

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

Ocena struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu po elektroerozyjnym wycinaniu elektrodą drutową (WEDM) i elektroerozyjnym szlifowaniu (AEDG)

Assessment of magnesium surface texture after wire electrical discharge machining (WEDM) and abrasive electrodischarge grinding (AEDG)

ANDRZEJ GOŁĄBCZAK¹
MARCIN GOŁĄBCZAK²
ANDRZEJ KONSTANTYNOWICZ³
ROBERT ŚWIĘCIK⁴

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu warunków obróbki wycinania elektroerozyjnego (WEDM) i szlifowania elektroerozyjnego (AEDG) na kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu AZ31. Zakres prezentowanych badań obejmował próby elektroerozyjnego wycinania elektrodą drutową prostopadłościennych próbek ze stopu magnezu oraz ich głębokiego szlifowania elektroerozyjnego ściernicą CBN.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka elektroerozyjna WEDM, szlifowanie elektroerozyjne AEDG, stopy magnezu, struktura geometryczna powierzchni, histogramy pomiarowe.

In the article the results concerning influence of processing conditions of wire electrical discharge machining (WEDM) and abrasive electrodischarge grinding (AEDG) on shaping of AZ31 magnesium alloy surface texture have been presented. The range of presented investigation results included electroerosion cutting of cuboids made of AZ31 magnesium alloy and their electroerosion grinding using metal bond cubic boron nitride (cBN) grinding wheel.

KEYWORDS: wire electrical discharge machining (WEDM), abrasive electrodischarge grinding (AEDG), magnesium alloys, surface texture, histogram measurement classes.

Wstęp

Stopy magnezu są interesującymi materiałami konstrukcyjnymi ze względu na swoją małą gęstość (ok. 1,8 g/cm³), dużą wytrzymałość właściwą ($R_m \approx 250$ MPa) oraz sztywność, zdolność do tłumienia drgań, świetną izolację fal elektromagnetycznych, mały współczynnik tarcia i możliwość pełnego recyklingu [1, 2, 5]. Odnaczają się bardzo dobrą skrawalnością i wykazują mały opór właściwy skrawania. Ich obróbka nie wymaga użycia dużej siły (nie tępią narzędzi) wobec tego może być prowadzona z dużymi prędkościami skrawania. [3, 6]. Stopy magnezu znajdują liczne zastosowania w przemyśle: motoryzacyjnym, maszynowym, lotniczym, kosmicznym, elektronicznym, produkcji sprzętu sportowego itd. Wytwarzane są z nich różnego rodzaju obudowy (telefony komórkowe, notebooki, aparaty fotograficzne, kamery), części pojazdów (deski rozdzielcze, kierownice, siedzenia, felgi, maski, kłapy bagażnika, części wewnętrzne drzwi a także obudowy skrzyń biegów, lusterek, bloków silników), części wózków inwalidzkich, motocykli oraz rowerów itp. [2, 3]. Ciągłe zwiększanie zakresu zastosowań stopów magnezu wpływa znacząco na rozwój nowych sposobów ich obróbki. Aktualnie stosowane są specjalne obrabiarki, narzędzia skrawające i metody obróbki do kształtowania ubytkowego wytwarzanych części ze stopów magnezu [3, 4, 6]. Obróbka stopów magnezu realizowana jest m.in. poprzez procesy skrawania z dużymi prędkościami (HSC), z dużą wydajnością (HPC) z użyciem cieczy chłodząco-smarującej (CCS). Jako materiały narzędziowe do ich obróbki są wykorzystywane, niemal wyłącznie, powlekane drobnoziarniste węgliki spiekane i polikrysta-

¹prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak (andrzej.golabczak@p.lodz.pl)

²dr inż. Marcin Gołąbczak (marcin.golabczak@p.lodz.pl)

³mgr inż. Andrzej Konstantynowicz (andrzej.konst@gmail.com)

⁴dr inż. Robert Świącik (robert.swiecik@p.lodz.pl)

liczny diament (PKD) [2, 5]. Prowadzone są także prace badawcze, zmierzające do opracowania nowych sposobów kształtowania stopów magnezu poprzez zastosowanie nowych metod i narzędzi obróbkowych w celu zapewnienia odpowiedniej odporności na zużywanie i korozję oraz poprawę jakości warstwy wierzchniej. Istotne znaczenie w tym zakresie odgrywają procesy wytwarzania powłok na stopach magnezu oraz procesy obróbki wykończeniowej, realizowane obróbką ścierną i erozyjną [2, 7+9, 13, 15].

Celem pracy jest ocena wpływu warunków obróbki w procesie wycinania elektroerozyjnego (WEDM) i szlifowania elektroerozyjnego (AEDG) na kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni (SGP) próbek ze stopu magnezu AZ31. Wycinanie elektroerozyjne WEDM jest odmianą obróbki ubytkowej, umożliwiającą kształtowanie skomplikowanych części, trudnych lub niemożliwych do wykonania innymi metodami, np. obróbką skrawaniem. W zależności od wymaganej chropowatości powierzchni i dokładności kształtowo-wymiarowej proces WEDM przebiega w kilku przejściach, począwszy od obróbki zgrubnej po wykończenie i wyładanie [11, 12].

W procesie szlifowania elektroerozyjnego (AEDG) mechanizm usuwania nadmiaru obróbkowego jest wynikiem synergii iskrowych wyładowań elektrycznych zachodzących pomiędzy ściernicą a powierzchnią obrabianego przedmiotu oraz skrawania ziarnami ściernymi czynnej powierzchni ściernicy (CPS). Występująca w tym procesie synergia energii mechanicznej i wyładowań iskrowych istotnie wpływa na efektywność i wydajność szlifowania trudno obrabialnych materiałów konstrukcyjnych [10, 13+15].

Próby wycinania elektroerozyjnego prostopadłościennych próbek ze stopu magnezu realizowano przy użyciu elektrody z drutu mosiężnego, natomiast próby szlifowania elektroerozyjnego powierzchni tych próbek realizowano ściernicą supertwardą ze ścierniwem z regularnego azotku boru (cBN), spojonego spoiwem metalowym.

Metodyka i warunki badań

Badania doświadczalne polegały na ocenie morfologii powierzchni i wybranych parametrów SGP stopu magnezu AZ31 (Cu-0,05%, Mn-0,2%, Zn-1,3%, Al-3%, Mg-reszta) w procesie elektroerozyjnego wycinania drutowego (etap I) oraz szlifowania elektroerozyjnego (etap II). Proces elektroerozyjnego wycinania realizowano na wycinarce drutowej MITSUBISHI FA 20S. Proces szlifowania elektroerozyjnego AEDG realizowano na stanowisku badawczym, wyposażonym w szlifierkę do płaszczyzn typu ECBT8, generator impulsów wyładowań iskrowych typu GMP75, układy kontrolno-pomiarowe parametrów szlifowania oraz komputerowy system rejestracji wyników badań [10, 14]. Zakres badań pierwszego etapu obejmował próby wycinania elektroerozyjnego płaskich próbek ze stopu magnezu AZ31 o wymiarach 40x20x5 mm, z zastosowaniem elektrody drutowej z mosiądzu o średnicy 0,25 mm, w obecności dielektryka, jakim była woda demineralizowana. Zmiennymi wielkościami wejściowymi procesu były: robocze napięcie generatora - U [V], natężenie prądu roboczego - I [A] oraz prędkość przewijania drutu - V_d [mm/min]. Próby wycinania elektroerozyjnego próbek ze stopu magnezu przeprowadzono w dwóch wariantach obróbki, stosując poniższe parametry:

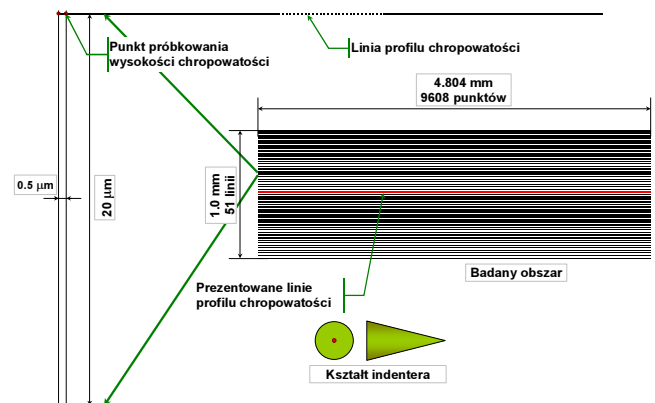
- obróbka zgrubna: $U=10$ V, $I=5$ A, $V_d=16$ mm/min,
- obróbka wykończeniowa: $U=7$ V, $I=2$ A, $V_d=8$ mm/min.

Pozostałe parametry obróbki w tych wariantach były stałe, a ich wartości wynosiły: czas impulsu - $t_o=1$ μ s, ciśnienie dielektryka - $P=1$ MPa.

Badania drugiego etapu obejmowały trzy próby wglębnego szlifowania elektroerozyjnego płaskich próbek ze stopu magnezu AZ31, oznaczonych kodowo P_1 , P_2 , P_3 , które realizowano ściernicą z regularnego azotku boru ze spoiwem metalowym (cBN 125/100 M75). Próby szlifowania AEDG realizowano w obecności dielektryka, jakim była woda destylowana. W realizowanych badaniach procesu AEDG zmiennymi wielkościami wejściowymi były warunki elektryczne generatora impulsów prądowych, tj.: napięcie robocze - U [V] i natężenie prądu roboczego - I [A]. Wartości tych zmiennych wejściowych w poszczególnych próbach szlifowania wynosiły:

- próba P_1 : $U=100$ V, $I=8$ A,
- próba P_2 : $U=150$ V, $I=12$ A,
- próba P_3 : $U=200$ V, $I=25$ A.

Pozostałe parametry elektryczne generatora oraz technologiczne procesu AEDG przyjęto jako stałe, ustalając je na podstawie wcześniejszych badań autorów [10, 14, 15]. Wartości tych parametrów wynosiły odpowiednio: czas trwania impulsu - $t_o=32$ μ s, czas przerw - $t_p=63$ μ s, prędkość szlifowania - $v_s=30$ m/s, dosuw ściernicy - $a=20$ μ m, prędkość posuwu wzdłużnego przedmiotu - $v_f=0,5$ m/min. Do określenia analizowanych parametrów struktury geometrycznej powierzchni obrabianych próbek ze stopu magnezu posłużono się metodą przestrzennego profilografowania 3D, za pomocą profilografu PGM IOS Kraków. Profilografowanie powierzchni obrabianych próbek ze stopu magnezu wykonano na losowo wybranych obszarach, których wymiany i wzajemne proporcje przestrzenne przedstawiono na rysunku 1. Zestawienie analizowanych parametrów i zależności funkcyjnych zastosowanych do oceny SGP po obróbce WEDM i AEDG przedstawiono w tabelicy 1.



Rys. 1. Wymiary profilografowanego obszaru próbki ze stopu magnezu

TABLICA 1. Zestawienie parametrów statystycznych wyliczanych dla wszystkich analizowanych profili SGP

R_v	Najniższa dolina chropowatości na profilu [μ m]	$R_v = \min(h_i)$
R_p	Najwyższy szczyt chropowatości na profilu [μ m]	$R_p = \max(h_i)$
R_t	Zakres zmienności chropowatości [μ m]	$R_t = R_p - R_v$
R_a	Średnia wartość modułu chropowatości [μ m]	$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i $
R_q	Wartość skuteczna chropowatości (RMS) [μ m]	$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i^2}$

R_{skew}	Skośność rozkładu prawdopodobieństwa chropowatości (danego histogramem) [μm]	$R_{skew} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i^3$
R_{kurt}	Kurtoza (spłaszczenie) rozkładu prawdopodobieństwa chropowatości (danego histogramu) [μm]	$R_{kurt} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i^4$

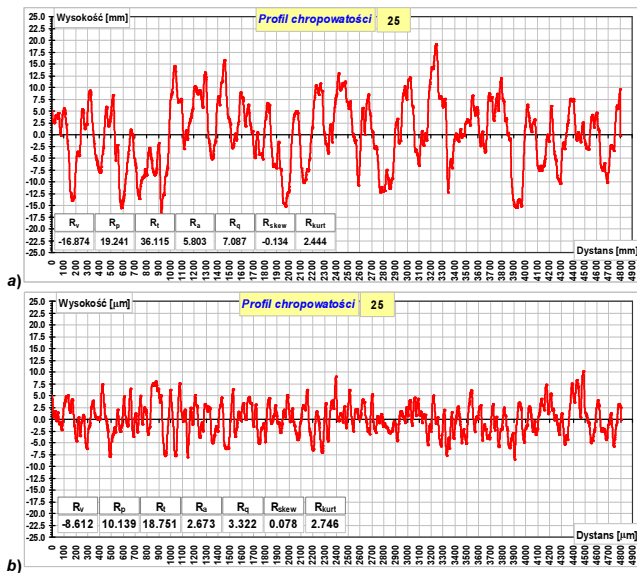
gdzie: h_i - znormalizowana wysokość chropowatości [μm]

Do analizy profilogramów SGP przyjęto następujące parametry charakteryzujące dane pomiarowe [3, 9]:

- krok próbkowania wzdłuż linii profilu: 0.5 μm ,
- liczba próbek pobieranych wzdłuż linii profilu: 9608,
- całkowita długość linii profilu: 4.804 mm,
- odległość pomiędzy liniami profilów: 20 μm ,
- liczba linii profilów w zestawie pomiarowym: 51.

Ocena SGP próbek ze stopu magnezu po elektroerozyjnym wycinaniu WEDM

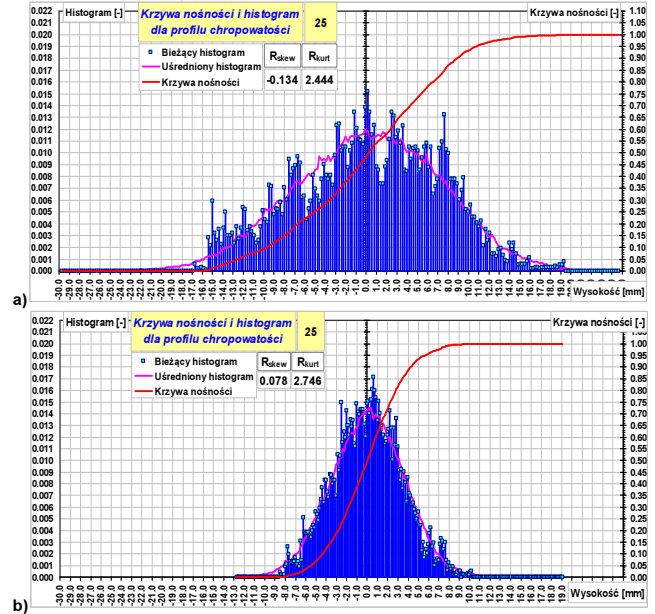
Wyniki badań dotyczące oceny wpływu warunków obróbki WEDM na kształtowanie SGP stopu magnezu przedstawiono na rysunkach 2-6. Ich analiza potwierdza istotne różnice ilościowe i jakościowe w ukształtowaniu morfologii i struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu w realizowanych procesach obróbki WEDM.



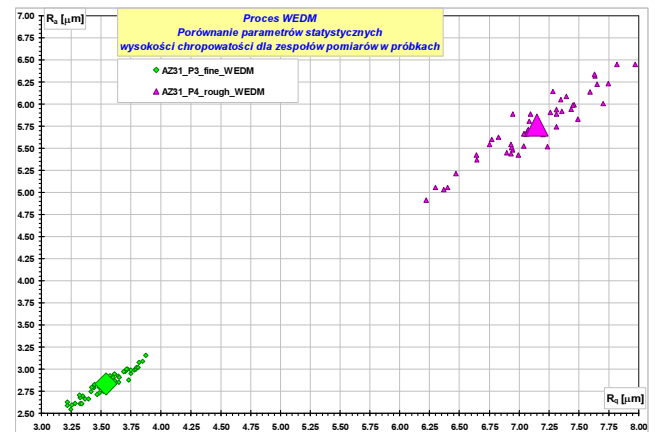
Rys. 2. Przykładowe profile chropowatości powierzchni ze środka zestawu pomiarowego próbki po obróbce WEDM; a) obróbka zgrubna: $U=10\text{ V}$, $I=5\text{ A}$, $V_d=16\text{ mm/min}$, b) obróbka wykończeniowa: $U=7\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, $V_d=8\text{ mm/min}$

Porównanie profilogramów oraz wartości stereometrycznych parametrów SGP (rys. 2) wskazuje na istotne zmniejszenie chropowatości powierzchni w procesie obróbki wykończeniowej WEDM, w porównaniu do uzyskiwanej w obróbce zgrubnej. Po obróbce wykończeniowej WEDM utrzymano bowiem istotne zmniejszenie wartości następujących parametrów, w porównaniu do uzyskiwanych po obróbce zgrubnej: R_a o około 54%, R_q o około 52%, R_t o około 48%, R_v o około 50%, R_p o około % oraz zwiększenie parametru R_{kurt} o około 10%. Korzystne zmiany chropowatości powierzchni odzwierciedlają również histogramy rozkładu wysokości chropowatości oraz krzywa udziału materiałowego (rys. 3). Histogramy po obróbce zgrubnej charakteryzują się bowiem dużym rozproszeniem wysokości chropowatości oraz degresywnym przebiegiem krzywej udziału materiałowego. Po obróbce wykończeniowej natomiast histogramy wysokości chropowatości mają duży stopień skupienia

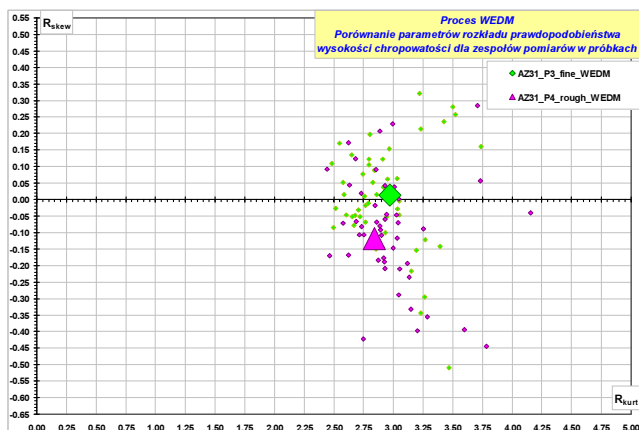
w znacznie mniejszym przedziale zmienności, posiadają bardzo małą asymetrię skośności ($R_{skew}=0,078$), a krzywa udziału materiałowego ma charakter progresywny. Należy więc oczekiwać poprawy nośności powierzchni po obróbce wykończeniowej.



Rys. 3. Przykładowe histogramy rozkładu wysokości chropowatości oraz krzywa udziału materiałowego po obróbce WEDM; a) obróbka zgrubna: $U=10\text{ V}$, $I=5\text{ A}$, $V_d=16\text{ mm/min}$, b) obróbka wykończeniowa: $U=7\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, $V_d=8\text{ mm/min}$



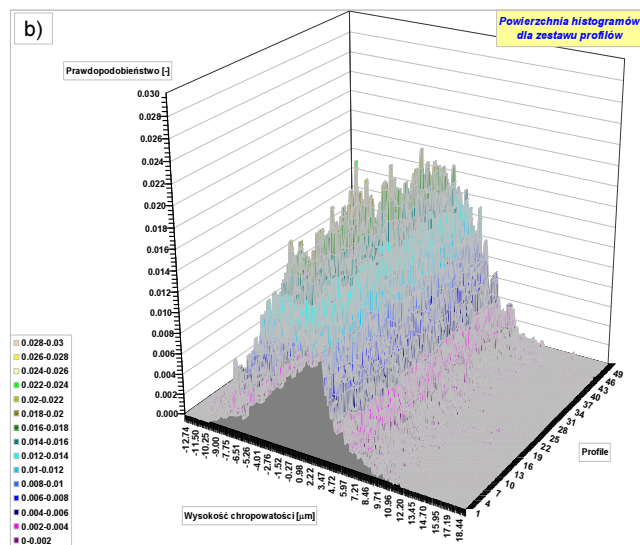
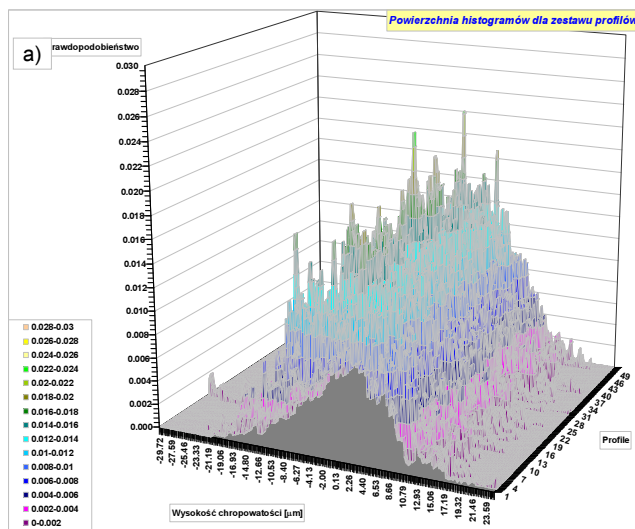
Rys. 4. Porównanie zależności parametrów R_a i R_q po obróbce WEDM oraz wyznaczonych centroid (geometrycznych środków obszaru pomiarów): AZ31 P4 – obróbka zgrubna WEDM ($U=10\text{ V}$, $I=5\text{ A}$, $V_d=16\text{ mm/min}$), AZ31 P3 – obróbka wykończeniowa WEDM ($U=7\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, $V_d=8\text{ mm/min}$)



Rys. 5. Porównanie zależności parametrów R_{kurt} i R_{skew} po obróbce WEDM oraz wyznaczonych centroid (geometrycznych środków obszaru pomiarów): AZ31 P4 – obróbka zgrubna WEDM ($U=10$ V, $I=5$ A, $V_d=16$ mm/min), AZ31 P3 – obróbka wykończeniowa WEDM ($U=7$ V, $I=2$ A, $V_d=8$ mm/min)

Na kolejnych wykresach przedstawiono porównanie zależności funkcyjnych parametrów R_a i R_q (rys. 4) oraz parametrów R_{kurt} i R_{skew} (rys. 5) dla pełnego obszaru profilografowania, tj. 51 profili (rys. 1). Dostarczają one istotnych informacji zarówno o rozproszeniu wyników w poszczególnych liniach profilografowania, jak również, o położeniu ich centroid (geometrycznych środków obszaru pomiarów).

Porównanie zależności funkcyjnych R_a i R_q na wykresie (rys. 4) wskazuje, że po obróbce zgrubnej WEDM zarówno wartości tych parametrów dla pojedynczych profilogramów jak i ich centroida są znacząco duże, w porównaniu do otrzymanych obróbki wykończeniowej. Ponadto wartości tych parametrów są rozproszone w szerokim przedziale zmienności. Po obróbce wykończeniowej WEDM uzyskano bowiem znacznie mniejsze wartości tych parametrów dla pojedynczych profilogramów i mniejszą wartość centroidy oraz znacznie węższy przedział rozproszenia tych parametrów. Dokonano również porównania rozkładu prawdopodobieństwa parametrów R_{kurt} i R_{skew} (rys. 5). Po obróbce zgrubnej WEDM stwierdzono znaczne rozproszenie tych parametrów dla poszczególnych linii profilografowania oraz przesunięcie centroidy w strefie ujemnych wartości.



Rys. 6. Porównanie „powierzchni histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po obróbce WEDM; a) obróbka zgrubna: $U=10$ V, $I=5$ A, $V_d=16$ mm/min, b) obróbka wykończeniowa: $U=7$ V, $I=2$ A, $V_d=8$ mm/min

Po obróbce wykończeniowej WEDM uzyskano natomiast mniejsze rozproszenie tych parametrów oraz przesunięcie centroidy w strefę wartości zerowych. Świadczy to m.in. o równomiernym rozkładzie chropowatości zbliżonym do rozkładu normalnego.

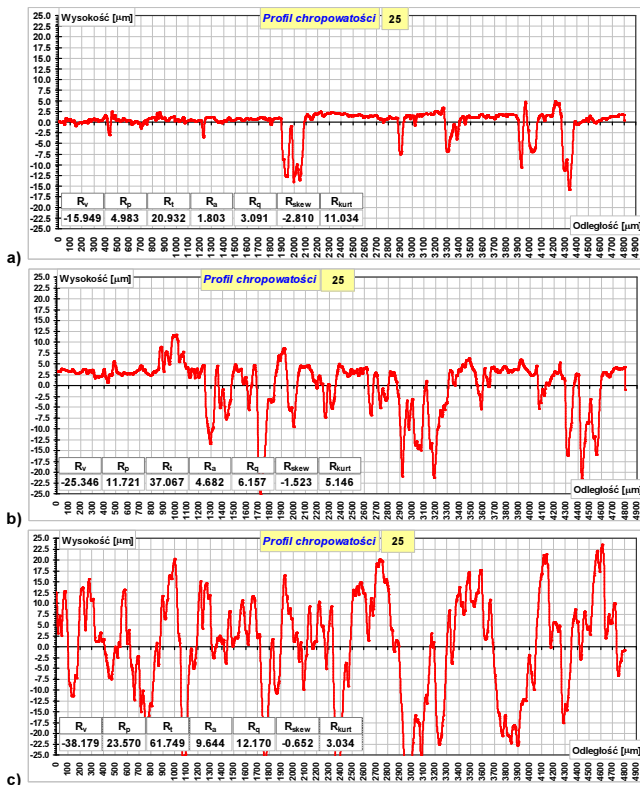
Podjęto próbę oceny jednorodności obróbki WEDM w przekroju poprzecznym próbki. W tym celu opracowano „histogramy powierzchni” uzyskane dla poszczególnych linii profilografowania (rys. 1). Porównanie „histogramów powierzchni” na rysunku 6 ujawnia, że po obróbce wykończeniowej WEDM występuje znacznie mniejsze rozproszenie wysokości chropowatości oraz węższe przedziały ich zmienności niż po obróbce zgrubnej. Potwierdza to, że obróbka wykończeniowa WEDM zapewnia większą jednorodność profilu w przekroju poprzecznym.

Ocena SGP próbek ze stopu magnezu po szlifowaniu elektroerozyjnym AEDG

Przykładowe wyniki badań dotyczące wpływu parametrów elektrycznych generatora w procesie szlifowania elektroerozyjnego AEDG na kształtowanie SGP przedstawiono

na rysunkach 7÷11. Ich analiza umożliwiła wykazanie różnic ilościowych i jakościowych w ukształtowaniu morfologii i struktury geometrycznej powierzchni próbek ze stopu magnezu w procesie szlifowania AEDG.

Porównanie profilogramów oraz wartości ich stereometrycznych parametrów chropowatości (rys. 7) ujawnia istotne różnice w ukształtowaniu struktury geometrycznej powierzchni próbek w poszczególnych próbach szlifowania AEDG. Wykazano, że najkorzystniejsze parametry chropowatości powierzchni próbek uzyskuje się po szlifowaniu AEDG z małymi nastawami napięcia i natężenia generatora (próba 1, P_1 : $U=100$ V, $I=8$ A).



Rys. 7. Przykładowe profile chropowatości powierzchni ze środka zestawu pomiarowego próbki po szlifowaniu AEDG; a) próba P_1 : $U=100$ V, $I=8$ A, b) próba P_2 : $U=150$ V, $I=12$ A, c) próba P_3 : $U=200$ V, $I=25$ A

Wyniki badań potwierdziły, że wraz ze wzrostem napięcia i natężenia prądu w procesie szlifowania AEDG (próba P_2 : $U=150$ V, $I=12$ A i próba P_3 : $U=200$ V, $I=25$ A), a więc wzrostu energii wyładowań iskrowych, następuje istotne pogorszenie parametrów chropowatości powierzchni. Te niekorzystne zmiany parametrów chropowatości powierzchni są następstwem większego udziału procesu elektroerozyjnego w procesie AEDG, wskutek zwiększania energii wyładowań iskrowych [15]. W celu eliminacji tych niekorzystnych zmian oraz poprawy chropowatości powierzchni, należy w końcowym etapie procesu szlifowania AEDG odłączyć generator i kontynuować szlifowanie wyskrzypujące w sposób konwencjonalny [9, 14].

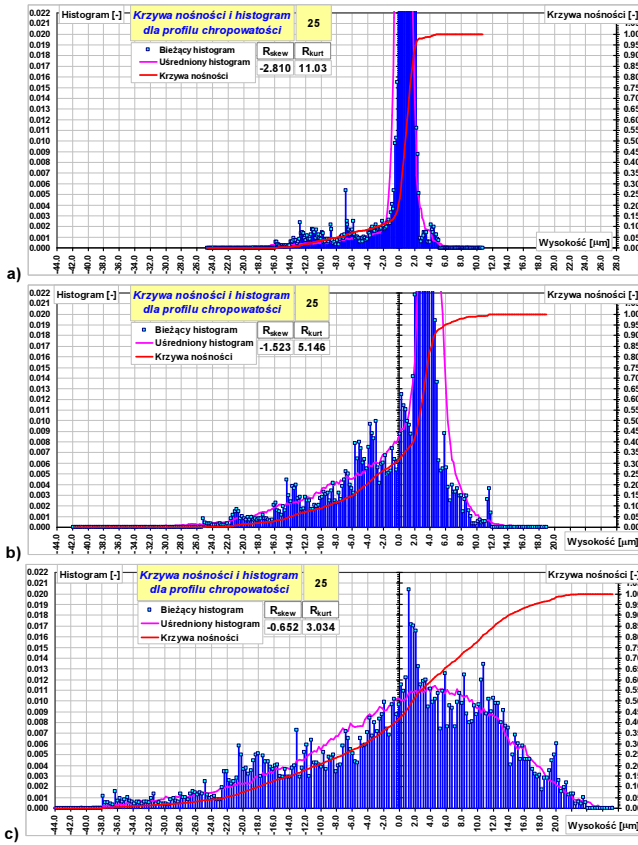
Zmiany w ukształtowaniu struktury geometrycznej powierzchni w procesie AEDG, spowodowane wzrostem parametrów elektrycznych generatora, odzwierciedlają histogramy rozkładu wysokości chropowatości oraz krzywa udziału materiałowego przedstawione na rysunku 8. Histogramy rozkładu wysokości chropowatości charakteryzują się asymetrią i ujemną skośnością rozkładu wierzchołków wzniesień. Wraz ze wzrostem parametrów elektrycznych procesu AEDG zwiększa się rozproszenie wysokości chro-

powatości i parametry skośności rozkładu prawdopodobieństwa chropowatości (R_{skew}) oraz zmniejsza się kurtozą (spłaszczenia) rozkładu prawdopodobieństwa chropowatości (R_{kurt}). Zmienia się również charakter krzywej udziału materiałowego, która dla małych wartości parametrów elektrycznych procesu AEDG ma przebieg silnie progresywny (rys. 8a), natomiast dla dużych wartości tych parametrów przebieg degresywny (rys. 8c). Należy więc oczekiwać pogorszenia nośności powierzchni po tym procesie obróbki.

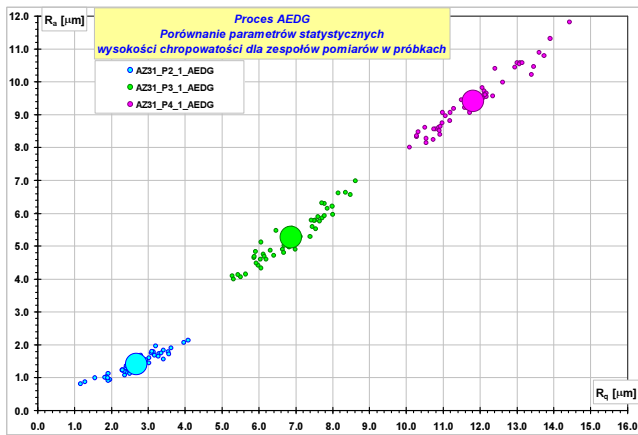
Dokonano porównania zależności funkcyjnych parametrów R_a i R_q oraz parametrów R_{kurt} i R_{skew} dla pełnego obszaru profilografowania, tj. 51 profili (rys. 1). Na wykresie (rys. 9) uszeregowano zmiany parametrów R_a i R_q w poszczególnych próbach szlifowania AEDG stopu magnezu. Porównanie tych zależności wskazuje, że najmniejsze wartości parametrów R_a i R_q uzyskano w warunkach szlifowania AEDG z małymi parametrami elektrycznymi generatora (próbka AZ31 P2 – obróbka P_1 : $U=100$ V, $I=8$ A). W tych warunkach szlifowania uzyskano również najmniejsze rozproszenie wyników względem centroidy. Wraz ze wzrostem parametrów elektrycznych generatora rosną zarówno wartości parametrów R_a i R_q jak i przedziały rozproszenia tych parametrów względem centroidy.

Zależności funkcyjne parametrów R_{kurt} i R_{skew} przedstawiono na wykresie (rys. 10). Porównanie tych zależności wskazuje na podobne uszeregowanie i charakter zmian tych parametrów jak w przypadku omawianych zależności funkcyjnych R_a i R_q . Uzyskano bowiem najmniejsze wartości parametrów R_{kurt} i R_{skew} oraz ich rozproszenie względem centroidy w warunkach szlifowania AEDG z małymi parametrami elektrycznymi generatora (próbka AZ31 P2 – obróbka P_1 : $U=100$ V, $I=8$ A). Zwiększenie parametrów elektrycznych generatora powoduje również wzrost parametrów R_a i R_q oraz przedziałów ich rozproszenia względem centroidy.

Dokonano oceny wpływu warunków szlifowania AEDG na jednorodność obróbki w przekroju poprzecznym szlifowanych próbek, na podstawie opracowanych „histogramów powierzchni” (rys. 11). Analiza tych histogramów wskazuje na istotny wpływ parametrów elektrycznych generatora w procesie AEDG na kształt histogramów oraz rozkład wysokości chropowatości w przekroju poprzecznym profilu. W procesie szlifowania AEDG z małymi wartościami parametrów elektrycznych generatora na histogramie (rys. 11a) ujawniają się bowiem dominujące wysokości chropowatości (rys. 11a), które są następstwem zapoczątkowanego procesu elektroerozyjnego ukształtowania na gładkiej powierzchni szlifowanej (rys. 7a) stromych, niewielkich kraterów. Równomierne rozmieszczenie dominujących wysokości

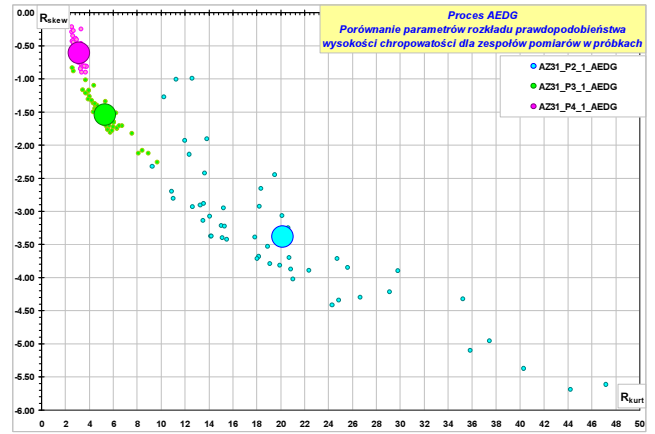


Rys. 8. Przykładowe histogramy rozkładu wysokości chropowatości oraz krzywa udziału materiałowego po szlifowaniu AEDG; a) próba P₁: U=100 V, I=8 A, b) próba P₂: U=150 V, I=12 A, c) próba P₃: U=200 V, I=25 A

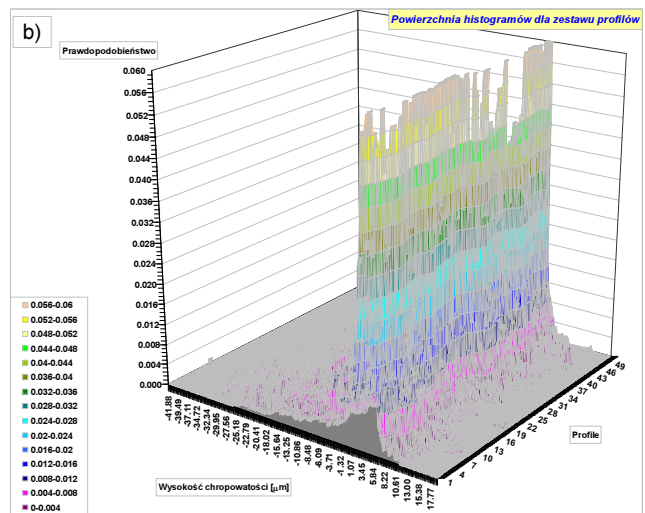
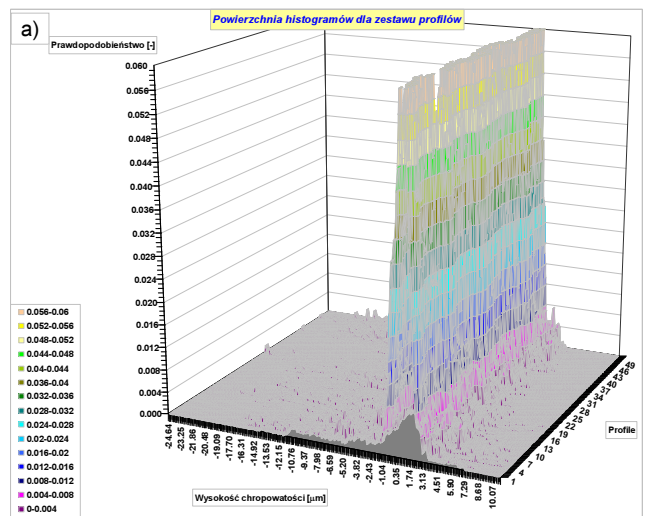


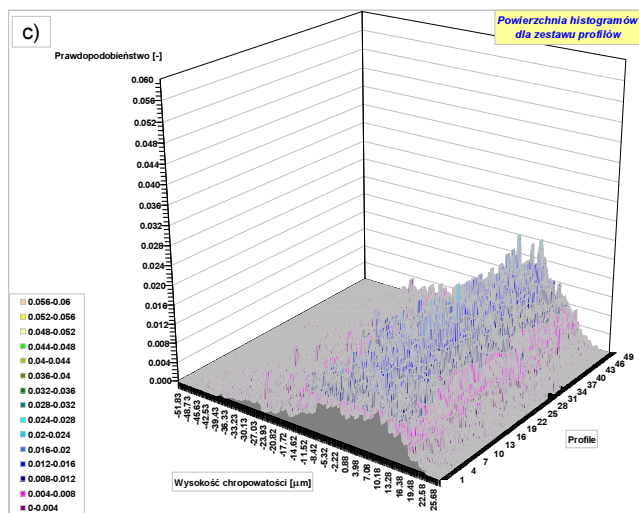
Rys. 9. Porównanie zależności parametrów R_a i R_q po szlifowaniu AEDG oraz wyznaczonych centroid (geometrycznych środków obszaru pomiarów); próbka AZ31 P2 (obróbka P₁: U=100 V, I=8 A), AZ31 P3 (obróbka P₁: U=150 V, I=12 A), próbka AZ31 P4 (obróbka P₁: U=200 V, I=25 A)

chropowatości w przekroju poprzecznym próbki świadczy o jednorodności obróbki w tym procesie. Wraz ze zwiększaniem parametrów elektrycznych w procesie AEDG (rys.11b) na powierzchni próbki erodowane są głębsze krater, które mogą łączyć się ze sobą. W związku z tym na histogramie ujawnia się nieregularność rozmieszczenia wysokości chropowatości w przekroju poprzecznym profilu. Dalsze zwiększanie parametrów elektrycznych w procesie AEDG (rys. 11c) zwiększa intensywność powstawania kraterów, które zmieniają charakter morfologiczny obrabianej powierzchni.



Rys. 10. Porównanie zależności parametrów R_{kurt} i R_{skew} po szlifowaniu AEDG oraz wyznaczonych centroid (geometrycznych środków obszaru pomiarów); próbka AZ31 P2 (obróbka P₁: U=100 V, I=8 A), AZ31 P3 (obróbka P₁: U=150 V, I=12 A), próbka AZ31 P4 (obróbka P₁: U=200 V, I=25 A)





Rys. 11. Porównanie „powierzchni histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po szlifowaniu AEDG; a) próba P₁: U=100 V, I=8 A, b) próba P₂: U=150 V, I=12 A, c) próba P₃: U=200 V, I=25 A

Podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwiły sprawdzenie przydatności obróbki elektroerozyjnej WEDM i szlifowania elektroerozyjnego AEDM do kształtowania struktury geometrycznej powierzchni stopów magnezu. Dokonano wielostronnej oceny struktury geometrycznej i morfologii powierzchni stopów magnezu ukształtowanych w tych procesach na podstawie zbioru paramentów funkcyjnych. Wyniki badań potwierdziły bardzo istotny wpływ parametrów elektrycznych procesu WEDM i AEDG na kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni stopów magnezu w tych procesach.

LITERATURA

1. OCZOŚ K.E., Efektywne wytwarzanie stopów magnezu. *Mechanik*, 72(2000)7, 467÷474.
2. OCZOŚ K.E., Rozszerzanie granic stosowalności stopów magnezu. *Mechanik*, 81(2009)5-6, 387÷400.
3. OCZOŚ K.E., KAWALEC A., Kształtowanie metali lekkich. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
4. MORDIKE B.L., EBERT T., Magnesium properties - Application - Potential. *Materials Science and Engineering* 302(2001), 37÷45.
5. OCZOŚ K.E., LIUBIMOV V., Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.
6. JADRZYK P., Obróbka stopów magnezu narzędziami firmy MAPAL. *Mechanik*, 80(2008)3, 186÷187.
7. GOŁABCZAK M., Polerowanie stopów magnezu. Współczesne Problemy Obróbki Ściernej, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, 517÷526.
8. GOŁABCZAK M., Estimation of carbon coatings manufactured on magnesium alloys. Special Issues on Magnesium Alloys, InTech, Croatia 2011, 41÷66.
9. GOŁABCZAK A., KONSTANTYNOWICZ A., GOŁABCZAK M., Modelowanie mikrogeometrii powierzchni polerowanej stopu magnezu. *Mechanik*, 87(2014)8-9, 79÷90.
10. GOŁABCZAK A., ŚWIĘCIK R., GOŁABCZAK M., STAŃCZYK B., Badania porównawcze temperatury warstwy wierzchniej w procesie elektroerozyjnego szlifowania (AEDG) materiałów trudnoobrabialnych. *Mechanik*, 87(2014)8-9, 255÷258.
11. DĄBROWSKI L., ONISZCZUK D., ZAWORA J., MARCZAK M., Wpływ parametrów hydromechanicznych w procesie wycinania

elektroerozyjnego na efekty obróbki. *Inżynieria Maszyn*, 16(2011)3, 104÷111.

12. ŚLUSARCZYK Ł., Skuteczność procesu WEDM i dokładność kształtu przedmiotów wykonanych ze stali trudnoobrabialnej. *Inżynieria Maszyn*, 18(2014)4, 86÷96.
13. MODI M., AGRAWAL G., Design, development and experimental investigation of electro-discharge diamond surface grinding of Ti6Al4V. *Advanced Material Research*, 418-420(2012), 1478÷1481.
14. ŚWIĘCIK R., Experimental investigation of abrasive electrodischarge grinding of Ti6Al4V titanium alloy. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 37(2009)2, 706÷711.
15. GOŁABCZAK A., ŚWIĘCIK R., Assessment of energy consumption and internal stresses in surface layer in the abrasive electrodischarge grinding (AEDG) process. *Defect and Diffusion Forum*, 334-335(2013), 89÷96.