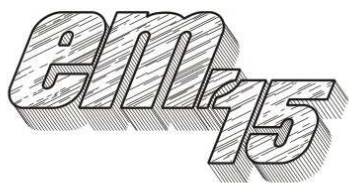


## XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji  
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW  
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7  
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,  
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

## Stan powierzchni kompozytów PCD na osnowie kobaltowej po obróbce elektroerozyjnej

### Surface integrity of PCD composites after EDM

JAN PEROŃCZYK<sup>1</sup>  
ANNA PODOLAK-LEJTAS<sup>2</sup>  
MIROSLAW PRACKI<sup>3</sup>

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury geometrycznej powierzchni (SGP) po obróbce elektroerozyjnej (EDM), spieku polikrystalicznego diamentu (PD lub ang. PCD). Jednym z efektywnych sposobów kształtowania PCD jest obróbka elektroerozyjna we wszystkich jej odmianach. Przedstawiono stereometryczne obrazy powierzchni próbek po EDM, wykresy liniowe chropowatości, opracowane statystyczne modele matematyczne, określające wpływ parametrów obróbki na Ra i Sa, oraz ich wizualizację graficzną. Uzyskane wyniki wskazują na odmienną strukturę w stosunku do struktury powstającej np. po EDM stali.

**SŁOWA KLUCZOWE:** PCD, EDM, SGP.

*The paper presents results of investigations of surface micro geometrical structure after Electrical Discharge Machining (EDM) of Polycrystalline Diamond (PCD). The effective method of shaping PCD blanks is EDM and WEDM. Therefore, very important is recognizing of the relationships between surface roughness parameters and machining conditions of EDM. In the paper statistical models of effects parameters EDM (such as current amplitude and pulse duration) on surface parameters Ra and Sa are presented. The comparison of micro geometrical structures machined EDM of PCD and steel is also, described.*

**KEYWORDS:** PCD, EDM, Surface parameters.

#### Wstęp

PCD (wg. PN - PD) - polikrystaliczny kompozyt diamentowy (ang. Polycrystalline Diamond), należy do materiałów super twardych, coraz częściej wykorzystywanych w produkcji narzędzi do skrawania metali i stopów (nie zawierających żelaza), ceramiki tworzyw sztucznych, minerałów,

drewna, oczek cięgarskich, itp. Jest także materiałem coraz powszechniej wykorzystywanym w budowie tzw. koronek wiertarskich do wierceń geologicznych. Coraz częściej PCD znajduje zastosowanie do wytwarzania części składowych aparatury pracującej w ekstremalnych warunkach jak np.: układy sterujące i wykonawcze rakiet balistycznych, satelitów czy stacji kosmicznych; części stosowane w medycznej aparaturze inwazyjnej, elementy narzędzi stosowanych w mikrochirurgii itp.

Stosowane technologie wytwarzania elementów z PCD nie zapewniają możliwości uzyskania skomplikowanych geometrycznie kształtów i wymaganych dokładności wymiarowych oraz odpowiedniej chropowatości i struktury geometrycznej powierzchni obrobionej. Stąd niezbędnym staje się stosowanie dodatkowej obróbki kształtującej i wykończeniowej, co jest zadaniem bardzo trudnym z powodu złej obrabialności PCD [3, 4]. Jednym z bardzo efektywnych sposobów kształtowania wyrobów i narzędzi z PCD jest obróbka elektroerozyjna we wszystkich jej odmianach jeśli osnową wiążącą ziarna diamentowe jest osnowa przewodząca prąd elektryczny. Zwykle podłożem warstwy PCD jest węgiel spiekany (WC-Co), który jest obrabialny elektroerozyjnie. Podczas wyładowania elektrycznego pomiędzy osnową a elektrodą roboczą kobalt ulega topieniu i sublimacji, zaś nie przewodzące prądu ziarna diamentowe mogą ulegać częściowej lub całkowitej grafityzacji, a w wyniku działania naprężeń termicznych między diamentem a kobaltem oraz fali implozyjnej są dodatkowo usuwane z przestrzeni międzyelektrodowej [5, 6, 12].

Jak to już powszechnie potwierdzone w literaturze fachowej, powierzchnia obrobiona metali i stopów charakteryzuje się strukturą geometryczną (SGP) zbliżoną do struktury punktowej o charakterze izotropowym. Jak np. podkreślono w pracy [7], SGP po EDM "cechuje się względnie wysoką chropowatością i wierzchołkami o małych promieniach zaokrąglenia, co z punktu widzenia elementów współpracujących ruchowo jest mało korzystne". Z wielu prac, a m.in. [1, 7, 10, 12] wiadomo, że na właściwości eksploatacyjne czę-

<sup>1</sup>dr inż. Jan Perończyk (jperon@meil.pw.edu.pl)

<sup>2</sup>dr inż. Anna Podolak - Lejtas (apodolak@meil.pw.edu.pl)

<sup>3</sup>dr inż. Mirosław Pracki (mprac@meil.pw.edu.pl)

ści maszyn, oprócz zmian w SGP, w sposób istotny mają wpływ: stan i własności warstwy wierzchniej (WW), jakie są generowane po przeprowadzonym procesie obróbki.

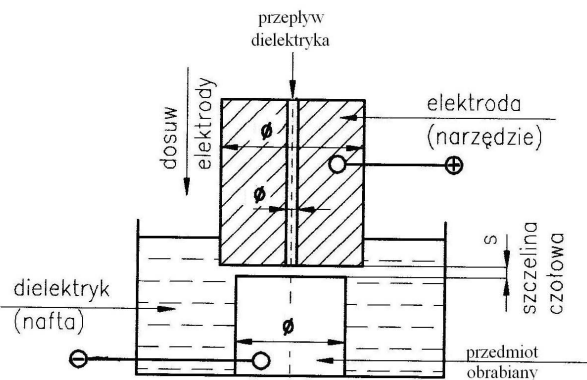
W wyniku oddziaływania wyładowań elektrycznych powstających w przestrzeni międzyelektrodowej wypełnionej dielektrykiem, zachodzą złożone procesy fizyko-chemiczne, prowadzące do erozji materiałów elektrod i powstania na powierzchni obrabianej zmienionej warstwy wierzchniej o właściwościach w większości przypadków niekorzystnych dla dalszej eksploatacji elementów. Jest to przedmiotem szerokiej badań prowadzonych na świecie (opisanych m.in. w podanej powyżej literaturze), których celem jest m. in. optymalizacja parametrów obróbki elektroerozyjnej pod kątem zapewnienia dużej produktywności procesu przy jednoczesnym zachowaniu żądanej SGP i dobrych właściwości WW.

Przy obróbce elektroerozyjnej kompozytów metalowych umacnianych cząstkami ceramicznymi, proces erozji elektrycznej jest bardziej złożony niż podczas obróbki materiałów jednorodnych jakimi są metale i ich stopy, a w WW zachodzą bardziej niekorzystne zmiany [1, 10, 12 i inni]. Obecność w strukturze kompozytu cząstek ceramicznych o właściwościach wyraźnie odbiegających od właściwości pozostałych składników fazowych kompozytu (znacznie wyższe temperatury topnienia, znacznie wyższa twardość, niska przewodność cieplna, zmienne właściwości dielektryczne), powodują powstawanie bardziej niekorzystnych zmian w WW. Powstają bardzo duże naprężenia rozciągające i często mikropęknięcia, na powierzchni obrobionej pozostają przywarte cząstki umocnienia, a ślady po wyładowaniach elektrycznych mają bardzo nieregularne kształty (odbiegające od kołowego, rozmyte o zróżnicowanej głębokości). Powoduje to wyraźnie dostrzegalną zmianę w wyglądzie i charakterze SGP [9, 12]. Wydaje się zatem, że parametry SGP przyjmowane do oceny stanu powierzchni po obróbce elektroerozyjnej kompozytów powinny uwzględniać te odmienności.

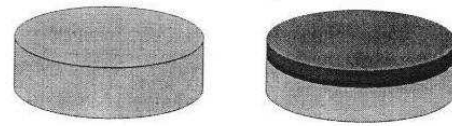
### Badania drążenia EDM

Badania drążenia PCD przeprowadzono na drążarce EDEA-25 wykorzystując generator tranzystorowy GETB-63a. Obróbkę przeprowadzono na próbkach z PCD o średnicy 13,6 mm, produkcji Instytutu Supertwardych Materiałów w Kijowie (rys. 1a). Grubość warstwy PCD- $h_{PCD}$  = 1,2 mm, grubość warstwy węgla wolframu –  $h_{wc}$  = 3,8 mm średnia ziarnistość diamentu 2  $\mu$ m. Elektroda z miedzi (M1E) o  $\phi$  15 mm, dielektryk, nafta kosmetyczna. Schemat obróbki pokazano na rys. 1b. Chropowatość powierzchni obrobionej mierzono na profilometrze skanującym FORM TALYSURF 2.

a)



b)



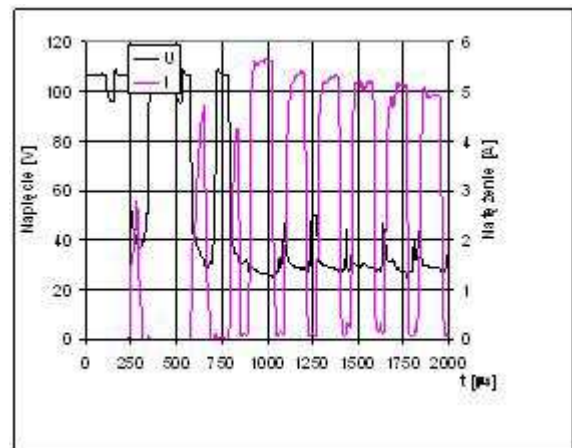
Rys. 1. Schemat drążenia i obrabiane próbki

Przeprowadzono eksperyment wg planu Hartleya PS/DS.-P:  $Ha_2$ , dwuczynnikowy pięciopoziomowy dla  $X_k$ : 0,  $\pm 1$ ,  $\pm 1,414$  (hK) [13]. Założono: napięcie zasilania  $U_0 = 100V$ , napięcie robocze  $U_r = 50 V$ , współczynnik wypeł-

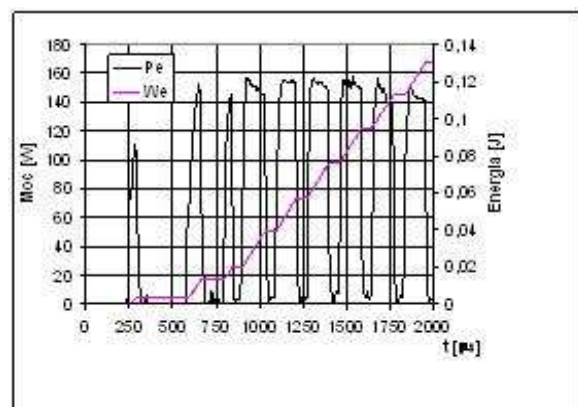
nienia impulsu  $\sigma = \frac{t_i}{t_i + t_o} = 0,7$ .

Zmianie podlegały: amplituda prądu w impulsie jako nastawa I w przedziale 4,0 do 16 A oraz czas trwania impulsu  $t_i$  w przedziale 32 do 500  $\mu$ s. Czas przerwy  $t_o$  dobierany był tak, aby  $\sigma = \text{const} = 0,7$ . Podczas badań monitorowano przebiegi  $U(t)$  i  $I(t)$ . Wartości  $I_{sr}$ ,  $U_{sr}$ ,  $Pe_{sr}$ ,  $We_{sr}$  określano na podstawie zarejestrowanych przebiegów  $U(t)$  i  $I(t)$  (oscyloskop z pamięcią), często dla kilkudziesięciu impulsów przebiegających w warunkach obróbki ciągłej. Przykładowe przebiegi  $U(t)$ ,  $I(t)$ ,  $Pe(t)$  i  $We(t)$  pokazano na rys. 2 i 3.

a)



b)



Rys. 2. Przebieg prądu i napięcia a) oraz mocy i energii b) dla parametrów:  $U = 50V$ ,  $I = 6 A$ ,  $t_i = 125 \mu$ s,  $t_o = 63 \mu$ s

### Wyniki drążenia i pomiarów SGP

Wyniki badań drążenia elektroerozyjnego PCD i dane z analizy zarejestrowanych przebiegów napięcia i prądu impulsów przy obróbce ciągłej wykorzystano do określenia statystycznych zależności modelowych dla poszczególnych wskaźników, a w tym dla  $R_a$  i  $S_a$ . Otrzymane zależności aproksymujące przebiegi  $R_a$ ,  $S_a$  wraz z parametrami okre-

śląjącymi istotność danych równań (przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ) i istotności danego czynnika w danym równaniu (liczba t-Studenta) przedstawiono poniżej:

$$Ra = 2,386 \cdot I^{0,177} \cdot t_i^{0,173} \quad [\mu\text{m}]$$

Liczby:  $R = 0,812$  ( $R_{kr} = 0,671$ ),  $F = 29,341$  ( $F_{kr} = 4,10$ ),  $t_i = 2,872$ ;  $t_{ii} = 5,95$

$$Sa = 3,996 \cdot I^{0,23} \cdot t_i^{0,173} \quad [\mu\text{m}]$$

Liczby:  $R = 0,764$ ,  $t_i = -2,354$ ,  $t_{ii} = 2,565$

Na podstawie ustalonych równań regresyjnych na Ra i Sa zbudowano wykresy pokazane na rys. 4 i 5.

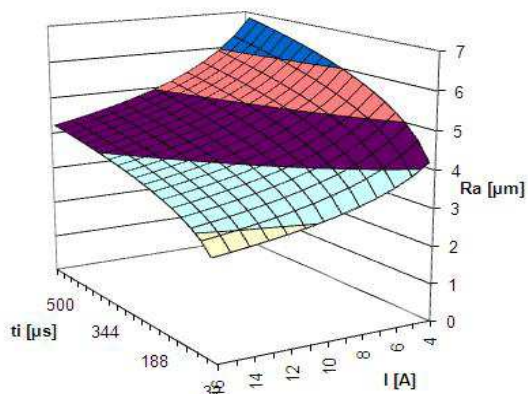
W tablicy 1 zestawiono parametry nastawiane do drążenia poszczególnych próbek z PCD, oraz wyniki pomiarów wybranych parametrów profili chropowatości, a w tablicy 2, pomierzone wartości wybranych parametrów SGP.

Tab. 1. Parametry nastawiane do EDM PCD i wyniki pomiarów SGP dla wybranych parametrów profili chropowatości

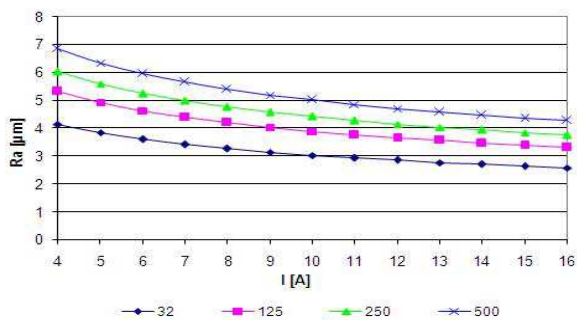
Nr Próbki	Parametry											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I - A	6	12	12	6	4	16	10	10	10	10	10	10
t <sub>i</sub> - μs	125	500	125	500	250	250	32	500	250	250	250	250
t <sub>o</sub> - μs	63	250	63	250	125	125	16	250	125	125	125	125
f - Hz	5319	1333	5319	1333	2667	2667	20813	1333	2667	2667	2667	2667
Wybrane parametry profili chropowatości												
Ra - μm	6,09	4,26	3,21	6,74	4,72	3,92	3,01	5,53	4,91	3,99	4,21	4,35
Rz - μm	35,55	29,19	19,28	44,95	31,87	31,84	19,10	35,05	40,24	23,40	32,87	30,15
Rt - μm	40,02	33,28	28,65	50,24	33,4	34,41	24,25	35,62	52,03	26,44	41,62	35,28
Sm - mm	180,5	165,9	142,2	217,4	110,6	172,7	110,8	166,7	168,9	287,3	215,12	180,95

Tab. 2. Parametry SGP: a) powierzchniowe i objętościowe, b) przestrzenne, c) amplitudowe, d) hybrydowe, e) funkcjonalne

Nr Próbki	Param. SGP											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a) Parametry SGP powierzchniowe i objętościowe												
STp	0,6	0,2	0,4	0,1	0,1	0	0	0,2	0,1	0,141	0,2	0,18
SHTp	11,5	8,81	7,52	12	10,2	8,15	6,93	11,2	9,75	12	9,71	9,76
b) Parametry przestrzenne SGP												
SPc	9,1	2,39	3,35	6,46	24,5	5,5	1,67	2,39	11	0,717	1,67	1,70
Sds	1050	1169	1221	830	880	860	1516	779	867	704	5,75	5,80
Str	0,886	0,842	0,919	0,876	0,842	0,723	0,0746	0,896	0,807	0,771	0,802	0,790
Sal	0,0444	0,0472	0,0449	0,0548	0,0312	0,071	0,0716	0,0543	0,0434	0,233	0,152	0,160
c) Parametry amplitudowe SGP												
Sa	5,63	4,26	3,73	5,87	4,77	3,95	3,49	5,42	4,67	5,63	4,54	4,70
Sq	7,17	5,44	4,84	7,4	5,91	5,03	4,58	6,86	5,9	6,95	5,63	5,82
Sp	21,1	17,6	14,3	25,6	19,7	21,3	22,2	17,8	23,7	20,1	14,2	15,7
Sv	38,9	41,3	33,6	33,4	25,8	28,3	22,3	35	28,8	26,7	22	23
St	60	58,9	47,9	59	45,5	49,7	44,5	52,8	52,4	46,8	40,2	41,5
Ssk	-0,587	-0,771	-0,867	-0,509	-0,061	0,348	-0,135	-0,871	-0,275	-0,267	-0,07	0,033
Sku	3,57	4,2	4,63	3,41	2,76	3,53	4,01	3,76	3,32	2,77	2,74	2,28
Sz	53,1	46,9	44,8	54,9	40,9	40,9	35	46,5	48,8	40,4	26,9	30,15
d) Parametry hybrydowe SGP												
Sdq	0,58	0,476	0,439	0,473	0,586	0,383	0,421	0,484	0,492	0,296	0,325	0,340
Ssc	0,142	0,106	0,109	0,123	0,136	0,090	0,119	-0,094	0,11	0,0616	0,0573	0,058
e) Parametry funkcjonalne SGP												
Sbi	0,675	0,541	0,663	0,508	0,594	0,371	0,306	0,775	0,406	0,757	0,63	0,68
Sci	1,33	1,25	1,24	1,36	1,55	1,43	1,47	1,15	1,44	1,46	1,55	1,50
Svi	0,148	0,149	0,157	0,142	0,112	0,134	0,134	0,16	0,127	0,123	0,13	0,120

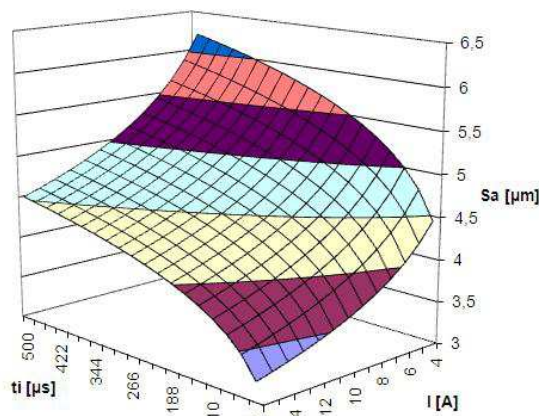


b)

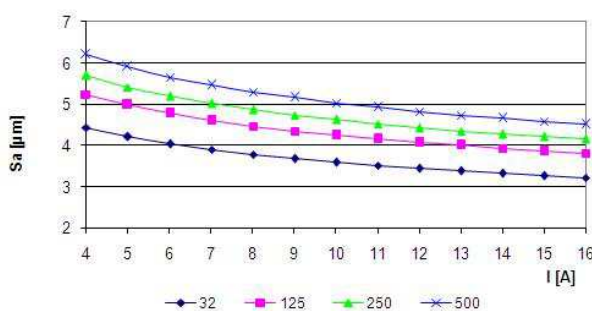


Rys. 4 Chropowatość powierzchni Ra dla EDM PCD w funkcji nastawy amplitudy prądu I i czasu impulsu t<sub>i</sub>

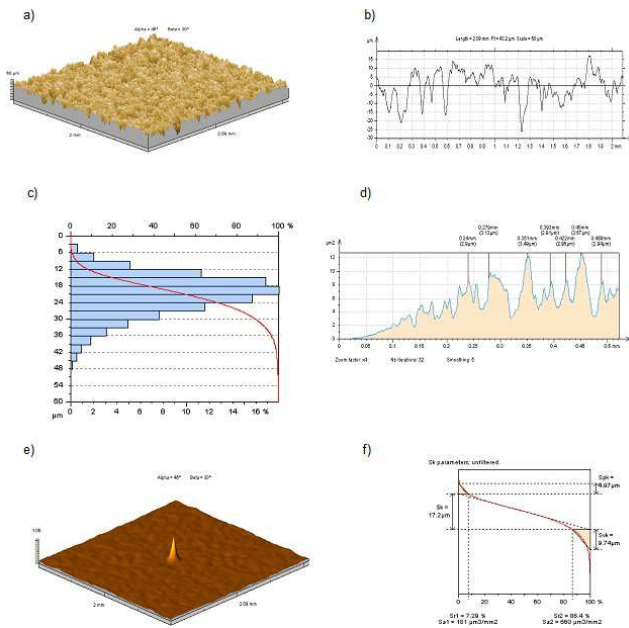
a)



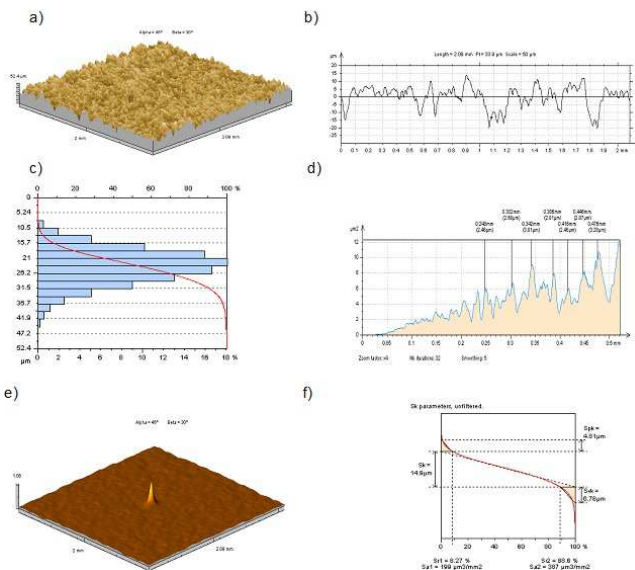
b)



Rys. 5 Chropowatość powierzchni Sa dla EDM PCD w funkcji nastawy amplitudy prądu I i czasu impulsu t<sub>i</sub>

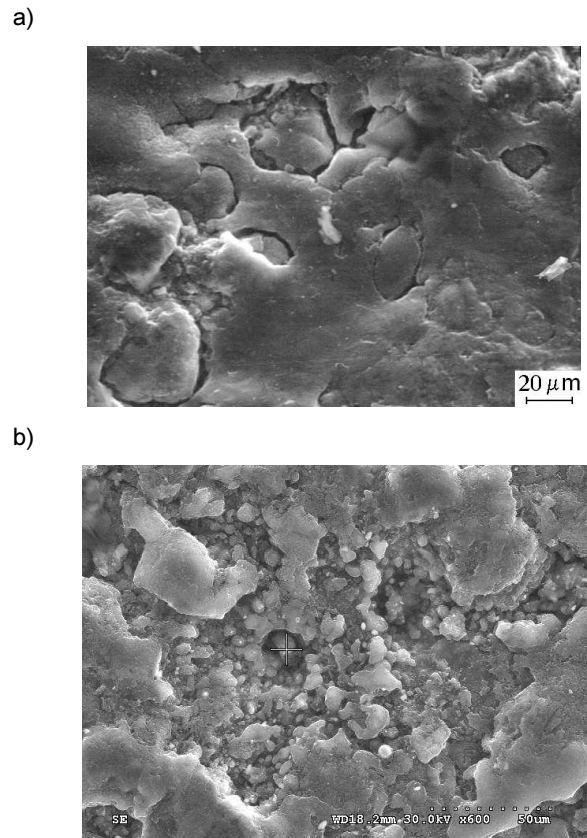


Rys. 6. Wybrane elementy charakterystyki SGP po EDM PCD, obrabianej przy parametrach:  $U_r = 50$  V,  $I = 6$  A,  $t_i = 125$   $\mu$ s,  $t_o = 63$   $\mu$ s w nacie kosmetycznej - a) stereometryczny obraz powierzchni, b) liniowy wykres chropowatości, c) rozkłady rzędnych profilu, d) rozkład gęstości widmowej mocy, funkcja autokorelacji-powierzchnia izotropowa losowa, f) krzywa nośności z parametrami funkcjonalnymi



Rys. 7. Wybrane elementy charakterystyki SGP po EDM PCD, obrabianej przy parametrach:  $U_r = 50$  V,  $I = 6$  A,  $t_i = 125$   $\mu$ s,  $t_o = 63$   $\mu$ s w nacie kosmetycznej - a) stereometryczny obraz powierzchni, b) liniowy wykres chropowatości, c) rozkłady rzędnych profilu, d) rozkład gęstości widmowej mocy, funkcja autokorelacji-powierzchnia izotropowa losowa, f) krzywa nośności z parametrami funkcjonalnymi

Na rys. 6 i 7 przedstawiono przykładowo wybrane charakterystyki SGP, zalecane przez Autorów Monografii [10, 11, 12], a na rys. 8 przykładowe fotografie SEM powierzchni obrabionych PCD.



Rys. 8. SEM powierzchni obrabionej PCD po EDM

### Analiza wyników, uwagi i wnioski

Z analizy wykresów rys. 4 i 5 wynika, że amplituda prądu w impulsie wykazuje mały wpływ na Ra i Sa, większy wpływ wykazuje czas impulsu  $t_i$  - chropowatość wyraźnie rośnie wraz ze wzrostem  $t_i$ . Podobne wyniki braku znaczącego wpływu amplitudy prądu na Ra otrzymano w pracach [5, 6]. Jak dotychczas przyjmowano [11], podstawą oceny SGP były parametry amplitudowe które charakteryzowały poziom chropowatości powierzchni. Nie ujmują one jednak w całości walorów eksploatacyjnych powierzchni [2, 8, 11] Można postawić tezę, że ocena SGP powinna zasażać się głównie na parametrach amplitudowych oraz przestrzennych i hybrydowych, które charakteryzują ukształtowanie geometryczne i wysokość nierówności powierzchni. Pozostałe parametry powinny być traktowane przede wszystkim jako parametry pomocnicze, które pozwalają uszczegółowić wybór SGP stosownie do jej przeznaczenia konstrukcyjnego i eksploatacyjnego (np. powierzchni: trących, obciążonych statycznie czy dynamicznie itp.). W monografii [11], Autorzy zaproponowali listę Birmingham, obejmującą 14 pozycji: parametry amplitudowe ( $S_q$ ,  $S_z$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$ ), parametry przestrzenne ( $S_{ds}$ ,  $S_{tr}$ ,  $S_{al}$ ), parametry hybrydowe ( $S_{dq}$ ,  $S_{sc}$ ,  $S_{dr}$ ) oraz parametry funkcjonalne ( $S_{bi}$ ,  $S_{ci}$ ,  $S_{vi}$ ). W interesujące pracy [2] Autor poprzez stosowanie obróbki sekwencyjnej, wykazuje jak zmieniają się przez to parametry powierzchniowe ( $S_{pk}$ ,  $S_k$  i  $S_{vk}$ ), objętościowe ( $V_{mp}$ ,  $V_{mc}$ , i  $V_{ww}$ ) oraz wskaźniki funkcjonalne ( $S_{bi}$ ,  $S_{ci}$ ,  $S_{vi}$ ), które znajdują się także na tzw. liście Birmingham. Należy jednak pamiętać, że nawet przy podobnych wartościach liczbowych parametrów amplitudowych, pozostałe parametry mogą się znacznie różnić między sobą - zależy to od sposobu zastosowanej obróbki danej powierzchni. Wybór odpowiednich parametrów SGP z powodu bardzo dużej ich liczby, jest bardzo utrudniony i dlatego w tej pracy przyjęto sugestie zaproponowaną przez Autorów m.in [8, 11], poszerzając ją nieco o kilkanaście parametrów. Analiza uzyskanych wyni-

ków pozwala na sformułowanie poniższych spostrzeżeń, uwag i wniosków:

1. Analiza obrazów stereometrycznych (3D) powierzchni (rys. 6a, 7a, 8- przykładowe) wykazują, że kształty powstałych nierówności zależą w głównej mierze od parametrów obróbki. Wyraźnie widoczna jest zmienna gęstość upakowania wierzchołków na powierzchni.

2. Wartości parametrów: Ra, Rz, Rt, Sm, Sa, Sp, St, Sz nie zawsze są zgodne z oczekiwanymi (jak to ma miejsce przy EDM metali i stopów w miarę jednorodnych [8, 11, 12]). Stosunek Rt/Ra w badanym zakresie parametrów zawiera się w przedziale  $5,35 \div 10,6$  też nie zgodnie z oczekiwaniami - co sygnalizowano już przy omawianiu wpływu I oraz  $t_i$  na Ra i Rz. Różnice pomiędzy parametrami St i Sz są stosunkowo małe (w przedziale od  $3,1 \div 12$  mm), świadczy o tym że udziały przypadkowych pojedynczych wierzchołków i wgłębień są pomijalnie małe [11].

3. Miarą skośności jest Ssk. Ten współczynnik charakteryzuje symetrię rozkładu rzędnych wysokości chropowatości względem płaszczyzny średniej. Wg, [11] ujemna wartość tego współczynnika wskazuje na powierzchni o wzniesieniach płaskowyżowych, zaś dodatnia na powierzchnię w kształcie zaostrowym. Jak to wynika z tabeli 2, wartość tego współczynnika przyjmuje zawsze wielkości ujemne co oznacza że powierzchnia po EDM PCD ma charakter płaskowyżowy - "wysepkowy".

4. Miarą smukłości krzywej rozkładu rzędnych profilu- Sku - jest tzw. Eksces nazywany też kurtozą lub współczynnikiem skupienia. Dla rozkładu normalnego rzędnych profilu  $Sku = 3$  [11]. Analizując wyniki pomiarów z Tabl.2 widać, że ten parametr dla większości przypadków jest większy od 3, co świadczy o tym, że krzywa rozkładu rzędnych profilu chropowatości jest bardziej smukła (czyli węższa i wyższa) [11]. W 4-ech przypadkach Sku jest mniejsze od 3, ale bardzo bliskie (przy długich czasach impulsu  $t_i$ ).

5. Parametr Str jest miarą tekstury powierzchni i zawiera się w przedziale  $0 \div 1$ . Wartości bliskie 1 świadczą o tym, że SGP ma wysoki poziom izotropowości, zaś wartości bliskie 0 charakteryzują powierzchnie anizotropowe. Dla badanych przypadków, parametr Str zawierał się w przedziale powyżej 0,720. Tylko w 1 przypadku Str = 0.0746 dla: I = 10 A,  $t_i = 32 \mu s$ ,  $t_o = 16 \mu s$  (bardzo krótkie czasy).

6. Długość odcinka najszybszego zanikania funkcji autokorelacji (domyślnie 0,2), określa udział falistości w pomiarach parametrów chropowatości. Ponieważ wartości tego parametru dla badanych przypadków (Tabl. 2) są stosunkowo małe, oznacza to, że struktury geometryczne badanych powierzchni składają się głównie z fal o dużej częstotliwości [11].

7. Sdr określany jest jako wskaźnik rozwinięcia powierzchni w % (dla powierzchni płaskiej Sdr = 0). Wskaźnik ten dla badanych powierzchni zawierał się w przedziale  $6,89 \div 16,7$  %.

8. Uzyskane wartości Ssc świadczą o powstawaniu małych promieni zaokrąglenia wierzchołków chropowatości podczas obróbki elektroerozyjnej (często o jeden do dwu rzędów mniejszych niż otrzymywanych np. podczas obróbki skrawaniem). Potwierdzają to wyniki badań innych Autorów jak np. [10, 11, 12]. Należy zauważyć, że wzrost ziarnistości cząstek umacniających, zmiana właściwości fizyko-mechanicznych i wzrost energii pojedynczego wyładowania ( $E_i$ ), powodują zmniejszanie promieni zaokrąglenia wierzchołków chropowatości - wierzchołki stają się bardziej ostre.

9. Parametry funkcjonalne: Sbi, Sci i Svi są ważnymi parametrami tribologicznymi i mogą być wykorzystane do analizy powierzchni stykowych. Przykładowo: wzrost wartości parametru Sci wskazuje na poprawę warunków zatrzymywania środka smarnego [11]. Jak wynika z Tabl.2, wartość tego parametru dla badanych próbek wynosi ok. 1,5 i podlega bardzo małym zmianom - niezależnie od zastosowanych

parametrów EDM ( $Sci = 1,38$  dla WEDM próbek stalowych wg [11]).

## Podsumowanie

Ze względu na coraz szersze zastosowanie PCD w budowie maszyn zachodzi potrzeba możliwie dokładnego poznania parametrów charakteryzujących stereometrię powierzchni obrobionej i wpływu zastosowanych parametrów obróbki na ich zmianę. Pozwoli to w przyszłości na odpowiednie sterowanie procesem EDM w celu uzyskania pożądanej charakterystyki SGP, najbardziej odpowiedniej do warunków pracy danej części.

Praktyczne wykorzystanie większości parametrów charakteryzujących SGP, możliwych do określenia dzięki nowym sposobom i nowej aparaturze umożliwiającej ich pomiar, musi być poprzedzone szerokimi badaniami eksploatacyjnymi. Celem tych badań powinno być ustalenie odpowiednich związków pomiędzy tymi parametrami, a badanymi właściwościami użytkowymi. Jak dotychczas takie informacje nie są chętnie popularyzowane w dostępnej literaturze technicznej.

## LITERATURA

- Burakowski T., Wierchoń T., Inżynieria powierzchni metali. Warszawa, WNT 2011.
- Grzesik W., Wpływ obróbki sekwencyjnej na topografię powierzchni stali utwardzonej, Mechanik, 5-6, 350 – 363, 2014.
- Jaworska L., Diament – otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- Jaworska L., Rozmus M., Laszkiewicz-Lukasik J., Wyźga P., Podsiadło M., Czechowski K. :Wykonanie płytek skrawających z monolitycznego spieku diamentowego.
- Kozak J., Perończyk J., Electrical Discharge Machining of Polycrystalline Diamond (PCD), Proceed. 12<sup>th</sup> International Symposium for Elektromachining (ISEM), VDJ Berichte 1405, Aachen May 11-13, 1998.
- Kozak J., Rajurkar K.P., Wang S.Z.: Material Removal in WEDM of PCD Blanks, ASME Journal of Engineering for Industry, vol. 116, Nr 3, 1994.
- Nowicki B., Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni, WNT- Warszawa, 1991.
- Nowicki B., Zaawansowane metody opisu i pomiarów struktury geometrycznej powierzchni, Mechanik, Nr1, 36-41, 2007.
- Nowicki B., Podolak-Lejtas A., Stan warstwy wierzchniej po łącznej obróbce elektroerozyjnej i powierzchniowej zgniotem, Inżynieria Maszyn, vol.12, No. 4. Wyd. Wrocławskiej Rady FSNT NOT, Wrocław 2009.
- Oczoś K. E., Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. 1998.
- Oczoś K. E., Liubimov V., Struktura geometryczna powierzchni, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów. 2003.
- Perończyk J., Rozprawa doktorska pt. Obróbka elektroerozyjna kompozytów na osnowie metalowej i ceramiki technicznej, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Warszawa, 2008.
- Polański Z., Planowanie doświadczeń w technice. Warszawa, Warszawa, PWN 1984.