

Dr inż. Maciej KOWALSKI, dr inż. Paweł KAROLCZAK
(Politechnika Wrocławska):

ANALIZA WPLYWU WARUNKÓW TOCZENIA WZDŁUŻNEGO NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI I POSTAĆ WIÓRÓW STOPU MAGNEZU AM 60

Streszczenie

Prezentowano zagadnienia dotyczące obróbki ubytkowej stopów magnezu. Badaniom poddano odlewniczy stop magnezu AM 60. Zaprezentowano wpływ parametrów skrawania oraz rodzaju płytki skrawającej na chropowatość powierzchni i odmianę wióra powstającego po toczeniu wzdłużnym stopu AM 60. Opisano wpływ warunków obróbki na jego skrawalność.

Słowa kluczowe: warstwa wierzchnia, chropowatość, wiór, PKD, węglik spiekany

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF MAGNESIUM ALLOY AM60 LONGITUDINAL TURNING CONDITIONS ON SURFACE ROUGHNESS AND CHIP FORM

Abstract

The article presents issues concerning magnesium alloys machining. Magnesium alloy AM 60 was studied. This article presents the influence of cutting parameters and the type of cutting insert on surface roughness and chip variation resulting after casting magnesium alloy AM 60 longitudinal turning. The influence of processing conditions on the machinability of the alloy AM 60 is described.

Keywords: surface layer, roughness, chip, PCD, carbide

ANALIZA WPLYWU WARUNKÓW TOCZENIA WZDŁUŻNEGO NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI I POSTAĆ WIÓRÓW STOPU MAGNEZU AM 60

Maciej KOWALSKI¹, Paweł KAROLCZAK¹

1. WSTĘP

Szybki rozwój, jaki można zaobserwować w produkcji środków transportu, a więc w przemyśle samochodowym czy lotniczym, skoncentrowany jest na wprowadzaniu coraz nowocześniejszych materiałów konstrukcyjnych. Głównymi wymaganiami stawianymi przed tymi materiałami są bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe przy jednoczesnym małym ciężarze właściwym. Dążenie do obniżenia masy produktów staje się więc dużym wyzwaniem dla konstruktorów i technologów, a wybór materiału stosowanego do wykonania nowoczesnych konstrukcji musi być poprzedzony analizą wielu czynników obejmujących wymagania: mechaniczne, projektowe, środowiskowe, dotyczące recyklingu, kosztu, dostępności i masy.

Zmniejszenie masy można osiągać na różne sposoby. Jednym z nich jest uszczuplenie konstrukcji w miejscach, w których jest to możliwe, innym zaś – zastosowanie materiału, o którym można powiedzieć, że jest „lekki” (tzn. jego gęstość nie przekracza $4,5 \text{ g/cm}^3$), a ponadto realizuje wszystkie funkcje swojego „cięższego” odpowiednika. Rolę taką z powodzeniem spełniają stopy berylu, tytanu czy magnezu. Ze względu na swoje właściwości stopy berylu znalazły zastosowanie w produkcji aparatury kosmicznej, stopy tytanu – w lotnictwie, w przemyśle motoryzacyjnym zaś stopy magnezu. Ilość możliwych zastosowań tych materiałów wzrasta bardzo szybko, a wynika to nie tylko z potrzeb ochrony środowiska, ale także pozwala zaoszczędzić na surowcach, co przekłada się na ograniczenie kosztów konstrukcji. Ponadto stosowanie nowoczesnych materiałów lekkich może być inspiracją do rozwoju nowych

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

technologii wytwarzania i kształtowania, a to sprzyja wzrostowi konkurencyjności firm, które je stosują [7].

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 [2,5,7]. Poprawnie dobrane zakresu parametrów skrawania pozwalają na uzyskanie podczas obróbki stopów magnezu łatwo łamiących się wiórów o budowie segmentowej, które można w prosty sposób odprowadzić ze strefy skrawania. 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 [6]. Duży niekorzystny wpływ na możliwość powstania zapłonu ma też tworzący się intensywnie narost. Zalecanymi narzędziami do obróbki stopów magnezu są te, które stosuje się w obróbce stopów aluminium [7].

2. METODYKA BADAŃ I ICH WYNIKI

Celem badań było określenie wpływu warunków obróbki na chropowatość powierzchni i postać powstających wiórów w toczeniu wybranego stopu magnezu.

Badania zostały przeprowadzone na odlewniczym stopie magnezu AM60. Jest to jeden z najpopularniejszych obecnie stosowanych stopów odlewniczych na osnowie magnezu. Głównymi składnikami stopowymi są w nim: aluminium i mangan.

Aluminium zwiększa wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie oraz twardość, przy czym największa wytrzymałość występuje przy stężeniu aluminium 5 %, a największe wydłużenie przy 6 %. Wraz ze zwiększaniem stężenia aluminium poprawia się leżność i twardość, którą uzyskuje się za sprawą wydzielenia fazy międzymetalicznej $Mg_{17}Al_{12}$, która jest stabilna do temperatury 120°C. Dodatek aluminium zmniejsza skurcz odlewniczy, ale jednocześnie podnosi kruchość na gorąco. Natomiast mangan, jako dodatek stopowy, nie zwiększa wytrzymałości na rozciąganie, ale poprawia nieco granicę plastyczności. Wpływa na poprawę odporności na korozję, ponieważ ogranicza niekorzystny wpływ żelaza, które jest przyczyną korozji. Zaletą dodawania manganu do stopów magnezu jest również poprawienie spawalności [1,2,3,4].

Skład chemiczny badanego stopu przedstawiono w tabeli 1. W tabeli 2 pokazano właściwości mechaniczne badanego stopu.

Tabela 1. 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	-

Tabela 2. 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

Materiał, ze względu na brak dostępności w postaci wałka, 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 powtórnym odlaniu zostały przycięte do przekrojów prostokątnych na pile ramowej ARG 300 Plus firmy PILOUS i toczone na wałek o średnicy 62 mm i długości 380 mm (rys. 1). Po toczeniu zgrubnym na wałku wykonano segmenty o szerokości 15 mm (rys. 2), na których prowadzono badania skrawalności. Badania te prowadzono na tokarce uniwersalnej ze sterowaniem numerycznym CNC TUR 560 MN.



Rys. 1. Zgrubne toczenie wałka z magnezu AM60

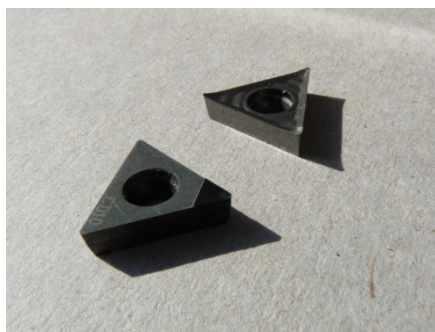


Rys. 2. Toczenie segmentów na wałku z magnezu AM60

Do badań użyto dwóch płytek trójkątnych T, o dodatniej geometrii (kąt przyłożenia 7°), które były wykonane z węglika spiekanego H 10 oraz z diamentu polikrystalicznego CD 10 (rys. 3). Do płytek dobrano oprawkę STGCR 2020K 16 o kącie przyślawienia 91° firmy Sandvik Coromant (rys. 4).

Oba rodzaje wybranych płytek są przeznaczone do skrawania aluminium i zostały zastosowane do obróbki magnezu ze względu na podobieństwo twardości i wytrzymałości stopów magnezu i aluminium oraz na brak specjalnych gatunków materiałów skrawających przeznaczonych do obróbki stopów magnezu.

Toczenie przeprowadzono dla prędkości skrawania $v_c = 115; 220; 350$ m/min przy posuwach $f = 0,13; 0,24$ oraz $0,37$ mm/obr oraz głębokości skrawania $a_p = 1,5$ mm.



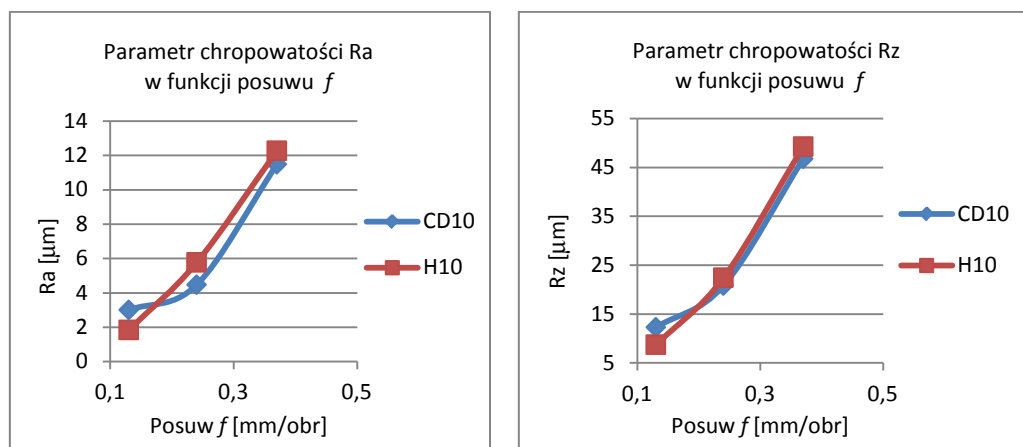
Rys. 3. Płytki trójkątne TCMW16T304FP (z lewej) i TCGX16T304-Al (z prawej)



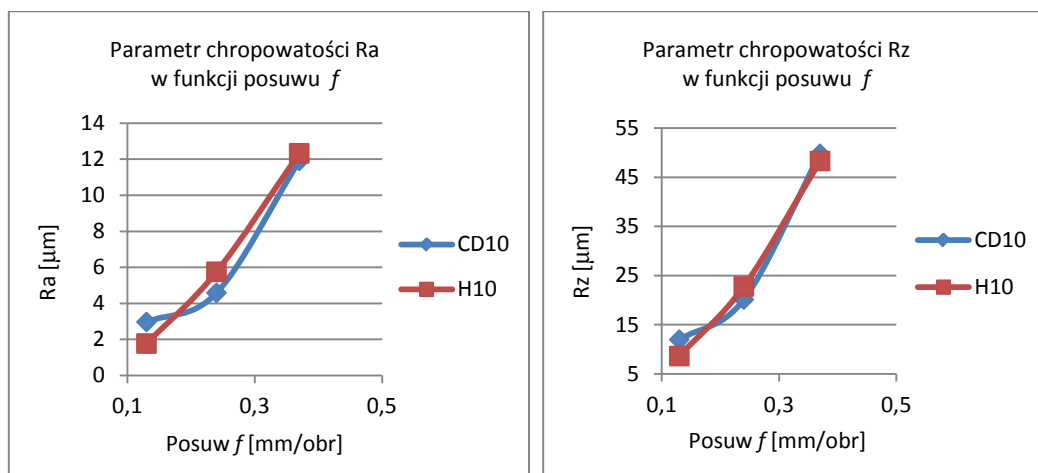
Rys. 4. Oprawka STGCR 2020K 16

Po przeprowadzeniu toczenia wykonano pomiary chropowości obrobionych segmentów. Do pomiarów przyjęto odcinek pomiarowy 8 mm. Filtrację profilu surowego wykonano filtrem Gaussa $\lambda_c = 0,8$ mm. Każdą z powierzchni mierzono w 3 miejscach, obracając próbkę o 120° . Do analizy chropowości badanych powierzchni wytypowano parametr R_a , który razem z parametrem R_z jest często stosowany do opisu chropowości powierzchni w warunkach przemysłowych. Do badań struktury geometrycznej powierzchni toczonej segmentów użyto profilografometru FORM TALYSURF 120L firmy TAYLOR HOBSON.

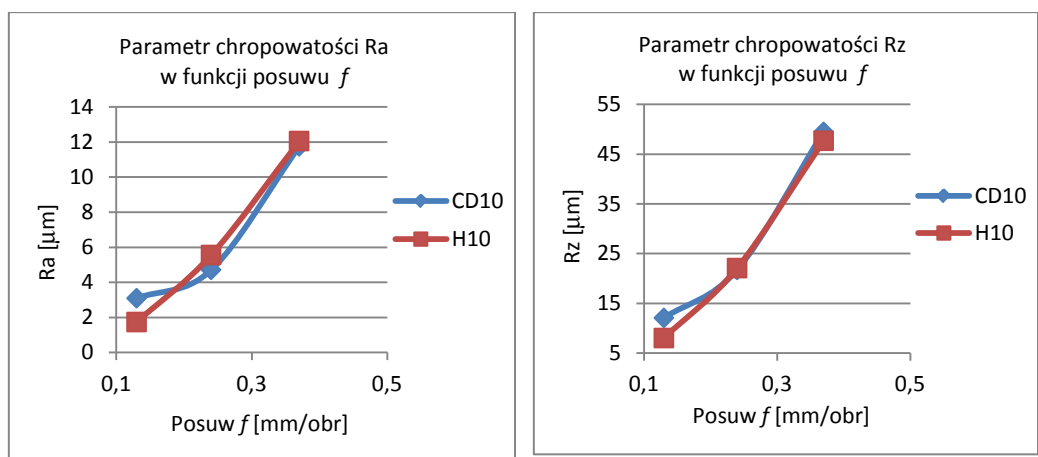
Na rys. 5–7 przedstawiono wpływ posuwu na otrzymywaną w wyniku skrawania chropowość powierzchni opisaną parametrami R_a i R_z .



Rys. 5. Parametry chropowości R_a i R_z w funkcji posuwu f po toczeniu płytkami trójkątnymi TCMW16T304FP (CD10) i TCGX16T304-Al (H10) przy prędkości skrawania $v_c = 115$ m/min



Rys. 6. Parametry chropowości R_a i R_z w funkcji posuwu f po toczeniu płytkami trójkątnymi TCMW16T304FP (CD10) i TCGX16T304-Al (H10) przy prędkości skrawania $v_c = 220$ m/min



Rys. 7. Parametry chropowości R_a i R_z w funkcji posuwu f po toczeniu płytkami trójkątnymi TCMW16T304FP (CD10) i TCGX16T304-Al (H10) przy prędkości skrawania $v_c = 350$ m/min

Wykresy pokazano dla stałych prędkości skrawania (odpowiednio $v_c = 115$; 220 i 350 m/min) i dwóch różnych materiałów ostrza skrawającego.

Już wstępna analiza otrzymanych wyników pozwala stwierdzić, że dla całego zakresu przyjętych prędkości skrawania jej wpływ na zmiany badanych parametrów chropowości R_a i R_z jest niewielki. W przypadku zmian posuwu zauważalny jest natomiast, czego można było się spodziewać, znaczny ich wpływ na otrzymywaną chropowość powierzchni. Dużo ciekawsze wyniki otrzymano poddając analizie wpływ rodzaju materiału płytki na wartości badanych parametrów chropowości.

Efektem obróbki stopu magnezu AM60 płytkami trójkątnymi z polikrystalicznego diamentu i węgla spiekane go było osiągnięcie, we wszystkich badanych przypadkach, bardzo zbliżonych wartości parametrów chropowatości Ra i Rz .

Najmniejszą chropowatość na badanych powierzchniach wynoszącą $Ra = 1,84 \mu\text{m}$, $Rz = 8,72 \mu\text{m}$, uzyskano podczas skrawania płytką wykonaną z węgla spiekane go przy najniższym badanym posuwie $f = 0,13 \text{ mm/obr}$ i prędkości skrawania $v_c = 115 \text{ m/min}$. Przy wyższych wartościach posuwu niższą wartości chropowatości można uzyskać stosując płytki wykonane z diamentu CD10. Największa różnica w chropowatości uzyskiwanej powierzchni można zauważyć dla posuwu $f = 0,24 \text{ mm/obr}$, gdzie różnica w wartości zmierzonej parametru Ra wynosi $1,3 \mu\text{m}$. Charakter krzywych opisujących uzyskiwane chropowatości w funkcji posuwu jest zbliżony dla obu badanych materiałów narzędziowych. Można również stwierdzić, że wartości mierzonych wysokościowych parametrów chropowatości niezależnie od zastosowanego materiału narzędzia są do siebie zbliżone.

Kolejnym etapem oceny skrawalności stopu magnezu AM60 było badanie wpływu materiału ostrza skrawające go i parametrów skrawania na rodzaj wióra powstające go podczas toczenia wzdłużne go.

Wióry produkowane podczas obróbki stopu magnezu AM60 zależą w dużej mierze od użytych podczas obróbki narzędzi. W tabeli 3 przedstawiono wybrane przykłady wiórów, jakie otrzymano podczas obróbki stopu AM60 z posuwem $f = 0,13 \text{ mm/obr}$ i prędkościami skrawania $v_c = 115; 220$ i 350 m/min (płytki CD10 i H10).

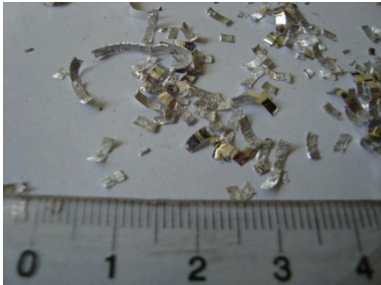





Wybrana do badań płytka trójkątna z węgla spiekane go H10 ma na powierzchni natarcia łamacz, który skutecznie rozdrabnia wióry dla całego zakresu badanych posuwów i prędkości skrawania. Obróbka tą płytką zapewniła powstanie wióra o jednej z korzystnych postaci tzn.: wiór luźny, zmieniający wraz ze wzrostem prędkości skrawania swój charakter na spiralny bądź też śrubowy krótki. Płytki z narożem wykonanym z diamentu polikrystaliczne go CD10 nie mają na powierzchni natarcia łamaczy, przez co wióry, które powstają przy obróbce toczeniem badanego stopu magnezu są znaczne go długości. Wraz ze zwiększaniem się badanej prędkości skrawania ich charakter zmienia się z wstęgowych krótkich na wstęgowe długie ze występującą tendencją do zwiłania się. Przy najwyższe go badanej prędkości skrawania i najmniejsze go posuwie zaobserwowano bardzo długie wióry wstęgowe o największe go długości (dochodzące go nawet do 60 mm).

Zwiększanie posuwu, dla wszystkich badanych prędkości skrawania ($v_c = 115; 220$, i 350 m/min), wpływało korzystnie na postać otrzymywanego wióra. Zmiana postaci badanego wióra wraz ze wzrostem zastosowanego posuwu jest szczególnie dobrze widoczna w przypadku skrawania płytkami diamentowymi bez łamacza wióra.

Można więc stwierdzić, że o ile dobór gatunku materiału płytki nie ma większe go wpływu na otrzymywaną chropowatość powierzchni stopu AM60, to wskazane byłoby, w przypadku użycia obu rodzajów badanych płytek, stosowanie wyższe go posuwów, które zapewnią korzystniejszą postać wióra, co przy obróbce łatwopalne go ma-

gnezu może mieć istotne znaczenie dla zachowania bezpieczeństwa na stanowisku pracy.

Tabela 3. Przykładowe wióry po toczeniu wzdłużnym stopu magnezu AM60

Posuw $f = 0,13$ mm/obr		
	TCMW16T304FP (CD10)	TCGX16T304-Al (H10)
$v_c = 115$ m/min		
$v_c = 220$ m/min		
$v_c = 350$ m/min		

4. PODSUMOWANIE

Podczas procesu toczenia próbki z magnezu AM60 zauważono, że na płytkach skrawających, zarówno z narożem z diamentu polikrystalicznego, jak i węgla spiekanego w intensywny sposób powstaje narost. Zjawisko to, w połączeniu z niewielką twardością skrawanych materiałów, ma wpływ na ścinanie wierzchołków chropowatości oraz występowanie bruzd na badanych powierzchniach.

niach. W przypadku stopów magnezu narost jest niekorzystny także ze względu na podwyższanie temperatury na styku narzędzie – przedmiot obrabiany. W miejscu tym możliwa jest inicjacja zagrożenia pożarowego.

Zbierane podczas skrawania wióry miały postacie, które można zakwalifikować w większości przypadków jako korzystne (elementarne, łukowe lub śrubowe krótkie). Zauważono również wióry wstęgowe krótkie, jednak ich długość dla płytki z węgla spiekanego dochodziła, przy zastosowaniu parametrów skrawania $v_c = 350$ m/min, $f = 0,13$ mm/obr, maksymalnie do 5–6 mm. W przypadku płytek z narożem z diamentu polikrystalicznego nie zastosowano łamacza wiórów. Wynikiem tego może być powstawanie niekorzystnych wiórów wstęgowych o długości dochodzącej do 60 mm.

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] KIM J.D., LEE K.B.: *Surface roughness evaluation in dry-cutting of magnesium alloy by air pressure coolant*. Sejong University 2010.
- [6] OCZOŚ K.E.: *Efektywne skrawanie stopów magnezu*. Mechanik 7/2000.
- [7] OCZOŚ K.E., KAWALEC A.: *Kształtowanie metali lekkich*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.