

**MIKROSTRUKTURA ODLEWNICZEGO  
STOPU MAGNEZU GA8**A. KIELBUS<sup>1</sup>, J. ADAMIEC<sup>2</sup>, M. HETMAŃCZYK<sup>3</sup>

Politechnika Śląska, Katedra Nauki o Materiałach, Katowice, ul. Krasińskiego 8

## STRESZCZENIE

Odlewniczy stop magnezu GA8 należy do grupy najbardziej znanych stopów magnezu z dodatkiem aluminium. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością, dobrą odpornością korozyjną oraz dobrymi właściwościami odlewniczymi. Znajduje zastosowanie w przemyśle lotniczym na elementy pracujące w temperaturze otoczenia. Artykuł zawiera wyniki badań jakościowej i ilościowej oceny mikrostruktury stopu magnezu GA8 w stanie dostawy. Stwierdzono, że mikrostruktura stopu GA8 w stanie dostawy charakteryzuje się obecnością wydzieleni fazy  $\gamma$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> w osnowie roztworu stałego  $\alpha$ -Mg. Wykazano występowanie dwóch typów wydzieleni fazy  $\gamma$  różniące się morfologią: wydzielenia masywne na granicach ziaren roztworu stałego  $\alpha$  oraz wydzielenia płytkowe, tworzące wraz z roztworem stałym  $\alpha$  obszary o morfologii przypominającej perlit. Ponadto w mikrostrukturze stopu GA8 obserwowano fazę Laves'a Mg<sub>2</sub>Si oraz wydzielenia fazy Mn<sub>5</sub>Al<sub>8</sub>.

*Key words: stop magnezu GA8, mikrostruktura, analiza ilościowa, faza Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>.*

**1. WPROWADZENIE**

Stopy Mg-Al charakteryzują się dobrą lejninością, odpornością korozyjną i wykazują wysoki poziom właściwości mechanicznych. Rozpuszczalność pierwiastków stopowych w roztworze stałym jest głównym czynnikiem decydującym o ich własnościach. Zależy ona od względnej wielkości atomów, elektroujemności oraz podobieństwa struktur krystalicznych [1,2]. Do przedstawicieli tej grupy stopów zaliczany jest stop GA8. Zawiera on, oprócz aluminium dodatki cynku, manganu i krzemu [3].

---

<sup>1</sup> dr inż., [andrzej.kielbus@polsl.pl](mailto:andrzej.kielbus@polsl.pl)

<sup>2</sup> dr inż., [janusz.adamiec@polsl.pl](mailto:janusz.adamiec@polsl.pl)

<sup>3</sup> prof. dr hab. inż., [marek.hetmanczyk@polsl.pl](mailto:marek.hetmanczyk@polsl.pl)

Aluminium zwiększa wytrzymałość stopów magnezu na rozciąganie w temperaturze pokojowej. Najlepszy stosunek własności wytrzymałościowych do plastycznych uzyskuje się przy zawartości 6%Al. Zwiększenie zawartości aluminium prowadzi bowiem do zmniejszenia ciągliwości stopu w wyniku zwiększenia udziału objętościowego kruchych faz  $\gamma$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> lub Al<sub>8</sub>Mn<sub>5</sub>. Aluminium poprawia również własności odlewnicze stopu. Cynk zwiększa wytrzymałość stopów magnezu na rozciąganie w temperaturze pokojowej. Przy zawartości 1% Zn w stopie mającym 7÷10% Al zwiększa on jednak kruchość na gorąco. Cynk zwiększa odporność na korozję wywołaną zanieczyszczeniami Fe i Ni. Stosowany jest również w celu poprawy lejućności stopów magnezu. Krzem tworzy z magnezem fazę Lavesa Mg<sub>2</sub>Si. Poprawia odporność na pelzanie, zmniejsza natomiast odporność korozyjną stopów magnezu zawierających Fe. Mangan nie wpływa istotnie na wytrzymałość stopów magnezu na rozciąganie, podnosi jednak granice plastyczności tych stopów. Polepsza odporność korozyjną na działanie wody morskiej, tworząc z aluminium i zanieczyszczeniami żelaza fazy międzymetaliczne MnAl<sub>4</sub>, Al<sub>8</sub>Mn<sub>5</sub> i Mn-Al-Fe. Kontroluje zawartość żelaza w stopie poprzez zmniejszenie jego stężenia w ciekłej kąpeli poniżej dopuszczalnej wartości 50 ppm [3].

## 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

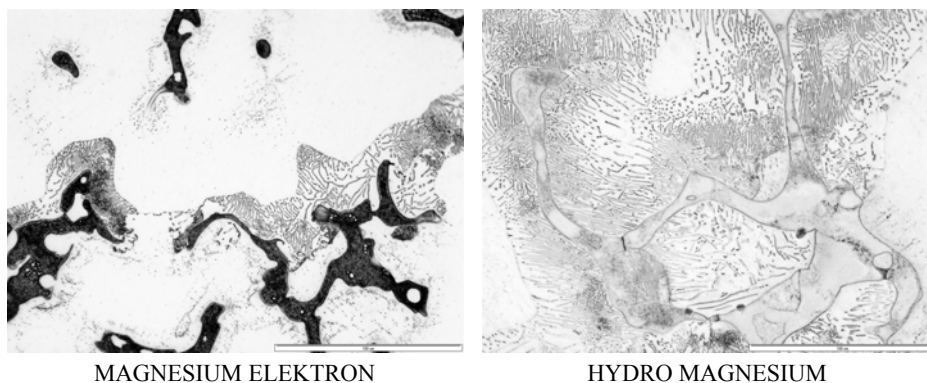
Materiał do badań stanowiły gąski ze stopu GA8 pochodzące od dwóch różnych dostawców: firmę *MAGNESIUM ELEKTRON (MEL)* z Wielkiej Brytanii oraz firmę *HYDRO MAGNESIUM (HM)* z Norwegii. Skład chemiczny stopu był zgodny z wymaganiami norm przedmiotowych (7,5÷9% Al, 0,2÷0,8% Zn, 0,15÷0,5% Mn).

Zgłady metalograficzne wykonywano zgodnie z procedurą opracowaną w Katedrze Nauki o Materiałach [4]. Zgłady metalograficzne trawiono odczynnikami zawierającym 10 ml HF oraz 90 ml H<sub>2</sub>O. Obrazy mikrostruktur analizowano na mikroskopie metalograficznym OLYMPUS GX71 oraz mikroskopie elektronowym skaningowym HITACHI S-3400N ze spektrometrem z dyspersją energii Thermo Noran wyposażonym w system SYSTEM SIX. Badania ilościowej oceny mikrostruktury przeprowadzono na stanowisku do automatycznej analizy obrazu wyposażonym: w mikroskop świetlny odwrócony OLYMPUS GX71, kamerę wysokiej rozdzielczości DP70 oraz system akwizycji i analizy obrazu *AnalysisPro*®.

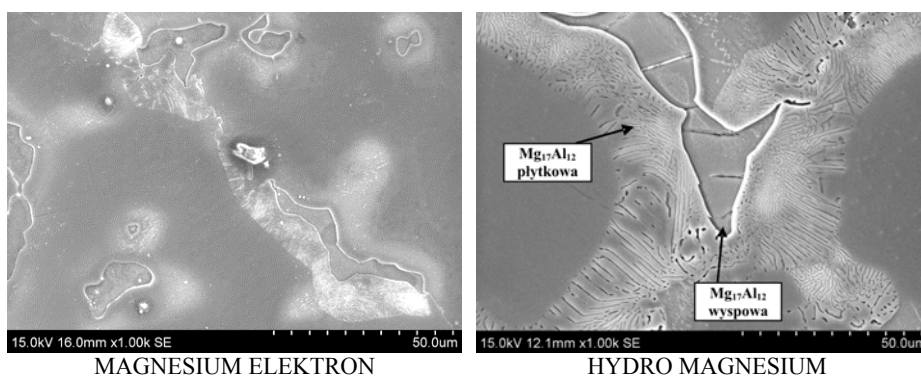
## 3. MIKROSTRUKTURA STOPU GA8 W STANIE DOSTAWY

Mikrostruktura stopu GA8 niezależnie od dostawcy charakteryzuje się obecnością wydzieleni fazy  $\gamma$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> w osnowie roztworu stałego  $\alpha$ -Mg (rys.1 i 2). Stwierdzono dwa typy wydzieleni fazy  $\gamma$  różniące się morfologią:

- wydzielenia masywne na granicach ziaren roztworu stałego  $\alpha$ ;
- wydzielenia płytkowe, tworzące wraz z roztworem stałym  $\alpha$  obszary o morfologii przypominającej perlit.

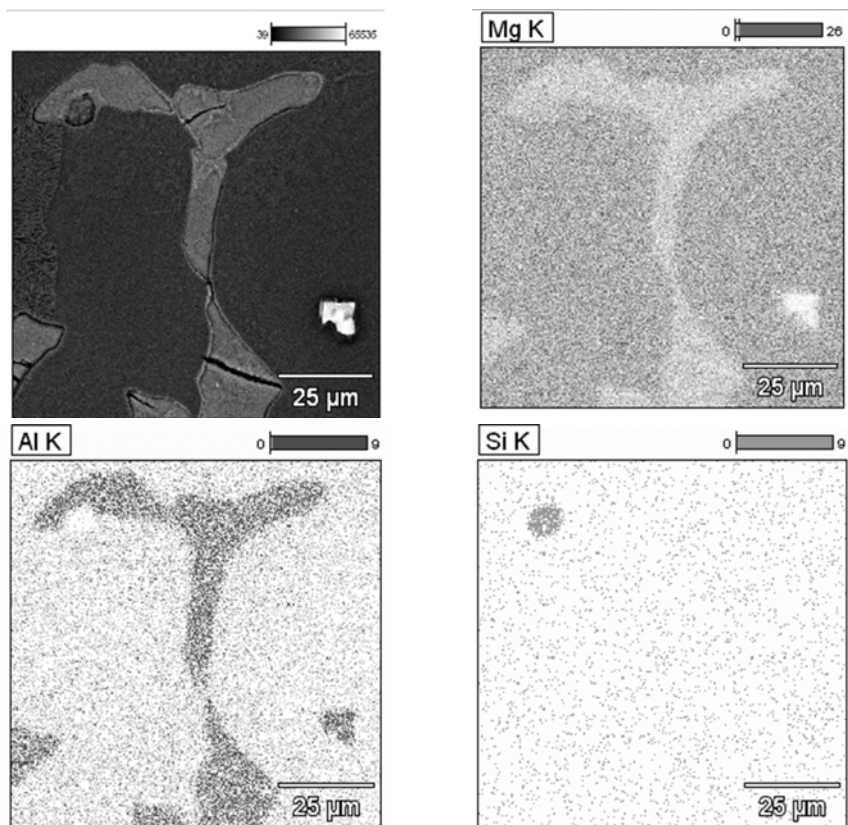


Rys. 1. Mikrostruktura stopu GA8 w stanie dostawy – LM  
 Fig. 1. Microstructure of the GA8 alloy in initial state – LM

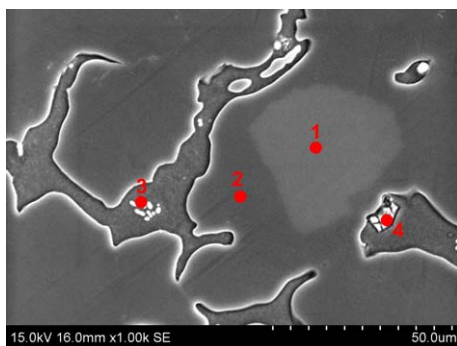


Rys. 2. Mikrostruktura stopu GA8 w stanie dostawy – SEM  
 Fig. 2. Microstructure of the GA8 alloy in initial state – SEM

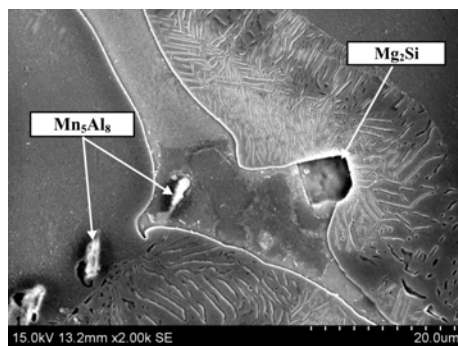
Zaobserwowano niejednorodność składu chemicznego osnowy. Stwierdzono wzrost zawartości Al wraz ze zbliżaniem się do granic ziarn roztworu stałego, na których występowały wydzielenia masywnej fazy  $\gamma$ - $Mg_{17}Al_{12}$  (rys. 3,4). Wykazano, że zawartość aluminium w roztworze stałym wynosi  $\sim 4\%$  (punkt 1 na rys.4), następnie zwiększa się do  $\sim 9\%$  (punkt 2 na rys.4) w strefie położonej w pobliżu wydzielenia masywnej fazy  $Mg_{17}Al_{12}$ , w wydzieleniach fazy  $Mg_{17}Al_{12}$  występuje w ilości  $\sim 30\%$  (punkt 3 na rys.4). Ponadto w obu badanych stopach stwierdzono obecność fazy Laves'a  $Mg_2Si$  (punkt 4 na rys. 4) oraz wydzieleni bogatych w Al i Mn - prawdopodobnie fazy międzymetalicznej  $Mn_5Al_8$  (rys.5).



Rys. 3. Obraz SE oraz powierzchniowy rozkład Mg, Al i Si w stopie GA8  
 Fig. 3. The SE image and the area distribution of Mg, Al and Si in the GA8 alloy



Rys. 4. Mikroobszary analizy składu chemicznego  
 Fig. 4. Points of EDX analysis



Rys. 5. Wydzielenia faz  $Mg_2Si$  i  $Mn_5Al_8$   
 Fig. 5. Precipitates of  $Mg_2Si$  i  $Mn_5Al_8$  phases

### 3. ILOŚCIOWA OCENA FAZ W STOPIE GA8

Próbki pobrane z gąsek różniły się udziałem objętościowym i morfologią masywnych oraz płytkowych wydzieleni fazy  $Mg_{17}Al_{12}$  oraz fazy  $Mg_2Si$ . Przeprowadzona ilościowa analiza faz w stopie GA8 w stanie dostawy wykazała, że:

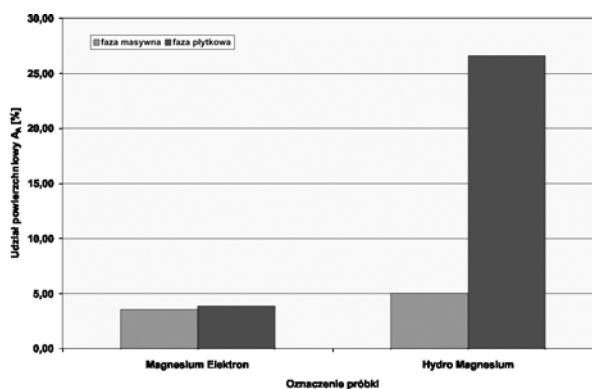
- udział powierzchniowy masywnej fazy  $Mg_{17}Al_{12}$  mieści się w zakresie  $A_A = 3,5 \div 6$  %, niezależnie od dostawcy;
- udział powierzchniowy obszarów bogatych w wydzielenia płytkowej fazy  $Mg_{17}Al_{12}$  w gąsce z MEL wynosi  $A_A = 3,5 \div 7,5$  % i jest prawie czterokrotnie mniejszy w porównaniu do gąski z HM ( $A_A = 16 \div 26$  %)
- udział powierzchniowy fazy  $Mg_2Si$  gąsce z MEL wynosi  $A_A = 0,11 \div 0,15$  %, i jest dwukrotnie mniejszy w porównaniu do gąski z HM ( $A_A = 0,25 \div 0,29$  %).

Szczegółowe wyniki badań przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 6.

Tabela 1. Wyniki ilościowej oceny faz w stopie GA8

Table 1. Results of quantitative examination of phases in GA8 alloy

Gąska	Parametr	Faza				
		Roztwór $\alpha$ (Mg)	$Mg_2Si$	$Mg_{17}Al_{12}$ masywna	$Mg_{17}Al_{12}$ płytkowa	
MEL	powierzchnia	$A_A$ [%]	92,47	0,16	3,52	3,85
		$v(A_A)$ [%]	1,10	-	10,36	25,00
	rdzeń	$A_A$ [%]	86,41	0,11	6,08	7,40
		$v(A_A)$ [%]	5,08	-	9,92	56,33
HM	powierzchnia	$A_A$ [%]	68,0,7	0,29	5,03	26,61
		$v(A_A)$ [%]	7,25	-	16,83	17,28
	rdzeń	$A_A$ [%]	78,97	0,25	4,41	16,37
		$v(A_A)$ [%]	6,84	-	30,61	30,08



Rys. 6. Udział powierzchniowy fazy  $Mg_{17}Al_{12}$  w gąskach ze stopu magnezu GA8

Fig. 6. Area fraction of  $Mg_{17}Al_{12}$  in ingots of GA8 magnesium alloys

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że:

1. Mikrostruktura stopu GA8 w stanie dostawy charakteryzuje się obecnością wydzieleni fazy  $\gamma$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> w osnowie roztworu stałego  $\alpha$ -Mg. Stwierdzono dwa typy wydzieleni fazy  $\gamma$  różniące się morfologią (wydzielenia masywne i płytkowe). Obserwowano również wydzielenia faz Mg<sub>2</sub>Si oraz Mn<sub>5</sub>Al<sub>8</sub>.
2. Udział powierzchniowy masywnej fazy Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> w gąskach z MEL oraz HM mieści się w zakresie  $A_A=3,5\div 6$  %, niezależnie od stanu dostawy.
3. Udział powierzchniowy obszarów bogatych w wydzielenia płytkowej fazy Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> w gąsce pochodzącej z MEL wynosi  $A_A = 3,5\div 7,5$  % i jest prawie czterokrotnie mniejszy w porównaniu do gąski pochodzącej z HM ( $A_A = 16\div 26$  %).

#### PODZIĘKOWANIA

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007 jako projekt celowy Nr 6 ZR7 2005 C/06609.

#### LITERATURA

- [1] Dahle A.K., Lee Y.C., Nave M. D., Schaffer P.L., StJohn D., Journal of Light Metals, 1, 2001, pp. 61-72.
- [2] StJohn D.H., Dahle A.K., Abbott T., Nave M.D., Qian M., Magnesium Technology 2003, in: H.I. Kaplan (Ed.), The Minerals, Metals and Materials Society (TMS), Warrendale, PA, USA, 2003, pp. 95-100.
- [3] Avedesian M., Baker H.: „Magnesium and Magnesium Alloys.”, ASM Speciality Handbook, 1999.
- [4] Adamiec J., Cwajna J., Kielbus A.: „Wykorzystanie metod automatycznej analizy obrazu do oceny mikrostruktury odlewniczych stopów magnezu.”, 7th International Scientific Conference „Quality assurance in foundry“, 10÷12.05.2006, Podbanske, Słowacja.

#### MICROSTRUCTURE OF THE GA8 CASTING MAGNESIUM ALLOY

##### SUMMARY

GA8 alloy is one of the most popular Mg-Al magnesium alloy. This alloy has high strength, good corrosion resistance and excellent castability. It is used for casting structural components in civil and military aircraft and automotive industries. The microstructure of GA8 magnesium alloy in the initial state have been investigated. The microstructure of the GA8 alloy consists of  $\alpha$ -Mg phase matrix with a continuous and discontinuous  $\gamma$  phase (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>) at grain boundaries. Moreover, the occurrence of Laves' phase in the form of Mg<sub>2</sub>Si and precipitations of Mn<sub>5</sub>Al<sub>8</sub> phase has been proved.

Recenzował: Prof. Jan Cwajna