

# Mg-4.5% Al-1.5% Zn 之顯微組織與機械性質研究

\*邱盈燕、王建義

國立東華大學材料科學與工程學系

## 摘要

本研究藉由合金設計與熱機處理來探索適合用於鍛壓成型的新鎂合金：選用 Mg-4.5% Al-1.5% Zn 鎂合金，以方向性凝固鑄成之鑄錠。先經過均質化處理，再利用溫軋分別獲得 0~80% 不同軋延率之軋延材，以及分別以 250°C 和 350°C 1hr 退火之退火材。由金相觀察可以發現，軋延 40% 率以下之軋延材，晶粒內部雙晶變形嚴重，晶界變形扭曲，而且晶粒順著軋延方向變形；軋延率在 60% 以上之軋延材，開始產生明顯的動態再結晶現象，晶粒細化的效果明顯。250°C 之退火則有明顯之回復，調整晶粒組織的現象。而在 350°C 之退火材會明顯觀察到再結晶晶粒成長的現象。由微硬度實驗，硬度會隨著軋延率增加而上升，隨著退火溫度上升而下降。在拉伸實驗方面，軋延率 80% 時抗拉強度可達 310MPa；當軋延率 60% 退火 350°C 時伸長率為 25%。

關鍵字：軋延 rolling，熱機處理 thermal mechanical treatment，拉伸實驗

## 一、前言

鎂合金比重為 1.74g/cm<sup>3</sup>，不僅在實用金屬中是最低的，且具有優異的制振性、散熱性和良好的電磁遮蔽性，因此在追求省能源與輕量化的潮流中，鎂合金逐漸成為結構材料中相當突出的重要角色，尤其以汽車產業與 3C 產業為主要的應用。目前 3C 產品急速朝輕薄短小發展，而鑄造件之厚度薄化又有一定的極限，因此使用薄板鍛造成型之市場需求也會日漸增加<sup>[1]</sup>。

鍛壓成形為塑性領域加工中相當重要的一種方式，然而鎂合金之鍛壓成形相當困難，因此阻礙其應用與擴大。而傳統鎂合金研究又以成形方法與加工條件為主<sup>[2]</sup>，由材料來探討成形性的研究極少。例如成份的調整，微量元素的添加，藉由顯微組織的改變，都會對鎂合金的成形性有大幅影響。實際上晶粒細化對成形性有改善效果，而合金組成對晶粒細化也有影響，因此由材料基礎的觀點，例如合金設計最佳化、熱機處理等達到晶粒細化的效果，對成形性有改善作用。

目前市面上最被廣泛用來做鍛造的鎂合金為 AZ31 合金板材，應用的層面十分多樣化<sup>[3-9]</sup>，其他適合用來鍛造的還有 AZ61 鎂合金。比 AZ31 含更高量 Al 之 AZ61 合金，因其再結晶而達晶粒細化的效果較大。由晶粒細化的觀點，Al 含量較高之鎂合金成形性較好，也可獲得較高的強度。但 Al 含量過高會導致  $\beta$  相 ( $Mg_{17}Al_{12}$ ) 的析出，造成成形性降

低。因此在合金組成上，以不造成  $\beta$  相析出之最大 Al 含量的添加，將可達最大成形能力。由圖 1 之 Mg-Al-Zn 三元等溫相圖<sup>[10]</sup>中，在 Al 及 Zn 固溶限最大之 Al:Zn=3:1 時， $\beta$  相不會析出。由此可知 AZ 系合金中，除了市販料 (AZ31、AZ61) 外，應該還存在更適合鍛壓之合金組成。

因為鎂合金無法冷加工，故需採適當加熱之溫加工。經溫間加工後，產生極大塑性變形之軋延狀態，但在成形加工之過程會產生動態再結晶而形成微細晶粒，對成形性會有改善作用。

## 二、實驗方法

本研究選擇 Mg-4.5% Al-1.5% Zn 之鎂合金（完整成分如表 1 所示）為研究對象，以方向性凝固鑄成之鑄錠，利用機械加工成 170mm×48mm×12mm 之試片。試片經過 450°C 持溫 12 小時做均質化處理後進行軋軋，先將試片溫度加熱至 350°C、軋延機升溫至 150°C 來進行溫軋，分別軋延成 20%、40%、60%、80% 等不同軋延率之軋延材 (as-rolled)，再分別以不同溫度進行退火處理，退火溫度為 250°C 和 350°C，退火 1 小時之後空冷，獲得兩種退火溫度之退火材 (0 材)。

將軋延材與退火材經切割後冷鑲埋，進行研磨與拋光，完成後再以苦味酸+醋酸+水+酒精之腐蝕液腐蝕，接著利用光學顯微鏡 (OM)、掃描式電子顯微鏡 (SEM) 和能量光譜儀

(EDS) 進行成分分析與觀察微觀組織的變化。

將不同軋延率與退火溫度之試片製備成拉伸試片，利用萬能拉伸試驗機進行室溫拉伸試驗，使用的初始應變速率為  $8.33 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 。微硬度實驗使用微硬度試驗機，荷重 200g、荷重時間 30 秒。藉此探討軋延率的變化和改變退火溫度之試料對硬度值、抗拉強度和延伸率等機械性質的演變與微觀組織之相互關係。

### 三、結果與討論

#### 3.1 鑄錠與均質化處理之顯微組織

鑄錠(as-cast)與均質化處理(homogenizing)之顯微組織如圖 2 所示。As-cast 中可以看到很明顯的偏析現象，有  $\beta$  相產生如圖 3，會影響材料成形性，因此要利用均質化處理使材料內部成分充分擴散。均質化處理之顯微組織可以看到  $\beta$  相已經完全消除。

#### 3.2 軋延材與退火材之顯微組織

軋延材 (as-rolled) 之顯微組織如圖 4 所示。由圖我們可以看出，軋延率在 20% 時，由 OM 中可以看出晶粒沒有細化的效果，但晶粒內部產生了滑移與大量雙晶變形；當軋延率在 40% 以上可發現晶粒開始因為大量塑性變形而產生細化的效果，部分晶粒內部仍然存在大量的滑移與雙晶；軋延率在 60% 以上會發現有明顯的動態再結晶現象產生，組織順著滾軋的方向排列；而在軋延率達到 80% 時，晶粒細化的效果非常明顯，但在晶界上有  $\beta$  相析出。由 SEM 照片中看出有部分晶粒產生動態再結晶現象，而有些部分沒有，沒有產生再結晶現象區域晶粒非常破碎且細小。

250°C 與 350°C 退火材 (O 材) 之顯微組織分別如圖 5、圖 6 所示。由圖 5，原本的 as-rolled 材經過 250°C 退火一個小時，在軋延率為 20%、40% 時原本在晶粒內部的大量滑移與雙晶，會因退火而有回復的現象 (內應力消除)，軋延率在 60% 以上可看出有調整晶粒組織的作用。由圖 6，原本的 as-rolled 材經過 350°C 退火一個小時，軋延率在 20%、40% 時，會觀察到有明顯的再結晶現象產生。軋延率在 60% 以上，由於軋延時就已經產生明顯的動態再結晶現象，350°C 的退火溫度會使晶粒成長。

#### 3.3 軋延材與退火材之機械性質

不同軋延率與不同退火溫度的微硬度比較如圖 7 所示。由圖，軋延率越高，晶粒細化越明顯，因此硬度也隨之顯著提升。退火會消除內應力，產生再結晶的現象，因而使

硬度下降，退火溫度越高，會產生晶粒成長，故硬度下降的越明顯。

圖 8、圖 9 為抗拉強度與伸長率對軋延率之關係圖，由圖 8 可知，隨著軋延率的增加，產生加工硬化，因此抗拉強提高，在軋延率達 80% 時抗拉強度為 310Mpa。而退火會消除材料內部因加工產生的內應力，使強度降低。從圖 9 來看，軋延率 20% 之試片由於加工硬化產生內應力使伸長率大幅降低，軋延率 40% 以上由於動態再結晶的發生而使軋延率提高，軋延率 80% 之試片有  $\beta$  相於晶界析出導致軋延率下降；由圖可看出退火有助於伸長率增加，這是由於退火能促進晶粒的一致性以及降低內應力的關係。

### 四、結論

1. 軋延在軋延率 40% 以下時，會造成晶粒內部大量的滑移與雙晶變形，軋延率 40% 以上時，會有明顯的晶粒細化與動態再結晶產生。
2. 350°C 退火在軋延率 40% 以下時，會產生明顯的再結晶現象。60% 以上，由於軋延時就已經產生動態再結晶，350°C 的退火溫度使晶粒成長。
3. 軋延率 40% 以下較適合的退火溫度為 350 °C，60% 以上退火溫度則在 250 °C 為宜。
4. 軋延率越高，晶粒細化越明顯，硬度也隨之提高。隨著退火溫度提高，晶粒產生晶粒成長現象，硬度下降。
5. 抗拉強度在軋延率為 80% 為最高，可達 310MPa；伸長率在軋延率 60% 經 350°C 退火後可增加為 25%。

### 五、致謝

感謝國科會計畫 NSC 94-2218-E-259-001 在經費上的支持。

### 六、參考文獻

- [1] 蔡幸甫，工業材料，221 (2005) 177
- [2] 八代利之，王建義，金屬熱處理，84 期 94 年 3 月
- [3] E. Doege and K. Droder: J. Mater. Process. Technol. 115(2001)14-19.
- [4] S. Lee, Y. H. Chen and J. Y. Wang: J. Mater. Process. Technol. 124(2002) 19-24.
- [5] F. -K Chen and T. B. Huang: J. Mater. Process. Technol. 142(2003) 643-647
- [6] R. Paisam, S. Takawa and N. Furahima: Keikinnzoku 53(2003)152-156(Japan)

- [7] S.Yoshihara,H.Nishimura,H.Yamamoto and k.Manabe :  
J.Mater.Process.Technol.142(2003)609-613
- [8] H.Watanable,T.Mukai,K.Suzuki and T.Shimizu :  
Keikinnzoku 53 (2003)50-54(in japanese)
- [9] N.Nishimura,O.Hasekawa,H.Koiso and K. Matsumoto :  
Keikinnzoku 53 (2003)302-308(in japanese)
- [10] E. F. Emley: Principles of Magnesium  
technology,(Pergamon press, Oxford,1966) 923-980

表 1：合金成分(mass%)

Alloy	Al	Zn	Mn	Fe	Cu	Mg
Mg-4.5%Al-1.5%Zn	4.5	1.5	0.14	0.002	<0,01	Bal.

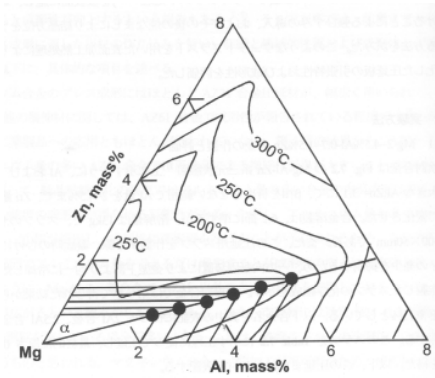
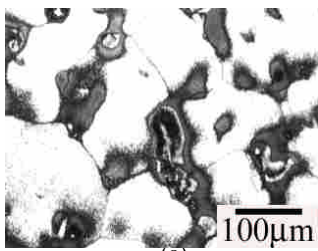
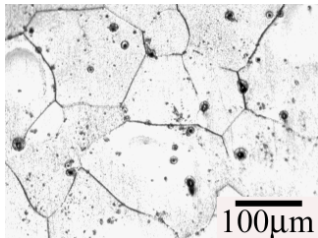


圖 1：Mg-Al-Zn 之三元平衡相圖



(a)



(b)

圖 2：(a)鑄錠與(b)均質化處理之試片

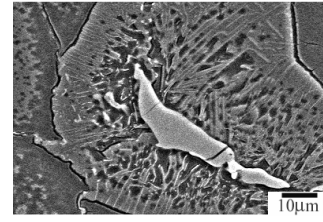
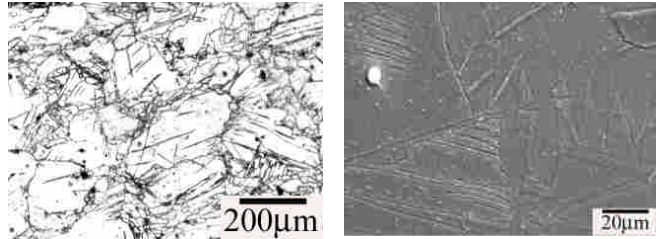
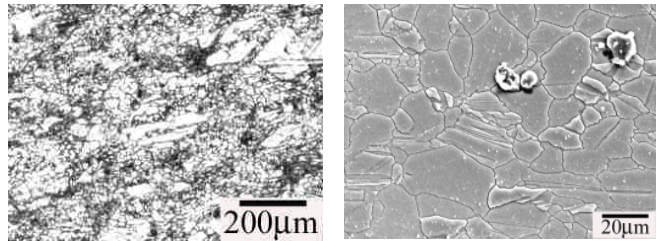


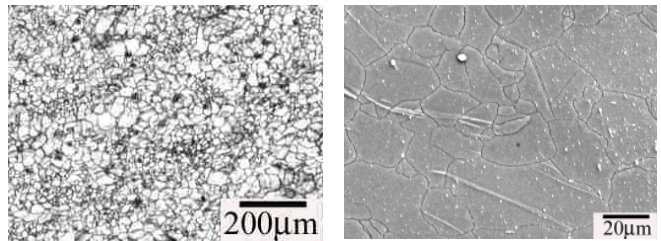
圖 3：鑄錠顯微組織 SEM 相片



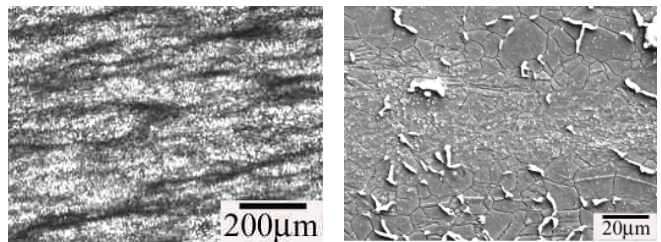
(a) 20%



(b) 40%

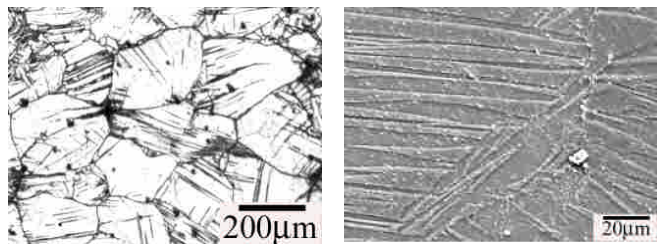


(c) 60%

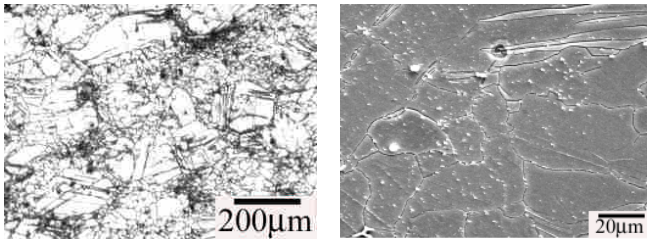


(d) 80%

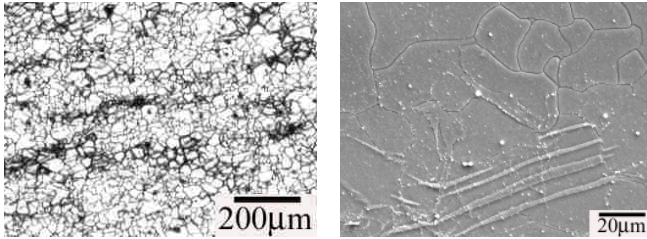
圖 4：軋延材(as-rolled)之顯微組織



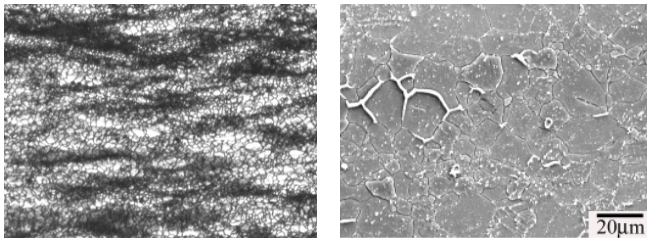
(a) 20%



(b) 40%

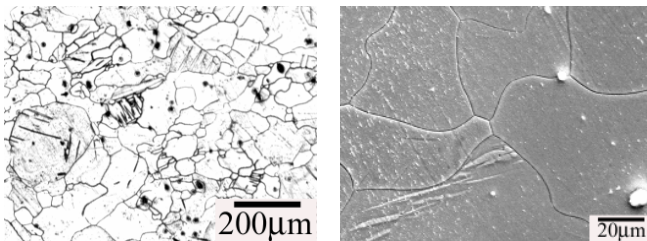


(c) 60%

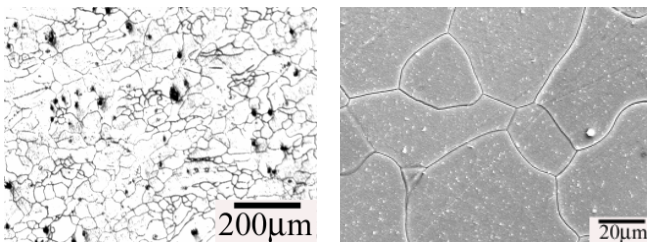


(d) 80%

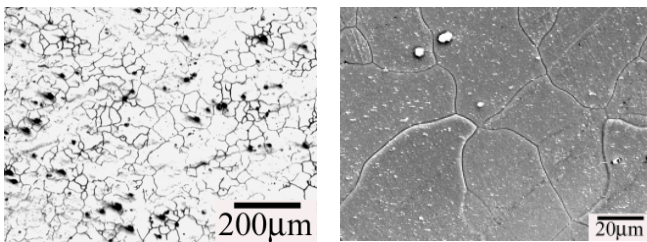
圖 5：250°C 退火材之顯微組織



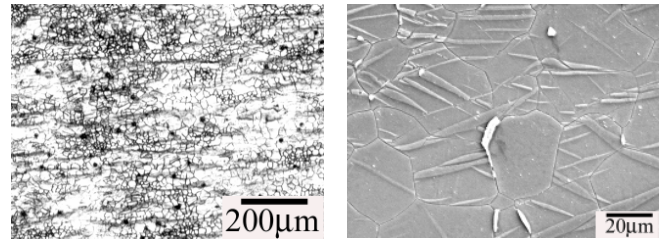
(a) 20%



(b) 40%



(c) 60%



(d) 80%

圖 6：350°C 退火材之顯微組織

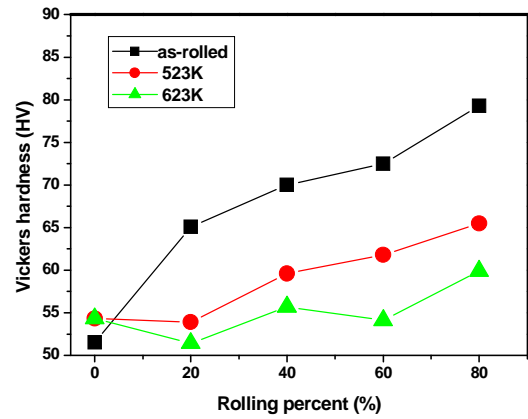


圖 7：微硬度試驗

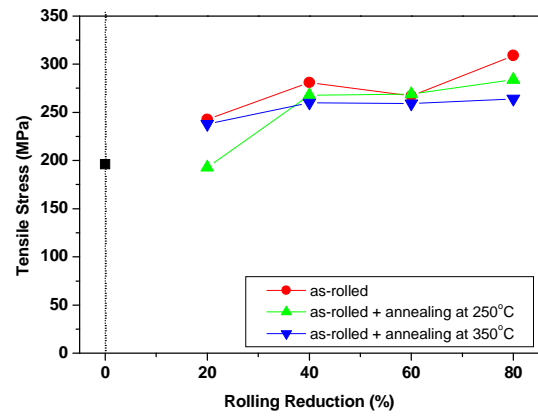


圖 8：抗拉強度對軋延率之關係圖

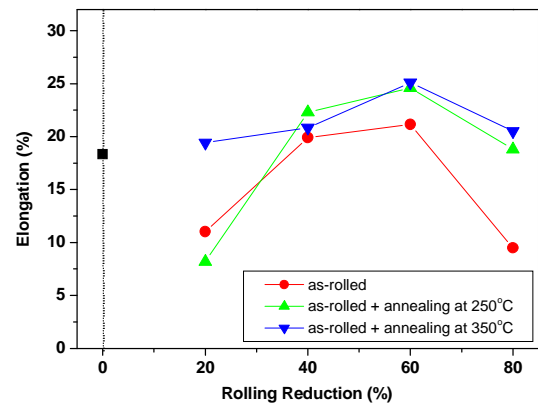


圖 9：伸長率對軋延率之關係圖