



Ogólna charakterystyka wybranych stopów magnezu

A. Jarzynka^a, S. Jendrysko^a, T. Tański^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: Tomasz.Tanski@polsl.pl

Streszczenie: W artykule, który ma charakter przeglądu, wskazano na rosnące zapotrzebowanie na stopy magnezu, jakie w ostatnich latach uwiadcza się w sektorze motoryzacyjnym. Przedstawiono ogólną klasyfikację i charakterystykę stopów magnezu oraz opisano główne pierwiastki stopowe wchodzące w ich skład (Al, Si, RE). Ponadto opisano czynniki, które wpływają na aktualne ograniczenie na większą skalę zastosowań stopów magnezu w przemyśle.

Abstract: The article that is a review indicates a growing interest in magnesium alloys concerning applications related to the elements of transport over the last few years. It specifies a classification and general characteristics of magnesium alloys, also describes the main alloying elements (Al, Si and rare earth metals). It presents factors that have impact on the current limitation of the use of such materials in industry on a larger scale.

Słowa kluczowe: stopy magnezu, metale lekkie, dodatki stopowe, własności

1. WSTĘP

W związku z postępowaniem, jakie obserwujemy w ostatnich latach zarówno w przemyśle lotniczym jak i samochodowym, zapotrzebowanie na materiały konstrukcyjne o dużej wytrzymałości i równocześnie małej gęstości stale rośnie [1]. Wyższe ceny paliw oraz konieczność ochrony środowiska, skłaniają dzisiejszych producentów środków transportu do redukcji emisji spalin, głównie poprzez obniżenie masy całkowitej pojazdów i samolotów. Szacuje się, że aby zmniejszyć zużycie paliwa o 0,5l/100km wystarczy obniżyć masę pojazdu o 100 kg [3]. Stopy magnezu są najlżejszymi, ze znanych technologom stopów konstrukcyjnych, o średnim udziale procentowym w skorupie ziemskiej na poziomie 2.09%, co pozwala sądzić, że jest to materiał przyszłościowy, o dużym potencjale aplikacyjnym [2].

Najważniejszą cechą stopów magnezu jest ich niewielka gęstość kształtująca się na poziomie $1,7 \text{ g/cm}^3$, jak również dobra lejność, skrawalność, spawalność w atmosferach kontrolowanych, a także duża zdolność do tłumienia drgań [1].

Niestety pomimo licznych zalet, jakimi charakteryzują stopy magnezu mają one nadal jedną poważną wadę, mianowicie niską odporność w środowiskach korozyjnych. Ponadto do wad można również zaliczyć niską podatność na przeróbkę plastyczną oraz dość skomplikowaną i kosztowną technologię wytwarzania i przeróbki, co w większości jest związane z niebezpieczną reakcją magnezu w połączeniu z tlenem [8, 1].

W celu poprawy własności stopów magnezu stosowane są dodatki stopowe takie jak: Al, Zn, Mn, Li, Sn, Si i metale ziem rzadkich. Do najbardziej popularnych stopów zaliczamy obecnie stopy dwuskładnikowe, ale także trójskładnikowe (np. stop Mg-Al-Si, Mg-Al-RE, Mg-Al-Zn, Mg-Al-Mn) [3].

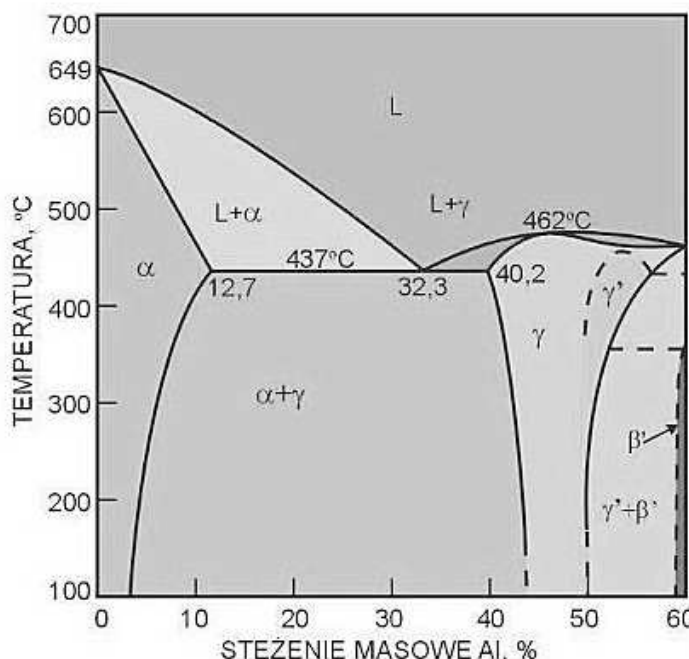
1.1. Klasyfikacja stopów magnezu (ze względu na sposób wytwarzania)

Odlewnicze stopy magnezu - stanowią najpopularniejszą oraz najstarszą grupę stopów magnezu, charakteryzują się względnie niską ceną w porównaniu ze stopami magnezu przeznaczonymi do obróbki plastycznej. Zawierają głównie takie pierwiastki jak aluminium, cynk, mangan i krzem. Charakteryzują się dobrą lejnością i korzystnymi właściwościami mechanicznymi [4].

Według przeprowadzonych dotychczasowych badań, aluminium ma najbardziej korzystny wpływ na magnez ze wszystkich możliwych dodatków stopowych [1]. Jego dodatek zwiększa twardość, wytrzymałość na rozciąganie R_m oraz wydłużenie A stopów magnezu. Ustalono, iż największą wytrzymałością na rozciąganie stopy magnezu charakteryzują się przy ok 5% wag Al, natomiast największym wydłużeniem przy ok 6% wag. Al [5,6]. Z tego też powodu komercyjne stopy magnezu rzadko w swoim składzie zawierają wyższe stężenie Al niż 6% [1].

Wraz ze zwiększającą się minimalną zawartością aluminium w stopach Mg wzrasta lejność i granica plastyczności, maleje skurcz odlewniczy, niestety zwiększa się prawdopodobieństwo występowania kruchości na gorąco [5]. Korzystny wpływ na właściwości stopów ma szeroki zakres krzepnięcia roztworu stałego α -Mg.

Zgodnie z układem równowagi fazowej (rys. 1) mikrostruktura stopów Mg-Al składa się z roztworu stałego- α i fazy międzymetalicznej- γ . Magnez z aluminium stanowi układ fazowy z eutektyką o stężeniu 32,3% Al w temperaturze 437°C [5]. W wyniku tej przemiany eutektycznej $L \rightarrow \alpha\text{-Mg} + \gamma\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ powstaje faza $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Morfologia eutektyki zależy zarówno od zawartości aluminium, jak i prędkości chłodzenia. Graniczna rozpuszczalność aluminium w magnezie sięga 12,7% wagowych w 437°C i jednocześnie z obniżeniem wartości do temperatury pokojowej maleje do 1,5% [4,5]. Dlatego stopy Mg-Al mogą być utwardzane wydzieleniowo.



Rysunek 1. Układ równowagi fazowej Al-Mg [8]

Figure 1. Al-Mg Phase diagram [8]

Obecność fazy międzymetalicznej $Mg_{17}Al_{12}$ w strukturze stopów jest przyczyną podwyższenia ich wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze pokojowej, kosztem obniżenia odporności na pełzanie. Z tego też powodu stopy Mg-Al mogą być eksploatowane tylko do temperatury $\sim 120^{\circ}C$. Stopy te stosowane są głównie w elementach przemysłu motoryzacyjnego, ale także w sprzęcie domowym, sportowym oraz na wszelkiego rodzaju obudowy [4]. Komercyjne i najpopularniejsze stopy magnezu z aluminium (takie jak AZ91, AM50, AM60) mają jednak silnie ograniczone zastosowanie na elementy pracujące w podwyższonych temperaturach, z uwagi na ich słabą odporność na pełzanie. Przyczyną tego zjawiska jest niska temperatura topnienia fazy $Mg_{17}Al_{12}$, która znajduje się na granicach ziaren [4-6].

Wytwarzanie stopów Mg-Al w technologii odlewania ciśnieniowego stanowi przykład podstawowej metody wytwarzania części ze stopów magnezu w przemyśle motoryzacyjnym [6]. Dzięki nowym możliwościom zainteresowanie wytwarzaniem odlewów cienkościennych stopów magnezu stale rośnie. Detale wykonane za pomocą tej technologii mogą mieć skomplikowane kształty i grubość ścianek około od 1,5 do 3mm [5]. Jednak skomplikowany proces i wysokie koszty oprzyrządowania powodują, że odlewanie ciśnieniowe nie może być stosowane do produkcji małoseryjnych. W takim wypadku stosuje się tradycyjne technologie odlewnicze, czyli odlewanie kokilowe oraz do form piaskowych. Niestety ze względu na mniejsze prędkości chłodzenia odlewu w porównaniu z odlewaniem ciśnieniowym, elementy charakteryzują się niższymi właściwościami mechanicznymi [6].

W ostatnim dziesięcioleciu opracowano stopy magnezu o wysokiej odporności na pełzanie bez dodatku aluminium. Do tej grupy stopów możemy zaliczyć: Mg-Zn-RE [11], Mg-Y-Nd-Zr i Mg-ND-GD-Zr [3]. Stopy te posiadają bardzo dobrą stabilność termiczną, jednak ze względu na wysoki koszt itru i trudności w wytwarzaniu odlewów poszukuje się alternatywnych rozwiązań, które pozwolą na uzyskanie stopów o niższych kosztach

wytwarzania i zadowalających własnościach [6]. Jednym ze sposobów na podwyższenie właściwości mechanicznych stopów magnezu w wysokich temperaturach przy relatywnie niskich kosztach, jest zastosowanie dodatku krzemu. Faza Mg_2Si wykazuje jednocześnie wysoką temperaturę topnienia oraz wysoką twardość. Stopy Mg-Si można podzielić na dwie grupy: podeutektyczne (poniżej 1,45% at Si) i nadeutektyczne (ponad 1,45% at Si). Niestety stopy nadeutektyczne mają niskie właściwości mechaniczne z powodu obecności pierwotnej fazy Mg_2Si , która krystalizuje w postaci dużych cząstek [4-6]. Sposobem na zwiększenie właściwości mechanicznych stopów Mg-Si zarówno w temperaturze otoczenia jak i podwyższonej jest dodawanie składników stopowych (Mn, Sn, Zn), które sprzyjać będą powstawaniu drobnych wydzieleni fazy Mg_2Si , co z kolei zapewni efekt umocnienia roztworowego i wydzieleniowego.

Stopy magnezu do przeróbki plastycznej zawierają zwykle do 8% Al, dodatki Zn i Si. Charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi od stopów odlewniczych. Jednakże z powodu wysokich kosztów wytwarzania i stosunkowo niskiej plastyczności, ich zastosowanie jest bardzo ograniczone (stanowi zaledwie około 1% rocznej produkcji magnezu na świecie) [4]. W ostatnim czasie znacznie wzrosło zainteresowanie stopami Mg-Li przerabianymi plastycznie, czego powodem z całą pewnością jest możliwość uzyskania ultalekkich ($1,3g/cm^3$) stopów o strukturze A2 + A3. Do znaczących wad tych materiałów należy jednak zaliczyć dużą aktywność chemiczną i malejącą odporność korozyjną wraz ze wzrostem stężenia aluminium. Wady te uniemożliwiają rozpowszechnienie tych stopów na większą skalę tak jak między innymi w przypadku stopów odlewniczych Mg-Al.

2. WNIOSKI

Stopy magnezu dzięki szybkiemu postępowi w dziedzinie technologii mają coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach życia. Zapotrzebowanie m.in. przemysłu lotniczego i motoryzacyjnego na lekkie i wytrzymałe materiały konstrukcyjne jest obecnie coraz większe. Redukcja masy elementów konstrukcyjnych przekłada się z kolei na oszczędne zużywanie energii przez pojazdy z nich wykonane, tym samym umożliwia minimalizację emisji spalin, co jest głównym celem efektywnego planu Rady Unii Europejskiej i dyrektyw unijnych w sprawie obniżenia emisji CO_2 do atmosfery [1].

Niestety pomimo licznych zalet, jakimi się charakteryzują stopy magnezu mają one nadal ograniczone zastosowanie m.in. ze względu na brak wystarczającej odporności na korozję elektrochemiczną, łatwopalność, wysoki koszt wytwarzania oraz konieczność stosowania inhibitorów podczas topienia, odlewania i skrawania [2, 9].

Pomimo stosowania różnych technologii wytwarzania oraz różnorodnych modyfikacji stopów magnezu pierwiastkami stopowymi, w celu otrzymania wyższych właściwości, nadal istotne wady wpływają na zawężenie obszaru przeznaczenia tego materiału. Nieustające wciąż badania w zakresie struktury i właściwości stopów Mg oraz precyzyjna analiza wpływu pierwiastków stopowych oraz metod wytwarzania na ich właściwości w przyszłości z całą pewnością będzie skutkować zwiększeniem obszaru zastosowania tych materiałów [9].

LITERATURA

1. Kiełbus, D. Kuc, T. Rzychoń : Nowoczesne materiały metaliczne- terażniejszość i przyszłość, Rozdział 3, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, Katowice 2009
2. J. Adamiec: Spawalność odlewniczych stopów magnezu, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013
3. A.Fajkiel, A. Białobrzeski, P. Dudek, T. Reguła: Nowoczesne stopy oraz metody odlewania magnezu w zastosowaniach motoryzacyjnych, PM zeszyt 2/2009
4. H.E. Friedrich, B.L. Mordlike (Eds) : Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
5. A.A. Luo, Recent magnesium alloy development for elevated temperature applications, Int. Mater. Reviews 49(1) (2003) 13–30.
6. T. Rzychoń, Characterization of Mg-rich clusters in the C36 phase of the Mg-5Al-3Ca-0.7Sr0.2Mn alloy, J. Alloys Compd. 598 (2014) 95-105.
7. K.N. Braszczyńska-Malik, Discontinuous and continuous precipitation in magnesium aluminium type alloys, J. Alloys Compd. 477 (2009) 870–876
8. T. Tański, Kształtowanie struktury i własności powierzchni stopów Mg-Al-Zn, Open Access Library, Volume 2 (8) 2012, p. 150.
9. E. Hadasik, D. Kuc, Obróbka plastyczna stopów magnezu, Obróbka Plastyczna Metali Vol. XXIV Nr 2 (2013)

