

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Ocena morfologii i struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu po obróbce ścierniej

Estimation of magnesium alloy morphology and surface geometrical structure after abrasive machining

ANDRZEJ GOŁĄBCZAK
 MARCIN GOŁĄBCZAK
 ANDRZEJ KONSTANTYNOWICZ
 ROBERT ŚWIĘCIK *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.352

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu warunków szlifowania i polerowania na kształtowanie morfologii i struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu AZ31. Zakres prezentowanych badań obejmował próby konwencjonalnego szlifowania próbek ze stopu magnezu ściernicą supertwardą CBN oraz ich polerowania krążkami ściernymi i zawiesziną ścierną.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie konwencjonalne, stopy magnezu, morfologia powierzchni, struktura geometryczna powierzchni, histogramy pomiarowe

In the article the results concerning influence of processing conditions of grinding and polishing on shaping of AZ31 magnesium alloy surface texture have been presented. The range of presented investigation results included conventional grinding of circular samples made of AZ31 magnesium alloy and their polishing using different abrasive materials.

KEYWORDS: conventional grinding, magnesium alloys, surface morphology, surface texture, roughness histogram

Stopy magnezu są atrakcyjnymi materiałami konstrukcyjnymi ze względu na swoją niską gęstość (ok. $1,8 \text{ g/cm}^3$), wysoką wytrzymałość właściwą ($R_m =$ około 250 MPa) oraz sztywność, zdolność do tłumienia drgań, świetną izolację fal elektromagnetycznych, mały współczynnik tarcia i możliwość pełnego recyklingu. Stopy magnezu znajdują liczne zastosowania w przemyśle: motoryzacyjnym, maszynowym, lotniczym, kosmicznym, elektronicznym oraz produkcji sprzętu sportowego [1,2,4]. Odznaczają się one 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. Obróbka skrawaniem stopów magnezu realizowana jest m.in. poprzez procesy skrawania z dużymi prędkościami (HSC), z wysoką wydajnością (HPC), z użyciem cieczy chłodząco-smarującej (CCS). Jako materiały narzędziowe są wykorzystywane, niemal wyłącznie, powlekanne drobnoziarniste węgliki spiekane i polikrystaliczny diament (PKD) [2,5]. Spełnienie wysokich wymagań w zakresie dokładności kształtowo-wymiarowych i jakości warstwy wierzchniej obrabianych części wymaga zastosowania procesów obróbki ścierniej, w tym szlifowania i polerowania.

Celem pracy jest ocena wpływu warunków szlifowania i polerowania na kształtowanie morfologii i struktury geometrycznej powierzchni próbek ze stopu magnezu AZ31. Zakres badań obejmował wstępne szlifowanie próbek ze stopu magnezu na szlifierce do płaszczyzn ściernicą supertwardą ze spoiwem metalowym oraz dwa złożone etapy polerowania próbek na szlifierko-polerce. Procesy te realizowano przy użyciu tarcz polerskich z papierów ściernych z SiC, oraz tarcz polerskich ze sukna ściernego zbrojonego proszkiem diamentowym SD o wymiarze ziaren 9 i $3 \mu\text{m}$ [6,7].

Metodyka i warunki badań

Badania doświadczalne dotyczyły oceny morfologii powierzchni i wybranych parametrów SGP stopu magnezu AZ31 (Cu-0,05%, Mn-0,2%, Zn-1,3%, Al-3%, Mg-reszta) w procesie szlifowania konwencjonalnego - etap I, polerowania wstępnego na krążkach ściernych z SiC - etap II oraz polerowania wykończającego na suknach ściernych - etap III. Warunki realizacji tych procesów przedstawiono w tabeli 1. Do badań wykonano próbki o średnicy 20 mm i grubości 2 mm ze stopu magnezu AZ31, pozyskanego z firmy **TECH-NO-COAT Oberflächentechnik GmbH**, Zittau, Niemcy.

*prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak (andrzej.golabczak@p.lodz.pl)
 dr inż. Marcin Gołąbczak (marcin.golabczak@p.lodz.pl)
 mgr inż. Andrzej Konstantynowicz (andrzej.konst@gmail.com)
 dr inż. Robert Święcik (robert.swiecik@p.lodz.pl)

Tabela 1. Procedury i warunki szlifowania i polerowania próbek ze stopu magnezu AZ31

Warunki szlifowania						
Etap procesu obróbki	Rodzaj ściernicy	Wymiar ziarna ściernego [μm]	Ciecz chłodząca	Posuw wzdłużny stołu [m/min]	Dosuw [mm]	Prędkość szlifowania [m/s]
Etap I Szlifowanie	125 CBN 75M	125	Woda destylowana	0.5	0.020	30.0
Warunki polerowania						
Etap procesu obróbki	Rodzaj tarczy polerskiej	Wymiar ziarna ściernego [μm]	Nośnik ścierniwa	Czas trwania procesu [min]	Docisk tarczy [N/cm^2]	Prędkość polerowania [m/s]
Etap II Polerowanie wstępne	Papier ścierny SiC	26	Wosk mineralny	Do osiągnięcia płaskiej powierzchni	10.0	6.0
	Buehler-Met® II P600					
	Papier ścierny SiC	15	Wosk mineralny	1.0	5.0	3.0
	Buehler-Met® II P1200					
Etap III Polerowanie wykańczające	Sukno ścierne	9	Zawiesina diamentowa Buehler Metadi®	2.0	2.5	2.0
	Buehler Verdu Tex®		Olej syntetyczny Buehler Automet® Lapping Oil			
	Sukno ścierne	3	Zawiesina diamentowa Buehler Metadi®	1.0	1.5	1.0
	Buehler Verdu Tex®		Olej syntetyczny Buehler Automet® Lapping Oil			

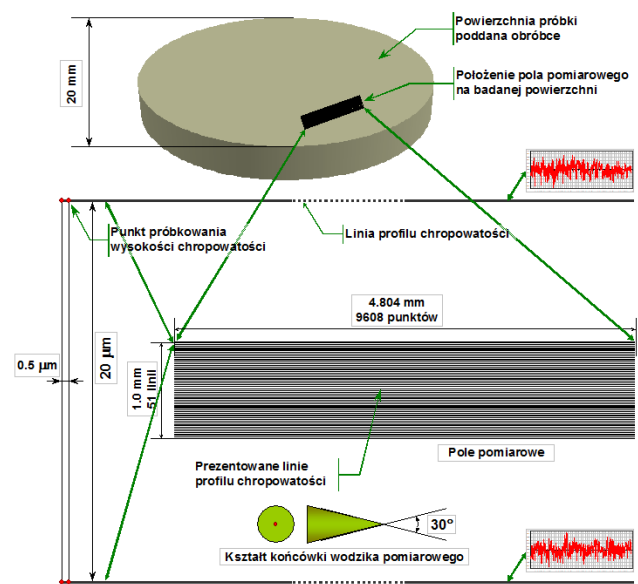
Proces szlifowania konwencjonalnego realizowano na szlifierce do płaszczyzn typu ECBT z zastosowaniem ściernicy z regularnego azotku boru ze spoiwem metalowym (CBN 125/100 M75). Badania drugiego i trzeciego etapu realizowano na szlifierko-polerce firmy Buehler z zastosowaniem tarcz polerskich z węgla krzemu (SiC) P600 i P1200 oraz sukien ściernych zbrojonych zawiesziną proszków diamentowych o wielkości ziaren 9 i 3 μm . Do oceny morfologii powierzchni próbek ze stopu magnezu po każdym etapie obróbki zastosowano mikroskop fluorescencyjny o odwróconej optyce Olympus GX71, wyposażony w kamerę cyfrową DP 73. Akwizycja obrazu była realizowana przy pomocy oprogramowania Stream. Do określenia analizowanych parametrów struktury geometrycznej powierzchni obrabianych próbek zastosowano metodę przestrzennego profilografowania 3D, za pomocą profilografu TOPO 01 produkcji IOS Kraków. Analizowano następujące parametry struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu: R_v - najniższa dolina chropowatości, R_p - najwyższa dolina chropowatości, R_t - zakres zmienności chropowatości, R_a - średnia wartość modułu chropowatości, R_q - wartość skuteczna chropowatości RMS, R_{skew} - skośność rozkładu prawdopodobieństwa chropowatości oraz R_{kurt} - kurtoza - spłaszczenie rozkładu prawdopodobieństwa chropowatości [3,8]. Dodatkowo, przestrzegano podczas pomiarów zestawu profilów chropowatości, pewnego i stabilnego zamocowania badanych próbek, aby uniknąć fałszywych wyników związanych z oceną kształtu powierzchni.

Celem przeprowadzonych badań była kompleksowa ocena morfologii, planarności i parametrów statystycznych chropowatości oraz ich jednorodności dla powierzchni po każdym etapie obróbki.

Do analizy profilografów SGP przyjęto następujące parametry charakteryzujące dane pomiarowe [3,8,9]:

- 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.

Profilografowanie powierzchni obrabianych próbek ze stopu magnezu wykonano na losowo wybranych obszarach, których wymiary i wzajemne proporcje przestrzenne przedstawiono na rysunku 1.

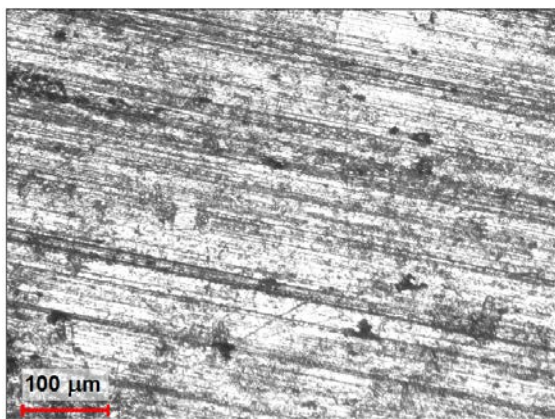


Rys. 1. Kształt i wymiary próbki ze stopu magnezu AZ31 oraz układ i parametry profilografowanego obszaru SGP

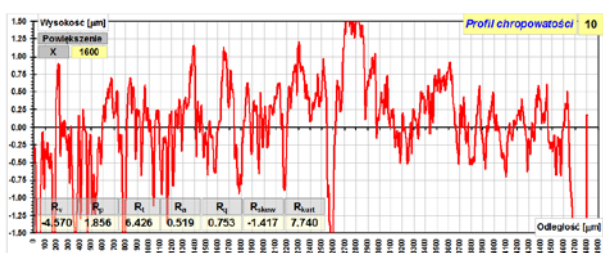
Ocena morfologii i SGP próbek ze stopu magnezu AZ31 po I etapie obróbki (szlifowanie ściernicą CBN)

Proces konwencjonalnego szlifowania próbek ze stopu magnezu (etap I) realizowano w warunkach szlifowania określonych w tabeli 1.

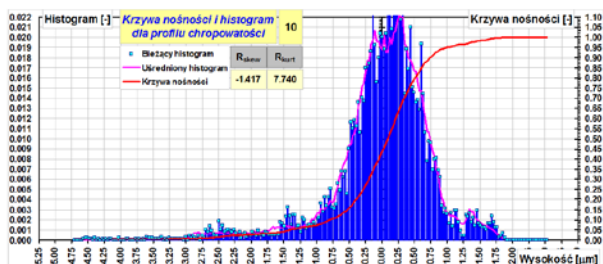
Wyniki badań dotyczące oceny wpływu warunków obróbki ścierniczej po I etapie obróbki na kształtowanie SGP stopu magnezu AZ31 przedstawiono na rysunkach 2÷5.



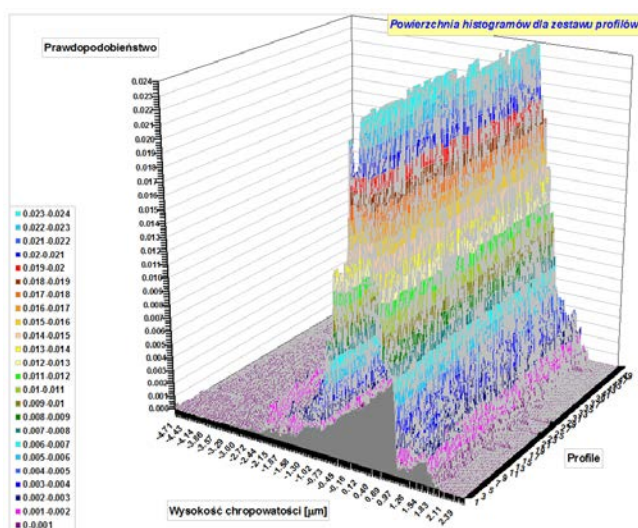
Rys. 2. Przykładowy obraz mikroskopowy morfologii powierzchni próbki magnezu po szlifowaniu ściernicą CBN 125/100 M75; powiększenie x500



Rys. 3. Przykładowy profil chropowatości powierzchni próbki po szlifowaniu ściernicą CBN 125/100 M75



Rys. 4. Histogram zbiorczy wysokości chropowatości (dla 50 profili) oraz krzywa nośności powierzchni próbki po szlifowaniu ściernicą CBN 125/100 M75



Rys. 5. „Powierzchnia histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po szlifowaniu ściernicą CBN 125/100 M75

Analiza uzyskanych wyników potwierdziła istotne zmniejszenie wartości stereometrycznych parametrów SGP pró-

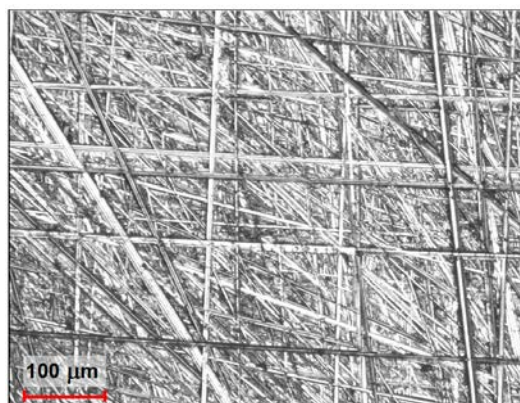
bek po procesie szlifowania (rys. 3), w porównaniu do ich stanu wyjściowego po obróbce toczeniem: $R_a = 2,64 \mu\text{m}$, $R_q = 6,67 \mu\text{m}$. Morfologia powierzchni próbek po szlifowaniu (rys. 2) uwidacznia, charakterystyczne dla procesu szlifowania płaszczyzn, ślady równoległych wgłębień o różnej głębokości pochodzące od skrawania ziarnami ściernymi. Histogram wysokości chropowatości SGP po szlifowaniu (rys. 4) charakteryzuje się skośnością $R_{skew} = -1,417$, rozproszeniem wysokości chropowatości oraz degresywnym przebiegiem krzywej udziału materiałowego, zwłaszcza w strefie występowania najniższych dolin profilu. „Powierzchnia histogramów” (rys. 5) obrazuje natomiast zmienność statystyczną wysokości chropowatości w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego po procesie szlifowania. Uzyskane wyniki posłużyły do porównania morfologii i struktury geometrycznej powierzchni próbek ze stopu magnezu, kształtowanych w kolejnych etapach obróbki.

Ocena morfologii i SGP próbek ze stopu magnezu AZ31 po II etapie obróbki (polerowanie wstępne)

Proces polerowania próbek ze stopu magnezu AZ31 realizowano na dwutarczowej szlifierko-polerce *Phoenix Beta 2* produkcji firmy *Wirtz Buehler*, wyposażonej w głowicę polerską *Vector Power Head* znajdującej się w laboratorium Katedry Technologii Maszyn Politechniki Łódzkiej. Etap II obejmował polerowanie wstępne próbek na polerze uzbrojonej w papierowe tarcze polerskie ze ścierniwem z węgla krzemu. W dwóch kolejnych zabiegach polerowania wstępnego różnicowano ziarnistość ścierniwa tarcz polerskich oraz technologiczne warunki procesu (tab. 1).

Wyniki badań dotyczące oceny wpływu warunków polerowania wstępnego (po II etapie obróbki) na kształtowanie SGP stopu magnezu AZ31 przedstawiono na rysunkach 6-9 dla pierwszego zabiegu polerowania tarczą polerską o ziarnistości P600, natomiast dla drugiego zabiegu polerowania tarczą polerską o ziarnistości P1200 na rysunkach 10-13. Analiza wyników uzyskanych w poszczególnych zabiegach polerowania wstępnego, potwierdza istotne różnice jakościowe i ilościowe w ukształtowaniu morfologii i SGP próbek ze stopu magnezu, w porównaniu do uzyskanych po szlifowaniu (w I etapie obróbki).

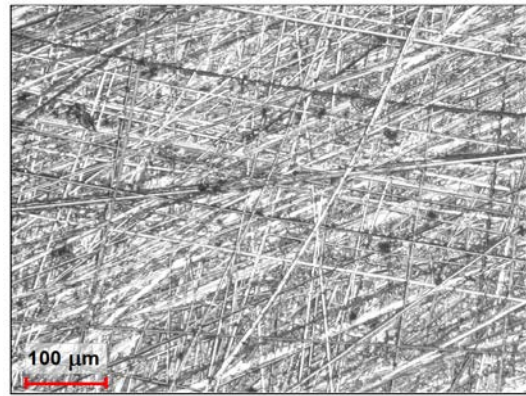
Morfologia powierzchni próbek po pierwszym zabiegu polerowania wstępnego (rys. 6) uwidacznia krzyżujące pod różnymi kątami ślady obróbkowe o różnej głębokości, które pochodzą od skrawania ziarnami ściernymi tarczy polerskiej ziarnistości P600. Dostrzegalne są również równoległe ślady obróbkowe, które są pozostałością po procesie szlifowania (po I etapie obróbki). Istotnej zmianie podlega także mor-



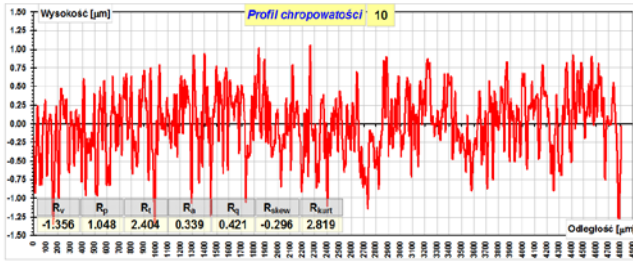
Rys. 6. Przykładowy obraz mikroskopowy morfologii powierzchni próbki po pierwszym zabiegu polerowania tarczą polerską z papierem ściernym SiC 600; powiększenie x500

Morfologia powierzchni próbek po drugim zabiegu polewania wstępnego (rys. 10). Na powierzchni próbek uwidoczniają się liczne, krzyżujące się ślady obróbkowe, ale o mniejszej głębokości, które pochodzą od skrawania ziarnami ściernymi tarczy polerskiej ziarnistości P1200. Widoczne są także nieliczne ślady obróbkowe o większej głębokości, które są pozostałością z pierwszego zabiegu polewania wstępnego.

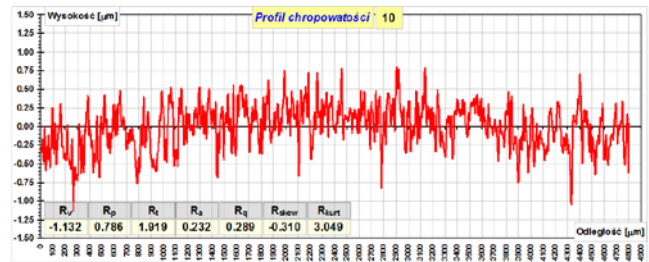
Korzystne zmiany morfologii i SGP próbek ze stopu magnezu po polewowaniu wstępnym potwierdzają także histogramy rozkładu wysokości chropowatości oraz krzywe udziału materiałowego, przedstawione na rysunku 7 po pierwszym zabiegu polewania oraz na rysunku 11 po drugim zabiegu polewania.



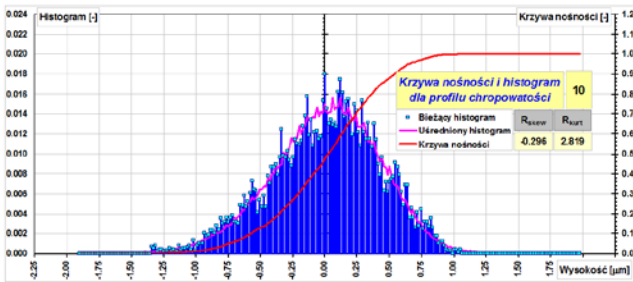
Rys. 10. Przykładowy obraz mikroskopowy morfologii powierzchni próbki po drugim zabiegu polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 1200; powiększenie x500



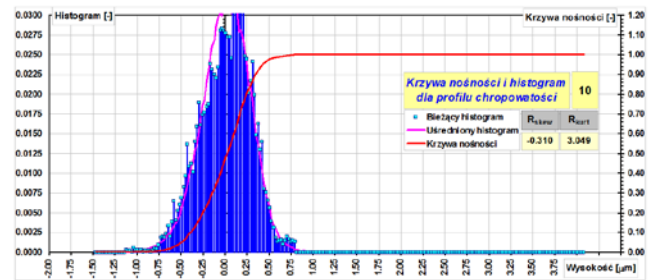
Rys. 7. Przykładowy profil chropowatości powierzchni próbki po polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 600



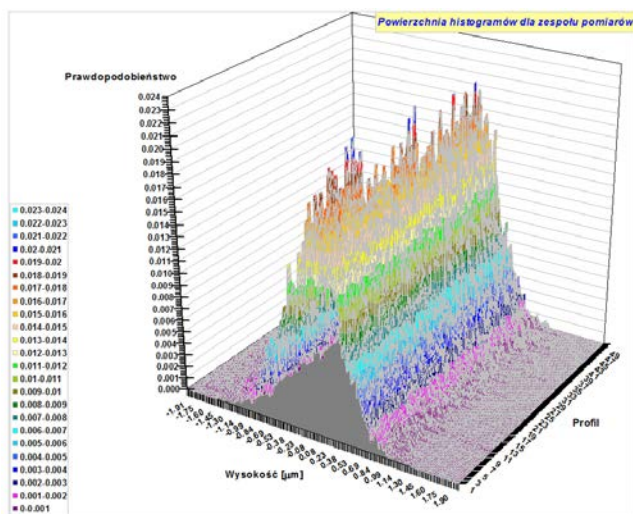
Rys. 11. Przykładowy profil chropowatości powierzchni próbki po polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 1200



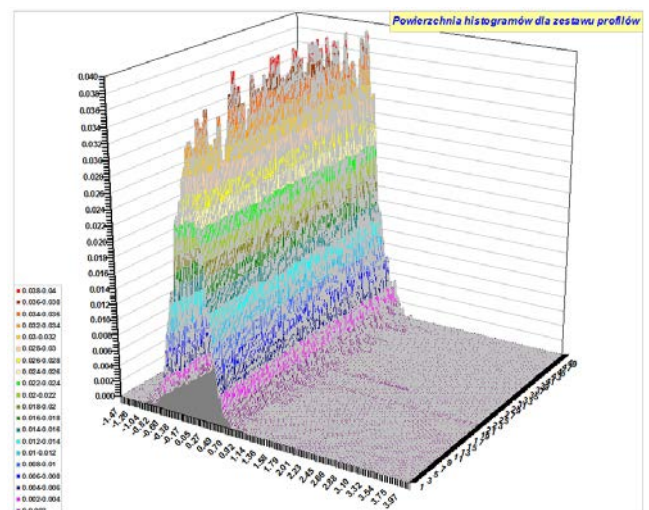
Rys. 8. Histogram zbiorczy wysokości chropowatości (dla 50 profilogramów) oraz krzywa nośności powierzchni próbki po polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 600



Rys. 12. Histogram zbiorczy wysokości chropowatości (dla 50 profilogramów) oraz krzywa nośności powierzchni próbki po polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 1200



Rys. 9. „Powierzchnia histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 600



Rys. 13. „Powierzchnia histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po polewowaniu tarczą polerską z papierem ściernym SiC 1200

Po procesie polerowania wstępnego uzyskano istotne zmniejszenie wartości stereometrycznych parametrów chropowatości powierzchni (rys. 7), w porównaniu do uzyskanych po szlifowaniu w I etapie (rys. 3). Wartości parametrów SGP po wstępnym polerowaniu zmniejszyły się odpowiednio: R_a o około 35%, R_q o około 45%, R_t o około 62%, R_v o około 70%, R_p o około 44%, R_{kurt} o około 64%, R_{skew} o około 78%, w porównaniu do uzyskiwanych po szlifowaniu (I etap obróbki). Dalsza poprawa chropowatości powierzchni próbek nastąpiła po drugim zabiegu polerowania. Wartości parametrów SGP po drugim zabiegu polerowania zmniejszyły się odpowiednio: R_a o około 32%, R_q o około 30%, R_t o około 20%, R_v o około 31%, R_p o około 26%, R_{kurt} o około 8%, R_{skew} o około 5,5%, w porównaniu do uzyskiwanych po pierwszym zabiegu polerowania.

Korzystne zmiany parametrów SGP po polerowaniu wstępnym potwierdzają także histogramy rozkładu wysokości chropowatości oraz krzywa udziału materiałowego. Histogramy wysokości chropowatości po pierwszym zabiegu polerowania (rys. 8) charakteryzują się bowiem znacznie mniejszym rozproszeniem wysokości chropowatości oraz mniejszą asymetrią ich położenia, w porównaniu do histogramów uzyskanych po szlifowaniu (rys. 4). Te korzystne różnice w histogramach obserwowane są także po drugim zabiegu polerowania (rys. 8 i rys.12). Zabiegi polerowania zgrubnego wpływają także na przebieg krzywej udziału materiałowego w strefie najniższych dolin profilu dla próbek po szlifowaniu (rys. 4) ulega znacznemu skróceniu po pierwszym zabiegu polerowania (rys. 8), natomiast po drugim zabiegu polerowania (rys. 12) przebieg krzywej udziału materiałowego ma charakter progresywny.

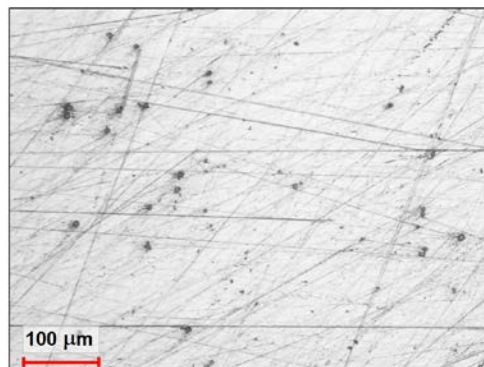
Porównanie „powierzchni histogramów” (rys. 5, 9, 13) umożliwia ocenę zmienności statystycznej wysokości chropowatości w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego. „Powierzchnia histogramów” dla próbek po szlifowaniu (I etap) charakteryzuje się dużą regularnością wysokości chropowatości w całym przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego (rys. 5), natomiast po polerowaniu zgrubnym (II etap) histogramy ujawniają znaczne rozproszenie wysokości chropowatości w przekroju poprzecznym (rys. 9 i 13). Zaobserwowane różnice wynikają z ukształtowania krzyżujących się śladów obróbkowych o różnej głębokości w poszczególnych zabiegach polerowania.

Ocena morfologii i SGP próbek ze stopu magnezu AZ31 po III etapie obróbki (polerowanie wykańczające)

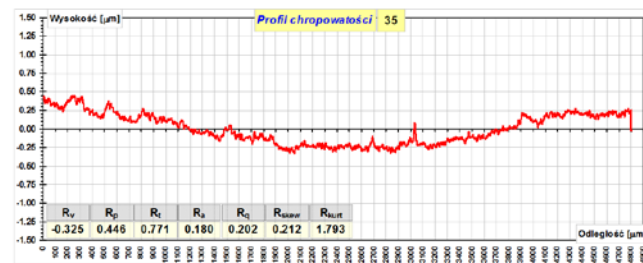
Polerowanie wykańczające próbek ze stopu magnezu AZ31 przeprowadzono na polerce uzbrojonej w sukno ściernie (*VerduTex*), uzbrojone w zawieszinę proszku diamentowego o wymiarze ziarna 9 i 3 μm w roztworze oleju syntetycznego (*Buehler Automet[®] Lapping Oil*). Proces polerowania próbek ze stopu magnezu AZ31 realizowany był w dwóch zabiegach, w których stosowano technologiczne parametry podane w tabeli 3. Wyniki badań dotyczące oceny wpływu warunków polerowania wykańczającego po III etapie obróbki na kształtowanie SGP stopu magnezu AZ31 przedstawiono na rysunkach 14-21.

Morfologia powierzchni próbek uwidacznia zarówno po pierwszym jak i drugim zabiegu polerowania (rys.14 i 18) uwidocznia, krzyżujące pod różnymi kątami, ślady obróbkowe o niewielkiej głębokości, pochodzące od mikroziaren diamentowych. Na tych fotografiach widoczne są również niezidentyfikowane, niewielkie cząstki wtrąceń lub zanieczyszczeń. Na podstawie porównań obrazów mikroskopowych stwierdzono, że powierzchnia próbki po polerowaniu zawie-

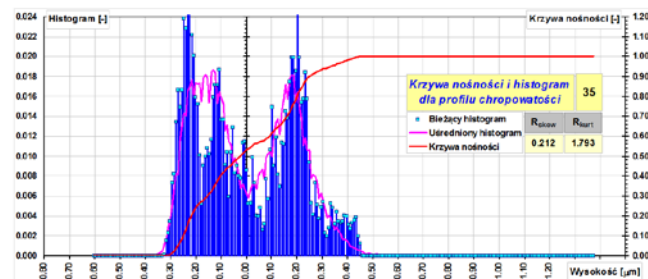
siną proszku diamentowego o wymiarze 3 μm charakteryzuje większą gęstością przecinających się śladów obróbkowych oraz mniejszą ich głębokością, w porównaniu do próbki polerowanej zawiesziną proszku diamentowego o wymiarze 9 μm .



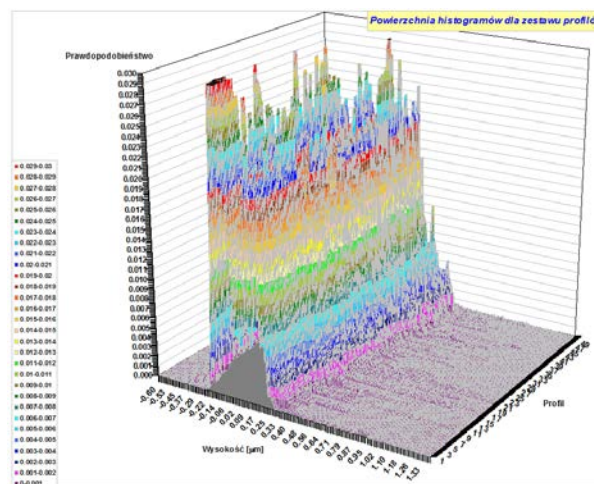
Rys. 14. Przykładowy obraz morfologii powierzchni próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami ściernymi 9 μm ; powiększenie x500



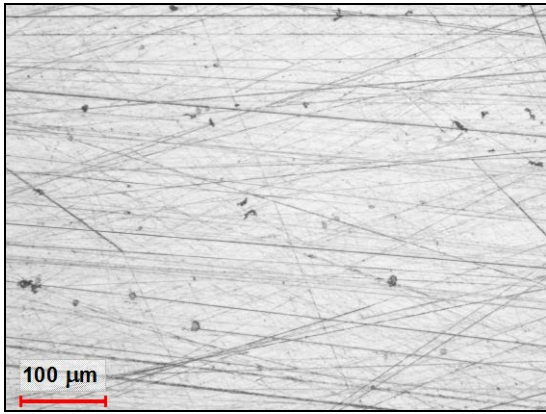
Rys. 15. Przykładowy profil chropowatości powierzchni próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami 9 μm



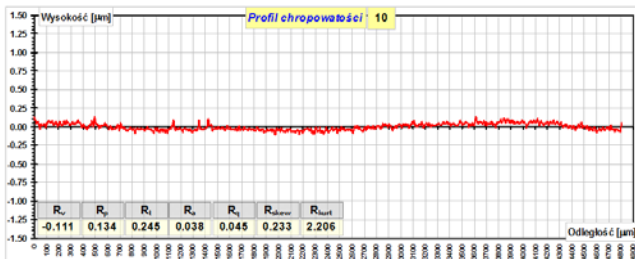
Rys. 16. Histogram zbiorczy wysokości chropowatości (dla 50 profili) oraz krzywa nośności powierzchni próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami 9 μm



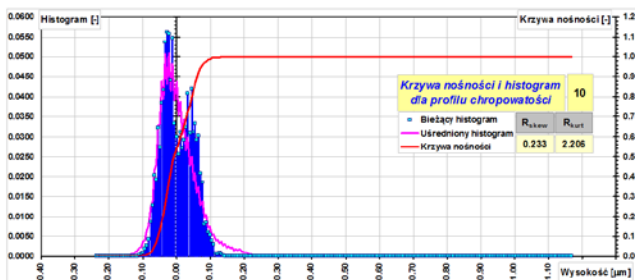
Rys. 17. „Powierzchnia histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami ściernymi 9 μm



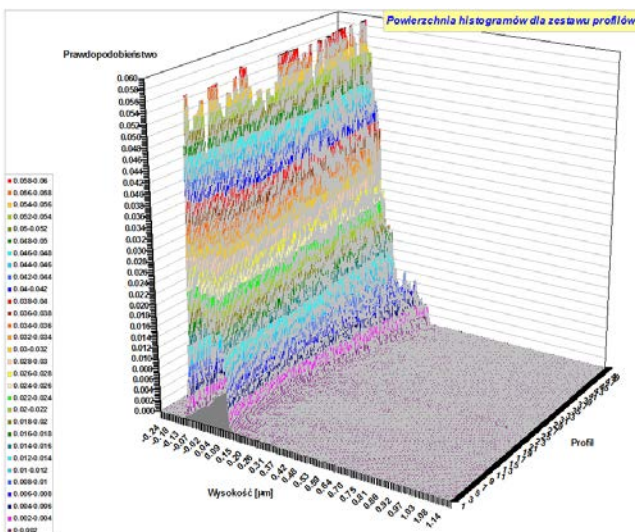
Rys. 18. Przykładowy obraz powierzchni próbki po polerowaniu zawiesziną abrazyjną z kuleczkami diamentowymi 3 µm; powiększenie x500



Rys. 19. Przykładowy profil chropowości powierzchni próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami 3 µm



Rys. 20. Histogram zbiorczy wysokości chropowości (dla 50 profilogramów) oraz krzywa nośności powierzchni próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami 3 µm



Rys. 21. „Powierzchnia histogramów” w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego próbki po polerowaniu zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami ściernymi 3 µm

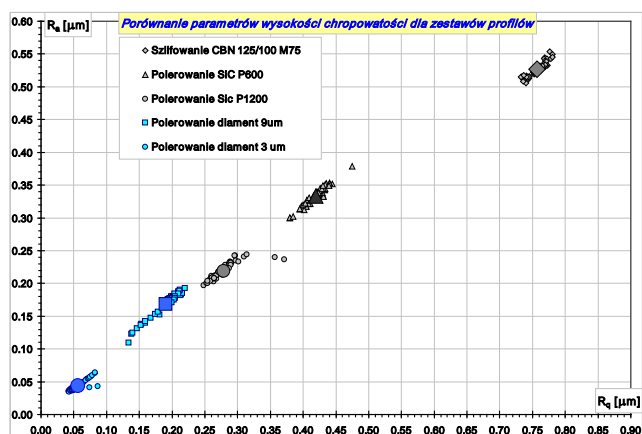
Porównanie wartości stereometrycznych parametrów SGP potwierdza możliwość istotnej poprawy chropowości powierzchni próbek ze stopu magnezu w III etapie polerowania wykańczającego. Wartości parametrów SGP po pierwszym zabiegu polerowania wykańczającego zmniejszyły się odpowiednio: R_a o około 22%, R_q o około 31%, R_t o około 60%, R_v o około 72%, R_p o około 45%, R_{kurt} o około 42%, R_{skew} o około 32%, w porównaniu do uzyskiwanych po drugim zabiegu polerowania wstępnego (II etap). Dalszą poprawę chropowości powierzchni próbek uzyskano po drugim zabiegu polerowania wykańczającego. Wartości parametrów SGP po drugim zabiegu polerowania wykańczającego zmniejszyły się odpowiednio: R_a o około 71%, R_q o około 79%, R_t o około 69%, R_v o około 66%, R_p o około 70%, w porównaniu do uzyskiwanych po pierwszym zabiegu polerowania. Zmiany parametrów SGP po polerowaniu wykańczającym potwierdza porównanie histogramów rozkładu wysokości chropowości oraz krzywe udziału materiałowego. Histogram wysokości chropowości po pierwszym zabiegu polerowania wykańczającego ma kształt bimodalny (rys. 16), którego lewa część odpowiada zagłębieniu profilu pod umownym poziomem „0”, zaś prawa wyniesieniu ponad poziom „0” odchyłkę od planarności (falistości). Można przypuszczać, że prawa część histogramu ujawnia odchyłkę od planarności (falistości), która zakłóca przebieg krzywej udziału materiałowego. Histogram wysokości chropowości po drugim zabiegu polerowania wykańczającego (rys. 20) charakteryzuje się największym stopniem skupienia, natomiast krzywa udziału materiałowego ma przebieg „silnie” progresywny. Porównanie „powierzchni histogramów” uzyskanych w poszczególnych zabiegach polerowania wykańczającego (rys. 17 i 21) potwierdza normalizowanie zmienności statystycznej wysokości chropowości w przekroju poprzecznym obszaru pomiarowego w tych zabiegach.

Analiza porównawcza parametrów SGP

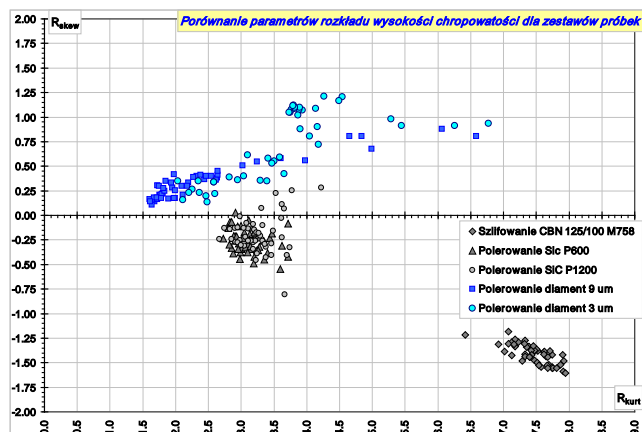
Dokonano porównawczej oceny parametrów SGP stopu magnezu uzyskanych w realizowanych etapach obróbki stopu magnezu, na podstawie opracowanych zależności funkcyjnych: R_a i R_q oraz R_{kurt} i R_{skew} . Opracowane zależności funkcyjnych dostarczają istotnych informacji m.in. o rozproszeniu wyników uzyskanych w poszczególnych próbach profilografowania, jak również, o położeniu ich centroidów - geometrycznych środków obszaru pomiarów.

Porównanie zależności funkcyjnych R_a i R_q (rys. 20) wskazuje, że po szlifowaniu próbek ze stopu magnezu ściernicą CBN 125/100 M75 (I etap) wartości tych parametrów oraz ich centroidy są największe, w porównaniu do otrzymanych w kolejnych procesach i zabiegach polerowania (etap II i etap III). Najmniejsze wartości parametrów R_a i R_q uzyskano natomiast po zabiegu polerowania wykańczającego zawiesziną proszku diamentowego z ziarnami ściernymi 3 µm. Ustalona na tej podstawie korzystna tendencja zmniejszania się parametrów R_a i R_q oraz ich centroidów jest zgodna z zaproponowaną kolejnością realizowanych etapów i zabiegów polerowania stopu magnezu.

Podobną tendencję zmian parametrów SGP w realizowanych etapach obróbki stopu magnezu obrazują porównania rozkładu prawdopodobieństwa parametrów R_{kurt} i R_{skew} (rys. 23). Największe wartości tych parametrów uzyskano bowiem po szlifowaniu próbek ściernicą CBN 125/100 M75 (I etap). Ponadto, stwierdzono znaczne rozproszenie tych parametrów w poszczególnych próbach profilografowania oraz przesunięcie centroidów w strefie ujemnych wartości ($R_{skew} = -1,422$, $R_{kurt} = 7,654$). Po kolejnych etapach i zabiegach polerowania uzyskano systematyczne zmniejszanie wartości się tych parametrów.



Rys. 22. Porównanie rozrzutu parametrów wysokości chropowatości we współrzędnych (R_q , R_a) oraz centroidów rozrzutu wyznaczonych dla poszczególnych etapów obróbki



Rys. 23. Porównanie rozrzutu parametrów rozkładu wysokości chropowatości we współrzędnych (R_{skew} , R_{kurt}) dla poszczególnych etapów obróbki

Podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwiły sprawdzenie przydatności wybranych procesów i warunków obróbki ścierniej, do dokładnego kształtowania morfologii i struktury geometrycznej powierzchni stopów magnezu AZ31.

Dokonano wielostronnej oceny struktury geometrycznej morfologii powierzchni próbek ze stopu magnezu, ukształtowanych w procesach szlifowania ściernicą CBN125/100M75, polerowania wstępnego tarczami polerskimi z SiC oraz polerowania wykańczającego tarczami polerskimi zbrojonymi proszkiem diamentowym.

Wyniki badań potwierdziły przydatność trój etapowego procesu technologicznego do kształtowania nanometrycznej struktury geometrycznej powierzchni próbek ze stopu magnezu. Po końcowym zabiegu polerowania wykańczającego uzyskano lustrzaną powierzchnię i równomierną fakturę bez widocznych śladów obróbki mechanicznej.

LITERATURA

1. Baker H, ASM Specialty Handbook. Magnesium and Magnesium Alloys, ed. Avedesian, ASM International, The Materials Information Society, USA, 1999.
2. Mordike B. L., Ebert T., Magnesium properties - Application – Potential. Materials Science and Engineering 302(2001), 37÷45.
3. Oczó K. E., W. Liubimov W., Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.

4. Oczó K. E., Rozszerzenie granic stosowalności stopów magnezu. Mechanik, 81(2009)5-6, 387÷400.
5. Jądrzyk P., Obróbka stopów magnezu narzędziami firmy MAPAL. Mechanik, 80(2008)3, 186÷187.
6. Gołąbczak M., Polerowanie stopów magnezu. Współczesne Problemy Obróbki Ścierniej, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009, 517÷526.
7. Gołąbczak M., Estimation of carbon coatings manufactured on magnesium alloys. Special Issues on Magnesium Alloys, InTech, Croatia 2011, 41÷66.
8. Gołąbczak A., Konstantynowicz A., Gołąbczak M., Modelowanie mikrogeometrii powierzchni polerowanej stopu magnezu. Mechanik, 87(2014)8-9, 79÷90.
9. Gołąbczak A., Gołąbczak M., Konstantynowicz A., Święcik R., Ocena struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu po elektroerozyjnym wycinaniu elektrodą drutową (WEDM) i elektroerozyjnym szlifowaniu (AEDG), Mechanik, 88(2015)4, 85÷91.