

# Sposób szlifowania stopu magnezu z okresowym czyszczeniem czynnej powierzchni ściernicy w trakcie obróbki

## Device of magnesium alloy grinding using periodic cleaning of the active surface of grinding wheel during machining

MIROSLAW URBANIAK  
RYSZARD DĘBKOWSKI  
MARCIN GOŁĄBCZAK  
MARCIN SKOWRON\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.11.182>

Przedstawiono zakres wymagań wobec powierzchni szlifowanych pod nakładanie warstw przeciwzużyciowych PVD w odniesieniu do stopów magnezu. Omówiono trudności z tym związane oraz doniesienia literaturowe. Opisano rozwiązania stosowane w przypadku szlifowania magnezu ściernicami konwencjonalnymi ze spoiwem ceramicznym z wykorzystaniem czyszczenia czynnej powierzchni ściernicy w trakcie szlifowania. Ustalono parametry procesów obróbki oraz dokonano oceny struktury geometrycznej powierzchni, mierząc chropowatość w układzie 3D.

**SŁOWA KLUCZOWE:** stopy magnezu, szlifowanie, ściernice ceramiczne, struktura geometryczna powierzchni, czyszczenie czynnej powierzchni ściernicy

*In the paper the range of requirements concerning grinded surface layers for deposition of protective PVD coatings on magnesium alloys has been presented. Also difficulties concerning the preparation of surface layer and literature review have been depicted. For solving of the problems concerning proper preparation of magnesium alloy surface layer the conventional grinding process using ceramic grinding wheels and the process of cleaning of CSGW during machining has been applied. The machining parameters has been determined and the surface geometrical structure has been assessed using optical profiling in 3D configuration.*

**KEYWORDS:** magnesium alloys, grinding, ceramic grinding wheels, surface geometrical structure, cleaning of CSGW

Stopy magnezu są bardzo atrakcyjnym materiałem konstrukcyjnym, charakteryzują się m.in.: wysokim stosunkiem wytrzymałości mechanicznej do masy, bardzo dobrym przewodnictwem cieplnym, małą rozszerzalnością cieplną, dobrą skrawalnością i dobrymi właściwościami odlewniczymi oraz wysoką integralnością funkcjonalną, umożliwiającą wytwarzanie przedmiotów w kształcie bliskim końcowemu. Z tych powodów znajdują one szerokie zastosowanie, zwłaszcza w tych dziedzinach przemysłu, w których redukcja masy ma zasadnicze znaczenie, np. w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, kosmicznym i przy produkcji sprzętu sportowego [1].

Niestety, stopy magnezu mają także wady, z których największą jest duża podatność na korozję, zwłaszcza elektrochemiczną, powodującą zarówno ubytek masy, jak i zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej [1]. Do innych istotnych wad stopów magnezu zalicza się m.in.: małą odporność na zużycie, spadek wytrzymałości w wysokiej

temperaturze oraz zakłócanie pola elektromagnetycznego. Stopy magnezu są również trudne do szlifowania i polerowania, ponieważ w trakcie tych procesów ulegają zacieraniu, i są bardzo wrażliwe na korozyjne działanie cieczy smarującej zawierającej wodę. Stąd uzyskanie bardzo małej chropowatości powierzchni, wymaganej m.in. w procesie nakładania powłok ochronno-dekoracyjnych metodą plazmochemiczną PACVD (*plasma activated chemical vapour deposition*), nastęca dużych trudności technicznych [2–5]. Dodatkowym wymaganiem jest brak w warstwie wierzchniej (WW) produktów zanieczyszczających.

Do badań wybrano komercyjny stop magnezu AZ31HP (*high purity*), który charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi, jest spawalny, podatny na obróbkę plastyczną i obróbkę skrawaniem (tabl. I).

**TABLICA I. Skład i właściwości stopu magnezu AZ31HP**

Skład chemiczny (% masy)	Właściwości fizyczne i mechaniczne
Al: 2,5+3,5; Mn: 0,20; Zn: 0,7+1,3; Si: 0,10; Fe: 0,005; Ni: 0,005; Cu: 0,05; Ca: 0,04; Mg: reszta	Gęstość: 1,77 g/cm <sup>3</sup>
	Temperatura topnienia: 605°C
	Twardość: 50 HB
	Wytrzymałość na rozciąganie: 260 MPa
	Granica plastyczności: 200 MPa
	Moduł Younga: 45 GPa

Aby spełnić te wymagania, opracowano proces gładkościowej obróbki ściernicy stopu magnezu AZ31HP konwencjonalną ściernicą ze spoiwem ceramicznym, w którym przewidziano czyszczenie jej czynnej powierzchni w trakcie operacji szlifowania.

Podczas obróbki szlifowaniem stopów magnezu – podobnie jak materiałów zawierających chrom, nikiel, aluminium czy tytan [6] – na powierzchni ściernicy powstają obszary, do których przywiera materiał obrabiany, co ogranicza zdolności skrawne narzędzia. Zalepianie ściernicy można ograniczyć poprzez optymalizację parametrów procesu, zastosowanie cieczy chłodząco-smarującej (CCS), konstrukcję ściernicy oraz jej czyszczenie [6, 7]. Do metod czyszczenia ściernicy mających na celu usuwanie przywartych cząstek materiału zalicza się czyszczenie wiązką lasera, wysokociśnieniowym strumieniem wody lub strumieniem wodno-ściernym [7, 8]. Jak wspomniano, woda ma korozyjny wpływ na magnez i nie można jej stosować do czyszczenia ściernicy.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań alternatywnego sposobu czyszczenia ściernicy, realizowanego w sposób mechaniczny wirującą szczotką elastyczną (zastrzeżenie patentowe).

\* Prof. dr hab. inż. Mirosław Urbaniak ([murbaniak@ajp.edu.pl](mailto:murbaniak@ajp.edu.pl)) – Akademia im. Jakuba z Paradyża, Gorzów Wielkopolski; dr inż. Ryszard Dębowski ([ryszard.debkowski@p.lodz.pl](mailto:ryszard.debkowski@p.lodz.pl)), dr hab. inż. Marcin Gołąbczak ([marcin.golabczak@p.lodz.pl](mailto:marcin.golabczak@p.lodz.pl)), dr inż. Marcin Skowron ([marcin.skowron@p.lodz.pl](mailto:marcin.skowron@p.lodz.pl)) – Instytut Obrabiarek i TBM Politechniki Łódzkiej

## Badania doświadczalne

Badania przeprowadzono na szlifierce do płaszczyzn SPG 30×80. Szlifowano węglennie próbki o powierzchni 10×50 mm. Warunki obciążania ściernicy oraz procesu szlifowania przedstawiono w tabl. II.

TABLICA II. Warunki badań

Charakterystyka ściernicy	Warunki obciążania	Warunki szlifowania
1-350×20×127 M 463 I7 VE01NPB5-35	$a_d = 0,01$ mm $b_d = 1$ mm $k_d = 2$ 10 przejść, bez CCS	$a_e = 0,01$ mm $v_{ft} = 10$ m/min $v_s = 26,5$ m/s bez CCS
Legenda: $a_d$ – dosuw ostrzenia, $b_d$ – szerokość starcia diamentu, $k_d$ – stopień pokrycia przy ostrzeniu, $a_e$ – dosuw szlifowania, $v_{ft}$ – prędkość przedmiotu, $v_s$ – prędkość szlifowania		

Zastosowano ściernicę z monokorundu o strukturze otwartej, w której wykorzystano mieszaninę ziaren ściernych o dwóch granulacjach, tj. 46 i 60 w określonym stosunku objętościowym. Podczas badań rejestrowano moc szlifowania  $P_s$ , siłę styczną  $F_t$  i normalną  $F_n$  oraz temperaturę szlifowania termopary płaszczonej umieszczonej w próbce. Okresowo, po wykonaniu założonej liczby przejść szlifujących, mierzono chropowatość powierzchni próbki oraz robiono fotografie czynnej powierzchni ściernicy. Opis stanowiska pomiarowego i prowadzenia pomiarów zamieszczono w rozdziale monografii konferencyjnej [11].

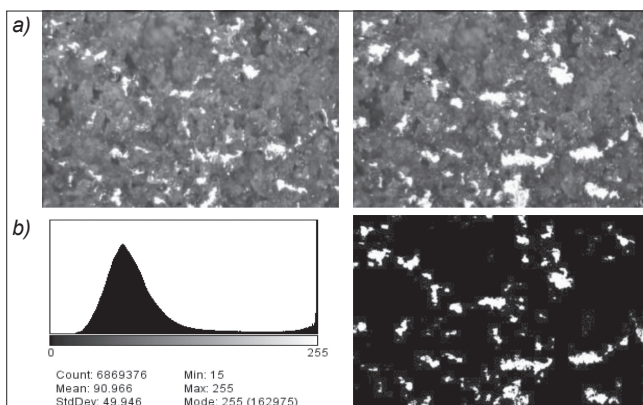
W badaniach zastosowano dwie metody kondycjonowania powierzchni ściernicy:

- tradycyjną, ograniczającą się do zabiegu ostrzenia jednoziarnistym obciążaczem diamentowym,
- wspomaganą czyszczeniem, w której oprócz zabiegu obciążania wykonywano dodatkowo mechaniczne czyszczenie czynnej powierzchni ściernicy wirującą szczotką elastyczną po określonej liczbie przejść ściernicy.

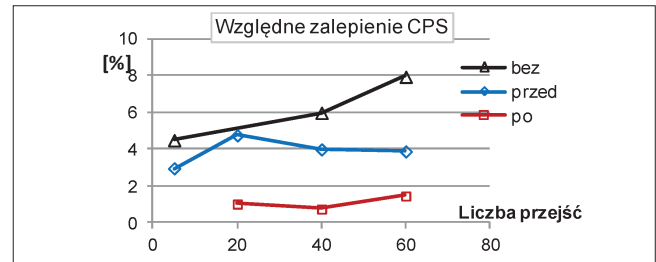
Badania pozwoliły zweryfikować przydatność czyszczenia powierzchni ściernicy jako sposobu ograniczenia utraty ich zdolności skrawnych w wyniku zalepiania. Porównano wyniki pomiarów wielkości charakteryzujących zalepienie ściernicy, wielkości procesowych operacji szlifowania oraz wyniki szlifowania dla obu wariantów kondycjonowania ściernicy uzyskane podczas tej samej liczby przejść szlifujących.

## Wyniki badań

Na rys. 2a przedstawiono przykładowe zdjęcia tego samego wycinka CPS obrazujące rozwój powierzchni za-



Rys. 2. Rozwój zalepienia CPS podczas szlifowania AZ31HP (a), histogram jasności i obraz binarny CPS (b)

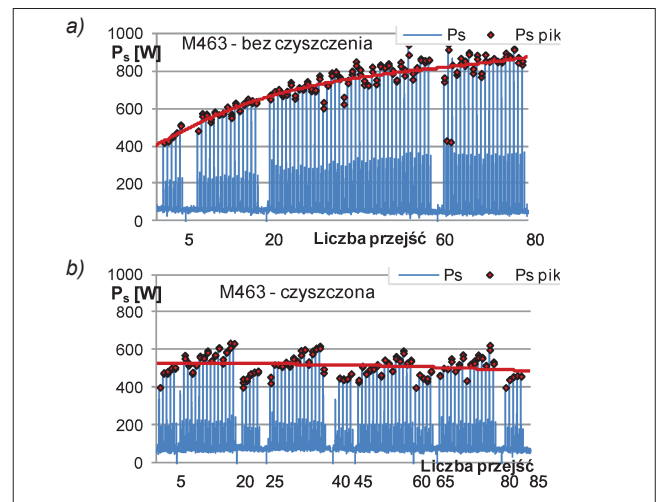


Rys. 3. Charakterystyka zmian zalepienia ściernicy przy dwóch sposobach przebiegu procesu: tradycyjnym (bez czyszczenia) oraz wspomaganym czyszczeniem (przed czyszczeniem, po czyszczeniu)

lepiania pomiędzy piątym a 80. przejściami ściernicy. Na rys. 2b znajduje się histogram jasności punktów obrazu oraz obraz binarny, będący podstawą do wyznaczenia parametrów statystycznych opisujących zalepienie powierzchni ściernicy.

Zmianę wielkości powierzchni zalepienia oraz względnego zalepienia (odniesionego do całej powierzchni analizowanych obrazów) w okresie użytkowania ściernicy pokazano na rys. 3. Są to wartości średnie wyznaczone na podstawie analizy pięciu zdjęć losowo wybranych miejsc na powierzchni ściernicy. Zdjęcia wykonywano po określonej liczbie przejść ściernicy, a w przypadku wspomaganego czyszczeniem – także po czyszczeniu.

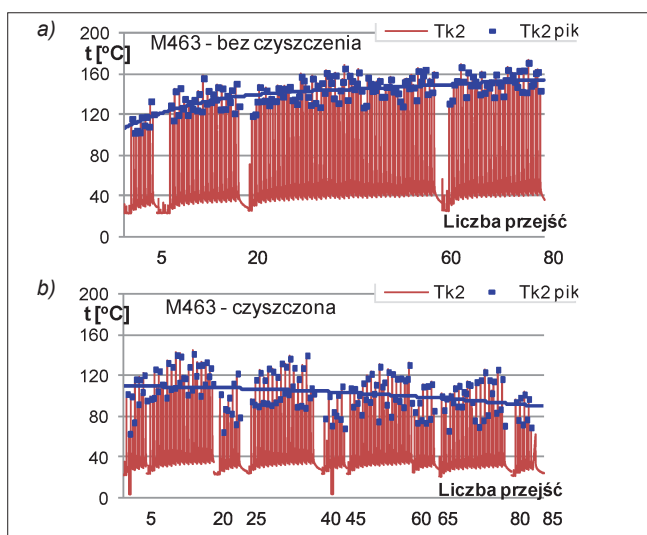
Zmiany mocy związanej z procesem szlifowania przedstawiono na wykresach – rys. 4. Zaznaczone punkty obrazują maksymalne wartości mocy występujące podczas styku ściernicy z materiałem obrabianym. Posłużyły one do wyznaczenia linii trendu zmian mocy szlifowania. Przebiegi tych linii wskazują, że wraz z upływem czasu pracy ściernicy po tradycyjnym kondycjonowaniu następuje wzrost mocy szlifowania, a na skutek zastosowania czyszczenia średnia moc szlifowania utrzymuje się na zbliżonym poziomie i wzrasta okresowo pomiędzy kolejnymi zabiegami czyszczenia.



Rys. 4. Moc szlifowania próbki ze stopu AZ31HP ściernicą: a) obciążaną tradycyjnie, b) wspomaganą czyszczeniem

Pomiar temperatury termopary umieszczonej w próbce interpretowano jako wskaźnik zdolności skrawnej ściernicy, gdyż materiał płaszcza termopary nie był wykonany ze stopu AZ31HP, stąd jego szlifowanie nie reprezentowało bezpośrednio zjawisk zachodzących w strefie kontaktu ściernicy z próbką. Wskazywana temperatura była natomiast funkcją stanu CPS kształtowanego tribologicznym oddziaływaniem szlifowanego stopu magnezu.

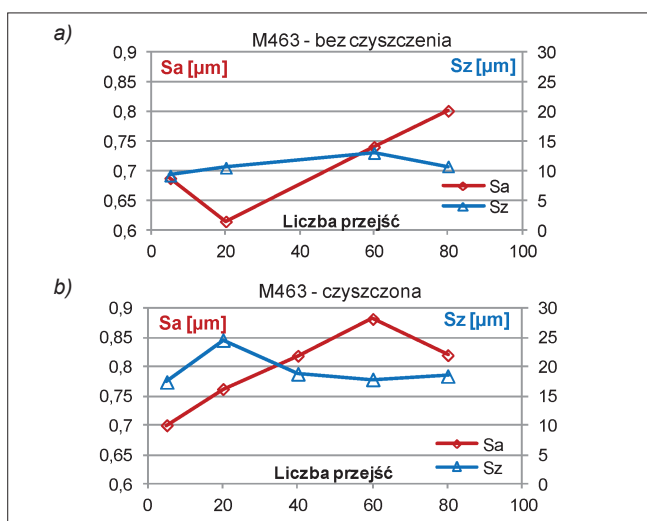
Na rys. 5 przedstawiono wykresy zmian temperatury zarejestrowane podczas badań. Linie trendu, podobnie jak



Rys. 5. Temperatura szlifowania termopary płaszczonej typu K umieszczonej w próbce ze stopu AZ31HP ściernicą: a) obciążoną tradycyjnie, b) wspomaganą czyszczeniem

na wykresach mocy szlifowania, wyznaczono na podstawie maksymalnych wartości temperatur zarejestrowanych w każdym przejściu ściernicy. Przebiegi wykresów jednoznacznie wskazują, że wprowadzenie czyszczenia ściernicy zmieniło trend sygnału z rosnącego na malejący.

Wynik szlifowania określono za pomocą parametrów przestrzennych SGP (struktury geometrycznej powierzchni), tj.  $S_a$  i  $S_z$  (rys. 6). Rezultaty pomiarów wskazują, że wyższa jest chropowatość powierzchni szlifowanej ściernicą, która oprócz obciążania była dodatkowo czyszczona. Uwidacznia to zwłaszcza parametr wysokości nierówności  $S_z$ , który z zakresu  $10 \div 15 \mu\text{m}$  wzrasta do  $15 \div 20 \mu\text{m}$ . Średnie arytmetyczne odchylenie chropowatości  $S_a$  nie zmienia się tak radykalnie, ale i tutaj można zauważyć wzrost na poziomie  $0,1 \mu\text{m}$ .



Rys. 6. SGP próbki ze stopu AZ31HP szlifowane ściernicą obciążoną tradycyjnie (a) i wspomaganą czyszczeniem (b)

### Ocena wyników badań

Ostre krawędzie i wierzchołki ziaren monokorundu, jego wysoka zdolność do samoostrzenia, a także otwarta struktura ściernicy, którą zastosowano do szlifowania stopu magnezu, nie zapewniły utrzymania w ekonomicznie uzasadnionym okresie zdolności skrawnej ściernicy. Zaobserwowano typowe objawy przebiegu procesu szlifowania,

charakterystyczne dla utraty zdolności skrawnych przez ściernicę w wyniku zalepiania.

Na czynnej powierzchni ściernicy w końcowym etapie użytkowania rozwinął się obszar zalepiania, obejmujący ok. 8% tej powierzchni (rys. 3). Następnymi wyrównania powierzchni ściernicy produktami szlifowania były pogorszenie się możliwości zagłębiania ostrzy w materiał próbki oraz wzrost tarcia. Wywołało to wzrost mocy szlifowania, temperatury szlifowania termopary (rys. 4a, 5a), a także chropowatości powierzchni próbki (rys. 6a).

Okresowe mechaniczne czyszczenie powierzchni ściernicy zapewniło utrzymanie na stałym poziomie (ok. 1%) wielkości zalepiania, co przełożyło się na stabilizację mocy szlifowania, a nawet spadek średniej temperatury szlifowania termopary.

Wyniki szlifowania wskazują, że czyszczenie mechaniczne oddziałuje także, choć w niewielkim stopniu, na czynną chropowatość ściernicy. Usuwanie przywarłego do powierzchni ściernicy metalu towarzyszy wykruszanie cząstek ziaren ściernych, czego skutkiem jest zmniejszenie osiągniętej gładkości powierzchni próbki.

### Podsumowanie

Wyniki badań porównawczych procesów szlifowania stopu magnezu, w których zastosowano dwa sposoby użytkowania ściernicy, wykazały przydatność i celowość dalszego rozwoju metody szlifowania polegającej na wspomaganie operacji ciągłym lub okresowym czyszczeniem CPS elastyczną, wirującą szczotką. Krótki okres trwałości ściernicy podczas obróbki materiałów miękkich, wynikający z zalepiania jej czynnej powierzchni, i zastosowanie w celu przywracania zdolności skrawnej tylko tradycyjnego obciążania byłoby powodem ponoszenia wysokich kosztów narzędziowych. Natomiast uzupełnienie obciążania czyszczeniem CPS w trakcie okresu trwałości pozwala na wydłużenie jej zdolności skrawnej i osiągnięcie efektów szlifowania wymaganych dla tego rodzaju obróbki.

### LITERATURA

- Mordike B.L., Ebert T. "Magnesium properties – Application-potential". *Material Science and Engineering*. 302 (2001): s. 37–45.
- Gołąbczak M. „Polerowanie stopów magnezu”. *Współczesne problemy obróbki ściernicą*. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2009, s. 517–526.
- Gołąbczak A., Konstantynowicz A., Gołąbczak M. "Modelowanie mikrogeometrii powierzchni polerowanej stopu magnezu". *Mechanik*. 8–9 (2014): s. 79–90.
- Gray J.E., Luan B. "Protective coatings on magnesium and its alloys – A critical review". *Journal of Alloys and Compounds*. 336 (2002): s. 88–113.
- Gołąbczak M. "Characteristics of TiN and NCD layers deposited on magnesium alloys". *Journal of Nano Research*. 16 (2011): s. 29–35.
- Avedesian M.M., Baker H. "ASM Specialty Handbook: Machining of Magnesium and Magnesium Alloys". USA, 1999.
- Lauer-Schmaltz H., König W. "Phenomenon of wheel loading mechanisms in grinding". *CIRP Annals*. 29, 1 (1980): s. 201–206.
- Wegener K., Hoffmeister H.W., Karpuschewski B., Kuster F., Hahmann W.C., Rabiey M. "Conditioning and monitoring of grinding wheels". *CIRP Annals*. 60, 2 (2011): s. 757–777.
- Heinzel C., Antsupov G. "Prevention of wheel clogging in creep feed grinding by efficient tool cleaning". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 61 (2012): s. 323–326.
- Dębkowski R. „Analiza komputerowa obrazu mikroskopowego w zastosowaniu do oceny zużycia czynnej powierzchni ściernicy”. *Materiały XXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernicą*, Rzeszów 2000.
- Urbaniak M., Dębkowski R., Gołąbczak M., Skowron M., „Sposób szlifowania stopu magnezu z kondycjonowaniem ściernicy w trakcie obróbki”. Monografia., *XLI Szkoła Obróbki Ściernicą – Narzędzia i technologie dla Przemysłu 4.0*. Koszalin, 2018.