

Struktura i własności stopów Mg-Al-Zn

Leszek A. Dobrzański*, Tomasz Tański, Anna D. Dobrzańska-Danikiewicz,

Mariusz Król, Szymon Malara, Justyna Domagała-Dubiel

Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,

ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Polska

*Adres korespondencyjny e-mail: leszek.dobrzanski@polsl.pl

Streszczenie

Cel: Celem niniejszej publikacji, jest prezentacja wyników długoletnich badań własnych stanowiących podsumowanie doświadczeń dotyczących odlewniczych stopów magnezu, a w szczególności analizy termicznej opisującej proces krystalizacji stopów, zwykłej obróbki cieplnej z uwzględnieniem zachodzących przemian fazowych i procesów wydzieleniowych, obróbki powierzchniowej metodą chemicznego i fizycznego osadzania z fazy gazowej CVD (ang.: Chemical Vapour Deposition) i PVD (ang.: Physical Vapour Deposition), laserowej obróbki powierzchniowej warstw wierzchnich, w tym w szczególności przetapiania i wtapienia w powierzchnię badanych materiałów drobnych cząstek ceramicznych, interdyscyplinarnych badań foresightowo-materialoznawczych dotyczących grup technologii szczegółowych, obejmujących obróbkę z użyciem lasera diodowego dużej mocy, jak również wykorzystania metod komputerowej nauki o materiałach, a zwłaszcza metod inteligencji obliczeniowej (sztucznej inteligencji) do prognozowania własności badanych stopów magnezu.

Projekt/metodologia/podejście: Badania dotyczyły w pierwszej kolejności analizy kinetyki krystalizacji stopów Mg-Al-Zn czyli wpływu szybkości chłodzenia oraz stężenia masowego aluminium na kinetykę przemian fazowych zachodzących podczas procesu krystalizacji oraz identyfikacji temperatury poszczególnych przemian fazowych z wykorzystaniem analizy termiczno-derywacyjnej. W celu pełnej identyfikacji struktury badanych odlewniczych stopów magnezu wykonano badania optymalizacji warunków obróbki cieplnej z uwzględnieniem różnych ośrodków chłodzących. Wykonano badania struktury i własności pokryw wytwarzanych metodą chemicznego i fizycznego osadzania z fazy gazowej CVD i PVD na badanych stopach Mg-Al-Zn oraz wpływu tej technologii na własności użytkowe elementów wyprodukowanych z tych stopów. Ostatni etap badań prezentowanych stopów Mg-Al-Zn dotyczył laserowej obróbki powierzchniowej umożliwiającej wytworzenie struktury quasi-kompozytowej MMCs (ang.: Metal Matrix Composites), charakteryzującej się gradientem zarówno składu fazowego jak i własności użytkowych, przez wtapienie twardych cząstek ceramicznych, w tym w szczególności węglików i tlenków w powierzchnię wytwarzanych materiałów. Badania struktury powierzchni i struktury wewnętrznej materiałów metodami makro- i mikroskopowymi wykonano z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej, transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej oraz rentgenowskiej analizy fazowej. Własności fizyczne oraz mechaniczne

stopów magnezu po określonych operacjach obróbki cieplnej i powierzchniowej badano stosownymi do własności metodami. Dopelnieniem komplementarnej wiedzy materiałoznawczej były badania heurystyczne z wykorzystaniem metodologii zintegrowanego komputerowo prognozowania rozwoju inżynierii powierzchni materiałów, umożliwiające ocenę pozycji strategicznej i perspektyw rozwojowych technologii powierzchniowej obróbki laserowej odlewniczych stopów magnezu Mg-Al-Zn. Ponadto uzyskane wyniki badań własności posłużyły do opracowania modeli numerycznych wykorzystujących możliwości sztucznej inteligencji, które umożliwiły kompleksową analizę zależności pomiędzy parametrami opisywanych procesów a własnościami mechanicznymi i użytkowymi badanych stopów.

Osiągnięcia: Na podstawie szerokiego zakresu przeprowadzonych badań własnych uzyskano wartościowe i oryginalne wyniki zarówno pod względem poznawczym jak i aplikacyjnym, skoncentrowane głównie na analizie i wpływie składu chemicznego i procesów technologicznych obróbki cieplnej i powierzchniowej na strukturę i własności badanych stopów oraz perspektywach rozwojowych obróbki powierzchniowej odlewniczych stopów magnezu Mg-Al-Zn.

Ograniczenia badań/zastosowań: Mimo że monografia przedstawia obszerny i nowoczesny obszar badawczy oraz obejmuje wyniki badań uwzględniające pokaźny dorobek naukowy autorów, dotyczy jedynie wybranej grupy stopów magnezu, tj. Mg-Al-Zn, a zatem reprezentuje tylko część rozległej i wielowątkowej wiedzy z zakresu stopów magnezu i ich metodyki badawczej.

Praktyczne zastosowania: Stopy magnezu stają się w chwili obecnej, oprócz stopów tytanu i aluminium, dobrym jakościowo i nowoczesnym materiałem do wyrobu różnych elementów maszyn i urządzeń. Zapotrzebowanie na odlewy ze stopów o małej gęstości w dużej mierze wiąże się z rozwojem przemysłu motoryzacyjnego i rynku sportowego. W wyniku odpowiedniego doboru materiału na poszczególne elementy wraz z procesami kształtującymi jego strukturę i własności oraz rodzaju i technologii warstwy powierzchniowej, zapewniającej wymagane własności użytkowe, możliwe jest najkorzystniejsze zestawienie własności rdzenia i warstwy wierzchniej wytworzonego elementu, co w konsekwencji prowadzi do zaprojektowania i dostarczenia materiału spełniającego wszystkie wymagania postawione mu przez konsumenta.

Oryginalność/wartość: Gromadzona przez lata wiedza z zakresu stopów metali lekkich, a w tym w szczególności stopów Mg-Al-Zn o niewątpliwie wartościowym charakterze poznawczym jest dedykowana nie tylko studentom, ale również doktorantom i pracownikom naukowym z myślą o poprawie warunków kształcenia przez udostępnienie oryginalnych pomocy naukowych, zawierających najnowsze wyniki oryginalnych badań naukowych.

Słowa kluczowe: Materiałoznawstwo; Inżynieria powierzchni; Odlewnicze stopy magnezu; Analiza termiczna; Obróbka cieplna; Warstwy powierzchniowe CVD i PVD; Laserowa obróbka powierzchni; Foresight technologiczny; Komputerowa nauka o materiałach; Struktura; Własności mechaniczne; Korozja metali i stopów; Zużycie trybologiczne.

Cytowania tej monografii powinny być podane w następujący sposób:

L.A. Dobrzański, T. Tański, A.D. Dobrzańska-Danikiewicz, M. Król, S. Malara, J. Domagała-Dubiel, *Struktura i własności stopów Mg-Al-Zn*, Open Access Library, Volume 5 (11) (2012) 1-319.

Mg-Al-Zn alloys structure and properties

Leszek A. Dobrzański*, Tomasz Tański, Anna D. Dobrzańska-Danikiewicz, Mariusz Król,
Szymon Malara, Justyna Domagała-Dubiel

Mechanical Engineering Faculty, Silesian University of Technology,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

*Corresponding e-mail address: leszek.dobrzanski@polsl.pl

Abstract

Purpose: *The purpose of this publication is to present the results of own long-term research summarising the experience concerning as casting magnesium alloys, and in especially a thermal analysis describing the process of alloys crystallisation, standard heat treatment according to the occurring phase transitions and precipitation processes, surface treatment with the CVD (Chemical Vapour Deposition) and PVD (Physical Vapour Deposition) method, laser surface treatment of surface layers, including in particular remelting and feeding fine ceramic particles into the surface of the investigated materials, interdisciplinary materials science-foresight research pertaining to the groups of specific technologies including treatment using the high performance diode laser, as well as using the methods of Computer Materials Science, and especially the methods of computational intelligence (artificial intelligence) for forecasting the properties of the investigated magnesium alloys.*

Project/methodology/approach: *The research concerned in the first place an analysis of Mg-Al-Zn alloys crystallisation kinetics, i.e. the influence of cooling rate and mass concentration of aluminium on the kinetics of phase transitions occurring in the crystallisation process and identifying the temperatures of specific phase transitions using a thermal and derivative analysis. Optimisation investigations for heat treatment conditions taking into consideration different cooling mediums were performed in order to identify fully the structure of the investigated magnesium casting alloys. Investigations were carried out of the structure and properties of coatings produced with the CVD and PVD methods on the investigated Mg-Al-Zn alloys and the influence of such technology on the functional properties of the parts produced using such alloys. The last stage of investigating the presented Mg-Al-Zn alloys applied to laser surface treatment enabling to produce a quasi-composite structure of MMCs (Metal Matrix Composites) characterised by the gradient of phase composition as well as functional properties by feeding hard ceramic particles, in particular carbides and oxides, into the surface of the materials produced. The investigations of the surface structure and internal structure of materials with the macro- and microscopy methods were carried out using light and transmission microscopy and scanning electron microscopy and X-ray phase analysis.*

The physical and mechanical properties of magnesium alloys after specific heat and surface treatment operations were investigated with the method corresponding to the properties. Heuristic investigations using the integrated computer-aided prediction of materials surface engineering development carried out in order to assess the strategic position and development prospects of the technology of laser surface treatment of casting magnesium alloys Mg-Al-Zn were supplementing the complementary materials science knowledge. Moreover, the results of the properties investigations obtained were used for developing numerical models using the capabilities of artificial intelligence allowing to analyse comprehensively the dependencies between the parameters of the processes described and the mechanical and functional properties of the investigated alloys.

Achievements: *Valuable and original results were achieved based on the broad scope of the research performed both, in cognitive and applicational terms, concentrated mainly on the analysis and influence of chemical composition and technological heat and surface treatment processes on the structure and properties of the investigated alloys and on the development prospects of casting magnesium alloys Mg-Al-Zn surface treatment.*

Research limitations/implications: *Although the monograph presents a comprehensive and modern research area and comprises the results of investigations taking into account the considerable scientific achievements of the authors, it relates to a selected group of magnesium alloys only, i.e. Mg-Al-Zn, hence it represents only part of extensive and multifaceted knowledge in the field of magnesium alloys and their research methodology.*

Practical implications: *Magnesium alloys, except for titanium and aluminium alloys, are currently becoming a good quality and modern material for manufacturing various parts of machines and equipment. Demand for small-density magnesium alloy casts is to a large extent related to the growth of the automotive and sports industry. The properties of the core and surface layer of the part produced can be customised most advantageously by selecting the part's material and its structure and properties formation processes appropriately along with the surface layer type and technology ensuring the required functional properties. As a consequence, a material is designed and delivered meeting all the requirements set by the customer.*

Originality/value: *The knowledge gathered for years concerning light metal alloys, and in particular Mg-Al-Zn alloys, of an undoubtedly valuable cognitive character, is dedicated not only to students but also postgraduates and researches to improve the conditions of education by making available original scientific aids with the latest results of original scientific research.*
Keywords: *Materials science; Surface engineering; Casting magnesium alloys; Thermal analysis; Heat treatment; CVD and PVD surface layers; Laser surface treatment; Technology foresight; Computer materials science; Structure; Mechanical properties; Corrosion of metals and alloys; Tribological wear*

Reference to this monograph should be given in the following way:

L.A. Dobrzański, T. Tański, A.D. Dobrzańska-Danikiewicz, M. Król, S. Malara, J. Domagała-Dubiel, Mg-Al-Zn alloys structure and properties, Open Access Library, Volume 5 (11) (2012) 1-319 (in Polish).

**„Portatur leviter,
quod portat quisque libenter”**

*„Lekko jest nieść,
to co każdy niesie dobrowolnie”*

Anonim Średniowieczny

Słowo wstępne

Projekt INFONANO pt. „Otwarcie i rozwój studiów inżynierskich i doktoranckich w zakresie nanotechnologii i nauki o materiałach” od kilku lat realizowany w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki przez Zespół Pracowników Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach stworzył okazję do opracowania kilku monografii naukowych, z myślą o poprawie warunków kształcenia przez udostępnienie oryginalnych pomocy naukowych, zawierających najnowsze wyniki oryginalnych badań naukowych. Niniejsza książka została przygotowana z myślą zarówno o studentach, jak i doktorantach i pracownikach naukowych. Wykonanie tego zadania wpisuje się w cel ogólny tego Projektu, którym jest wzmocnienie roli Politechniki Śląskiej w rozwoju konkurencyjnej gospodarki opartej na wiedzy i innowacjach oraz rozszerzenie jej oferty edukacyjnej i podniesienie jakości kształcenia na unikatowych studiach technicznych oraz doktoranckich. Seria przygotowywanych monografii naukowych ma za zadanie poprawę adaptacji absolwentów Politechniki Śląskiej do potrzeb rynku pracy oraz oczekiwań konkurencyjnych i innowacyjnych przedsiębiorstw. Zdecydowaliśmy tę książkę opracować bez honorarium autorskiego i bezpłatnie udostępnić ją w Internecie, w czasopiśmie typu „Open Access”.

Mottem niniejszej pracy są anonimowe słowa, pochodzące z Wieków Średnich i to rozumiane dwojako. Z jednej strony Autorom tej książki sprawia satysfakcję i przyjemność opisanie zagadnień dotyczących stopów Mg-Al-Zn, którym poświęcili kilka ostatnich lat życia i w tym sensie, pomimo trudu włożonego w przygotowanie książki, zadanie to nie okazało się zbyt ciężkim. Ma to szczególne znaczenie w czasie, gdy wyraźnie mówi się o konieczności dostarczania materiałów inżynierskich na żądanie. Z drugiej strony tematyka książki dotyczy wybranej grupy stopów lekkich i technologii ich wytwarzania i przetwórstwa, co ma szczególne znaczenie w dobie poszukiwania materiałów o małej gęstości, alternatywnych dla stali i innych stopów żelaza. Stopy lekkie (o małej gęstości) zyskują zastosowanie głównie w przemyśle budowy środków transportu, co ma ścisły związek z racjonalizacją zużycia energii, a zwłaszcza paliw ciekłych w wielu uruchomionych programach badawczych, zarówno

w Europie, jak i innych krajach, w tym w USA i Japonii. W tym sensie, oszczędzając energię, lżej będzie nieść lub wieźć środki transportu i przewożone nimi osoby i towary, a to zwykle służy zaspokajaniu potrzeb, a jeżeli wiąże się z turystyką – także przyjemności. Parafrazując cytowaną myśl, można więc stwierdzić, że badania struktury i własności lekkich stopów, w tym Mg-Al-Zn, służą dobrowolnej, aczkolwiek koniecznej poprawie warunków i jakości życia we współczesnym Świecie.

Tematyka niniejszej książki naukowej jest zatem aktualna i atrakcyjna. Prezentowane wyniki badań obejmują usystematyzowaną wiedzę na temat stopów magnezu Mg-Al-Zn wynikającą z kilku zakończonych prac doktorskich oraz mają częściowy związek z dwoma niedawno zakończonymi pracami habilitacyjnymi. Wykorzystano w niniejszym opracowaniu wielokrotnie, wyniki prac własnych wykonanych w Zakładzie Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zaprezentowano ogólną charakterystykę analizowanych stopów, metody ich wytwarzania i odlewania, wyniki badań termiczno-derywacyjnych, technologie i mechanizmy umocnienia związane z obróbką cieplną, a także technologie kształtowania struktury i własności warstw powierzchniowych metodami chemicznego i fizycznego osadzania powłok z fazy gazowej CVD i PVD oraz z wykorzystaniem promieniowania laserowego. Oryginalne i interesujące wyniki badań zawarte są w kolejnych rozdziałach, dotyczących prognozy rozwoju tych technologii na podstawie wyników badań foresightowych oraz aplikacji metod komputerowej nauki o materiałach, a zwłaszcza sztucznych sieci neuronowych do optymalizacji struktury i własności stopów Mg-Al-Zn. Uzupełnieniem książki jest zbiór materiałów dydaktycznych, umożliwiających studentom wykonanie samodzielnych eksperymentów, z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury laboratoryjnej.

Przekazując niniejszą książkę naukową do rąk PT Czytelników, pozostajemy w głębokim przeświadczeniu, że zgodnie z założeniami Projektu, przyczyni się ona do podniesienia poziomu wiedzy, dotyczącej inżynierii stopów metali lekkich, jako ważnego działu współczesnej inżynierii materiałowej i wytwarzania, wśród studentów i pracowników naukowych oraz menedżerów pracujących w przemyśle. Szczególne podziękowania kierujemy do PT Opiniodawców za cenne uwagi, wsparcie i akceptację książki do druku oraz do wszystkich Osób, które przyczyniły się do wydania tej książki.

Autorzy

Gliwice, w kwietniu 2012 roku