83/22

Archives of Foundry, Year 2006, Volume 6, № 22 Archiwum Odlewnictwa, Rok 2006, Rocznik 6, Nr 22 PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

MIKROSTRUKTURA I WŁASNOŚCI MECHANICZNE ODLEWNICZYCH STOPÓW MAGNEZU Mg–Al

L.A. DOBRZAŃSKI¹, T. TAŃSKI², L. ČÍŽEK³ ^{1, 2} Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Polska ³ VSB- Techniczny Uniwersytet w Ostrawie, Wydział Metalurgii I Materiałów Inżynierskich, ul. 17 Listopada 15, 708 33 Ostrawa, Czechy

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono strukturę i właściwości odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie odlanym i po obróbce cieplnej. Zaprezentowane wyniki dotyczą mikroskopii świetlnej, analizy rozkładu powierzchniowego pierwiastków, obserwacji powierzchni na przełomach porzecznych odlewniczych stopów magnezu i prób wytrzymałościowych w temperaturze pokojowej.

Key words: magnesium alloys, heat treatment, structure, mechanical properties

1.WSTĘP

Współczesny rozwój techniki stwarza konieczność szukania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, zmierzających do poprawy poziomu efektywności i jakości produktu, do minimalizacji wymiarów i masy, a także do zwiększenia niezawodności i stabilności wymiarowej w warunkach eksploatacji. Od kilkunastu lat widoczne jest wzmożone zainteresowanie stopami metali nieżelaznych, w tym także stopami magnezu, które są przedmiotem badań w wielu ośrodkach badawczo-naukowych i uniwersyteckich w kraju i zagranicą jak również u głównych producentów przemysłu budowy maszyn, chemicznego, energetycznego, włókienniczego, elektronicznego, biurowego, aeronautycznego, a w szczególności przemysłu motoryzacyjnego, okrętowego, lotniczego i sportowego, a nawet nuklearnego [1-8]

¹*dr h.c. prof. zw. dr hab. inż., leszek.dobrzanski@polsl.pl* ²*mgr inż., tomasz.tanski@polsl.pl* ³*prof., lubomir.cizek@vsb.cz*

Powyższe przesłanki pozwalają sądzić, że podejmowaną tematykę dotyczącą stopów magnezu, można uznać za aktualną nie tylko z punktu widzenia naukowego, ale również aplikacyjnego.

2.METODY BADAŃ

Badania wykonano na eksperymentalnych odlewniczych stopach magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie odlanym i po obróbce cieplnej (tabela 2) opracowanych przy współpracy z Wydziałem Metalurgii i Materiałów Inżynierskich, Uniwersytetu Technicznego w Ostravie w Czechach, a także z fabryką ČKD Motory, zakłady Hradec Králové, Czechy. Skład chemiczny badanych materiałów podano w tabeli 1.

Tabela 1. Stężenie masowe pierwiastków stopowych w badanych stopach Table 1. Chemical composition of investigation alloy

Stężenie masowe pierwiastków stopowych w badanych stopach, %										
Al	Zn	Mn	Si	Fe	Pb	Ce	Mg	Reszta		
5,62	0,46	0,16	0,034	0,07	0,034	0,01	93,6	0,008		

Tabela 2. Parametry obróbki cieplnej badanych stopów Table 2. Parameters of heat treatment of investigation alloy

Oznaczonia stanu	Warunki obróbki cieplnej					
obróbki cieplnej	Temp., °C	Czas wygrzewania, godz.	Rodzaj obróbki cieplnej			
0	stan odlany					
1	430	10	przesycanie (woda)			
2	430	10	przesycanie (powietrze)			
3	430	10	wyżarzanie			
4	190	15	starzenie			

Badania metalograficzne wykonano na próbkach z odlewniczych stopów magnezu inkludowanych w żywicach termoutwardzalnych. Czas trawienia dla każdej próbki mieścił się w przedziale 5÷10 s. Obserwacje strukturalną badanych materiałów odlewniczych wykonano na mikroskopie świetlnym LEICA MEF4A.

Analizę rozkładu powierzchniowego pierwiastków stopowych w próbkach badanych odlewniczych stopów magnezu, w stanie surowym oraz poddanych obróbce cieplnej wykonano na zgładach poprzecznych na mikroskopie skaningowym DSM-940 firmy Opton ze spektrometrem rozproszonego promieniowania rentgenowskiego EDS LINK ISIS firmy Oxford przy napięciu przyspieszającym 15 kV oraz na mikroanalizatorze rentgenowskim JEOL JCXA 733.

Pomiar wytrzymałości na rozciąganie wykonano na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Zwick Z100 w temperaturze pokojowej.

3.0MÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Nowo opracowane wieloskładnikowe odlewnicze stopy magnezu Mg-Al-Zn o zróżnicowanej zawartości stężenia składników stopowych, a w szczególności aluminium, a także Zn i Mn, przy określonym poziomie mikrododatków Pb, Ce, Zr, Sn i Be, zapewniających uzyskanie pożądanej struktury w stanie surowym i po obróbce cieplnej wytworzono w procesie odlewania do form piaskowych.

W wyniku badań metalograficznych wykonanych na mikroskopie świetlnym opartych na rentgenowskiej mikroanalizie jakościowej wskazują, że odlewnicze stopy magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie odlanym charakteryzują się mikrostrukturą roztworu stałego α stanowiącego osnowę stopu oraz nieciągłej międzymetalicznej fazy $\beta - Mg_{17}Al_{12}$ w formie płytkowej umiejscowionej głównie na granicach ziarn (rys. 2a).



- Rys. 2. Mikrostruktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie: a) odlanym,
 b) przesyconym po ochłodzeniu w wodzie, c) przesyconym po ochłodzeniu na powietrzu, d) po starzeniu.
- Fig. 2. Microstructure cast alloy MCMgAl6Zn1: a) without heat treatment, b) the solution heat treatment after water cooling, c) the solution heat treatment after air cooling, d) after ageing air-cooling.

Ponadto w pobliżu wydzieleń fazy międzymetalicznej β stwierdzono obecność eutektyki iglastej (α + β). W strukturze badanych odlewniczych stopów magnezu można oprócz wydzieleń fazy Mg₁₇Al₁₂ zaobserwować również zabarwiające się na kolor szary fazy charakteryzujące się kanciastymi konturami o gładkich krawędziach w kształcie cząstek sześciokątnych. Z badań składu chemicznego przy użyciu spektrometru

rozproszonego promieniowania rentgenowskiego EDS, a także danych literaturowych można wnioskowa, że jest to związek Mg₂Si, który wydzielając się podwyższa twardość odlewów. Po procesie przesycania z chłodzeniem w wodzie i na powietrzu w strukturze stopu uwidoczniono w śladowe ilości fazy β (Mg₁₇Al₁₂) oraz pojedyncze wydzielenia jasno szarej fazy. W strukturze nie dostrzeżono miejsc występowania eutektyki (rys. 2b, 2c). Zastosowany proces starzenia po procesie przesycania z chłodzeniem na powietrzu spowodował wydzielanie się fazy β na granicach ziarn, a także w postaci obszarów pseudoeutektycznych. W strukturze materiału uwidoczniono również równoległe pasma, które mogą wskazywać na występowanie w materiale zbliźniaczonych części kryształu (rys. 2d).

Analiza chemiczna rozkładu powierzchniowego pierwiastków wykonana na zgładach poprzecznych z odlewniczych stopów magnezu za pomocą systemu EDS potwierdziła wyraźne koncentracje magnezu, krzemu, a także aluminium, manganu i żelaza co wskazuje na występowanie w strukturze stopów wydzieleń zawierających Mg i Si charakteryzujących się kanciastymi konturami (rys. 3), a także faz o dużym stężeniu Mn i Al wykazujących charakter nieregularny o nierównej powierzchni, występujących często w kształcie kulek lub igieł. Zarówno w osnowie stopu jak również w obszarze eutektyki i dużych wydzieleń powstałych na granicach faz zidentyfikowanych jako Mg₁₇Al₁₂ stwierdzono przeważający udział magnezu i aluminium, a także niewielkie stężenie Zn (rys. 3).





Fig. 3. Microstructure cast magnesium alloy MCMgAl9Zn1 after cooling in the furnace (A) and maps of elements' distribution b).

Wyniki statycznej próby rozciągania umożliwiają określenie i porównanie własności wytrzymałościowych i plastycznych badanych, odlewniczych stopów magnezu w stanie odlanym i po obróbce cieplnej. (Tabela 3). W wyniku przeprowadzonych prób wytrzymałościowych stwierdzono, że poddanie stopu obróbce cieplnej nieznacznie polepsza jego własności mechaniczne, co jest prawdopodobnie spowodowane niewielkim ~ 6% stężeniem aluminium w badanym stopie, wchodzącym w skład faz utwardzających materiał – $\beta Mg_{17}Al_{12}$.

Tabela 3. Własności mechaniczne odlewanych stopów Table 3. Mechanical properties analysis magnesium alloys

Podzaj obróbki	Granica plastyczności	Wytrzymałość na	Wydłużenie
Kouzaj obiooki	Rp _{0,2} , [MPa]	rozciąganie Rm, [Mpa]	A, [%]
stan odlany	90,722	192,124	11,602
przesycanie (woda)	87,868	201,536	13,950
przesycanie (powietrze)	85,228	200,534	11,498
wyżarzanie	96,284	214,142	9,338
starzenie	92,026	222,450	10,120

W celu pełniejszej charakterystyki wpływu obróbki cieplnej i stężenia aluminium na własności odlewniczych stopów magnezu wykonano zdjęcia struktur przełomów po statycznej próbie rozciągania (rys. 4).



Rys. 4. Struktura przełomu odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie: a) odlanym, b) przesyconym w wodzie, c) wyżarzonym.

Fig. 4. Structure fracture surface of magnesium casting alloy MCMgAl6Zn1 in state: a) without heat treatment, b) the solution heat treatment after water cooling, c) after annealing.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że badany stop MCMgAl6Zn1 w stanie odlanym, po wyżarzaniu i starzeniu charakteryzuje się przełomem mieszanym, natomiast po przesycaniu z chłodzeniem w wodzie oraz na powietrzu materiał wykazuje ciągliwy charakter przełomów.

4.PODSUMOWANIE

Wyniki badań metalograficznych wykonane na mikroskopie świetlnym i (rys. 2) oparte na analizach rozkładu powierzchniowego pierwiastków (rys. 3) wskazują, że odlewniczy stop magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie odlanym i po obróbce cieplnej charakteryzuje się mikrostrukturą roztworu stałego α stanowiącego osnowę stopu oraz

nieciągłej międzymetalicznej fazy $\beta - Mg_{17}Al_{12}$ w formie płytkowej, umiejscowionej głównie na granicach ziarn. Ponadto w pobliżu wydzieleń fazy międzymetalicznej β stwierdzono obecność eutektyki iglastej (α + β). W wyniku przeprowadzonych prób wytrzymałościowych stwierdzono, że poddanie stopu obróbce cieplnej nieznacznie polepsza jego własności mechaniczne.

LITERATURA

- A. Maltaisa, D. Dubé, M. Fiseta, G. Larochea, S. Turgeon: Improvements in the metallography of as-cast AZ91 alloy, Materials Characterization, 52 (2004), s. 103-119.
- [2] R.M. Wang, A. Eliezer, E.M. Gutman: An investigation on the microstructure of an AM50 magnesium alloy, Materials Science and Engineering, A355 (2003), s. 201-207.
- [3] H. Baker: ASM Specialty Handbook. Magnesium and Magnesium Alloys, ed. Avedesian, ASM International, The Materials Information Society, USA 1999
- [4] K.U. Kainem: Magnesium Alloys and Technology, Willey-VH, Weinheim, Germany 2003.
- [5] H. Okamoto: Mg (magnesium). Phase diagrams of binary magnesium alloys, ASM International, 1988, s. 1-3.
- [6] J. Schemme Knut: Magnesium motorcycle wheels for racing applications, Magnesium Alloys and their Applications by Kainem K.U., Wiley-VH, Weinheim, Germany 2000, s. 391-395.
- [7] L.A. Dobrzański, T. Tański, L. Čížek: Influence of modification with chemical elements on structure of magnesium casting alloys, 13th Scientific International Conferences, "Achievements in Mechanical and Materials Engineering, AMME' 2005", Gliwice – Wisła 2005, s. 199-202.
- [8] A. Fajkiel, P. Dudek: Odlewnictwo Nauka i Praktyka, Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa, Kraków 2004, s. 18-21.

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF MAGNESIUM CAST ALLOYS Mg-AI

SUMMARY

In the following paper there have been the structure and properties of the MCMgAl6Zn1 magnesium cast alloy as-cast state and after a heat treatment presented. The following results concern light microscopy, quantitative X-ray diffraction method, The observed fractures in the casting magnesium alloys and tensil test in the room temperature.

Recenzował: Prof. Józef Gawroński