych wybrano metodę mikroskopową. Analizowano mikroziarna czarnego węgla krzemu (98-F400) oraz elektrokorundu zwykłego (95A - F600) i szlachetnego (99A - F400). Stanowisko badawcze (rys.4) składa się z mikroskopu stereoskopowego, kamery CCD oraz dwuramiennego oświetlacza halogenowego. Do pomiarów wykorzystano oprogramowanie Scopelimage DynamicPro oraz Advanced.

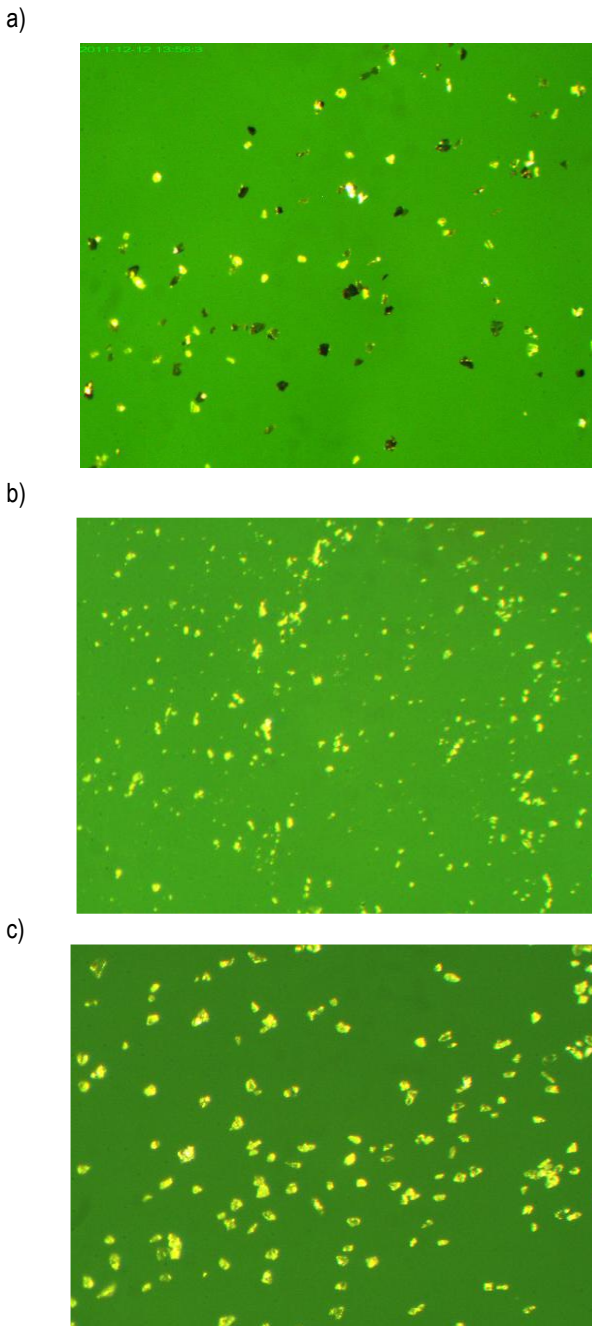


Rys.4. Widok ogólny stanowiska badawczego

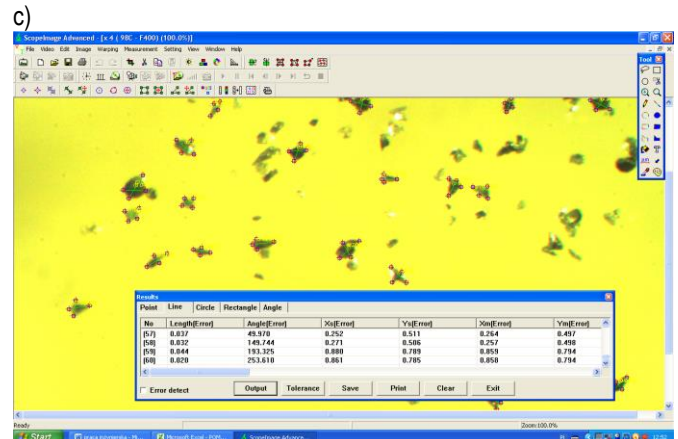
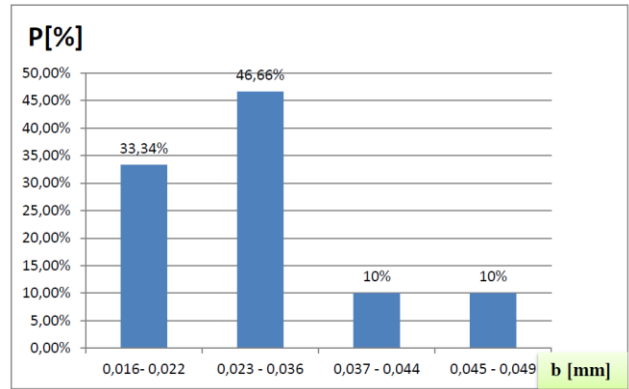
Oprogramowanie DynamicPro [8] posiada takie funkcje, jak: podglądu i bieżącego przeglądania obrazów, korekcji, kalkulacji i analiz logicznych, znakowania i przetwarzania obrazów, podglądu i zbliżania, zatrzymywania obrazów, ekspozycji, przechowywania w bazie danych z możliwością ich modyfikacji oraz inwersji, ostrości i wyrównywania parametrów. Oprogramowanie Scopelimage Advanced [7] umożliwia otrzymywanie obrazów o wysokiej jakości oraz ich odtwarzanie. Do najważniejszych funkcji należy tu: importowanie danych do programu za pomocą połączenia USB z kamerą, skanem i innymi urządzeniami; opcje umożliwiające odtwarzanie obrazów (zdjęć) oraz filmów, które można modyfikować i przekształcać; wzorcowanie oraz skalowanie w celu prowadzenia późniejszych pomiarów z określoną dokładnością, dobraną podczas kalibracji, a także wykonywanie pomiarów (określenie pozycji punktu, odległości pomiędzy punktami, podobnie - linii, pól, punktów centralnych, okręgów, kątów itp.). Na rys. 5 przedstawiono przykładowe okno programu Scopelimage Advanced.



Rys.5. Przykładowe okno programu Scopelimage Advanced

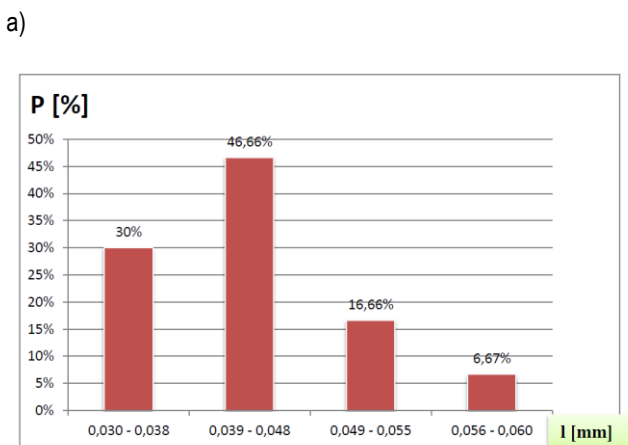


Rys.6. Obrazy mikroskopowe mikroziaren: a) 98C - F400, b) 95A - F600, c) 99A - F400

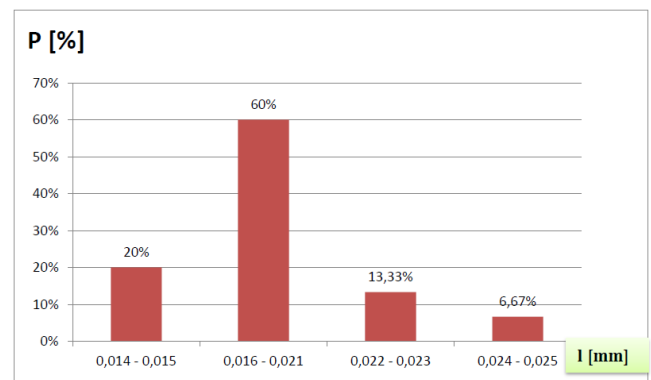


Rys. 7. Pomiar mikroziaren 98C - F400: a) rozkład długości l, rozkład szerokości b, c) zrzut ekranu

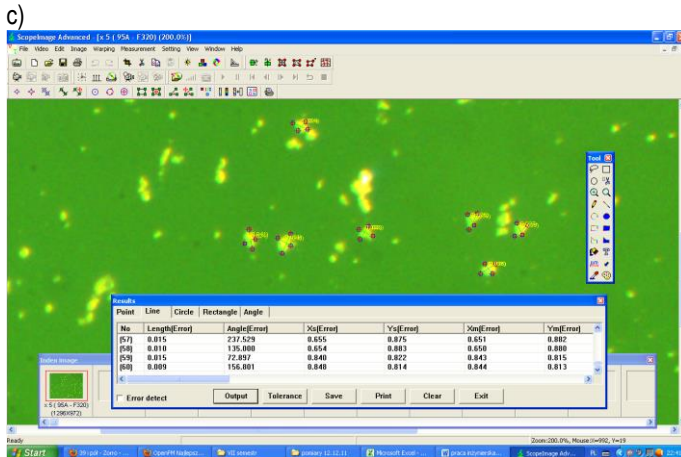
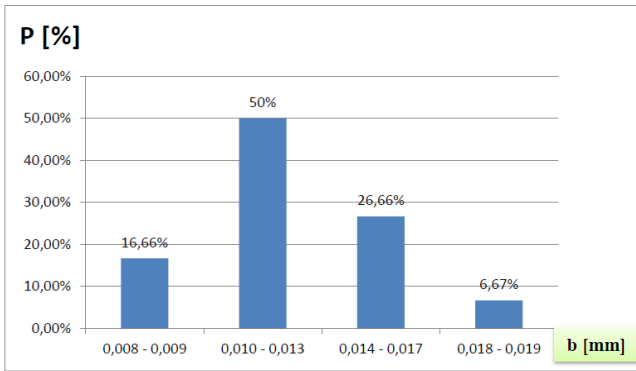
Na rys. 6 zamieszczono wybrane obrazy analizowanych mikroziaren ściennych. Wykonano 30 pomiarów każdej próbki ścierniwa. Na rys.7 podano wyniki badań węglika krzemu F400, na rys. 8 - elektrokorundu zwykłego F600, zaś na rys.9 - elektrokorundu szlachetnego F400. W tabeli 1 zamieszczono charakterystykę otrzymanych rozkładów, gdzie wyznaczono charakterystyki położenia: średnią arytmetyczną x_{sr} , środek rozstępu c, medianę x_m , wartość modalną x_d ; charakterystyki rozproszenia: wariancję s^2 , średnie odchylenie kwadratowe s, odchylenie przeciętne d, współczynnik zmienności v oraz charakterystyki asymetrii: współczynnik asymetrii a, charakterystyka skupienia – eksces e.



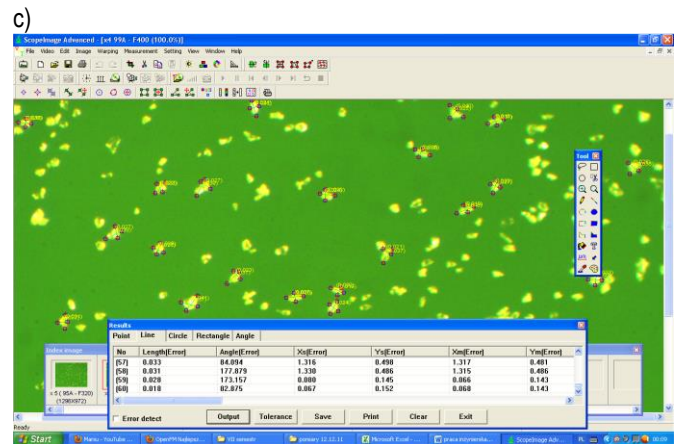
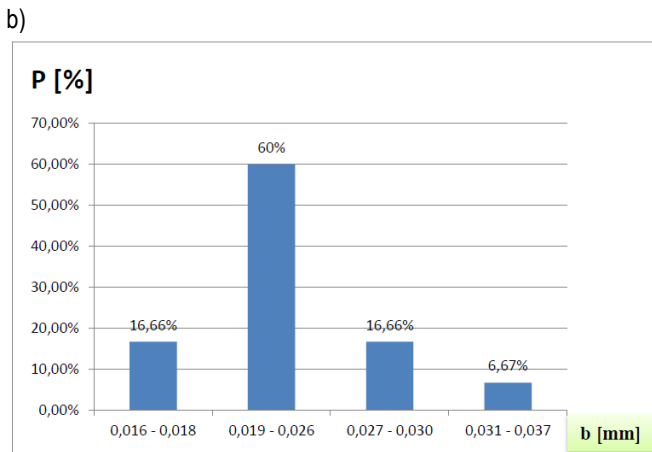
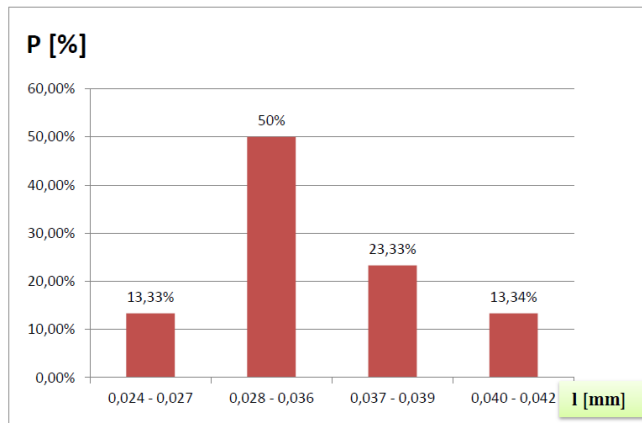
b)



b)



Rys. 8. Pomiar mikroziaren 95A - F600: a) rozkład długości l, rozkład szerokości b, c) zrzut ekranu



Rys. 9. Pomiar mikroziaren 99A - F400: a) rozkład długości l, rozkład szerokości b, c) zrzut ekranu

PODSUMOWANIE BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż wartość średniego współczynnika kształtu $K=l/b$ analizowanych ziaren elektrokorundu i węgla krzemu jest zbliżona. I tak, dla czarnego węgla krzemu o numerze F400 otrzymano $K=1,65$, dla elektrokorundu zwykłego F600 - $K=1,58$, zaś dla elektrokorundu szlachetnego F400 - $K=1,46$. Zauważalna jest jednak większa różnica w przypadku ziaren elektrokorundu i węgla krzemu o tym samym normatywnym numerze ziaren.

Tab.1. Charakterystyka badanych rozkładów

mikroziarno	węgiel krzemu 98C - F400	elektrokorund zwykły 95A - F600	elektrokorund szlachetny 99A - F400
długość obrazu mikroziarna l [mm]			
xśr	0,044	0,019	0,033
c	0,047	0,0165	0,0315
xm	0,0455	0,019	0,0325
xd	0,037/0,046	0,018/0,021	0,031/0,037
s ²	0,00004863	0,00009237	0,000024478
s	0,00697	0,00304	0,00495
d	0,00559	0,00247	0,00424
v	16%	16%	15%
a	0,274	-0,286	0,0282
e	-2,4153	-3,5595	2,3122
szerokość obrazu mikroziarna b [mm]			
xśr	0,029	0,012	0,023
c	0,0275	0,009	0,0195
xm	0,0285	0,012	0,024
xd	0,02	0,012	0,025
s ²	0,00008239	0,0000077	0,000020188
s	0,00908	0,00278	0,00449
d	0,00767	0,00222	0,00344
v	31%	23%	20%
a	0,243	0,793	0,0172
e	-1,7266	-2,7098	8,6429

Ziarna elektrokorundu są bardziej izometryczne, a z uwagi na charakter zużycia (różna twardość) w procesach docierania i polerowania, stosunek tych wymiarów (długości i szerokości) jeszcze bardziej zbliża się do jedności. Zauważalna jest też zbliżona wartość współczynnika zmienności, który zawiera się w przedziale 15-31%. Otrzymane rozkłady różni jednak charakterystyka skupienia, która posiada eksces ujemny dla długości obrazów ziaren l oraz szerokości b węgla krzemu i elektrokorundu zwykłego. W przypadku elektrokorundu szlachetnego to eksces dla analizowanej długości oraz szerokości jest dodatni. Dodatnie lub ujemne wartości

koncentracji odpowiadają, odpowiednio, rozkładowi wysmukłemu lub spłaszczonemu - w stosunku do skupienia reprezentatywnego dla populacji o rozkładzie normalnym. Współczynnik asymetrii w każdym przypadku ma wartość dodatnia, a jedynie dla badanej długości l mikroziaren elektrokorundu zwykłego jest on ujemny.

BIBLIOGRAFIA

1. Barylski A., *Systemy automatycznej kontroli wymiarowej mikroziaren ściernych*. Diagnostyka 2006, nr 3.
2. Leavers V.F., *An active angularity factor for the characterization of abrasive particles*. Wear 2000, nr 239.
3. Materiały informacyjne firmy CILAS (Marcoussis).
4. Materiały informacyjne firmy HAVER and BOECKER (Mentor).
5. Materiały informacyjne firmy Horiba Ltd (Kyoto).
6. Materiały informacyjne firmy Malvern Instruments Ltd (Malvern).
7. ScopelImage Advanced – podręcznik użytkownika.
8. ScopelImage DynamicPro - podręcznik użytkownika.
9. Stachowiak D.W., *Particle angularity and its relationship to abrasive and erosive wear*. Wear 2000, nr 241.
10. Woźniak K., *Materiały ściernie. Wytwarzanie i własności*. WNT, Warszawa 1982.

SIZE ANALYSIS OF ABRASIVE MICROGRAINS

Abstract

Paper discussed automated size and shape analysis of both abrasive grains and micrograins. In research on micrograins of black silundum, ordinary and noble electrocorundum stereoscopic optical microscopy was applied and ScopelImage DynamicPro & ScopelImage Advanced software solutions were used

Autor:

Prof. dr hab. inż. **Adam Barylski** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, e-mail: abarylsk@pg.gda.pl