

Dr inż. Maciej KOWALSKI,
dr inż. Marek KOŁODZIEJ (Politechnika Wrocławska):

BADANIA WPLYWU WARUNKÓW SZCZOTKOWANIA NA STAN WARSTWY WIERZCHNIEJ STOPU MAGNEZU AM 60

Streszczenie

Przedstawiono ocenę możliwości zastosowania ceramicznych szczotek do obróbki skrawaniem odlewniczych stopów magnezu. Badaniom poddano stop magnezu AM 60 (EN- -McMgAl6Mn). Przed szczotkowaniem powierzchnie frezowano z zastosowaniem płytek bez powłok i powlekanych. Zmierzono i poddano ocenie wpływ szczotkowania na zmiany chropowatości powierzchni. Na podstawie wyników badań określono stopień skuteczności działania szczotek ceramicznych w obróbce próbek ze stopów magnezu oraz wyznaczono zakresy parametrów obróbki, w której szczotkowanie po frezowaniu wydaje się uzasadnione.

Słowa kluczowe: szczotkowanie, frezowanie, chropowatość, powierzchnia

STUDY OF THE IMPACT OF BRUSHING CONDITIONS ON THE OUTER SURFACE CONDITION OF THE AM 60 MAGNESIUM ALLOY

Abstract

The study presents an assessment of possibilities of use of ceramic brushes for machining of magnesium casting alloys. The AM 60 (EN- -McMgAl6Mn) magnesium alloy was subject to tests. Before the brushing, the surfaces were milled with both uncoated and coated inserts. The impact of brushing on the changes in surface roughness was measured and assessed. On the basis of test results, the degree of efficiency of operation of ceramic brushes in machining of magnesium alloy samples was determined and the machining parameter ranges in which brushing after milling appears to be substantiated were determined.

Keywords: brushing, milling, roughness, surface

ANALIZA WPLYWU WARUNKÓW SZCZOTKOWANIA NA STAN WARSTWY WIERZCHNIEJ STOPU MAGNEZU AM 60

Maciej KOWALSKI¹, Marek KOŁODZIEJ¹

1. WSTĘP

Na współczesną gospodarkę wpływa obecnie proces globalizacji oraz rozwój oparty na nowych technologiach [6]. Prowadzi to do zwiększenia konkurencji i stawia przed nowymi wyzwaniami wielu producentów. Istotne w procesie projektowania wyrobu stają się czynniki pozaekonomiczne, które należy uwzględnić podczas projektowania swojego produktu. Wiele państw i organizacji międzynarodowych wprowadza regulacje dotyczące różnych aspektów związanych z ekologią [6]. Takie zmiany wymuszają inny sposób patrzenia na dany wyrób, nie tylko w trakcie procesu wytwarzania i późniejszej eksploatacji, ale także podczas ostatnich faz jego życia, jakie wiążą się z wycofaniem go z użytkowania. Stąd też wybór materiału do realizacji projektowanego wyrobu poprzedzony powinien być analizą wielu czynników obejmujących wymagania: mechaniczne, projektowe, środowiskowe, dotyczące recyklingu, kosztu, dostępności i masy. Jednym z rozwiązań tych problemów jest zastąpienie tradycyjnie wykorzystywanych materiałów, takich jak na przykład stal. W nowoczesnych konstrukcjach coraz częściej wykorzystuje się tworzywa sztuczne. Mają one wiele zalet, takich jak mała gęstość i dobra odporność na czynniki chemiczne, ale także niską odporność cieplną i wytrzymałość mechaniczną, co wyklucza je z niektórych zastosowań. Właśnie dlatego w przemyśle samochodowym, lotniczym oraz wielu innych zaczyna stosować się coraz większą ilość metali lekkich czyli takich, których gęstość nie przekracza $4,5 \text{ g/cm}^3$, a ponadto realizuje on wszystkie funkcje swojego „cięższego” odpowiednika. Do grupy tej zaliczamy takie metale, jak: beryl, tytan, aluminium czy magnez. Wzrost znaczenia prze-

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław

mysłowego konstrukcji lekkich wynika nie tylko z potrzeb ochrony środowiska, ale także pozwala zaoszczędzić na surowcach, co przekłada się na ograniczenie kosztów konstrukcji. Ze względu na swoje właściwości stopy berylu znalazły zastosowanie w produkcji aparatury kosmicznej, stopy tytanu – w lotnictwie, a w przemyśle motoryzacyjnym zaś aluminium i stopy magnezu [3].

Stopy magnezu charakteryzują się dobrą skrawalnością. W niewielkim stopniu zużywają ostrza skrawające, możliwe jest uzyskanie zadowalających wartości parametrów chropowatości. Podczas ich obróbki występują niewielkie siły skrawania – niższe, niż podczas obróbki stopów aluminium. Istnieje możliwość wykorzystania dużych głębokości i prędkości skrawania oraz wysokich wartości posuwu, co pozwala na prowadzenie procesu w zakresach obróbki wysokoefektywnej [1,2,4,8]. Największym problemem w wytwarzaniu elementów ze stopów magnezu metodami obróbek ubytkowych jest powstawanie pyłu, który sprzyja przekroczeniu temperatury zapłonu magnezu, co grozi powstaniem pożaru lub wybuchem [7]. Duży niekorzystny wpływ na możliwość powstania zapłonu ma też tworzący się intensywnie narost, który niekorzystnie wpływa na stan warstwy wierzchniej obrabianego przedmiotu. Ponadto w miejscu wyjścia narzędzia skrawającego z materiału często pojawiają się zadziory, które powinny zostać usunięte. Jedną z metod, która pozwala na jednoczesną poprawę stanu geometrycznej warstwy wierzchniej i usunięcie zadziorów jest szczotkowanie powierzchni szczotkami ceramicznymi. Oprócz usuwania zadziorów nadaje się ono do oczyszczania powierzchni i zaokrąglania krawędzi. Poprawia także właściwości warstwy wierzchniej czyniąc ją mniej podatną na mikropęknięcia [5].

2. METODYKA BADAŃ I ICH WYNIKI

Badania zostały przeprowadzone na odlewniczym stopie magnezu AM60. Stopy tej grupy są otrzymywane przez dodanie manganu zamiast cynku i zmniejszenie ilości aluminium. Jest to jeden z najpopularniejszych obecnie stosowanych stopów odlewniczych na osnowie magnezu. Dzięki dodatkowi manganu – stop ten charakteryzuje się zwiększoną elastycznością przy zachowaniu dobrej lejułości, wysoką odpornością antykorozyjną, lepszą spawalnością oraz możliwością obróbki na zimno. Dodatek aluminium zmniejsza kruchość tego stopu, korzystnie wpływa na zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenie oraz twardość. Obecność cynku przeciwdziała szkodliwemu wpływowi na odporność korozyjną zanieczyszczeń zawierających Fe i Ni, które często występują w stopach magnezu. Jest on wykorzystywany relatywnie często w przemyśle motoryzacyjnym. Jego podstawowe właściwości pokazano w tabeli 1.

Zawarte w tabeli 1 dane odnoszą się do odlewów w stanie surowym (czyli bez dodatkowej obróbki cieplnej). Dodatkowo mają w zasadzie wartość orientacyjną, ponieważ odnoszą się do próbek z odlewów ciśnieniowych dla których właściwości mechaniczne zależą od parametrów wtrysku.

Tabela 1. Właściwości mechaniczne odlewniczego stopu magnezu AM60

Stop	Gęstość [g/cm ³]	Właściwości mechaniczne			
		Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]	Granica plastyczności [MPa]	Wydłużenie A_5 [%]	Twardość Brinella [HB]
AM60	1,83	190-250	120-150	4-14	55-70

Skład chemiczny badanego stopu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skład chemiczny odlewniczego stopu magnezu AM60

Pierwiastek [%]	Mg	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Be	Zr
AM60	93,69	5,97	0,036	0,269	0,032	0,002	0,002	0,004	0,002	-

Materiał został zakupiony w postaci sztab o przekroju prostokątnym 110×75 mm i długości 610 mm. Sztaby odlewane były w austriackiej firmie RAMAG, w celu późniejszego przetopu i odlania ciśnieniowego w firmie POLMAG. Sztaby powstałe po powtórny odlaniu zostały przycięte do przekrojów prostokątnych na pile ramowej ARG 300 Plus firmy PILOUS (rys. 1).



Rys. 1. Stanowisko do cięcia sztab



Rys. 2. Badana próbka

Po cięciu próbkę (rys. 2) frezowano tak, aby otrzymać powierzchnie wyjściowe do badań wpływu prędkości posuwu szczotki na stan warstwy wierzchniej badanego stopu magnezu. Frezowanie prowadzono głowica frezową nasadzaną czołową

o oznaczeniu 257.1 produkowaną przez firmę Dolfamex. W głowicy zamocowano 8 płytek SPKN 1203 EDR N210 pokrywanych TiN oraz SPKN 1203 EDR H10S produkcji firmy Sandvik Baildonit. Frezowanie prowadzono dla pięciu prędkości posuwu: $v_f = 11,2; 14; 18; 22,4$ i 28 mm/min oraz trzech prędkości obrotowych narzędzia: $n = 450; 710$ i 900 obr/min.

W kolejnym etapie badań próbki obrabiano szczotkami z włosiem ceramicznym firmy XEBEC TECHNOLOGY oznaczonej w katalogu A11-CB15M i pokazanej na rys. 3. Jest ona wykonana z włókien o średnicy mniejszej niż $10 \mu\text{m}$ zbudowanych z tlenku glinu Al_2O_3 i lepiszcza epoksydowego. Włókna te w trakcie pracy szczotki ulegają samoostrzeniu, co umożliwia zapewnienie stałej wydajności skrawania.



Rys. 3. Szczotka A11-CB15M wraz z plastikową tuleją osłaniającą

Narzędzia te mogą być stosowane zarówno w obrabiarkach konwencjonalnych (np. wiertarki), jak też na centrach obróbkowych. Charakteryzują się wysoką elastycznością i giętkością, zwiększoną odpornością na złamania. Przeznaczone są do gratowania oraz obróbki wykańczającej i polerowania powierzchni ze stopów lekkich (np. stopów aluminium). Szczotek tych użyto do obróbki stopów magnezu ze względu na podobieństwo twardości i wytrzymałości stopów magnezu i aluminium oraz na brak specjalnych gatunków szczotek ceramicznych przeznaczonych do obróbki stopów magnezu. W tabeli 3 podano podstawowe wymiary szczotki i tulei osłaniającej wybranych do badań.

Tabela 3. Podstawowe wymiary szczotki wraz z tuleją osłaniającą

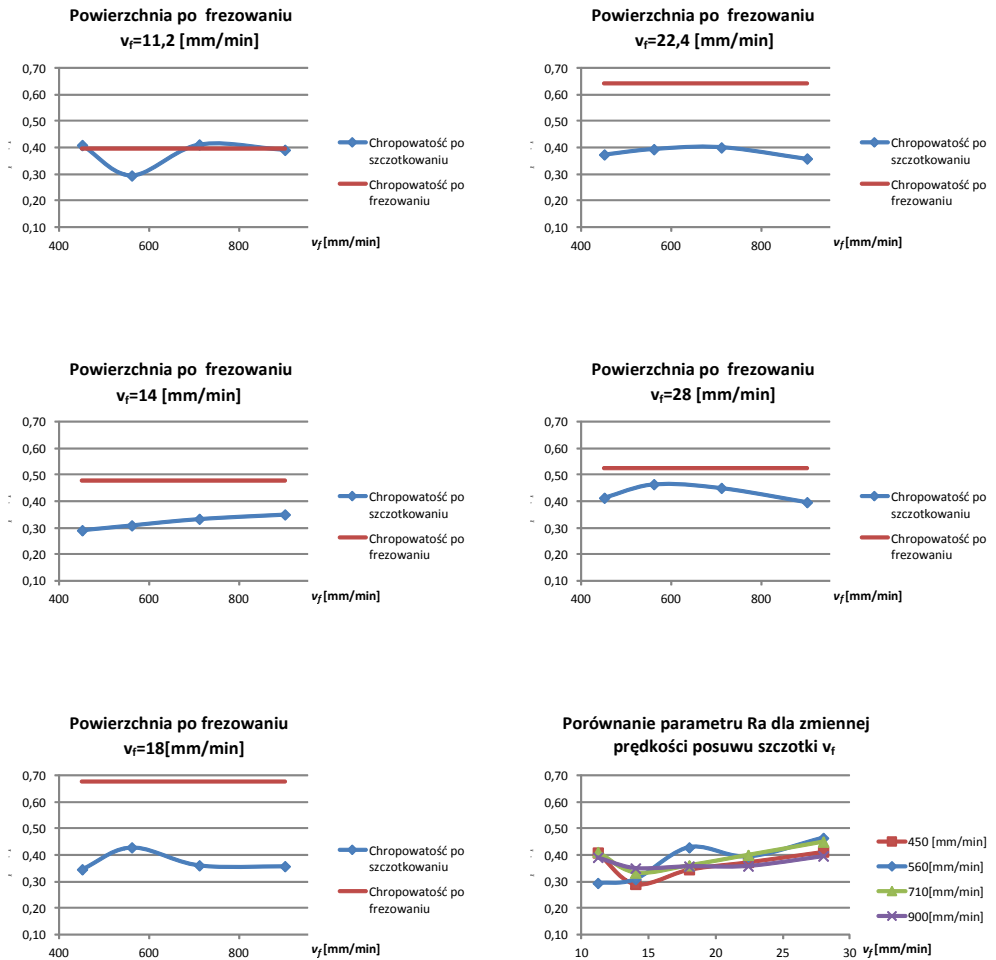
Szczotka	Średnica narzędzia	Długość włókien	Długość całkowita	Średnica tulei	Materiał tulei
A11-CB15M	15 mm	50 mm	90 mm	18,5 mm	plastik

Szczotkowanie przeprowadzono dla prędkości posuwu narzędzia $v_f = 450, 560, 710$ i 900 mm/min przy dosuwie $0,5$ mm, prędkości obrotowej narzędzia $n = 4000$ obr/min. Włókna ceramiczne wysunięto z plastikowej tulei na 10 mm.

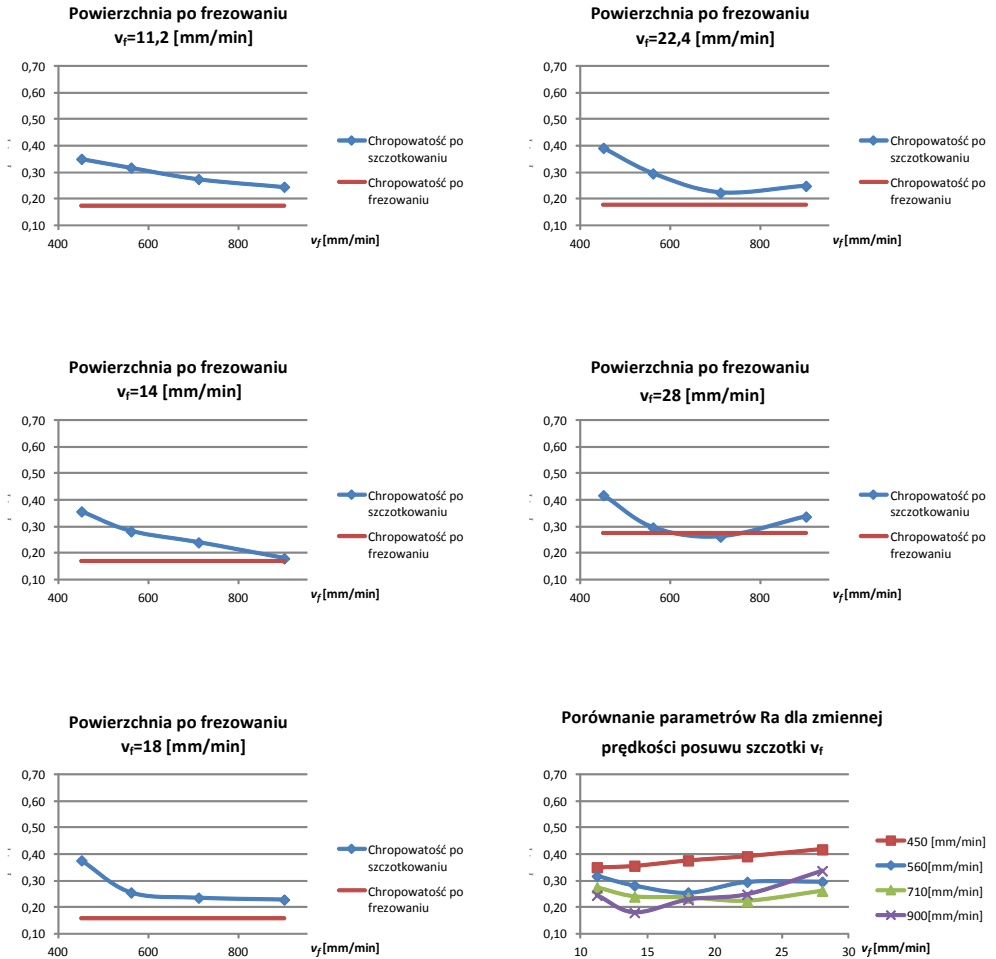
Po przeprowadzeniu toczenia wykonano pomiary chropowatości obrobionych segmentów. Pomiary wykonano na odcinku pomiarowy 6 mm. Filtrację profilu surowego wykonano filtrem Gaussa $\lambda_c = 0,8$ mm. Każdą z powierzchni mierzono w 3 miejscach. Do analizy chropowatości badanych powierzchni wytypowano para-

metr Ra . Do badań struktury geometrycznej powierzchni toczonej segmentów użyto profilografometr FORM TALYSURF 120L firmy TAYLOR HOBSON.

Na rys. 4 i 5 przedstawiono przykładowe wyniki wpływu prędkości posuwu szczotkowania na wartość parametru Ra chropowatości uzyskiwanej na powierzchniach wstępnie frezowanych z różnymi kinematycznymi parametrami skrawania.



Rys. 4. Parametr chropowatości Ra w funkcji prędkości posuwu szczotki ceramicznej na powierzchniach frezowanych wstępnie (powierzchniach odniesienia), ze zmienną prędkością posuwu i $n = 450$ obr/min, głowicą frezarską z płytkami bez pokrycia SPKN 1203 EDR H10S

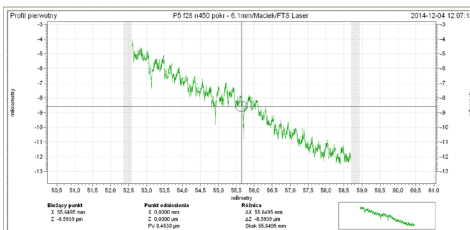


Rys. 5. Parametr chropowatości Ra w funkcji prędkości posuwu szrotki ceramicznej na powierzchniach frezowanych wstępnie (powierzchniach odniesienia), ze zmienną prędkością posuwu i $n = 450$ obr/min, głowicą frezarską z płytkami pokrywanymi azotkiem tytanu SPKN 1203 EDR N210

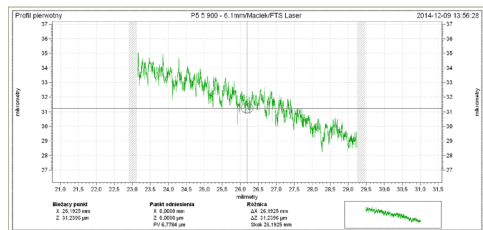
Już wstępna analiza wyników frezowania płytkami z pokryciem i bez pokrycia pozwala stwierdzić, że dla całego zakresu przyjętych prędkości skrawania jego wpływ na zmiany badanego parametru chropowatości Ra jest znaczny. Zastosowanie na płytkach frezarskich dodatkowego pokrycia warstwą TiN umożliwiło znaczne obniżenie parametru chropowatości Ra uzyskiwanego na obrabianych powierzchniach próbki z magnezu AM60. W skrajnym przypadku dla prędkości posuwu $v_f = 18$ mm/min zanotowano wzrost parametru Ra o nawet 400 % po zastosowaniu płytki bez pokrycia.

Analiza wyników frezowania pokazała także, że zastosowanie płytek z pokryciem pozwala na otrzymanie bardzo zbliżonych parametrów chropowatości, niezależnie od zastosowanych posuwów głowicy frezowej. Rozrzut otrzymanych wartości parametru Ra , w całym zakresie badanych posuwów, wynosił maksymalnie $0,15 \mu\text{m}$ dla płytki pokrywanej i $0,4 \mu\text{m}$ dla płytki bez pokrycia.

Jednak głównym celem badań było stwierdzenie, w jakich warunkach po obróbce zgrubnej, może być wskazane zastosowanie szrotkowania (jako alternatywy dla obróbek ściernych) w celu zmniejszenia chropowatości i poprawienia struktury powierzchni elementów ze stopów magnezu. W związku z tym analizie poddano nie tylko wartości uzyskiwanych parametrów chropowatości, ale także przebiegi profili pierwotnych mierzonych na powierzchniach przed i po szrotkowaniu. Przykładowe profile pierwotne obrobionych powierzchni zmierzone na segmencie próbki ze stopu magnezu AM60 po frezowaniu oraz po szrotkowaniu pokazano na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Profil pierwotny po frezowaniu stopu magnezu AM60 z parametrami $n = 450$ obr/min, $v_f = 28$ mm/min, płytką SPKN 1203 EDR N210



Rys. 7. Profil pierwotny po frezowaniu stopu magnezu AM60 z parametrami $n = 450$ obr/min, $v_f = 28$ mm/min, płytką SPKN 1203 EDR N210 i obrabianej szrotką A11-CB15M z $v_f = 900$ mm/min

Analiza otrzymanych obrazów profili pozwala stwierdzić, że już nawet jedno przejście robocze szrotki ceramicznej zmienia charakter otrzymanej powierzchni. Można stwierdzić, że charakterystyczne ślady pochodzące od narzędzia o zdefiniowanej geometrii ostrza i nastawionego posuwu są zastępowane strukturą zbliżoną do tej, jaką otrzymujemy po obróbkach ściernych (a w szczególności po szlifowaniu). Również wióry, jakie powstawały podczas szrotkowania są typowe dla obróbek ściernych. W całym zakresie, w jakim przeprowadzono badania można stwierdzić, że niezależnie od zastosowanej prędkości obrotowej badanej szrotki i jej prędkości posuwu parametr chropowatości Ra po szrotkowaniu mieścił się w zakresie $0,25\text{--}0,4 \mu\text{m}$. Zastosowanie badanej szrotki do przeprowadzenia obróbki wykańczającej powierzchni ma więc racjonalne uzasadnienie, gdy parametr Ra na powierzchni wyjściowej (np. frezowanej) osiąga wartości powyżej $0,5 \mu\text{m}$.

3. PODSUMOWANIE

Zgodnie z zaleceniem producenta szczotek ceramicznych, stosowanie kilkukrotnego przejścia narzędzia powinno w znaczący sposób poprawić jakość obrabianej powierzchni. W pierwszej fazie prac zbadano wpływ kolejnych przejść na chropowatość otrzymanej powierzchni. Stwierdzono, że największe zmiany w strukturze geometrycznej uzyskuje się w trakcie pierwszego przejścia szczotki ceramicznej. Zmiany chropowatości uzyskiwane podczas drugiego przejścia narzędzia były znacznie mniejsze. Natomiast przejście trzecie i kolejne często powodowały efekt odwrotny do zamierzonego – obserwowano wzrost wartości mierzonych wysokościowych parametrów chropowatości. Może to być związane z destrukcyjnym oddziaływaniem kolejnych przejść szczotki ceramicznej na powierzchnię magnezu np.: występowaniem bruzd i zarysowań a także wpływu temperatury i zagniatania warstwy wierzchniej elementów poddanych szczotkowaniu.

Powstające podczas szczotkowania wióry miały postać, którą można zakwalifikować jako korzystną (elementowe). Należy jednak zauważyć, że nich niewielkie wymiary, w połączeniu z niską temperaturą zapłonu magnezu i wysoką temperaturą występującą w strefie skrawania – mogą być źródłem zagrożeń pożarem czy też wybuchem. W trakcie szczotkowania takich materiałów, jak magnez wydaje się więc uzasadnionym stosowanie cieczy chłodzących, które obniżając temperaturę w strefie skrawania nie tylko będą wpływały pozytywnie na stan warstwy wierzchniej obrobionej powierzchni, ale powinny poprawić bezpieczeństwo na stanowisku pracy, na którym wykonywane jest szczotkowanie.

LITERATURA

- [1] AVEDESIAN M., BAKER H.: *Magnesium and magnesium alloys*. ASM International, Materials Park, OH, 1999.
- [2] FRIEDRICH H.E., MORDIKE B.L.: *Magnesium technology – Metallurgy, design data, applications*. Springer Verlag, Berlin 2006.
- [3] GÓRNY Z., SOBCZAK J.: *Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych*. Wydawnictwo Specjalne Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, Kraków 1997.
- [4] KAINER K. U.: *Magnesium Alloys and Technology*. Wiley-VCH, Darmstadt 2003.
- [5] MATUSZAK J., ZALESKI K.: *Wpływ warunków obróbki szczotkowaniem na chropowatość powierzchni przedmiotów wykonanych ze stopów aluminium*. *Mechanik* 8–9/2014, s. 509–516.
- [6] OBORSKI P.: *Przemiany zachodzące w przedsiębiorstwach produkcyjnych*. *Inżynieria maszyn* 2012, tom I, s. 17-29.
- [7] OCZOŚ K.E.: *Efektywne skrawanie stopów magnezu*. *Mechanik* 7/2000.
- [8] OCZOŚ K.E., KAWALEC A.: *Kształtowanie metali lekkich*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.