

	<b>Organizatorzy:</b>  Politechnika Łódźka  Wydział Mechaniczny	<b>XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNEJ</b> <b>Łódź - Uniejów</b> 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

## Analiza rozpraszania światła na powierzchniach jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami ściernymi typu Trizact™

The analysis of scattered light on surface of monolayer abrasive bulk materials with abrasive grains type Trizact™

WOJCIECH KAPŁONEK  
KRZYSZTOF NADOLNY  
JAN BARAN \*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.367

W pracy przedstawiono zastosowanie metody rozpraszania światła do oceny stanu czynnej powierzchni jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™. Analizie poddano siedem dysków ściernych o ziarnistości A160, A100, A65, A45, A30, A16, A6, które oświetlano wiązką laserową o długości fali  $\lambda = 660$  nm. Światło odbite i rozproszone przez elementy powierzchni tworzyło obraz optyczny widoczny w płaszczyźnie obserwacji. Do analizy zastosowano oprogramowanie Image Pro®-Plus, w którym, dla zarejestrowanych obrazów, wyznaczano wybrane parametry geo- i fotometryczne.

**SŁOWA KLUCZOWE:** Rozpraszanie światła, metody skaterometryczne, przetwarzanie i analiza obrazu, jednowarstwowe materiały ściernie, ziarna ściernie Trizact™

*The condition of surface of the abrasive tools is an important factor, which guaranteed the proper course and results of the machining process. Detection of fracture and abrasive wear of the grains as well as localization and analysis of smears of the workpiece material can be assessed by the use of non-contact optical methods. In the work, the use of light scattering methods for assessment of condition of active surface of the monolayer abrasive grains Trizact™ was presented. Analysis were conducted on seven 7 Trizact™ abrasive discs with different gradations of agglomerate: A160, A100, A65, A45, A30, A16, A6, which were illuminated by a laser beam (wavelength  $\lambda = 660$  nm). The light reflected and scattered by the surface elements has formed a characteristic pattern*

*visible in a observation plan. For analysis of acquired images and determining selected geo- and photometric parameters was used the Image Pro® Plus software. The obtained results were compared with the analyses carried out for abrasive sheets with: Cubitron™ II grains, silicon carbide SiC grains as well as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grains with sputtered layer of gold by PVD method.*

**KEYWORDS:** Light scattering, light scattering methods, image processing and analysis, monolayer abrasive bulk materials, abrasive grains Trizact™

### Wprowadzenie

Stan czynnej powierzchni narzędzi ściernych jest ważnym czynnikiem warunkującym prawidłowy przebieg i uzyskane rezultaty procesu obróbkowego. Wykrywanie wykruszeń i starć ziaren ściernych oraz lokalizacja i analiza zalepień materiałem obrabianym musi być odpowiednio oceniana. Zagadnieniom szeroko pojętej oceny stanu narzędzi ściernych od wielu lat poświęca się wiele uwagi, na co wskazują liczne prace z tego zakresu [1-3]. W wielu z nich wymienia się różnego rodzaju metody pomiarowe mogące mieć zastosowanie w tego typu ocenie. Autorzy prac zgodnie podkreślają duże ograniczenia w odniesieniu do pomiarów narzędzi ściernych metodami stykowymi, a jako najkorzystniejsze, w tym przypadku, wymieniają metody optyczne. Ze stosunkowo szerokiej grupy metod optycznych można wydzielić wiele technik mogących mieć zastosowanie w ocenie stanu powierzchni takich narzędzi. Należą do nich m.in. profilometria optyczna [4], interferometria światła białego [5], mikroskopia konfokalna [6], mikroskopia różnicowania ogniskowego [7]. Ważną grupą metod optycznych są również metody wykorzystujące zjawisko rozpraszania światła [8]. Są one z powodzeniem wykorzy-

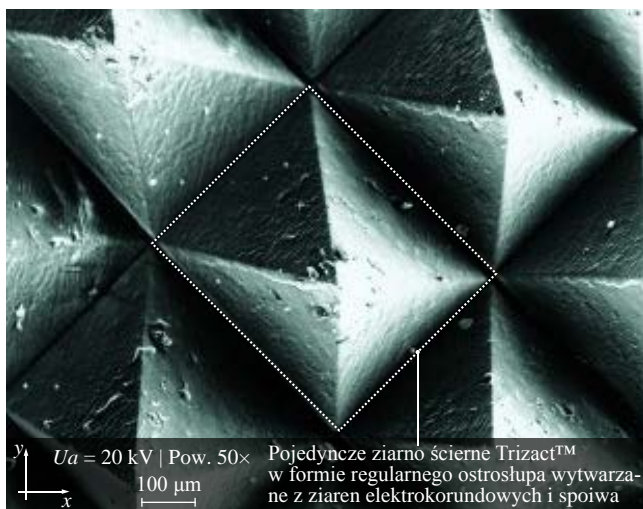
\* Dr inż. Wojciech Kapłonek (wojciech.kaplonek@tu.koszalin.pl),  
Dr hab. inż. Krzysztof Nadolny (krzysztof.nadolny@tu.koszalin.pl),  
Mgr inż. Jan Baran (jan.baran@tu.koszalin.pl)

stywane w zastosowaniach wymagających stosunkowo wysokiej dokładności i krótkiego czasu przeprowadzenia oceny oraz możliwości jej przeprowadzenia także w czasie ruchu roboczego narzędzia obróbkowego. Takie wymagania są specyficzne dla oceny prowadzonej w warunkach przemysłowych. Metody rozpraszania światła mogą być łączone z innymi technikami pomiarowymi oraz technikami przetwarzania i analizy obrazu. Pozwala to uzyskać stosunkowo duży zbiór informacji, które po odpowiednim przetworzeniu i interpretacji mogą stanowić podstawę do np. modyfikacji konstrukcji narzędzia lub modyfikacji samego procesu.

Problematyka skaterometrycznej oceny stanu powierzchni narzędzi ściennych rozwijana jest od wielu lat w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej [9,10]. Niniejsza praca stanowi kontynuację zagadnień z nią związanych, prezentowanych wcześniej w ramach poprzednich edycji Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej [11-13]. Obecnie Autorzy skoncentrowali się na określeniu możliwości zastosowania jednej z odmian metody kątownego rozkładu natężenia światła rozproszonego wspomaganą technikami analizy obrazu do oceny stanu czynnej powierzchni jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™.

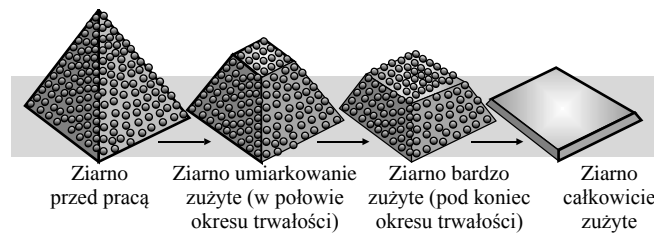
### Charakterystyka materiałów nasypowych typu Trizact™

Ziarna ściernie pod nazwą Trizact™ produkowane są przez koncern 3M (USA) z użyciem tzw. mikroreplikacji, polegającej na formowaniu regularnych ostrosłupów (piramid), ze zbioru elementarnych ziaren elektrokorundowych i spoiwa [14]. W rezultacie powstają aglomeraty ściernie, z których tworzone są jednorodne powierzchnie czynne narzędzi nasypowych o precyzyjnie określonej stereometrii (wielkości aglomeratów, ich makrogeometrii oraz rozmieszczeniu przestrzennym). Sterowanie wielkością pojedynczych aglomeratów ściernych umożliwia tworzenie narzędzi o określonych właściwościach eksploatacyjnych przeznaczonych np. do obróbki zgrubnej, kształtowej i wygładzającej. Na rysunku 1 przedstawiono obraz mikroskopowy SEM fragmentu czynnej powierzchni narzędzia ściernego wykonanego z ziaren typu Trizact™.



Rys. 1. Obraz mikroskopowy SEM czynnej powierzchni narzędzia ściernego wykonanego z ziaren typu Trizact™ z wydzielonym pojedynczym ziarnem w formie regularnego ostrosłupa [15]

Technologia wytwarzania ziaren Trizact™ sprawia, że charakteryzują się one specyficznym sposobem zużywania się w trakcie pracy. Sposób ten polega na odkrywaniu kolejnych warstw ziaren elementarnych aglomeratu, po wykruszeniu ich z warstwy poprzedzającej, co schematycznie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat ideowy sposobu zużywania się ziaren typu Trizact™

Specyficzna forma zużywania się ziaren Trizact™ zapewnia ciągle odnawianie właściwości skrawnych narzędzi ściennych, przy jednoczesnym zachowaniu pełnej powtarzalności struktury geometrycznej powierzchni obrabianej w okresie ich trwałości [16].

Jednowarstwowe dyski ściernie z ziarnami Trizact™ znalazły zastosowanie w obróbce wykończeniowej materiałów trudnoskrawalnych, takich jak: stale nierdzewne, stopy niklu i kobaltu. Stosowane są również do obróbki metali kolorowych, takich jak: miedź, brąz i aluminium, oraz materiałów kompozytowych i syntetycznych [16-19].

### Badania eksperymentalne

Głównym celem badań eksperymentalnych było określenie możliwości oceny wybranych parametrów geo- i fotometrycznych charakteryzujących powierzchnie jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych typu Trizact™ jedną z metod optycznych wykorzystujących zjawisko rozpraszania światła. Dodatkowym celem prowadzonych prac było przeanalizowanie stosowanej już wcześniej metodyki badań pod kątem zastosowania jej w ocenie ww. powierzchni.

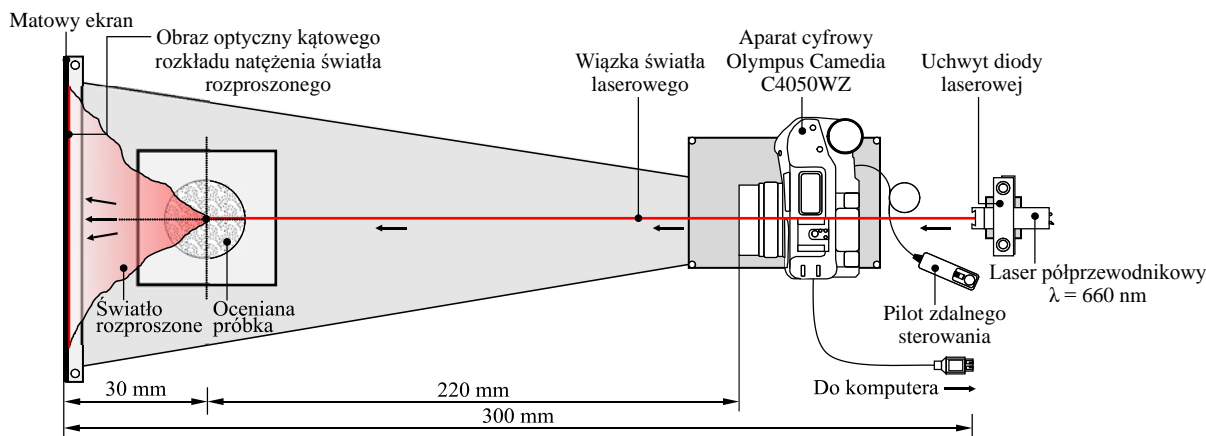
Do badań eksperymentalnych wytypowano siedem próbek w postaci jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™ o ziarnistości: A6 (P2000), A16 (P1200), A30 (P600), A45 (P400), A65 (P280), A100 (P180) i A160 (P120), przy czym podane w nawiasach wartości odnoszą się do ziarnistości zdefiniowanej przez FEPA (ang. *Federation of European Producers of Abrasives*). Jest ona często podawana również przez firmę 3M.

Dodatkowo, w celach referencyjnych, zestaw próbek jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™, poszerzono o materiały ściernie o podobnych właściwościach powierzchni czynnych. Wykorzystano próbki w postaci arkuszy ściernych z ziarnami: Cubitron™ II o ziarnistości 80+, węglika krzemu SiC o ziarnistości 80 i elektrokorundu szlachetnego z warstwą złota, napyłoną metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD (ang. *Physical Vapour Deposition*) o ziarnistości 80.

### Rejestracja obrazów światła rozproszonego

Zasadniczym elementem badań powierzchni próbek metodami skaterometrycznymi była akwizycja obrazów kątownego rozkładu natężenia światła rozproszonego. Realizację tej fazy badań prowadzono na dedykowanym stanowisku badawczym, schematycznie przedstawionym na rysunku 3.

W skład stanowiska wchodził lasera półprzewodnikowy Lasiris™ SNF 660 firmy Coherent (USA), emitujący w sposób ciągły wiązkę światła o długości fali  $\lambda = 660$  nm, oświetlającą powierzchnię próbki pod kątem padania równym  $45^\circ$ . Odbita i rozproszona przez elementy powierzchni wiązka padała na płaszczyznę obserwacji – matowy ekran z naniesioną podziałką służącą do wstępnego szacowania wymiarów powstającego obrazu kątownego rozkładu natężenia światła rozproszonego.



Rys. 3. Schemat dedykowanego stanowiska badawczego przeznaczającego do akwizycji obrazów światła rozproszonego

Dla każdej z próbek rejestrowano obraz z 10 wybranych obszarów znajdujących się w jej centralnej części. Do akwizycji wykorzystano cyfrowy aparat fotograficzny Camedia C-5060WZ firmy Olympus (Japonia) zamocowany na antywibracyjnej platformie sterowany zdalnie przewodowym pilotem RM-UC1. Obrazy posiadały następujące parametry: czas ekspozycji  $t_{exp} = 1$  s, rozdzielczość obrazu  $2592 \times 1944$  pikseli, czułość ISO 250, format zapisu \*.jpg.

### Analiza obrazów światła rozproszonego

Obrazy światła rozproszonego dla jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™ oraz materiałów referencyjnych, przedstawionych odpowiednio na rysunku 4 i 5, przeniesiono do komputera wyposażonego w specjalistyczne oprogramowanie do przetwarzania i analizy obrazu Image-Pro® Plus 5.1 firmy Media Cybernetics, Inc.

Po przetwarzaniu wstępnym, obejmującym korekcję tonalną i odpowiednie wykadrowanie obrazu światła rozproszonego przystąpiono do analizy, polegającej na wyznaczeniu wartości wybranych parametrów geo- i fotometrycznych. Wcześniejsze prace pozwoliły określić grupę takich parametrów, które najlepiej opisują powierzchnie pod względem ich właściwości rozproszeniowych [9,10]. W tym przypadku były to następujące parametry:

- pole powierzchni (jasnych obszarów) obrazu światła rozproszonego  $A_n$ ,

$$A_n = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} I_n(i, j), \quad (1)$$

gdzie:  $i, j$  – współrzędne odpowiadających sobie elementów obrazu ( $i$  – numer wiersza,  $j$  – numer kolumny),  $I(i, j)$  – natężenie skali szarości

- sumaryczne natężenie światła (jasnych obszarów) obrazu skaterometrycznego  $I_{\Sigma}$ .

$$I_{\Sigma} = \sum_{i, j \in A_n} I(i, j), \quad (2)$$

gdzie:  $i, j$  – współrzędne odpowiadających sobie elementów obrazów: ( $i$  – numer wiersza,  $j$  – numer kolumny),  $I(i, j)$  – natężenie skali szarości,  $A$  – pole powierzchni obrazu.

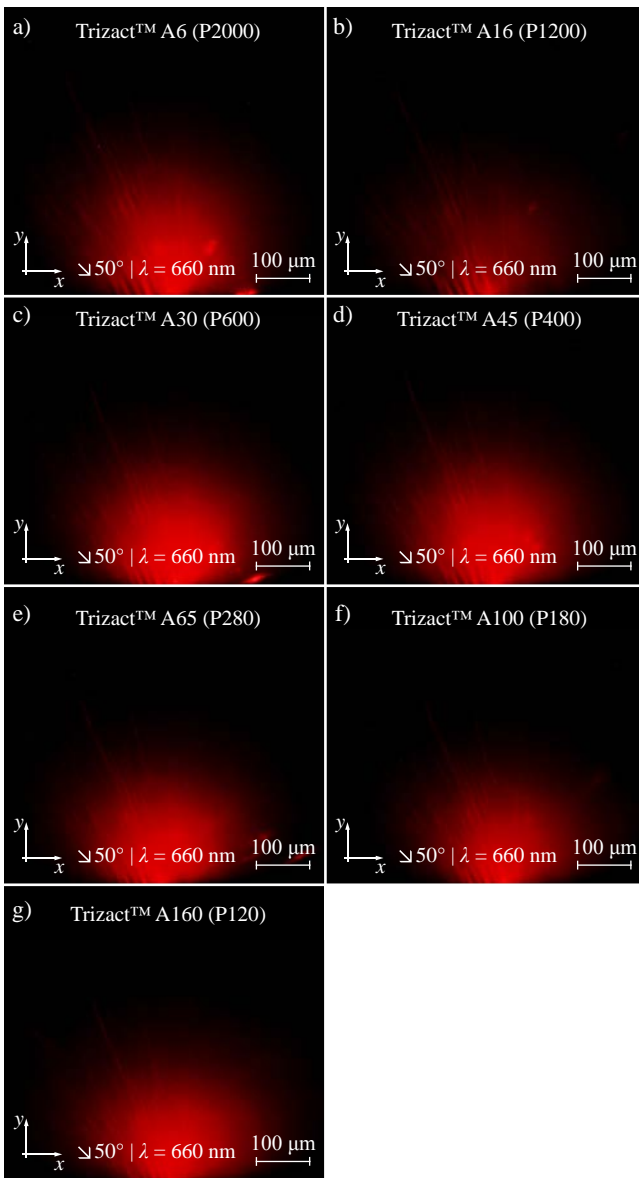
Wartości ww. parametrów dla grupy materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™ zestawiono odpowiednio na rysunku 6 i 7.

Wartości pola powierzchni  $A_n$ , wyznaczone dla grupy materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™, zawierały się w zakresie od 6408,48 pikseli do 7707,71 pikseli, natomiast wartość  $A_{n_{sr}} = 7047,66$  pikseli. Analizując uzyskane wartości można zauważyć tendencję wzrostową. Wraz ze wzrostem wielkości ziarna intensyfikują się zjawiska rozproszeniowe, co przekłada się na wzrost wartości pola powierzchni  $A_n$ . Podobna tendencja można zaobserwować w przypadku drugiego z analizowanych parametrów – sumarycznego natężenie światła. Zakres pomiaru wartości dla tego parametru fotometrycznego wynosił od 295254,28 do 358997,78, przy  $I_{sr} = 330569,19$ . Wymienione wartości podano w jednostkach umownych.

Obserwacje dokonane w czasie akwizycji obrazów światła rozproszonego skłaniają do stwierdzenia, iż czynne powierzchnie jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™ są, w odniesieniu do analiz fotometrycznych, stosunkowo trudne w ocenie. Wynika to m.in. z występowania na ich powierzchni charakterystycznych elementów w postaci regularnych ostrosłupów. Tworzą one strukturę dość niekorzystną, z punktu widzenia przebiegu zjawiska rozpraszania światła. Fala światła laserowego odbija się i rozprasza zarówno na wierzchołkach ostrosłupów, których kąty zmieniają się losowo w przedziale 60-90°, jak również na ich ścianach bocznych. Co więcej, dochodzi również do odbić od ścian bocznych sąsiednich ostrosłupów. Zmienny kąt nachylenia ścian (jak podają autorzy pracy [14] w zakresie od 33° do 48°) powoduje dodatkowo zajście zjawisk towarzyszących rozpraszaniu światła o znacznie bardziej niekorzystnym charakterze. Do zjawisk tych należą samozacienienia i samoprześlanianie powierzchni oraz odbicia wielokrotne. Zostały one dokładniej omówione w pracy [20].

W celu stwierdzenia, na jakim poziomie kształtują się wartości pola powierzchni  $A_n$  materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™, względem innych materiałów ściernych, dokonano ich porównania. Materiały dobrano tak, aby posiadały one zbliżone ziarnistości. Uzyskane rezultaty, przedstawiono na rysunku 8. Ich analiza skłania do stwierdzenia, iż arkusz ścierny z ziarnami Cubitron™ II ( $A_n = 7017,5$  pikseli) oraz jednowarstwowy ścierny materiał nasypowy z ziarnami typu Trizact™ ( $A_n = 7707,71$  pikseli) cechują się umiarkowanie rozproszeniowym charakterem powierzchni. Charakter silnie rozproszeniowy posiada





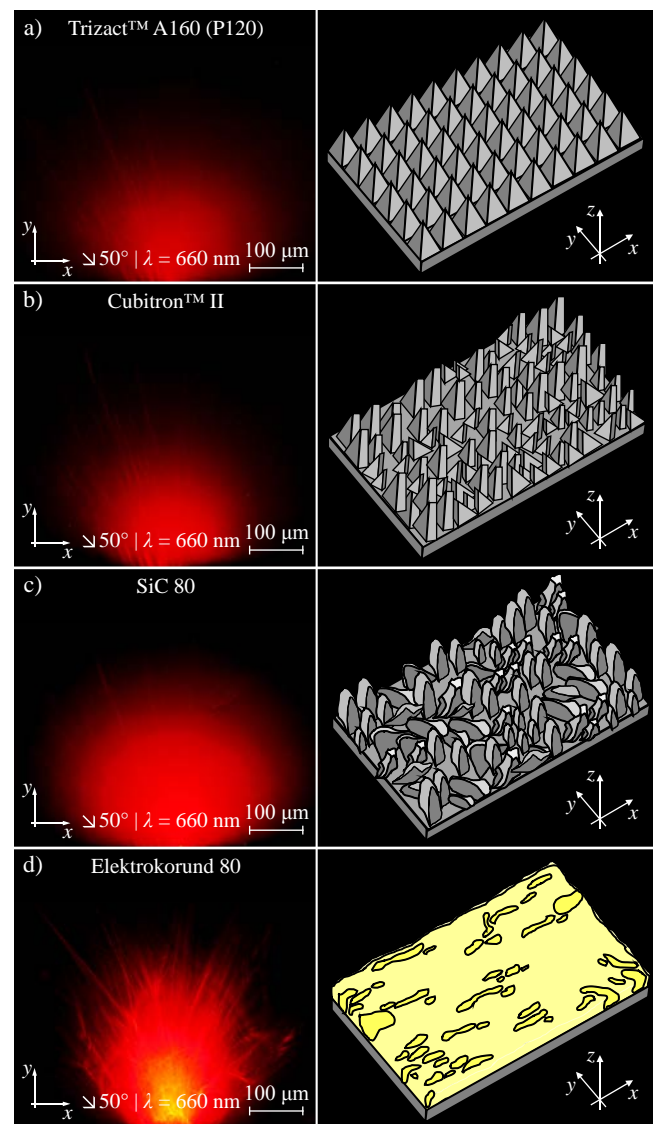
Rys. 4. Zbiór obrazów kąтового rozkładu natężenia światła rozproszonego zarejestrowanych dla czynnych powierzchni jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™ o ziarnistości: a) A6 (P2000), b) A16 (P1200), c) A30 (P600), d) A45 (P400), e) A65 (P280), f) A100 (P180), g) A160 (P120)

natomiast arkusz ścierny z ziarnami węgliku krzemu SiC ( $An = 8666,62$  piksela) oraz arkusz ścierny z ziarnami elektrokorundu szlachetnego z napyłoną warstwą złota ( $An = 10692,32$  piksela).

Można zatem ogólnie stwierdzić, iż materiały ścierne wytwarzane z wykorzystaniem technologii mikroreplikacji mają znacznie lepsze charakterystyki fotometryczne niż tradycyjne materiały ścierne. Napylenie cienkich warstw powoduje zintensyfikowanie zjawiska rozpraszania światła, co w wielu aplikacjach jest korzystne. W rozpatrywanym przypadku zastosowanie warstwy złota napyłonej metodą PVD na ziarna elektrokorundu szlachetnego spowodowało wzrost pola powierzchni o 19% w stosunku do powierzchni bez napyłonej warstwy o takiej samej ziarnistości.

#### Podsumowanie i Wnioski

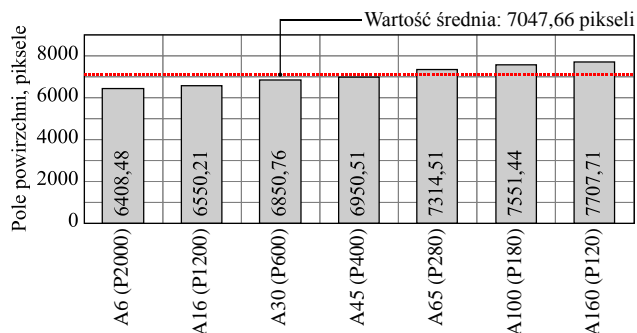
W wielu zastosowaniach obejmujących wykorzystanie współczesnych technologii obróbkowych niezwykle ważnym problemem jest odpowiednia diagnostyka stanu czy-



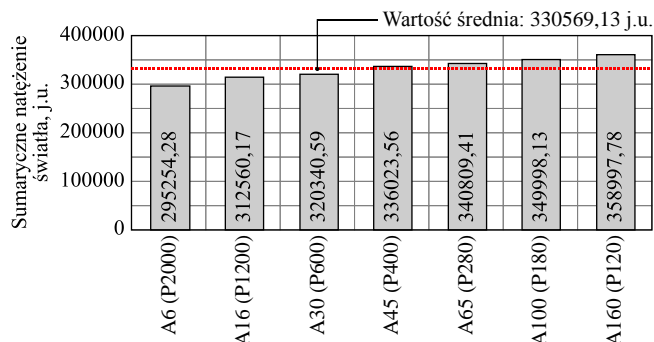
Rys. 5. Zbiór obrazów kąтового rozkładu natężenia światła rozproszonego zarejestrowanych dla czynnych powierzchni: a) jednowarstwowego ściernego materiału nasypowego z ziarnami typu Trizact™ o ziarnistości A160 (P120), b) arkusza ściernego z ziarnami Cubitron™ II o ziarnistości 80+, c) węgliku krzemu SiC o ziarnistości 80, d) elektrokorundu szlachetnego z warstwą złota napyłoną metodą PVD o ziarnistości 80; po prawej stronie rysunku schematycznie przedstawiono topografię ocenianych powierzchni

nych powierzchni narzędzi ściernych. Liczne prace z tego zakresu wskazują, iż największe nadzieje na rozwiązanie wielu z tych problemów wiąże się z zastosowaniem metod optycznych. Szczególnie pożądanymi są metody rozpraszania światła, charakteryzujące się wysoką czułością, krótkim czasem pomiaru, możliwością prowadzenia oceny w trakcie procesu obróbkowego oraz stosunkowo prostą implementacją sprzętową.

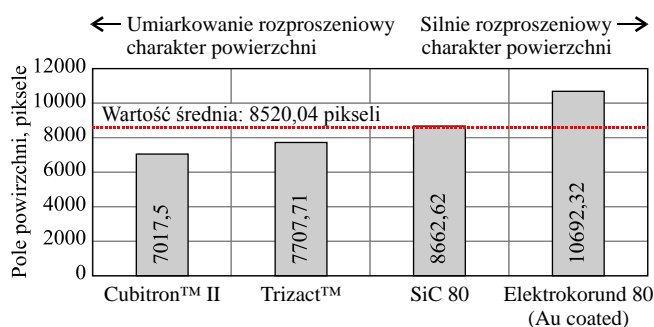
Zaproponowana w pracy zmodyfikowana metoda kąтового rozkładu natężenia światła rozproszonego może być z powodzeniem wykorzystana w ocenie czynnych powierzchni narzędzi ściernych, w tym takich, które wytwarzane są w technologii mikroreplikacji i charakteryzują się występowaniem na powierzchni elementów w postaci regularnych ostrosłupów. Takie jednowarstwowe ścierne materiały nasypowe z ziarnami typu Trizact™ są stosunkowo trudne w ocenie metodami rozpraszania światła, chociaż wykazują się umiarkowanie rozproszonym charakterem powierzchni. Tym niemniej, jak wykazały przedstawione



Rys. 6. Wartości pola powierzchni (jasnych obszarów) obrazu światła rozproszonego  $An$  dla czynnych powierzchni jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™



Rys. 7. Wartości sumarycznego natężenia światła (jasnych obszarów) obrazu skaterometrycznego  $I_x$  dla czynnych powierzchni jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™



Rys. 8. Wartości pola powierzchni (jasnych obszarów) obrazu światła rozproszonego  $An$  dla ocenianych materiałów ściernych

rezultaty badań można je analizować z wykorzystaniem zaprezentowanej metody optycznej wspomaganą technikami przetwarzania i analizy obrazu. Przyjęta w niniejszych badaniach metodyka, wykorzystywana już wcześniej w odniesieniu m.in. do oceny powierzchni ściernic wykonanych z mikrokryształicznego korundu spiekane SG zalepionych materiałem obrabianym, okazała się wystarczająca.

Autorzy przewidują kontynuowanie prac w kierunku oceny stanu powierzchni jednowarstwowych ściernych materiałów nasypowych z ziarnami typu Trizact™ metodami rozpraszania światła. Ocena ta będzie dotyczyć głównie powierzchni po procesach szlifowania, zalepionych materiałem obrabianym. Planowane jest również poszerzenie zakresu prac o inne materiały ściernic, np. z ziarnami typu Cubitron™ i Cubitron™ II.

#### LITERATURA

1. Tönshoff H.K., Friemuth T., Becker J.C., Process Monitoring in Grinding. CIRP Ann. Manuf. Techn., 51/2, 551–571, 2002.

- Wang L., Gao R.X. (Eds.), Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing. Springer, London, 2006.
- Wegener K., Hoffmeister H.W., Karpuschewski B., Kuster F., Hahmann W.C., Rabiey M., Conditioning and Monitoring of Grinding Wheels. CIRP Ann. Manuf. Techn., 60/2, 757–777, 2011.
- Jin Z.J., Yuan Z.W., Kang R.K., Dong B.X., Study on Two Kinds of Grinding Wheels for Dynamic Friction Polishing of CVD Diamond Film. Key Eng. Mater., 389, 217–222, 2009.
- Yan L., Rong Y.M., Jiang F., Zhou Z.X., Three-dimension Surface Characterization of Grinding Wheel using White Light Interferometer. Int. J. Adv. Manuf. Tech., 55/1-4, 2011, 133–141.
- Ismail M.F., Yanagi K., Isobe H., Characterization of Geometrical Properties of Electroplated Diamond Tools and Estimation of its Grinding Performance. Wear, 271/3, 2011, 559–564.
- Weingärtner E., Jaumann S., Kuster F., Wegener K., On-machine Wire Electrical Discharge Dressing (WEDD) of Metal-bonded Grinding Wheels. Int. J. Adv. Manuf. Tech., 49/9-12, 2010, 1001–1007.
- Azouigui S., Silvestri Z., Zerrouki C., Bouhtiyia S., Plimmer M.D., Spaltmann D., Kovalev A., Woydt M., Pinot P., Angle Resolved Scattering as a Tribological Investigation Tool for Surface Characterization. Wear, 326-327, 58–67, 2015.
- Kapłonek W., Łukianowicz C., Nadolny K., Methodology of the Assessment of the Abrasive Tool's Active Surface using Laser Scatterometry. T. Can. Soc. Mech. Eng., 36/1, 49–66, 2012.
- Kapłonek W., Nadolny K., The Diagnostics of Abrasive Tools after Internal Cylindrical Grinding of Hard-To-Cut Materials by Means of a Laser Technique using Imaging and Analysis of Scattered Light. Arab. J. Sci. Eng., 38/4, 953–970, 2013.
- Kapłonek W., Nadolny K. Zastosowanie skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu do oceny czynnej powierzchni ściernic z mikrokryształicznego korundu spiekane SG [w] Podstawy i technika obróbki ściernic (Gołąbczak A., Kruszyński B., Red.). Monografia Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej, Łódź, 153–164, 2010.
- Kapłonek W., Musiał W. Detekcja i analiza zalepień powierzchni czynnej ściernic diamentowych z wykorzystaniem skaterometrii laserowej oraz komputerowej analizy obrazu [w] Podstawy i technika obróbki ściernic (Gołąbczak A., Kruszyński B., Red.). Monografia Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej, Łódź, 205–216, 2010.
- Nadolny K., Kapłonek W., Wojtewicz M., Sienicki W. Ocena wpływu nasierczania ściernicy na jej zdolność skrawną w procesie szlifowania otworów ze stopu Titanium Grade 2® [w] Obróbka ściernic. Współczesne problemy (Barylski A., Red.). Monografia Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 53–68, 2011.
- Baran, J., Plichta, J., Sutowski, P., Tandecka, K. Analiza wygładzania powierzchni za pomocą jednowarstwowych dysków ściernych Trizact™. Mechanik, 9, 18–21, 2014.
- 3M Trizact™ Technology for Paint Finishing [Dostęp: 30 kwietnia 2015]. Dostępny w Internecie: <http://3mcollision.com/media/collision-images/misc-images/trizact-grain-detail.jpg>
- Klocke, F., Chandra, A., Zunke, R., Karra, P.: Modeling of Material Removal in Polishing of Advanced Ceramics. Proc. 12<sup>th</sup> CIRP International Conf. on Modeling of Machining Operations, Vol. 2, San Sebastian, Spain, 597–604, 2009.
- Pszczółowski W., Zaborski S. Efektywność szlifowania i polerowania taśmami z nasypem Trizact™. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, 84, 2003.
- Tournier C., Iabassene C., Guiot A., Quinsat Y. Grinding of medical implants in cobalt-chromium alloy. 1<sup>st</sup> International Conf. on Design and Processes for Medical Devices (PROMED), Brescia, Italy, 95–98, 2012.
- Barge M., Rech J., Hamdi H., Bergheau J.M. Experimental study of abrasive process. Wear, Vol. 264, No. 5–6, 382–388, 2008.
- Łukianowicz Cz. Podstawy pomiarów nierówności powierzchni metodami rozpraszania światła. M. 85. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2001.