13/21

ARCHIWUM ODLEWNICTWA
Rok 2006, Rocznik 6, Nr 21(1/2)
ARCHIVES OF FOUNDARY
Year 2006, Volume 6, Nº 21 (1/2)
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

MIKROSTRUKTURA ODLEWNICZYCH STOPÓW MAGNEZU Mg – Al

L.A. DOBRZAŃSKI[1], T. TAŃSKI[2], L. ČÍŽEK[3], J. DOMAGAŁA[4]
[1, 2, 4] 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 odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 w stanie odlanym i po obróbce cieplnej. Zaprezentowane wyniki dotyczą mikroskopii świetlnej i skaningowej, rentgenowskiej analizy fazowej jakościowej, mikroanalizy rentgenowskiej jakościowej i ilościowej. Podejmowane badania, mają na celu określenie wpływu składu chemicznego i procesów wydzieleniowych na strukturę odlewniczych stopów magnezu.

Key words: magnesium alloys, heat treatment, structure

1.WSTĘP

Nowoczesne materiały powinny charakteryzować się wysokimi własnościami mechanicznymi, fizykochemicznymi i technologicznymi, aby zapewnić długotrwałą i niezawodną eksploatację. Powyższe wymagania i oczekiwania narzucone nowoczesnym materiałom spełniają współcześnie wykorzystywane stopy metali nieżelaznych, w tym także stopy magnezu. Stopy magnezu i ich pochodne, jako materiały z rodziny lekkich i ultralekkich, charakteryzują się niską gęstością i dużą wytrzymałością w odniesieniu do masy [1-6].

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

Dobre własności tej grupy materiałów umożliwiają także optymalizację konstrukcji projektowanych elementów, czyli ze względu na niezawodność i własności użytkowe produktu finalnego. Nowoczesne metody odlewania, zapewniają dobrą zewnętrzną jakość powierzchni odlewu, jego trwałość i niezawodność w warunkach eksploatacji, a także dużą dokładność wymiarową, co sprawia że stają się one coraz bardziej popularne, a ich wykorzystanie jest uzasadnione nie tylko z punktu widzenia technologicznego, ale także uwarunkowań ekonomicznych. Rozwój nowych trendów w konstruowaniu polegający na optymalizacji warunków pracy elementów, ograniczeniu zużywanej energii i możliwości ponownego wykorzystania (recyklingu) pozwala sądzić, że światowe zużycie magnezu w najbliższych latach będzie systematycznie wzrastać, co oznacza, że coraz większa liczba produktów, zespołów i elementów będzie wykonywana z tego stopu [4, 5, 9-11].

Konstruktorzy w coraz większym stopniu współpracują z producentami stopów magnezu, czego dobrym przykładem jest fakt, że obecnie około 70% odlewów ze stopów magnezu przeznaczonych jest dla przemysłu samochodowego. Obniżenie masy samochodu o 100 kg pozwala zaoszczędzić 0,5 l benzyny na 100 km przebiegu samochodu. Przewiduje się, że w najbliższych latach wzrośnie ilość części odlewanych ze stopów magnezu w przeciętnym samochodzie, a masa samochodu obniży się z 1200 kg do 900 kg [4-9].

Konkretnymi przykładami zastosowania odlewów ze stopów magnezu w seryjnej produkcji w przemyśle motoryzacyjnym są elementy zawieszenia osi przedniej i tylnej samochodów, obudowy wału głównego, wsporniki drążka kierownicy, pedały, tablice wskaźników, elementy siedzeń, kierownice, elementy aparatu zapłonowego, filtry powietrza, obręcze kół, miski olejowe, elementy i obudowy skrzyni biegów, szkielety drzwi i okien dachowych i inne [4, 10].

W świetle rosnących wymagań stawianych materiałom lekkim pod względem ich własności mechanicznych, odporności na korozję, kosztów produkcji oraz wpływu procesu produkcyjnego na środowisko naturalne 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 MCMgAl9Zn1 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
9,4	0,84	0,24	0,035	0,007	0,059	0,01	89,4	0,0021

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

Oznaczenie stanu obróbki cieplnej	Warunki 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 w mikroskopie świetlnym LEICA MEF4A oraz na mikroskopie elektronowym skaningowym DSM-940 firmy Opton z wykorzystaniem detekcji elektronów wtórnych.

Rentgenowską analizę fazową jakościową badanych materiałów wykonano przy użyciu dyfraktometru XPert firmy Philips, przy zapisie krokowym 0,05 i czasie zliczania 0,05, stosując przefiltrowane promieniowanie rentgenowskie $K\alpha_1$, o długości fali λ=1.54056 nm pochodzące z lampy o anodzie miedzianej zasilanej napięciem 40 kV przy natężeniu prądu żarzenia 30mA. Pomiary wykonano w zakresie kątowym 2θ od 20 do 140°.

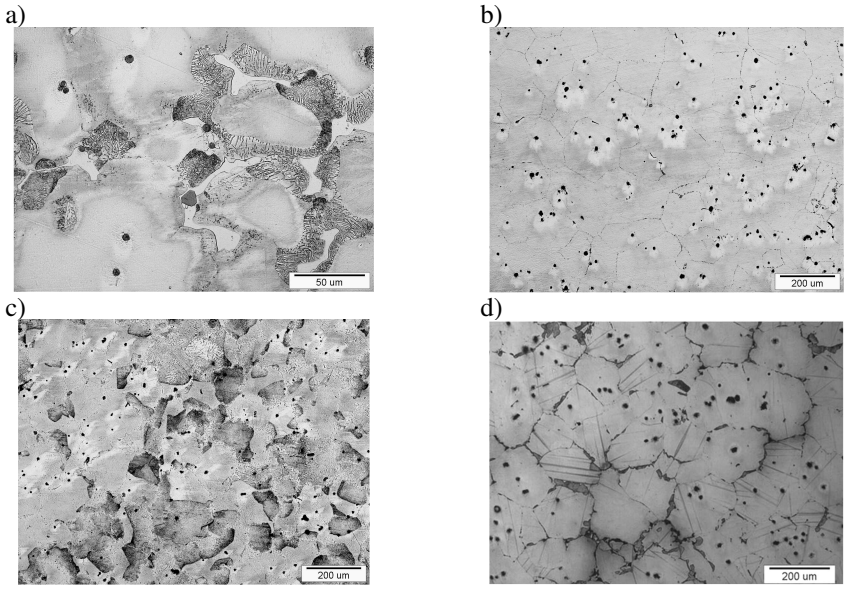
Mikroanalizę rentgenowską jakościową i ilościową oraz analizę rozkładu powierzchniowego pierwiastków stopowych w próbkach badanych odlewniczych stopów magnezu, w stanie surowym oraz poddanych obróbce cieplnej wykonano na zgładach poprzecznych na mikroskopie skaningowym DSM-940 firmy Opton ze spektrometrem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

3. OMÓWIENIE 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 i skaningowym opartych na analizach rozkładu powierzchniowego pierwiastków i rentgenowskiej mikroanalizie ilościowej oraz rentgenowskiej analizie fazowej wskazują, że odlewnicze stopy magnezu MCMgAl9Zn1 w stanie odlanym charakteryzują się mikrostrukturą roztworu stałego α stanowiącego osnowę stopu oraz

nieciągłej międzymetalicznej fazy β – $Mg_{17}Al_{12}$ w formie płytkowej umiejscowionej głównie na granicach ziarn (rys. 2a, 3).

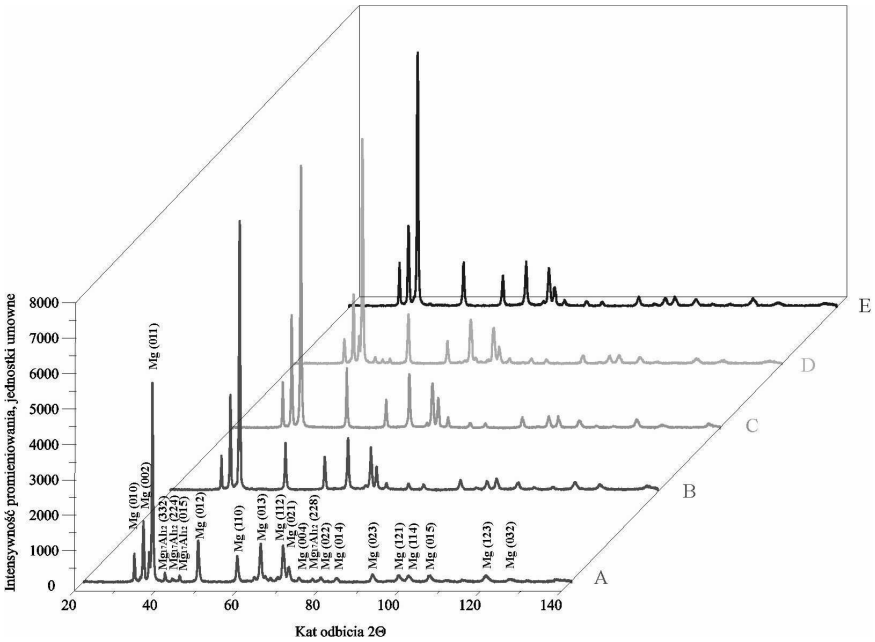


Rys. 2. Mikrostruktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 w stanie: a) odlanym, b) przesyconym po ochłodzeniu na powietrzu, c) przesyconym po ochłodzeniu w piecu, d) po starzeniu

Fig. 2. Microstructure cast alloy MCMgAl9Zn1: a) without heat treatment, b) the solution heat treatment after air cooling, c) the solution heat treatment after furnace 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 $Mg_{17}Al_{12}$ 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 Mg_2Si, 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 ($Mg_{17}Al_{12}$) oraz pojedyncze wydzielenia jasno szarej fazy. W strukturze nie dostrzeżono miejsc występowania eutektyki (rys. 2b). Po procesie wyżarzania z ochłodzeniem w piecu ujawniono strukturę roztworu stałego α z licznymi obszarami wydzielania wtórnej fazy β (obszary przypominające eutektykę), zaobserwowano również wydzielenia fazy β ($Mg_{17}Al_{12}$) umiejscowionej na granicach ziarn oraz jasno szarej fazy zorientowanej przeważnie w obrębie granicy fazy

β (rys. 2c). Struktura tego stopu jest podobna do struktury stopu w stanie odlanym. 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, biegnące przeważnie wzdłuż całego ziarna, które mogą wskazywać na występowanie w materiale zbliźniaczonych części kryształu (rys. 2d).



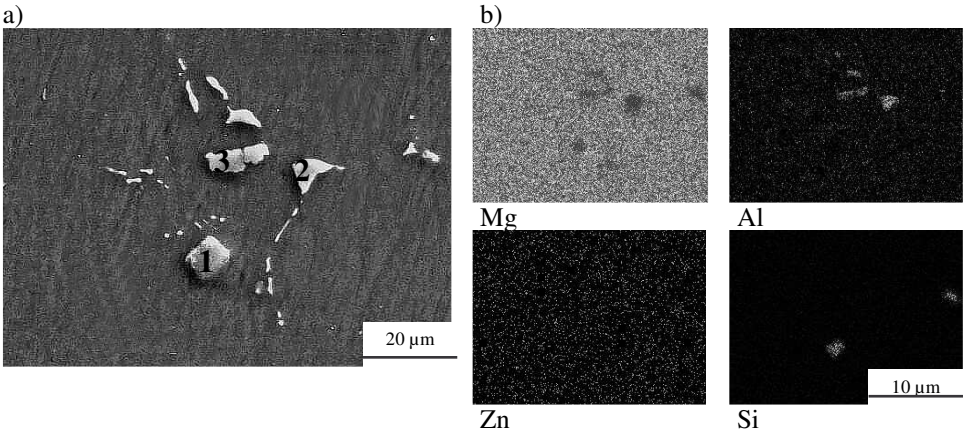
Rys. 3. Dyfraktogram rentgenowski odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1:A – stan odlany, B – przesycanie (woda), C – przesycanie (powietrze),D – chłodzenie z piecem, E – starzenie

Fig. 3. XRD patterns of the magnesium casting alloy MCMgAl9Zn1: A - without heat treatment, B) the solution heat treatment (water), C) the solution heat treatment (air), D) furnace cooling, E) ageing

W wyniku przeprowadzonych badań rozkładu powierzchniowego pierwiastków i rentgenowskiej mikroanalizie ilościowej wykonanych przy pomocy spektrometru energii rozproszonego promieniowania rentgenowskiego EDS potwierdzono obecność głównych dodatków stopowych Mg, Al, Mn, Zn, a także Fe i Si wchodzących w skład odlewniczych stopów magnezu w stanie odlanym i po obróbce cieplnej.

Analiza chemiczna rozkładu powierzchniowego pierwiastków oraz mikroanaliza ilościowa wykonana na zgładach poprzecznych z odlewniczych stopów magnezu za pomocą systemu EDS potwierdziła również 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. 4), 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 $Mg_{17}Al_{12}$ stwierdzono przeważający udział magnezu i aluminium, a także niewielkie stężenie Zn (rys. 4).



Rys. 4. Mikrostruktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 w stanie po ochłodzeniu w wodzie (a) oraz mapy rozmieszczenia pierwiastków (b)

Fig. 4. Microstructure cast magnesium alloy MCMgAl9Zn1 after cooling in the water (a) and maps of elements' distribution b)

Tabela 3. Ilościowa analiza składu chemicznego z rys. 4

Table 3. Quantitative chemical analysis from fig. 4

Pierwiastek	Stężenie pierwiastków w stopie, %	
	masowe	atomowe
Analiza 1 (punkt 1)		
Mg	69,34	70,70
Si	30,50	29,10
reszta	0,16	0,20
Analiza 2 (punkt 2)		
Mg	61,47	64,50
Al	35,09	34,06
Zn	3,17	1,24
reszta	0,27	0,20
Analiza 3 (punkt 3)		
Mg	72,59	75,22
Al	25,28	23,41
Zn	1,73	0,67
reszta	0,40	0,70

4. PODSUMOWANIE

Wyniki badań metalograficznych wykonane na mikroskopie świetlnym i skaningowym (rys. 2, 3, 4) oparte na analizach rozkładu powierzchniowego pierwiastków i rentgenowskiej mikroanalizie ilościowej oraz rentgenowskiej analizie fazowej wskazują, że odlewniczy stop magnezu MCMgAl9Zn1 w stanie odlanym i po obróbce cieplnej charakteryzuje się mikrostrukturą roztworu stałego α stanowiącego osnowę stopu oraz nieciągłej międzymetalicznej fazy β – $Mg_{17}Al_{12}$ w formie płytkowej, umiejscowionej głównie na granicach ziarn. Ponadto w pobliżu wydzieleń fazy międzymetalicznej β stwierdzono obecność eutektyki iglastej (α+β). Wyniki analizy składu chemicznego EDS potwierdzają obecność magnezu, aluminium, manganu i cynku, tworzących strukturę roztworu stałego α z wydzieleniami fazy β (rys. 4, tabela 3), faz o dużym stężeniu Mn i Al wykazujących charakter nieregularny, występujących często w kształcie kulek lub igieł oraz faz Laves'a Mg_2Si.

LITERATURA

[1] 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] L.A. Dobrzański, T. Tański, L. Čížek: *Influence of heat treatment on structure and property of the casting magnesium alloys*, 11th Scientific International Conferences "Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science CAM3S', 2005", Gliwice – Zakopane 2005, s. 283-288.

[4] H. Baker: *ASM Specialty Handbook*. Magnesium and Magnesium Alloys, ed. Avedesian, ASM International, The Materials Information Society, USA 1999

[5] K.U. Kainem: *Magnesium – Alloys and Technology*, Willey-VH, Weinheim, Germany 2003.

[6] H. Okamoto: *Mg (magnesium). Phase diagrams of binary magnesium alloys*, ASM International, 1988, s. 1-3.

[7] 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.

[8] 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.

[9] A. Fajkiel, P. Dudek, G. Sęk-Sas: *Odlewnictwo XXI w. Kierunki rozwoju metalurgii i odlewnictwa stopów metali lekkich*, Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa, Kraków 2002.

[10] A. Fajkiel, P. Dudek: *Odlewnictwo – Nauka i Praktyka*, Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa, Kraków 2004, s. 18-21.
[11] G. Neite, K. Kubota, K. Higashi, F. Hehmann: *Magnesium based alloys*, Materials Science and Technology, 8 (1996), s. 113-120.

MICROSTRUKTURE OF MAGNESIUM CAST ALLOYS Mg-Al

SUMMARY

In the following paper there have been the structure of the MCMgAl9Zn1 magnesium cast alloy as-cast state and after a heat treatment presented. The following results concern light and scanning microscopy, quantitative X-ray diffraction method, X-ray qualitative and quantitative microanalysis.

Recenzował: prof. Jan Szajnar.