

# IDENTYFIKACJA WYDZIELEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W STRUKTURZE BLACH CIENKICH ZE STOPU MAGNEZU AM50

*W pracy przedstawiono wyniki badań obejmujące identyfikację wydzieleni znajdujących się w strukturze blach cienkich ze stopu magnezu AM50 walcowanych na gorąco. Badania przeprowadzono przy użyciu wysokorozdzielczego elektronowego mikroskopu skaningowego Inspect F oraz transmisyjnego Titan 80-300. W strukturze badanego stopu zidentyfikowano trzy typy wydzieleni różniących się między sobą składem chemicznym i morfologią.*

*Słowa kluczowe: stop magnezu AM50, struktura, wydzielenia, blachy cienkie, analiza fazowa*

## IDENTIFICATION OF PRECIPITATIONS IN STRUCTURE OF AM50 MAGNESIUM ALLOY SHEETS

*This paper presents the results of tests including the identification of precipitations in the structure of hot rolled AM50 magnesium alloy sheets. The tests were carried out using high-resolution scanning electron microscope Inspect F and transmission electron microscope Titan 80-300. Three types of precipitations were identified within the structure of the tested alloy, which differed in their chemical compositions and morphologies.*

*Keywords: AM50 magnesium alloy, structure, precipitations, sheets, phase analysis*

### 1. WPROWADZENIE

Stopy magnezu są atrakcyjne dla zastosowań w motoryzacji, w przemyśle lotniczym i elektronicznym ze względu na ich niewielki ciężar właściwy, dużą sztywność, wysoką wytrzymałość, dobrą stabilność wymiarową oraz dobre tłumienie drgań [1–5]. Ogólnie można podzielić je na dwie grupy: odlewnicze i do przeróbki plastycznej. W obu tych przypadkach podstawowe stopy to: Mg-Mn, Mg-Al-Mn oraz Mg-Al-Zn. Głównymi składnikami stopowymi są: glin, mangan oraz cynk. Zasadniczym zadaniem glinu jest zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie oraz twardości, ale również polepszenie właściwości odlewniczych. Mangan nie podnosi wytrzymałości, lecz nieznacznie zwiększa plastyczność oraz polepsza odporność na korozję w wodzie morskiej. Dodatek cynku w połączeniu z glinem ma na celu zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze pokojowej [6, 7]. Struktura stopu magnezu z grupy Mg-Mn w stanie odlanym składa się z obszarów eutektycznych ( $\alpha$ +Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>), roztworu stałego  $\alpha$ -Mg oraz wydzieleni typu Al<sub>8</sub>Mn<sub>5</sub> i Mg<sub>2</sub>Si [8–13].

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań obejmujące charakterystykę struktury blach cienkich ze stopu magnezu AM50 po walcowaniu na gorąco. Przeprowadzone badania miały na celu sprawdzenie składu fazowego po procesie przeróbki plastycznej na gorąco. W tym celu wykonano charakterystykę struktury przy użyciu tradycyjnych technik badawczych takich jak wysokorozdzielcza elektronowa mikroskopia skaningowa czy też transmisyjna. Przeprowadzono również mikroanalizę składu chemicznego przy użyciu detektora EDS.

### 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowił stop magnezu AM50 dostarczony w postaci blach cienkich walcowanych na gorąco zawierających w swym składzie chemicznym klasyczne dodatki w postaci Al, Zn, Mn i Si. Skład chemiczny badanego stopu przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Skład chemiczny badanego stopu magnezu w %-mas.**

**Table 1. Chemical composition of tested magnesium alloy, %wt**

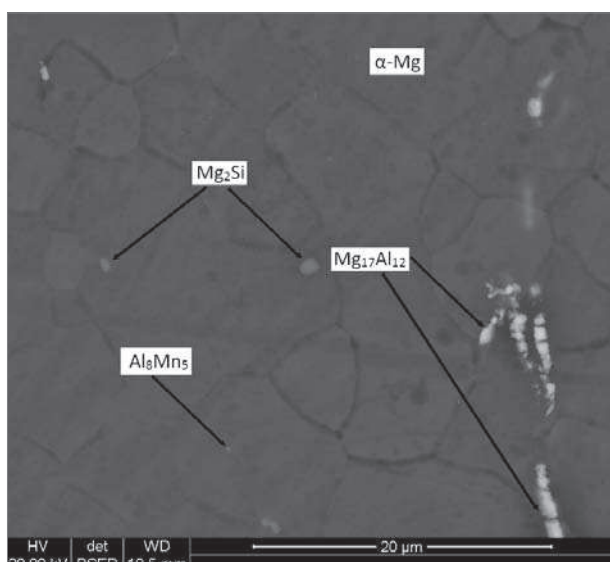
Material	Al	Mn	Zn	Si	Mg
AM50	4,9	0,45	0,2	<0,05	balance

Badania struktury próbek przeprowadzono przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego Inspect F na zglądach trawionych i nietrawionych. Próbki trawiono w odczynniku chemicznym o następującym składzie: H<sub>2</sub>O (3 ml), etanol (13 ml), kwas octowy (3 ml) oraz kwas pikrynowy (0,4 g). Preparatykę cienkich foli do obserwacji na elektronowym mikroskopie transmisyjnym Titan 80 – 300 kV firmy FEI wykonano przy użyciu technik tradycyjnych. Procedura obejmowała wycinanie krążków o średnicy  $\varnothing$  3 mm, wieloetapowe szlifowanie oraz końcowe ścienianie jonowe. W ten sposób przeprowadzona preparatyka umożliwiła skuteczne przygotowanie próbek w postaci cienkich foli, które następnie poddano obserwacji na mikroskopie transmisyjnym. Identyfikację faz występujących w strukturze blach cienkich ze stopu AM50 przeprowadzono przy użyciu programu Calidris.

### 3. WYNIKI BADAŃ

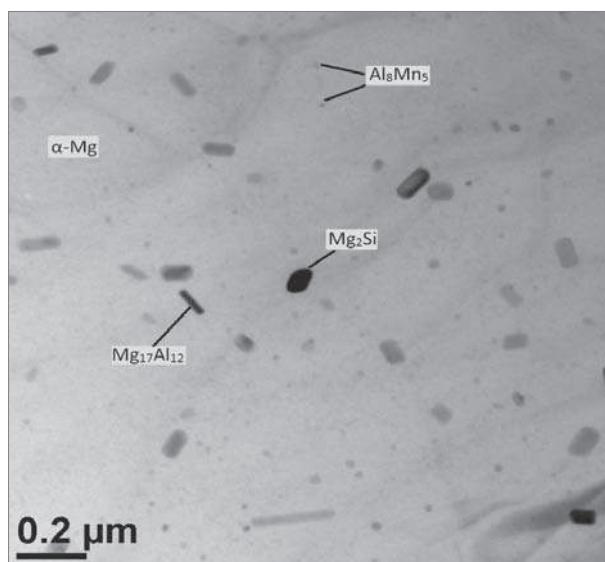
Z diagramu fazowego Mg-Al wynika, że stop magnezu AM50 składa się z osnowy  $\alpha$ -Mg (o heksagonalnej strukturze krystalicznej,  $a_0 = 0,32094$  nm i  $c_0 = 0,52105$ ) i fazy  $\beta$ -  $Mg_{17}Al_{12}$  (o regularnej strukturze krystalicznej,  $a_0 = 1,056$  nm). Dodatek Mn powoduje występowanie fazy  $Al_8Mn_5$  (o heksagonalnej strukturze krystalicznej,  $a_0 = 1,273$  nm i  $c_0 = 1,588$  nm), natomiast Si powoduje zwiększenie płynności stopionego metalu i tworzy fazę  $Mg_2Si$  (o regularnej strukturze krystalicznej,  $a_0 = 0,635$  nm). Rysunki 1 i 2 przedstawiają strukturę blach cienkich ze stopu magnezu AM50 z widocznymi wydzieleniami. W strukturze badanego stopu zidentyfikowano trzy typy wydzielen różniących się między sobą morfologią oraz składem chemicznym. Wydzielenia te występują zarówno na granicach ziaren jak również wewnątrz nich. Drobne wydzielenia o kształcie wielokąta, o wymiarach kilkudziesięciu nanometrów występują

przeważnie wewnątrz ziaren (Rys. 3 i 6). Mikroanaliza składu chemicznego wykazała, że są to wydzielenia bogate w mangan i glin. Na podstawie analizy elektronogramów zidentyfikowano je jako fazę  $Al_8Mn_5$ . W strukturze stopu znajdują się również wydzielenia bogate w glin i magnez, które przyjmują formę obszarów o nieregularnych kształtach, jak również pojedynczych płytek. Wydzielenia występujące w obszarach eutektycznych mają typowy podłużny kształt. Długość podłużnych wydzielen wynosi ok. kilkadziesiąt nanometrów. Przeprowadzona identyfikacja dowiodła, że w obydwu przypadkach mamy do czynienia z wydzieleniami typu  $Mg_{17}Al_{12}$  lub też obszarami składającymi się z  $Mg_{17}Al_{12} + \alpha$ -Mg (Rys. 4 i 7). Ostatnim zidentyfikowanym wydzieleniem jest faza zawierająca w składzie chemicznym takie pierwiastki jak Mg i Si. Przeprowadzona analiza pokazała, że jest to wydzielenie typu  $Mg_2Si$ . Wydzielenia tego typu występują blisko granic ziaren i charakteryzują się owalnym kształtem (Rys. 5 i 8).



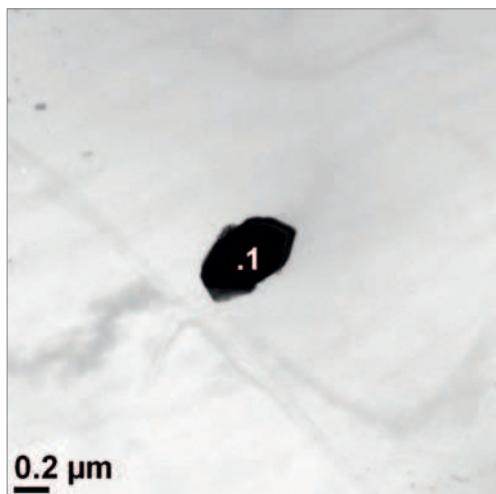
Rys. 1. Mikrofotografia struktury stopu AM50 z widocznymi wydzieleniami (SEM)

Fig. 1. Microphotograph of AM50 alloy structure with visible precipitations (SEM)



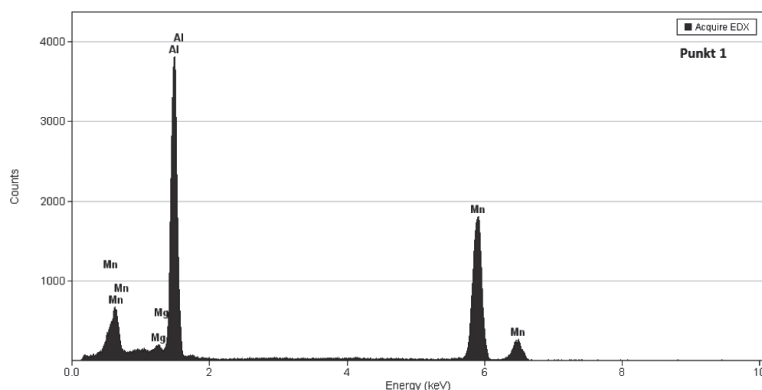
Rys.2. Mikrofotografia struktury stopu AM50 z widocznymi wydzieleniami (TEM)

Fig. 2. Microphotograph of AM50 alloy structure with visible precipitations (TEM)

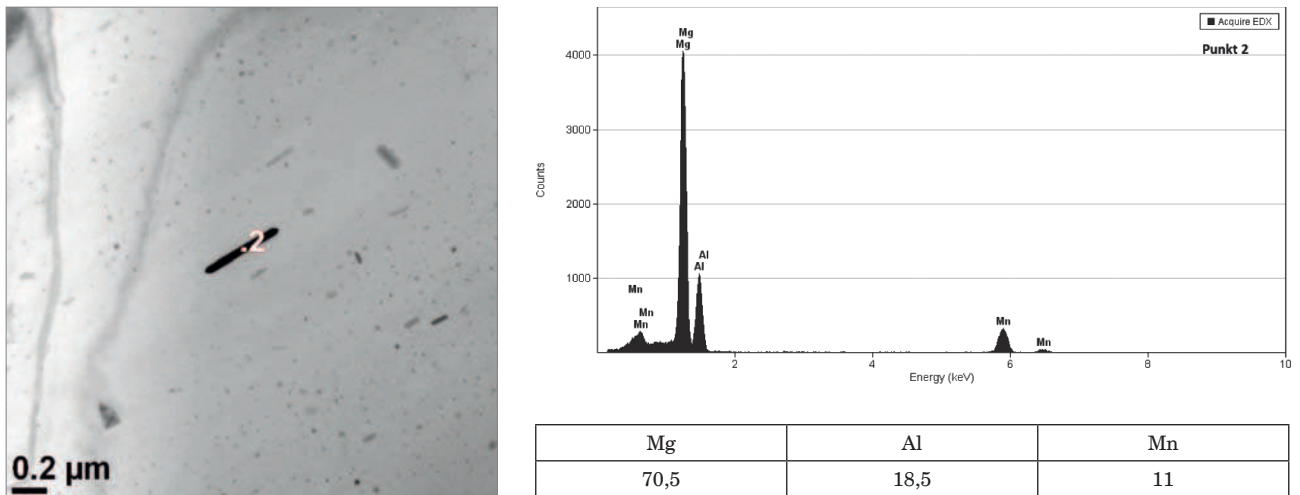


Rys. 3. Wynik mikroanalizy składu chemicznego (%-mas.) dla wydzielenia  $Al_8Mn_5$

Fig. 3. Result of chemical composition microanalysis (%wt) for  $Al_8Mn_5$  precipitation

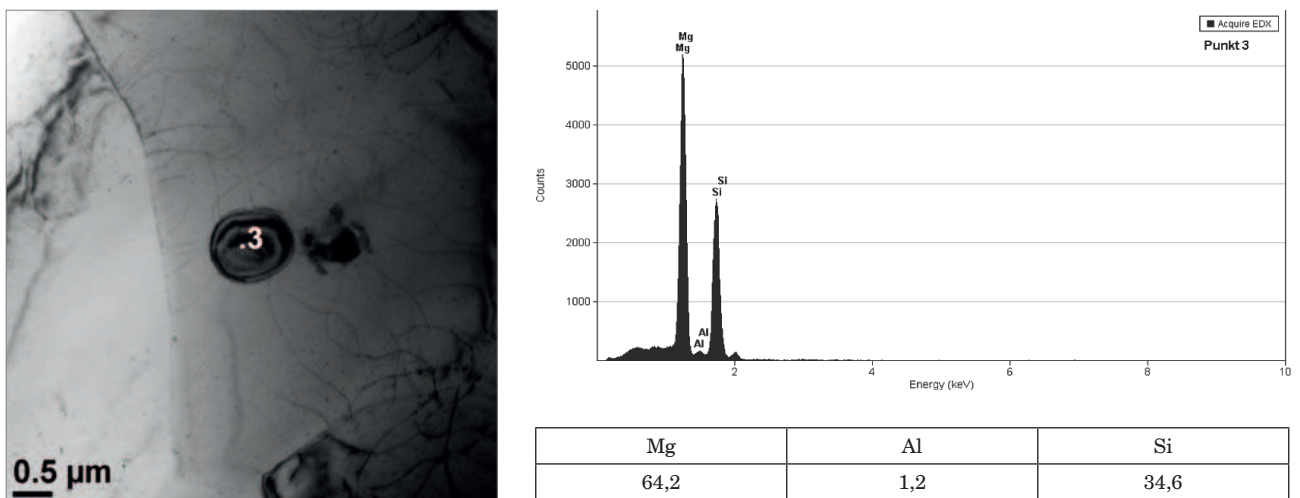


Mg	Al	Mn
2,3	52	45,7



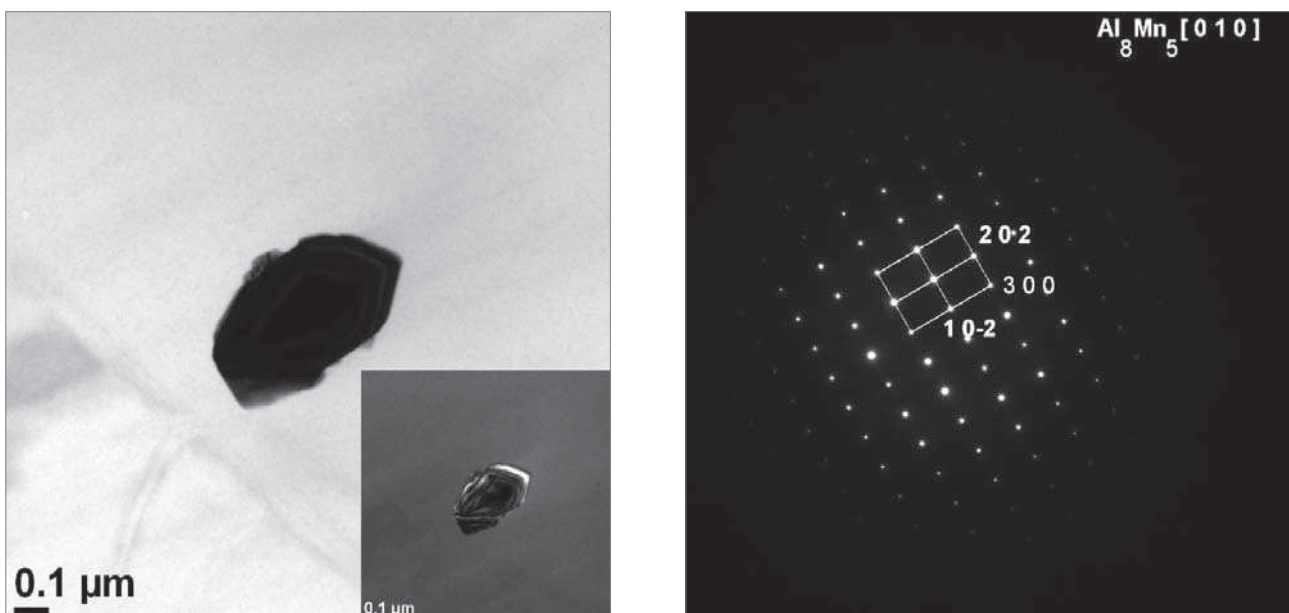
Rys. 4. Wynik mikroanalizy składu chemicznego (%-mas.) dla wydzielenia  $Mg_{17}Al_{12}$

Fig. 4. Result of chemical composition microanalysis (%wt) for  $Mg_{17}Al_{12}$  precipitation



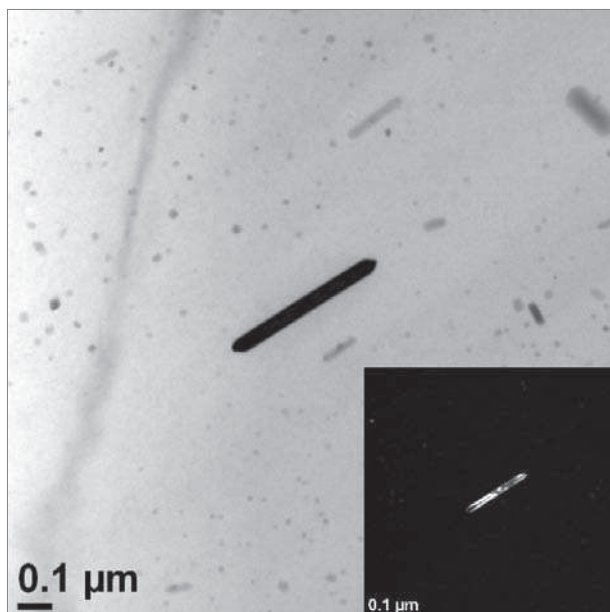
Rys. 5. Wynik mikroanalizy składu chemicznego (%-mas.) dla wydzielenia  $Mg_2Si$

Fig. 5. Result of chemical composition microanalysis (%wt) for  $Mg_2Si$  precipitation

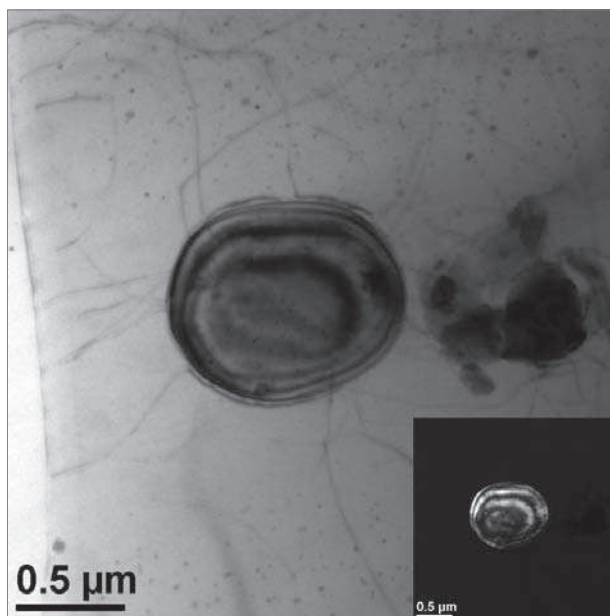
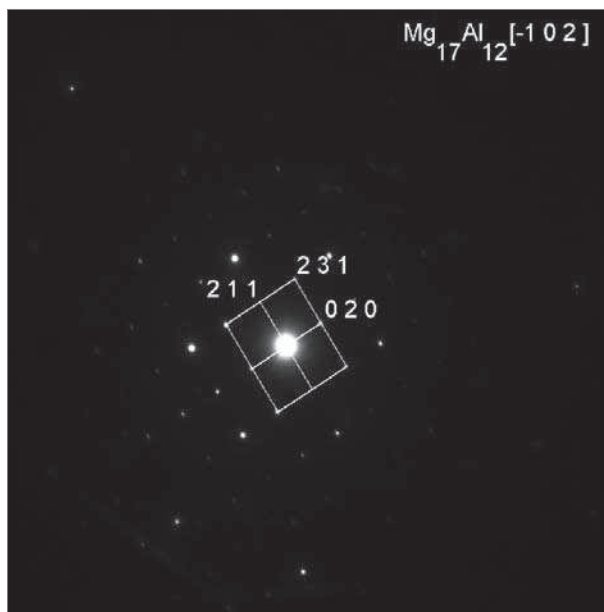


Rys. 6. Wynik analizy fazowej – wydzielenie typu  $Al_8Mn_5$

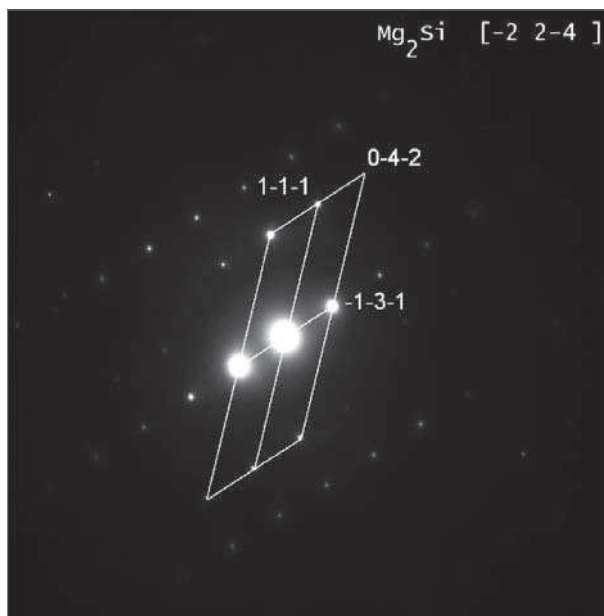
Fig. 6. Result of phase analysis –  $Al_8Mn_5$  precipitation



Rys.7. Wynik analizy fazowej – wydzielenie typu  $Mg_{17}Al_{12}$   
 Fig. 7. Result of phase analysis –  $Mg_{17}Al_{12}$  precipitation



Rys. 8. Wynik analizy fazowej – wydzielenie typu  $Mg_2Si$   
 Fig. 8. Result of phase analysis –  $Mg_2Si$  precipitation



#### 4. PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki badań wykazały, że w strukturze blach cienkich ze stopu magnezu AM50 po procesie walcowania na gorąco występują trzy typy wydzielen (  $Mg_{17}Al_{12}$ ;  $Al_8Mn_5$ ;  $Mg_2Si$  ) różniących się między sobą morfologią oraz składem chemicznym. Najwięcej w strukturze występuje wydzielen bogatych w magnez i glin, są one równomiernie rozłożone w całej objętości badanej struktury. Wydzielenia te przyjmują postać płytek (czyste  $Mg_{17}Al_{12}$ ) lub też obszarów ( $Mg_{17}Al_{12}$  +  $\alpha$ -Mg). W strukturze badanego stopu znajdują się

również wydzielenia drobne o kształcie wielokąta bogate w glin i mangan, z reguły występujące wewnątrz ziaren, które zidentyfikowano jako  $Al_8Mn_5$ . Oznaczono również wydzielenia typu  $Mg_2Si$  bogate w magnez i krzem występujące blisko granic ziaren.

Na podstawie literatury oraz otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że zabieg walcowania na gorąco nie wprowadza zmian składu fazowego do struktury badanego stopu i jest on taki sam jak w przypadku stopu w stanie wyjściowym. Zauważono również, że morfologia, rozmieszczenie oraz skład chemiczny badanych wydzielen jest podobny do stanu wyjściowego [13–15].

## LITERATURA

1. Xiao-ling X., Cheng-ping L., Jiang-wen L.: Structure of HCP/BCC interphase boundaries in AZ91 Mg-Al alloy. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 13(1) 2003, s. 15–20
2. Ling-yun W., Guang-sheng H., Yong-ge F.: Grain refinement of wrought AZ31 magnesium alloy. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 13(3), 2003, s. 594–598
3. Yan-hui L., Xiang-fa L., Ting-bin L.: Grain refining effect of Al<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>C master alloy on Mg-Al alloys. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 13(3), 2003, s. 622–625
4. Brungs D.: Light weight design with light metal casting. *Materials & Design*, 18(4/6), 1997, s. 285–291
5. Cole G.S.: Issues that influence magnesium's use in the automotive industry. *Materials Science Forum*, 2003, s. 419–422
6. Avedesian M., Baker H., editors: *Magnesium and Magnesium Alloys*, ASM Speciality Handbook, ASM International, The Materials Information Society, 1999
7. Dahle A., Lee Y., Nave M., Schaffer P., StJohn D.: Development of the as-cast microstructure in magnesiumaluminium alloys, *Journal of Light Metals* 1, 2001, s. 61–72
8. Aghion E., Bronfin B., Eliezer D.: The role of magnesium industry in protecting the environment, *Journal of Material Processing Technology*, 2001, nr 117, s. 381–385
9. Kielbus A., Rzychoń T.: Microstructural characterization of Mg-Al alloys, *New Technologies And Materials In Metallurgy And Materials Science*, Katowice 2005, s. 117–122
10. Kasprzak W., Sokolowski J.H., Sahoo M., Dobrzański L.A.: Thermal characteristics of the AM50 magnesium alloy, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2008, nr 29, s. 179–182
11. Kielbus A., Rzychoń T., Cibis R.: Microstructure of AM50 die casting magnesium alloy, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2006, nr 18, s. 135–138
12. Barszczyńska-Malik K.N., Dąbrowski R., Braszczyński J.: Microstructure of high-pressure die-casting AM50 magnesium alloy, *Archives of Foundry Engineering*, 2009, nr 9, s. 53–56
13. Li-guo W., Boa-feng Z., Shi-jie Z., Mei Z., Chun-xiang Z., Shao-kang G.: Effect of silicocalcium on microstructure and properties of Mg-6Al-05Mn alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2006, nr16, s. 551–555
14. Wang R.M., Eliezer A., Gutman E.M.: An investigation on the microstructure of an AM50 magnesium alloys. *Materials Science and Engineering*, 2003, s. 201-207
15. Kasprzak W., Sokolowski J.H., Sahoo M., Dobrzański L.A.: Thermal and structural characteristics of the AM50 magnesium alloy, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2008, nr 28, s. 131–138