

微量元素添加對 LZ121 鎂鋰合金機械性質之影響

Effect of minor elements addition on the mechanical properties of LZ121 alloy

涂巧慧 王建義* 林佳慧

C.H. Tu, J.Y. Wang*, C.H. Lin

摘要

本研究探討微量 Al 或 Y 添加，對 Mg-12wt%Li-1wt%Zn 合金之機械性質影響。三種鎂鋰合金 Mg-12 wt%Li-1 wt%Zn(LZ121)、Mg-12 wt%Li-1 wt%Zn-1 wt%Y(LZW1211)和 Mg-12.5 wt%Li-1 wt%Zn-1 wt%Al (LAZ1211)擠壓成適當尺寸之板材。探討經過冷軋和退火處理後其顯微組織、硬度和機械性質變化。結果發現 LZ121、LZW1211 和 LAZ1211 經室溫軋延後皆可有效的提高合金硬度和其抗拉強度。LZW1211 和 LAZ1211 退火溫度超過 200°C 後，硬度隨退火溫度增加而升高。而 LAZ1211 冷軋後進行 300°C 退火處理，其抗拉強度增加最為顯著，由原材料強度為 190MPa 增至 287MPa，但超過 300°C 後幾乎沒有延性。

關鍵詞：鎂鋰合金、冷軋延、退火、機械性質

Abstract:

Minor elements of Al or Y added LZ121 (Mg-12wt%Li-1wt%Zn) alloys were investigated. Three kind of as-extruded Mg-Li alloy plates, Mg-12 wt%Li-1 wt%Zn (LZ121), Mg-12 wt%Li-1 wt%Zn-1 wt%Y (LZW1211) and Mg-12.5 wt%Li-1 wt%Zn-1 wt%Al (LAZ1211), were prepared. The mechanical properties as well as microstructures of alloy plates after cold rolling and annealing were evaluated. The results show that the hardness and ultimate tensile strength of all alloys can be improved after room temperature rolling. Moreover, the harnesses of annealed LZW1211 and LAZ1211 are increasing as the annealing temperature increases. The ultimate tensile strength of 300 °C annealed LAZ1211 is increased (from 190MPa to 287MPa) obviously. However, the ductility is decreasing.

Key word: magnesium-lithium alloy, cold rolling, annealing, mechanical properties

一、前言

Mg-Li 合金由於有超低密度和冷加工能力，基於鎂鋰合金的這些優點，他們的應用在航太，電子工業，軍事等領域的良好前景⁽¹⁻²⁾。鎂鋰合金擁有極佳之制振能特性，但其熱軋延後之晶粒粗大，即使利用固溶強化或加工(冷軋延)強化等使其強度提升，但因晶粒仍然太大而使其強度無法更上層樓⁽³⁾。Mg-Li 合金可以透過添加 Al 或 Zn 來進行時效硬化⁽⁴⁻⁹⁾，添加 Al 可以藉由析出及固溶來強化合金；Zn 的添加可以提高合金的冷加工成形性。Mg-Li-Al 合金系主要的強化相為 $MgLi_2Al$ (θ 相)，在過時效處理後會轉為 $AlLi$ 平衡相⁽⁹⁻¹²⁾。Mg-Li-Zn 合金系則可以藉由 $MgLi_2Zn$ 相析出來強化，隨著 Zn 的增加 $MgLi_2Zn$ 逐漸變為一介穩態結構⁽⁹⁾，在經過時效處理後其部分將分解為 $MgLiZn$ 。

二、實驗步驟

本實驗之研究方法，以 Mg-xLi 合金為基本組成，考量極輕質，設計合金密度在 1.6 g/cm^3 以下，因此 Li 含量為 12wt%。合金設計為四元合金 Mg-12wt%Li-1wt%Zn-1wt%Y (LZW1211)、Mg-12wt%Li-1wt%Zn-1wt%Al (LAZ1211)。極輕質鎂鋰合金設計後，熔煉及熱擠製成鎂板。本實驗為了追求高強度鎂合金，對於合金施予冷軋延及退火處理後將合金研磨去除表面氧化層後切成適當之大小。再利用顯微組織分析、機械性質測試和 XRD 鑑定結構，以探討其強化機構。

三、結果與討論

由 Fig. 1 之擠製狀態之金相圖可以觀察當 LZ121 添加 1wt% Al (LAZ1211 合金)後，平均晶粒尺寸由 $36\mu\text{m}$ 細化到 $21\mu\text{m}$ 。而其中以添加微量稀土元素 Y (LZW1211 合金)的效果更為顯著，平均晶粒尺寸細化至 $9\mu\text{m}$ 。可知 Al 或 Y 元素之添加，可促進異質成核(Heterogeneous Nucleation)，而達到晶粒細化之效果。Y 添加效果較佳原因，推測為含 Y 之原生粒子較細。機械性質如 Fig.2 所示，LZ121 添加元素 Al (LAZ1211 合金)後顯著的提升其抗拉強度和硬度，而添加稀土元素 Y (LZW1211 合金)可有效增加其延伸率。

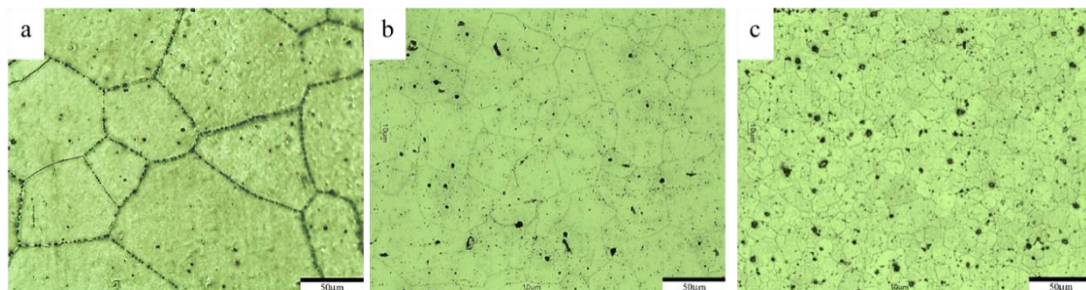


Fig. 1、Microstructure of investigated alloys (a)LZ121 (b) LAZ1211 (c)LZW1211.

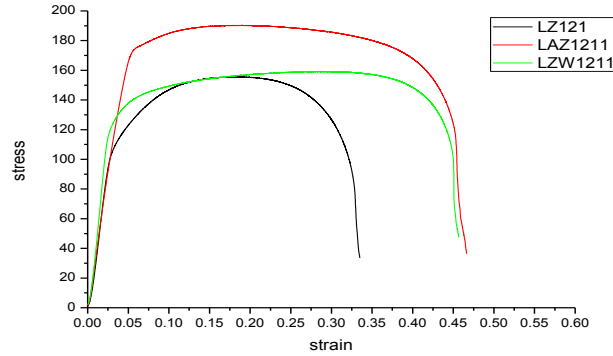


Fig.2、Mechanical properties of LZ121、LAZ1211 and LZW1211 .

LZ121 擠製材經不同軋延量軋延後，可以發現其晶粒大小會隨著軋延方向產生拉長現象，此為晶粒受力作用產生塑性變形現象，如 Fig.3。此外，晶粒內未有大量變形組織，推測此等合金之再結晶溫度低，在大量塑變下有明顯之動態再結晶。而隨軋延量增加產生大量塑性變形使差排數增加，而在大量差排密度下，造成差排移動困難，使抗拉強度隨冷加工量增加而增強，而伸長率隨加工量增加而降低的原因推測是因為給予較大的冷加工，使金屬內部有大量的缺陷，如 Fig.4 所示。

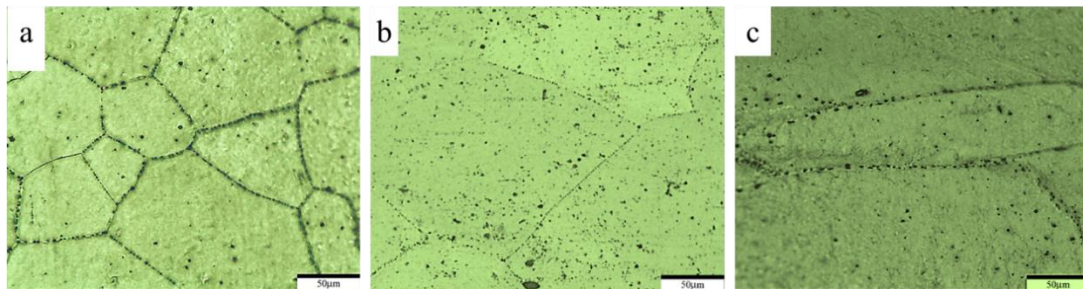


Fig.3、Optical microstructures of the as-rolled specimens receiving cold rolling by (a) extruded (b) 40% (c) 80% .

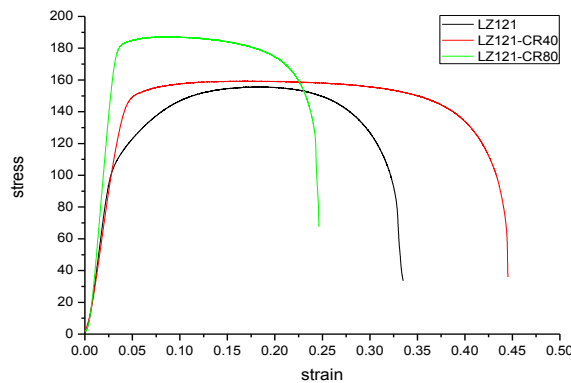


Fig.4、Mechanical properties of the LZ121 after various amount of cold rolling.

如 Fig.5，LAZ1211 經軋延後，其晶粒並沒有因軋延而晶粒細化，而是產生動態再結晶，晶粒尺寸從 31 μm 增至 59 μm 。而隨軋延量增加其抗拉強度由原擠

製材的 190MPa 增加至 208MPa，而延伸率也隨軋延量增加而上升，如 Fig.6 所示。

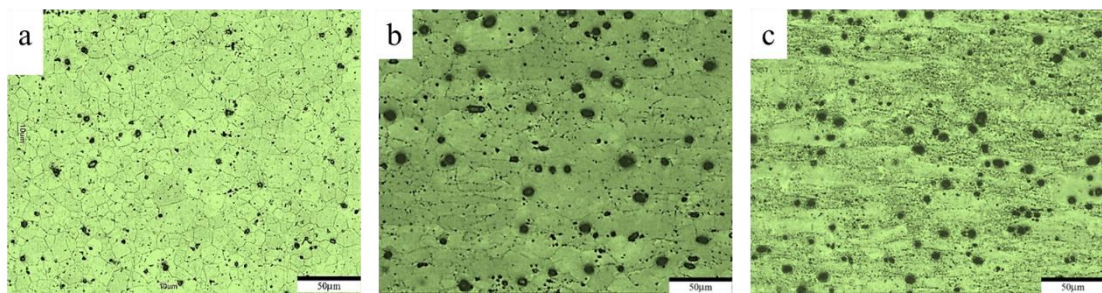


Fig.5、Optical microstructures of the as-rolled specimens receiving cold rolling by (a) extruded (b) 40% (c) 80% .

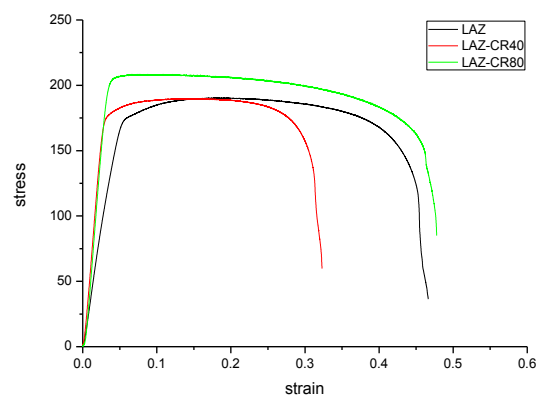


Fig.6、Mechanical properties of the LAZ1211 after various amount of cold rolling.

Fig.7 金相圖可知 LZW1211 擠製材經不同軋延量軋延後，晶粒尺寸由 9µm 成長到 122µm，而經不同軋延量發現其晶粒大小會隨著軋延方向產生拉長現象，尤其是軋延量愈大愈為明顯，此為晶粒受力作用產生塑性變形現象。Fig.8 是 LZW1211 經不同軋延量之機械性質，隨軋延量增加其抗拉強度由 161MPa 增加至 184MPa，隨著軋延量增加產生大量差排密度，使硬度從 46.8Hv 增至 52.4Hv。

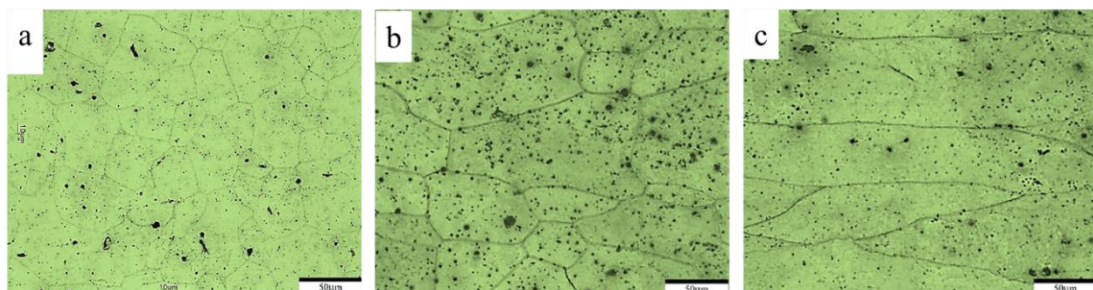


Fig.7、Optical microstructures of the as-rolled specimens receiving cold rolling by (a) extruded (b) 40% (c) 80% .

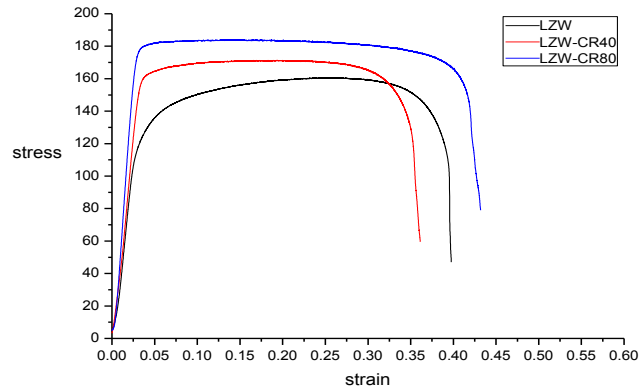


Fig.8. 、 Mechanical properties of the LZW1211 after various amount of cold rolling.

由 Fig.9 顯微結構可觀察到 LZ121 經退火處理後其晶粒大小在退火 200°C 時最小，所以推測僅產生動態再結晶現象而晶粒尚未成長，而隨退火溫度增加，逐漸產生晶粒成長的現象。經退火處理後，其 200°C 時因晶粒細化而有效提升其延伸率，伸長率由原擠製材之 33% 增至 46%。而退火溫度 300°C 時，合金產生晶粒成長，導致其抗拉強度和延伸率逐漸降低(如 Fig.10 所示)。

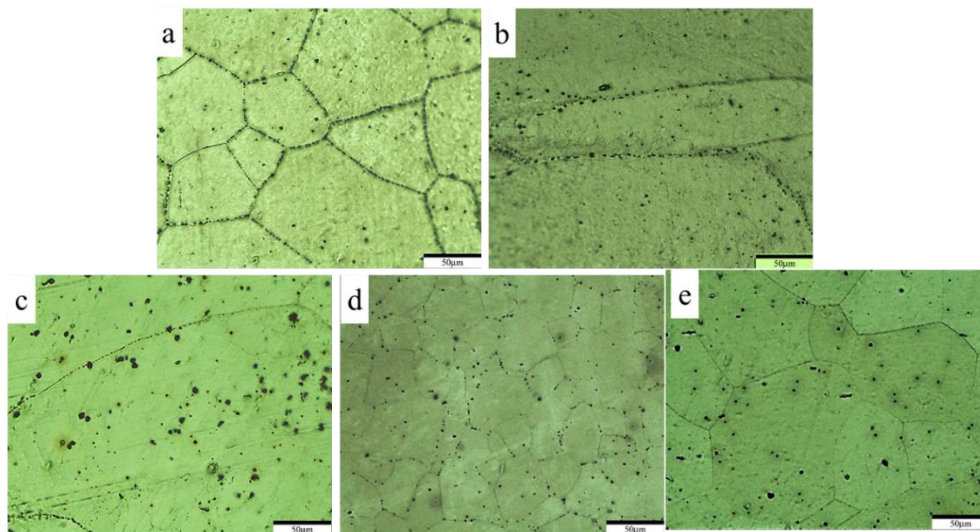


Fig.9 、 Optical micrographs of LZ121 alloy (a) extruded (b)cold roll 80% and annealed at (c) 373 K (d) 473 K and (f) 573 K for 0.5 hour

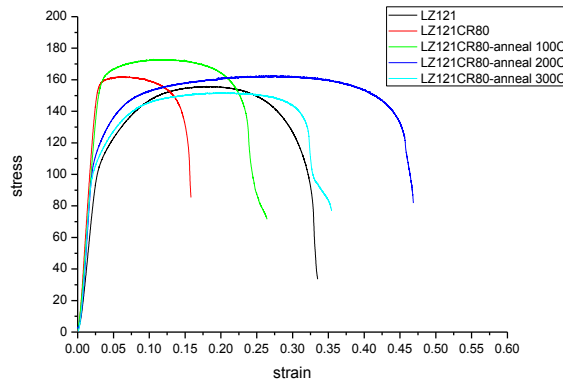


Fig.10、Stress–strain curves of LZ121 alloy at different annealing temperatures.

在退火溫度 100°C~300°C 溫度範圍內，由 Fig.11 金相可觀察到其晶粒隨退火溫度增加而晶粒成長，平均晶粒尺寸由 21 μm 成長至 53 μm 。由 Fig.12 可知經退火後可使其抗拉強度由 190MPa 提升到 310MPa，硬度由 52Hv 增至 72Hv。推測退火後產生析出相導致合金抗拉強度和硬度增加，產生硬化效果，相對伸長率降低。

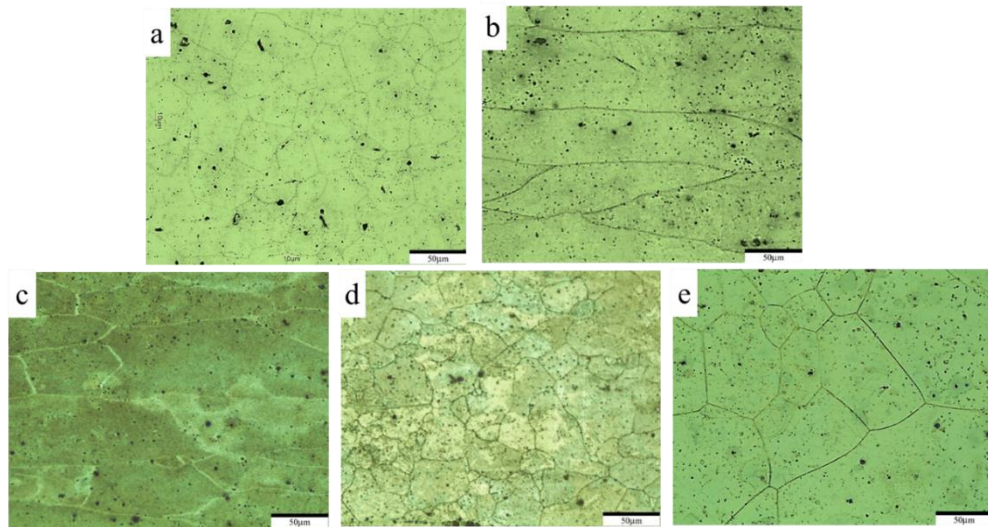


Fig.11、Optical micrographs of LAZ1211 alloy (a) extruded (b) cold roll 80% and annealed at (c) 373 K (d) 473 K and (f) 573 K for 0.5 hour

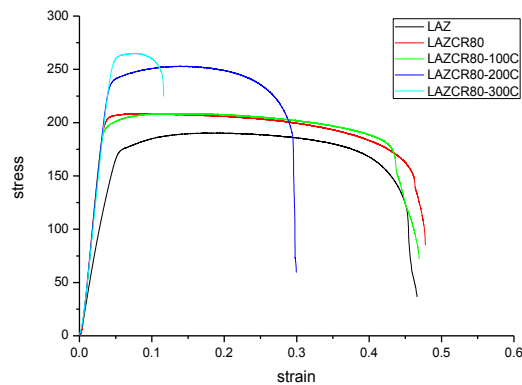


Fig.12、Stress–strain curves of LAZ1211 alloy at different annealing temperatures.

LZ121 添加微量稀土元素 Y(LZW1211)經退火處理，由 Fig.13 顯微組織觀察可知，隨溫度增加晶粒尺寸由 $9\mu\text{m}$ 增加至 $39\mu\text{m}$ ，有晶粒成長的現象。由 Fig.14 可知隨退火溫度增加其延伸率會相對提升，但在 300°C 時伸長率降低，判斷是因為退火溫度太高產生晶粒成長，以致於伸長率降低。

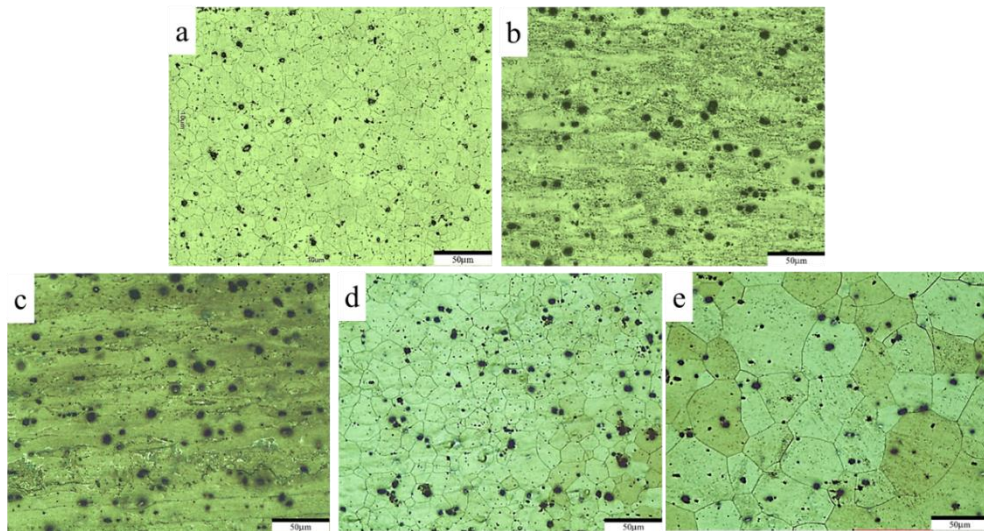


Fig.13、Optical micrographs of LZW1211 alloy (a) extruded (b) cold roll 80% and annealed at (c) 373 K (d) 473 K and (f) 573 K for 0.5 hour

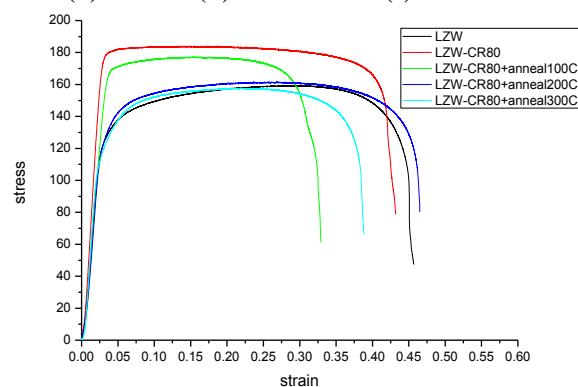


Fig.14、Stress-strain curves of LZW1211 alloy at different annealing temperatures.

LZ121 合金 Li 含量達 12wt%，其顯微組織呈現單一 Li_3Mg_7 組成。由 Fig.15 可發現 LZ121 經冷軋和退火處理後，並無明顯的相產生，其優選方向由 (110) 變為(211) (從 36.14° 到 64.96°)。

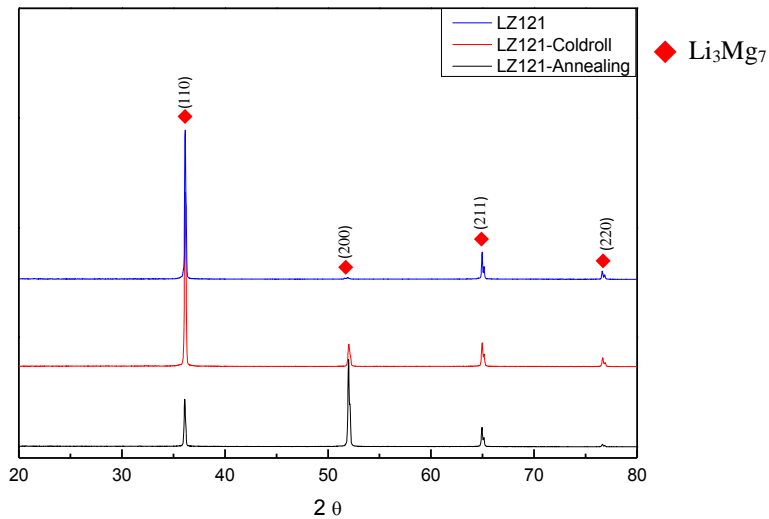


Fig.15、X-ray diffraction patterns of LZ121 alloys after cold rolling and annealing treatment.

由 Fig.16 可知，LZ121 添加 1wt% Al 之合金(LAZ1211) 由 Li_3Mg_7 和 $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ 組成。經冷軋後由 XRD 分析結果有 $\theta\text{-MgLi}_2\text{Al}$ 和微量 AlLi 析出，而退火處理後析出量更為明顯。合金原擠製材經冷加工後其優選方向由 (200) 變為 (211) (從 52.02 度到 36.13 度)。

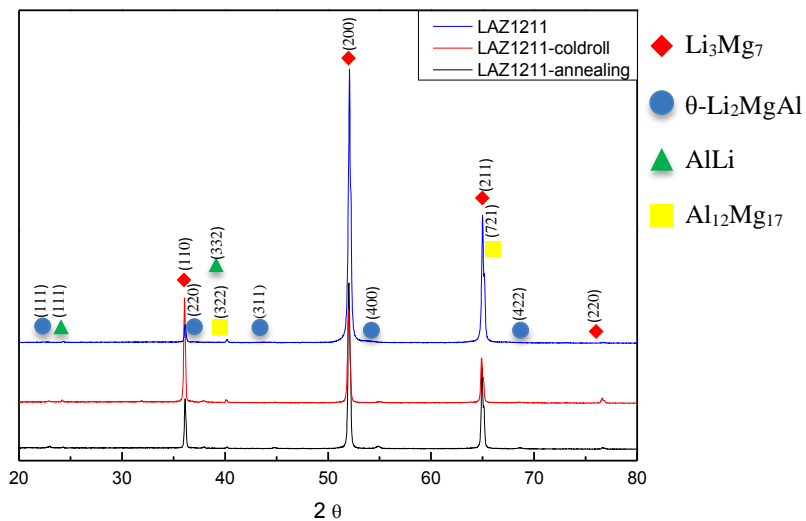


Fig.16、X-ray diffraction patterns of LAZ1211 alloys after cold rolling and annealing treatment.

LZW1211 擠製材由 Li_3Mg_7 和 MgZn_2 組成，經由冷軋和退火處理後有 Mg_{24}Y_5 相產生。其優選方向由 (110) 變為 (211) (從 36.13 度到 64.9 度)。

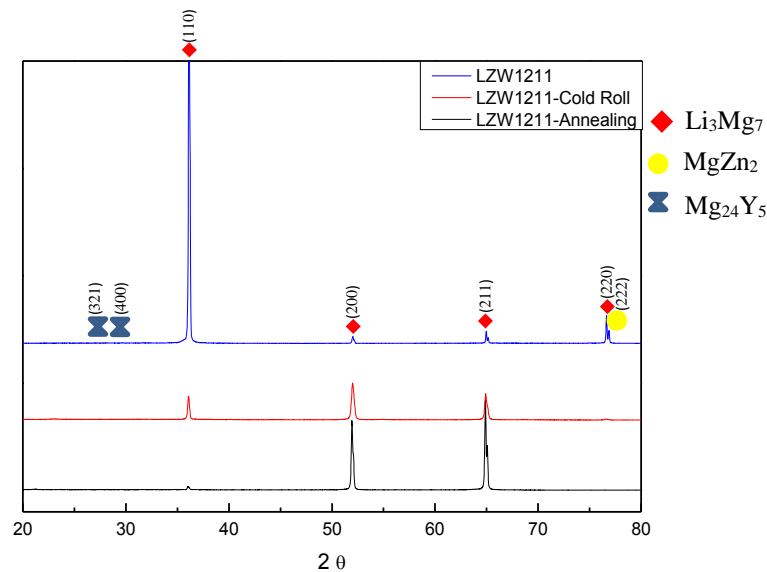


Fig.17、. X-ray diffraction patterns of LZW1211 alloys after cold rolling and annealing treatment.

四、結論

1. LZ121 添加 1wt% Al (LAZ1211 合金)後和微量稀土元素 Y (LZW1211 合金) 皆有晶粒細化的效果，尤其是添加稀土元素 Y 效果更為顯著。
2. 合金經過冷軋後皆可有效提升其抗拉強度和硬度。LZ121 合金經過冷軋後，其強度由 155MPa 提升至 187MPa。LAZ1211 經軋延後，不但可提升抗拉強度由 190MPa 增加至 208MPa，也可增加其降伏強度由 122MPa 增加至 180MPa。LZW1211 經軋延後也可有效的提升合金強度，其硬度也從 46Hv 增至 51Hv。由此可知給予冷加工量越多可產生大量差排密度，有效提升抗拉強度和硬度。
3. LZ121 在退火溫度 200°C 時，產生晶粒細化而有效提升其延伸率，而隨退火溫度增加產生晶粒成長導致其抗拉強度和延伸率逐漸降低。LAZ1211 經退火後有 θ -MgLi₂Al 和微量 AlLi 析出，推測高溫退火後促進 θ -MgLi₂Al 或 AlLi 析出而達硬化效果使抗拉強度增加而伸長率降低。LZW1211 隨退火溫度增加並未如 LAZ1211 有明顯析出強化效果，但可有效提升其伸長率。

五、參考文獻

- (1) C.J. Ma, G.D. Zhang, *Rare Metal Mater. Eng. China* 27 (1998) 125.
- (2) C.H. Chiu, H.Y. Wu, J.Y. Wang, et al., *J. Alloys Compd.* 460 (2008) 246–252.
- (3) J.M. Song, T.X. Wen, and J.Y. Wang: *Scripta Mater.*, 2007, vol. 56, pp. 529–32
- (4) H.C. Lin, K.M. Lin, H.M. Lin, C.H. Yang, M.T. Yeh, in: N.R. Neelameggham, H.I. Kaplan, B.R. Powell (Eds.), *Proceedings of Magnesium Technology 2005*, TMS, Warrendale, PA, USA, 2005, pp. 275–280.
- (5) S. Kamado, Y. Kojima, *Metall. Sci. Technol.* 16 (1998) 45–54.
- (6) A. Pisch, R. Schmid-Fetzer, F.V. Buch, B.L. Mordike, P. Juchmann, F.W. Bach, H. Haferkamp, in: B.L. Mordike, K.U. Krainer (Eds.), *Magnesium Alloys and their Applications*, International Magnesium Conference, Wolfsburg, April 28–30, Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH, Frankfurt, 1988, pp. 181–186.
- (7) F. Bach, M. Schaper, C. Jaschik, *Mater. Sci. Forum* 419–422 (2003) 1037–1042.
- (8) Q.C. Le, J.Z. Cui, H.W. Liu, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 7 (1997) 40–44.
- (9) C. J. Ma, D. Zhang, J. N. Qin, W. B. Hu, Z. L. Shi, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 9 (1999) 772–777.
- (10) G.S. Song, M. Staiger, M. Kral, *Mater. Sci. Eng. A* 371 (2004) 371–376.
- (11) J.C. McDonald, *J. Inst. Met.* 97 (1969) 353–359.