

**ODLEWNICZY STOP MAGNEZU ELEKTRON 21 –  
STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI W STANIE LANYM**A. KIELBUS<sup>1</sup><sup>1</sup> Politechnika Śląska, Katedra Nauki o Materiałach, Katowice, ul. Krasińskiego 8

## STRESZCZENIE

Odlewniczy stop magnezu Elektron 21 zaliczany jest do grupy stopów Mg-RE-Zr. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością, dobrą odpornością korozyjną oraz dobrymi właściwościami odlewniczymi. Jest obrabialny cieplnie, może być eksploatowany w temperaturze do 200°C. Znajduje zastosowanie w przemyśle lotniczym oraz samochodowym. Artykuł zawiera wyniki badań mikrostruktury i właściwości mechanicznych stopu magnezu Elektron 21 w stanie lanym. Stwierdzono, że struktura stopu składająca się z roztworu stałego  $\alpha$  oraz wydzieleni fazy  $Mg_{12}(Nd_xGd_{1-x})$  na granicach ziarn nie zapewnia wymaganego poziomu własności mechanicznych.

*Key words: Elektron 21, magnesium alloy, structure, properties, application, casting*

**1. WPROWADZENIE**

Stopy magnezu z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich stanowią ważną grupę materiałów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym i samochodowym. Są to stopy charakteryzujące się wysoką wytrzymałością, dobrą odpornością na pełzanie w połączeniu z bardzo dobrymi własnościami odlewniczymi [1,2]. Do najbardziej znanych zalicza się stopy Mg z dodatkiem itru i neodymu (Mg-Y-Nd). Niestety stopy z dodatkiem Y są stopami drogimi, dlatego poszukiwane są takie rozwiązania, które zapewnią spełnienie wymagań eksploatacyjnych, przy niższych kosztach wytwarzania [2,3]. Jednym z takich rozwiązań jest stop Elektron 21. Jest to nowy odlewniczy stop magnezu zawierający neodym, cyrkon oraz gadolin w miejsce drogiego itru. Zastosowanie gadolinu pozwoliło na obniżenie ceny stopu przy zapewnieniu jego wysokiej wytrzymałości i odporności na pełzanie. Stop Elektron 21 jest obrabialny cieplnie i może być eksploatowany do temperatury 200°C [4].

---

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

Dodatek neodymu w połączeniu z innymi pierwiastkami ziem rzadkich powoduje wzrost wytrzymałości na rozciąganie stopów Mg, szczególnie w temperaturze podwyższonej. Ma również pozytywny wpływ na zwiększenie leżności. W stopach magnezu zawierających gadolin zmniejsza jego rozpuszczalność w roztworze stałym, przesuując linię granicznej rozpuszczalności do niższych zawartości Gd. Zwiększa to efekty umacniania wydzieleniowego przy niższych zawartościach Gd. Podczas obróbki cieplnej powstają bogate w gadolin wydzielenia na granicach ziarn roztworu stałego. Zwiększenie zawartości Gd nie zmniejsza własności mechanicznych, natomiast ma pozytywny wpływ na zmniejszenie się mikroporowatości skurczowej stopów Mg [5].

Stop Elektron 21 znajduje zastosowanie w przemyśle lotniczym, wojskowym oraz samochodowym. Przykładowo wykonuje się z niego obudowy skrzyń biegów w samochodach sportowych, jak również obudowy przekładni w śmigłowcach. W przemyśle wojskowym wykonuje się z niego elementy radarów oraz torped [4].

## 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowił odlewniczy, nie obrabiany cieplnie stop magnezu Elektron 21 (EV31A), zakupiony w Firmie Magnesium Elektron z Wielkiej Brytanii. Jego skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu Elektron 21 w %<sub>wag.</sub>

Table 1. Chemical composition of Elektron 21 magnesium alloy in %<sub>wt.</sub>

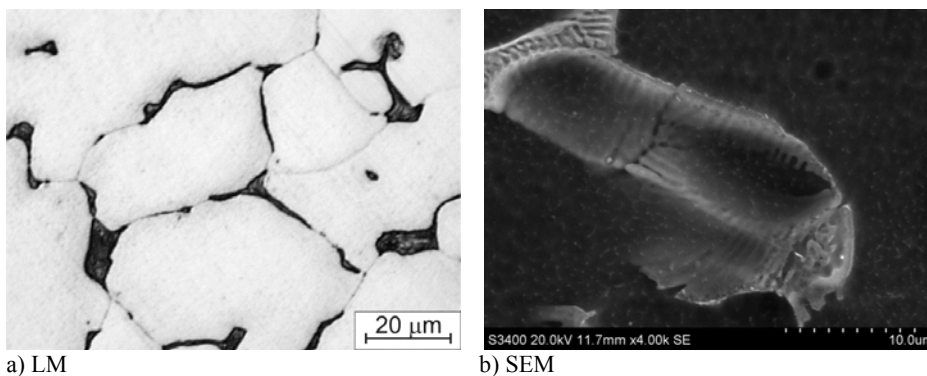
Stop	Gd	Nd	Zr	Zn	Mn	Fe	Ag	TRE	Mg
Elektron 21	1,2	2,7	0,49	0,4	0,001	0,003	<0,01	4,2	reszta

Zgłady metalograficzne wykonywano zgodnie z procedurą opracowaną w Katedrze Nauki o Materiałach [6]. Do trawienia wykorzystano odczynnik zawierający 2g kwasu szczawowego oraz 100 ml H<sub>2</sub>O.

Do obserwacji mikrostruktury wykorzystano mikroskop metalograficzny MeF2 firmy Reichert oraz mikroskop elektronowy skaningowy HITACHI S-3400N ze spektrometrem z dyspersją energii Thermo Noran wyposażony w system SYSTEM SIX. Jakościową analizę fazową wykonano na dyfraktometrze JDX-7S firmy JEOL. Badania własności mechanicznych przeprowadzono na maszynie MTS-810 w temperaturze pokojowej oraz 200°C. Pomiary twardości metodą Vickersa przeprowadzono na twardościomierzu ZWICK/ZHV50 typ 5030 przy obciążeniu 1 kg.

## 3. STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI STOPU ELEKTRON 21

Odlewniczy stop magnezu Elektron 21 charakteryzuje się strukturą roztworu stałego  $\alpha$  z wydzieleniami faz międzymetalicznych na granicach ziarn (rys.1). Badania składu fazowego, wskazują, że głównymi fazami umacniającymi, występującymi w roztworze stałym  $\alpha$  są fazy Mg<sub>12</sub>Nd oraz Mg<sub>3</sub>Gd (rys.2).

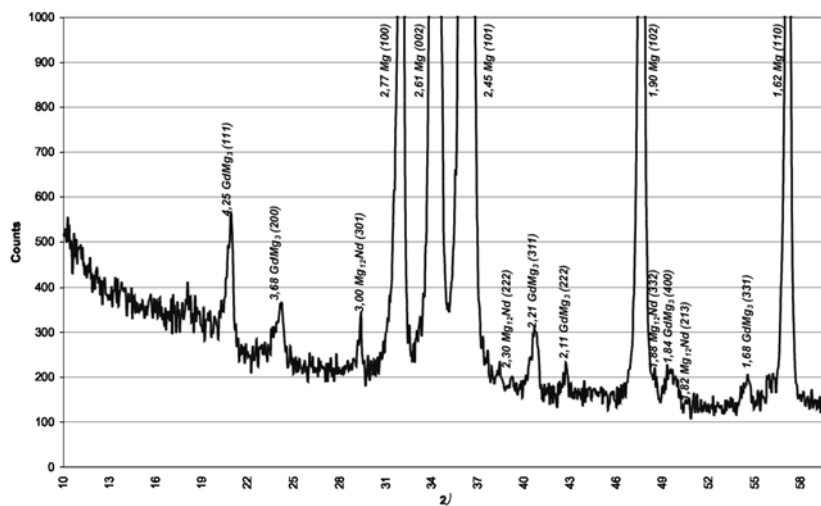


a) LM

b) SEM

Rys. 1. Mikrostruktura stopu magnezu Elektron 21

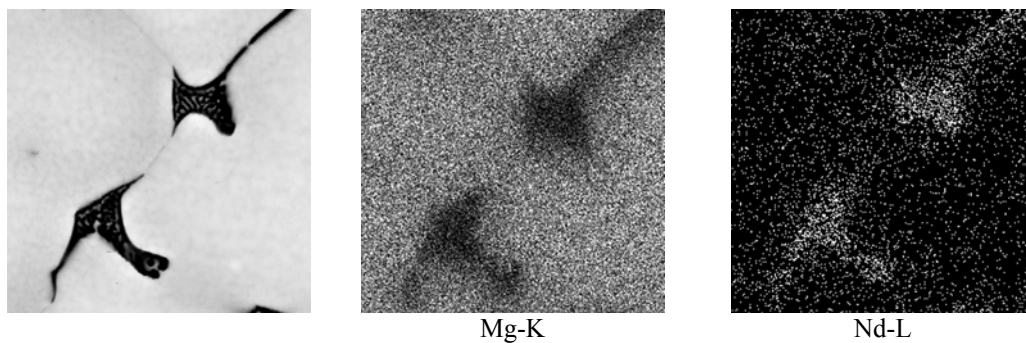
Fig. 1. Microstructure of the Elektron 21 magnesium alloy



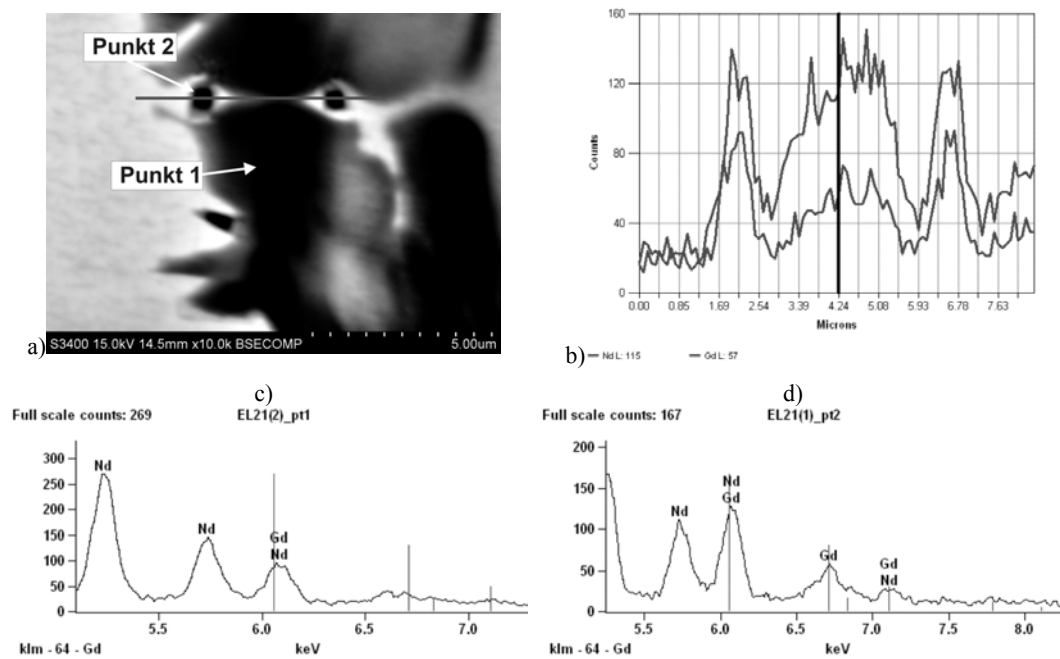
Rys. 2. Rentgenogram odlewniczego stopu magnezu Elektron 21

Fig. 2. XRD pattern of the cast Elektron 21 magnesium alloy

Badania strukturalne z wykorzystaniem mikroanalizy rentgenowskiej wykazały, że wydzielenia faz międzymetalicznych charakteryzują się zwiększoną zawartością neodymu (rys.3). Ponadto punktowa oraz liniowa analiza składu chemicznego wykazała występowanie w wydzieleniach oprócz neodymu również gadolinu (rys.4). Skład chemiczny badanych obszarów przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 3. Obraz BSE oraz powierzchniowy rozkład Mg i Nd w stopie Elektron 21  
 Fig. 3. The BSE image and the area distribution of Mg and Nd in the Elektron 21 alloy



Rys. 4. Mikroanaliza składu chemicznego stopu Elektron 21:  
 a) obraz BSE, b) liniowy rozkład pierwiastków,  
 c) analiza punktowa składu chemicznego – obszar 1 z rys. 3a,  
 d) analiza punktowa składu chemicznego – obszar 2 z rys. 3a

Fig. 4. EDX analysis of the Elektron 21 alloy:  
 a) BSE image, b) linear distribution of Nd and Gd,  
 c) point analysis of area 1 from fig. 3.a,  
 d) point analysis of area 2 from fig. 3.a

Tabela 2. Wyniki punktowej analizy składu chemicznego z rys. 4  
Table 2. EDX results of microareas from fig. 4

obszar	Mg		Nd		Gd	
	%wag	%at	%wag	%at	%wag	%at
Punkt 1	57.98	89.32	31.48	8.17	10.55	2.51
Punkt 2	58.93	89.85	22.37	5.75	18.71	4.41

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono występowanie 2 faz:

1. faza tworząca charakterystyczną siatkę na granicach ziarn roztworu stałego, zawierająca Nd (~8%<sub>at</sub>), Gd (~2%<sub>at</sub>) oraz Mg (~90%<sub>at</sub>) - punkt 1 z rys.4,
2. drobne wydzieloną, występujące w pobliżu granic ziarn zawierające Nd (~5,5%<sub>at</sub>), Gd (~4,5%<sub>at</sub>), oraz Mg (~90%<sub>at</sub>) - punkt 2 z rys.4.

Porównując wyniki rentgenowskiej analizy fazowej oraz badania składu chemicznego można sądzić, że wprowadzenie gadolinu do stopu Mg-Nd powoduje zmianę składu chemicznego faz międzymetalicznych. Prawdopodobnie, ze względu na zbliżone średnice atomowe tych pierwiastków ( $r_{Nd}=0,1821$  nm,  $r_{Gd}=0,1802$  nm), atomy gadolinu zastępują atomy neodymu w pozycjach węzłowych. Nie ma to wpływu na strukturę krystaliczną „wyściowych” faz międzymetalicznych. W związku z powyższym można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że odlewniczy stop magnezu Elektron 21 charakteryzuje się strukturą roztworu stałego  $\alpha$ -Mg z wydzieleniami faz międzymetalicznych  $Mg_{12}(Nd_x, Gd_{1-x})$  na granicach ziarn oraz pojedynczymi wydzieleniami fazy  $Mg_3(Nd_x, Gd_{1-x})$ .

Przeprowadzone badania własności mechanicznych w temperaturze otoczenia oraz w temperaturze 200°C wykazały, że odlewniczy stop Elektron 21 w stanie lanym charakteryzuje się wartościami  $R_e$  i  $R_m$  na poziomie znacznie odbiegającym od wartości wymaganych przez normy przedmiotowe. Konieczne jest więc przeprowadzenie obróbki cieplnej, celem uzyskania wymaganych właściwości mechanicznych. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Własności mechaniczne stopu Elektron 21  
Table 3. Mechanical properties of the Elektron 21 alloy

Temp. badania	$R_{0,2}$ [MPa]	Norma	$R_m$ [MPa]	Norma	$A_5$ [%]	Twardość HV1	Norma
20°C	99	145	192	248	14,6	47	65-70
200°C	69	165	168	230	31,2		

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że:

1. Ze względu na zbliżone średnice atomowe neodymu i gadolinu ( $r_{Nd}=1,821$  nm,  $r_{Gd}=1,802$  nm), atomy gadolinu zastępują w pozycjach węzłowych atomu neodymu bez zmiany struktury krystalicznej „wyściowych” faz międzymetalicznych, jednocześnie zmieniając ich skład chemiczny.

2. Struktura odlewniczego stopu magnezu Elektron 21 złożona jest z roztworu stałego  $\alpha$ -Mg z wydzieleniami fazy międzymetalicznej  $Mg_{12}(Nd_x, Gd_{1-x})$  na granicach ziarn oraz pojedynczymi wydzieleniami fazy  $Mg_3(Nd_{0.5}Gd_{0.5})$ .
3. Własności mechaniczne stopu magnezu Elektron 21 w stanie lanym są niższe od wymaganych przez normy przedmiotowych. Dla spełnienia w/w wymagań konieczne jest przeprowadzenie obróbki cieplnej.

### PODZIĘKOWANIA

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy Nr 3 T08C 060 28.

### LITERATURA

- [1] G.W.Lorimer, P.J.Apps, H.Karimzadeh, J.F.King: „Improving the performance of Mg-Rare Earth alloys by the use of Gd or Dy additions.”, Materials Science Forum Vols. 419-422 (2003) pp.279-284.
- [2] B. Smola, I. Stulikova, J. Pelcova, B. Mordike: “Structure and morphology of effective obstacles in high performance Mg-Rare Earth base alloys.”, 6<sup>th</sup> International Conference Magnesium Alloys and their Applications, Wolfsburg, Niemcy, WILEY-VCH, str. 43, ISBN 3-527-30570-X.
- [3] M. M. Avedesian, H. Baker: ASM Specialty Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys, 1999.
- [4] Materiały informacyjne firmy Magnesium Elektron – [www.magnesium-elektron.com](http://www.magnesium-elektron.com)
- [5] P. Lyon, I. Syed, T. Wilks: “The effects of hest treatment and alloying elements on the properties of Elektron 21 alloy.”, Magnesium Technology 2005.
- [6] 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.

### CASTING MAGNESIUM ALLOY ELEKTRON 21 – STRUCTURE AND PROPERTIES

#### SUMMARY

Elektron 21 is a new magnesium based casting alloy for used to at 200°C. This alloy has high strength, good corrosion resistance and excellent castability. Elektron 21 is fully heat treatable. It is being used in both civil and military aircraft and also in automobile (motorsport) industry. The paper presents results of microstructure and mechanical properties investigations of Elektron 21 magnesium alloy after casting. The microstructure of the cast alloy consists of  $\alpha$ -Mg phase matrix with precipitates of intermetallic phase  $Mg_{12}(Nd_x, Gd_{1-x})$  at grain boundaries and small precipitates of  $Mg_3(Nd_{0.5}Gd_{0.5})$  phase near grain boundaries.

Recenzował: Prof. Jan Cwajna