

Kształtowanie struktury i własności powierzchni stopów Mg-Al-Zn

Tomasz Tański

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Polska

Adres korespondencyjny e-mail: tomasz.tanski@polsl.pl

Streszczenie

Cel: *Celem niniejszej monografii jest prezentacja wyników badań własnych dotyczących obróbki cieplnej i powierzchniowej stopów magnezu Mg-Al-Zn oraz modelowania ich własności z wykorzystaniem narzędzi sztucznej inteligencji. Stopy magnezu, stanowiące połączenie niskiej gęstości i dużej wytrzymałości, są coraz chętniej stosowane tam, gdzie obniżenie masy elementów podzespołów jest istotne, pożądane i opłacalne. W celu poprawy ich własności użytkowych zastosowano obróbkę laserową, a w szczególności laserowe przetapianie i wtapianie w ich powierzchnię twardych cząstek ceramicznych oraz technologie chemicznego i fizycznego osadzania z fazy gazowej CVD i PVD.*

Projekt/metodologia/podejście: *Badania opisywane w książce dotyczą w pierwszej kolejności analiz heurystycznych z wykorzystaniem metodologii zintegrowanego komputerowo prognozowania, umożliwiającących wytyczenie prognozowanych trendów rozwojowych analizowanych grup materiałów i technologii ich obróbki powierzchniowej oraz określenie ich pozycji strategicznej na tle innych grup materiałów i technologii inżynierii powierzchni. Kolejny etap badań prezentuje analizę szybkości chłodzenia oraz stężenia masowego aluminium na kinetykę przemian fazowych zachodzących podczas procesu krystalizacji z wykorzystaniem analizy termiczno-derywacyjnej. Ponadto prezentowane wyniki badań dotyczą charakterystyki synergicznego oddziaływanie obróbki cieplnej i powierzchniowej na strukturę i własności odlewniczych stopów magnezu Mg-Al-Zn. Obróbkę powierzchniową stopów magnezu wykonano przy wykorzystaniu metod chemicznego i fizycznego osadzania z fazy gazowej PA CVD i CAE PVD oraz laserowej obróbki powierzchniowej, w tym w szczególności laserowego wtapiania twardych cząstek ceramicznych w powierzchnię wytwarzanych materiałów umożliwiającej wytworzenie struktury quasi-kompozytowej MMCs (ang.: Metal Matrix Composites). Badania struktury powierzchni i struktury wewnętrznej materiałów metodami makro- i mikroskopowymi wykonano z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej, transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej oraz spektrometrii ramanowskiej i rentgenowskiej analizy fazowej. Własności fizyczne oraz mechaniczne stopów magnezu po określonych operacjach obróbki cieplnej i powierzchniowej badano stosownymi do własności*

metodami. Ostatni etap badań dotyczył modelowania numerycznego zależności pomiędzy warunkami opisywanych metod obróbki powierzchniowej, a własnościami mechanicznymi i użytkowymi badanych stopów z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Osiągnięcia: Zasadniczym osiągnięciem naukowym Autora jest opracowanie oryginalnych wyników badań struktury i własności stopów Mg-Al-Zn, wartościowych zarówno pod względem poznawczym jak i aplikacyjnym, skoncentrowanych głównie na analizie mechanizmów strukturalnych występujących w trakcie obróbki cieplnej i powierzchniowej i ich wpływu na własności badanych stopów.

Ograniczenia badań/zastosowań: Pomimo faktu, że monografia przedstawia obszerny i nowoczesny obszar badawczy zaprezentowane wyniki badań dotyczą jedynie wybranej grupy stopów magnezu, tj. Mg-Al-Zn oraz ich metodyki badawczej.

Praktyczne zastosowania: Celowy wybór materiału zgodny z aktualnym zapotrzebowaniem rynkowym skorelowany z procesami kształtującymi strukturę i własności rdzenia oraz z technologiami inżynierii powierzchni zapewniającymi wymagane własności mechaniczne i użytkowe warstwy wierzchniej elementu, w tym również analizowane w rozprawie technologie laserowe oraz techniki fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej pozwalają na modelowanie nowatorskich rozwiązań inżynierskich i w ślad za tym wytwarzanie materiałów dotychczas nie dostępnych dla technologii postrzeganych, jako tradycyjne.

Oryginalność/wartość: Oryginalność niniejszego opracowania polega na prezentacji bardzo obszernej wiedzy związanej z metodami kształtowania struktury i własności powierzchni stopów Mg-Al-Zn popartej wynikami szerokich badań własnych, które w całej rozciągłości pozwalają na stwierdzenie, że udowodniona została teza rozprawy. Właściwa interpretacja wzajemnych zależności pomiędzy własnościami i strukturą warstwy wierzchniej i podłoża oraz otaczającym środowiskiem pozwala w szerszej perspektywie dokonać analizy i precyzyjnej identyfikacji mechanizmów niszczenia, jakie występują zarówno na powierzchni jak i w rdzeniu materiału. Kluczowym zagadnieniem wydaje się być również zapewnienie jednoczesnego rozwoju zarówno technologii wytwarzania i obróbki konstrukcyjnych materiałów lekkich, w tym w szczególności stopów Mg-Al-Zn oraz technologii kształtowania i zabezpieczania ich powierzchni, co w konsekwencji pozwoli na zachowanie równowagi pomiędzy nowoczesnym materiałem podłoża i powłoką nowej generacji.

Słowa kluczowe: Inżynieria materiałowa; Inżynieria powierzchni; Odlewnicze stopy magnezu; Foresight technologiczny; Analiza termiczna; Obróbka cieplna; Warstwy powierzchniowe CVD i PVD; Laserowa obróbka powierzchni; Komputerowa nauka o materiałach; Struktura; Własności mechaniczne; Własności użytkowe

Cytowania tej monografii powinny być podane w następujący sposób:

T. Tański, Kształtowanie struktury i własności powierzchni stopów Mg-Al-Zn, Open Access Library, Volume 2 (8) (2012) 1-158.

Forming the structure and surface properties of Mg-Al-Zn alloys

Tomasz Tański

Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

Corresponding e-mail address: tomasz.tanski@polsl.pl

Abstract

Purpose: *The purpose of this monograph is to present the results of the author's own tests concerning thermal and surface processing of magnesium alloys Mg-Al-Zn and modelling their properties with the use of artificial intelligence tools. The magnesium alloys being the combination of low density and high strength are more and more frequently applied wherever the reduction of subassembly mass is significant, desired and feasible. To improve their usable properties, laser processing has been used, particularly laser remelting and fusion of hard ceramic particles in them as well as technologies of chemical and physical sedimentation from CVD and PVD gas phase.*

Project/methodology/approach: *The tests described in the book in the first place concern heuristic analyses with the application of computer integrated programming methodology, enabling marking the forecast development trends of the analysed groups of materials and their surface processing technology. Another stage of the tests presents the analysis of cooling rate and aluminium mass concentration on the kinetics of phase transformations taking place during the crystallisation with the use of thermal-derivative analysis. Moreover, the test results presented concern the characteristics of synergic thermal and surface processing impact on the structure and properties of cast magnesium alloys Mg-Al-Zn. The surface processing of the magnesium alloys was carried out with the use of chemical and physical sedimentation methods from PA CVD and CAE PVD gas phase and laser surface processing, including in particular laser fusion of hard ceramic particles into the surface of materials produced, enabling the production of a quasi-composite j MMCs (Metal Matrix Composites) structure. The tests of the surface and internal structure of materials with the use of macro- and microscopic methods were made with the use of light, transmission and scanning electron microscopy and Raman spectrometry and X-ray phase analysis. The physical and mechanical properties of magnesium alloys after the specified thermal and surface processing operations were tested by methods appropriate for the properties. The last stage of tests concerned numerical modelling of the dependencies between the surface processing methods conditions*

described and the mechanical and usable properties of the alloys tested, with the use of artificial neural networks.

Achievements: The principal research achievement of the Author is the development of original test results of the structure and properties of Mg-Al-Zn alloys, both cognitively and in terms of their applicability, mainly focused on the analysis of the structural mechanisms occurring during thermal and surface processing and their impacts on the properties of the tested alloys.

Research limitations/implications: In spite of the fact that the monograph presents an extensive and modern research area, the test results presented concern a selected group of magnesium alloys only, i.e. Mg-Al-Zn and their testing methodology.

Practical implications: The purposeful selection of the material in line with the current market demand, correlated with the processes forming the structure and properties of the core and with surface engineering technologies, providing the required mechanical and usable properties of the surface layer of an element, including the laser technologies analysed in the dissertation and techniques of physical and chemical sedimentation from the gas phase, enable the modelling of innovative engineering solutions and, in consequence, production of materials so far unavailable for technologies perceived as traditional.

Originality/value: The originality of this paper consists in the presentation of a very extensive knowledge related to the methods of forming the structure and properties of the surface of Mg-Al-Zn alloys, supported by the results of wide author's research that totally enable the statement that the thesis of the paper has been proven. The proper interpretation of the mutual correlations between the properties and structure of the surface layer and substructure and the surrounding environment enables a more extensive analysis and precise identification of the mechanisms of destruction that occur both on the surface and in the core of the material. The key question here seems to be also the provision of simultaneous development of both production technology and processing of the light construction materials, including in particular Mg-Al-Zn alloys and technology of forming and protecting their surface, which in consequence shall enable the maintenance of balance between the modern substructure material and new generation coating.

Keywords: Material engineering; Surface engineering; Cast magnesium alloys; Technological Foresight; Thermal analysis; Thermal processing; CVD and PVD surface layers; Laser surface processing; Computer science about materials; Structure; Mechanical properties; Usable properties

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

T. Tański, Forming the structure and surface properties of Mg-Al-Zn alloys, Open Access Library, Volume 2 (8) (2012) 1-158.

1. Wprowadzenie

Współczesny rozwój techniki stwarza konieczność szukania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, zmierzających do poprawy efektywności i jakości produktu, do minimalizacji wymiarów, a także do zwiększenia niezawodności i stabilności wymiarowej w warunkach eksploatacji. Wybór materiału poprzedzony jest zawsze analizą wielu czynników obejmujących wymagania: mechaniczne, fizykochemiczne, projektowe, środowiskowe, dotyczące kosztu, dostępności i masy. Problem nieuzasadnionej masy w znacznym stopniu weryfikuje możliwości zastosowania poszczególnych grup materiałów. Dlatego też w ciągu ostatnich kilku dekad znacząco wzrosło zapotrzebowanie na materiały o małej gęstości i relatywnie dużej wytrzymałości, tj. stopy tytanu, aluminium oraz magnezu.

Z wymienionej grupy materiałów na szczególną uwagę zasługują stopy magnezu, które oprócz niewielkiej gęstości wykazują także inne korzyści, takie jak dobra zdolność do tłumienia drgań, najlepsza spośród wszystkich znanych obecnie materiałów konstrukcyjnych, wysoka stabilność wymiarowa, dobra lejniść, mały skurcz odlewniczy, połączenie niskiej gęstości i dużej wytrzymałości, możliwość zastosowania na elementy maszyn pracujące w temperaturze nawet do 300°C oraz łatwość poddawania recyklingowi. Wysoka zdolność do tłumienia drgań oraz relatywnie niska masa umożliwiają zastosowanie stopów magnezu na szybko poruszające się elementy w przypadkach, gdy pojawiają się gwałtowne zmiany prędkości. Niemniej jednak niekwestionowaną zaletą magnezu jest przede wszystkim jego niewielka gęstość (1,7 g/cm³), która jest o około 35% mniejsza od gęstości aluminium (2,7 g/cm³) i ponad czterokrotnie mniejsza od gęstości stali (7,86 g/cm³).

Obecnie około 70% odlewów ze stopów magnezu przeznaczonych jest dla przemysłu samochodowego. W przypadku środków transportu, generalną zasadą jest obniżenie masy pojazdów ze względu na oszczędność paliwa. Wraz z obniżeniem masy poprawiają się parametry jezdne, związane głównie z ich dynamiką. Potrzeba obniżenia podstawowej masy pojazdów staje się tym bardziej istotna, że coraz więcej środków transportowych wyposażonych jest w akcesoria dodatkowe (np.: poduszki powietrzne, systemy kontroli trakcji i parkowania) zwiększające ich masę, które mają na celu nie tylko poprawę bezpieczeństwa jazdy, ale i podniesienie atrakcyjności użytkowej tych pojazdów.

Stopy magnezu znalazły zastosowanie nie tylko w przemyśle samochodowym, ale również w produkcji helikopterów, samolotów, czynników dysków, telefonii komórkowej, komputerów,

części rowerowych, sprzętu gospodarstwa domowego i biurowego, aeronautyce i radiotechnice, w przemyśle chemicznym, energetycznym, włókienniczym a nawet nuklearnym. Tendencje wzrostu produkcji stopów magnezu, wskazują na wzmożoną potrzebę ich zastosowania w światowym przemyśle konstrukcyjnym, co za tym idzie stopy magnezu staną się jednym z najczęściej stosowanych materiałów konstrukcyjnych naszego stulecia. Według statystyk firmy Hydro Magnesium produkcja odlewów ze stopów magnezu wzrastała w latach 1993-2003 w przebiegu parabolicznym do blisko 180 000 ton, a znaczący udział w tym wzroście (ok. 80 000 ton) miała Europa. Dane opublikowane przez US Geological Survey wskazują, że pierwotna produkcja magnezu w roku 2011 wyniosła w Chinach 670 tysięcy ton, w Stanach Zjednoczonych ok. 63 tysiące ton, w pozostałych krajach ok. 110 tysięcy ton [1].

Niemniej jednak oprócz wyżej wymienionych zalet stopy magnezu posiadają również wady, wśród których najczęściej wymienia się słabą odporność korozyjną oraz trybologiczną tych materiałów. Aby temu skutecznie przeciwdziałać należy szukać alternatywnych technologii, w szczególności z zakresu inżynierii powierzchni umożliwiających podwyższenie własności stopów magnezu, a tym samym podniesienie progu ich atrakcyjności aplikacyjnej. Perspektywnym rozwiązaniem, co również dowiedziono na podstawie benchmarkingu proceduralnego [2-4], jest obróbka laserowa, a w szczególności laserowe przetapianie i wtapianie w powierzchnię materiałów magnezowych, twardych cząstek ceramicznych oraz technologie fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej PVD i CVD, będące alternatywą dla stosowanych technik natryskiwania cieplnego lub technik ochrony anodowej [5-8].

Badania w zakresie obróbki cieplnej oraz obróbki powierzchniowej wykonano na przestrzeni wielu lat w zakresie badań własnych [3, 4, 9-54] oraz dwóch projektów badawczych, tj. rozwojowego: „Zwiększenie własności użytkowych elementów z odlewniczych stopów lekkich magnezu i aluminium obrobionych cieplnie przez optymalizację ich składu chemicznego oraz laserowe przetapianie i/lub stopowanie powierzchni węglnikami i/lub cząstkami ceramicznymi” [9-37] i „Kształtowanie własności użytkowych elementów ze stopów metali lekkich poprzez nanoszenie hybrydowych powłok PVD złożonych z gradientowej warstwy przejściowej oraz wieloskładnikowej warstwy zewnętrznej” [38-54], w których autor pełnił rolę odpowiednio głównego wykonawcy i kierownika zespołu wykonawczego oraz kierownika projektu.

W wyniku odpowiedniego doboru materiału na poszczególne elementy wraz z technologiami kształtującymi strukturę i własności stopu oraz jego warstwy powierzchniowej, zapewniającej wymagane własności użytkowe, szczegółowo opisane w rozdziałach 5-7, możliwe jest uzyskanie

najkorzystniejszego zestawienia własności rdzenia i warstwy wierzchniej wytworzonego elementu, co w konsekwencji prowadzi do zaprojektowania i dostarczenia materiału spełniającego wszystkie wymagania postawione mu przez konsumenta.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie możliwości zastosowania technik PVD, CVD i obróbki laserowej odlewniczych stopów magnezu oraz dobór warunków technologicznych i wyjaśnienie mechanizmów powodujących poprawę wybranych własności użytkowych tych stopów w wyniku wytypowanych procesów obróbki powierzchniowej.