

鋁矽合金微衝壓破壞特性研究

蘇冠學¹、林彥宏¹、陳炳言²、趙宜武¹

¹遠東科技大學機械工程系

²達方電子股份有限公司

Guan-Xue Su、Yen-Hung Lin、Ping-Yen Chen、Yi-Wu Chao

摘要

本研究探討不同矽含量對鋁合金之機械性質之影響，以不同厚度(0.4-0.9mm)做為實驗變因，進行微衝壓實驗，得到厚度對極限強度之影響。並藉由冷壓的方式改變壓延率，得到不同壓延率的鋁矽合金試片，並利用微衝壓測試方法，評估壓延率對鋁矽合金機械性質之影響，再進一步探討壓延後鋁矽合金的極限強度和硬度之變化。使用SEM觀察鋁矽合金微觀組織的變形與破壞特性。

一. 前言

近年來科技進步，對於環保的重視，各種產品車輛、航太、機具等用材上，材料的選擇皆以輕、薄、短、小、高強度與可回收性作為選材要項，促使各種工程合金輕薄化應用的範圍逐漸擴大，相對薄片評估方法亦陸續發展出來[1~3]。本研究探討不同矽含量對鋁合金之影響，並利用微衝壓測試法，測試鋁矽合金薄片的機械性質。微衝壓試驗法（Small Punch Test）簡稱為S.P.T，此測試法是利用衝桿以一定速度衝壓薄試片，來紀錄材料變形過程中，材料從降伏到破裂整個過程中的負載-位移數據，藉此分析出材料各種性能的試驗[4~6]。經一系列實驗結果之比較後，可提供工業應用之參考[7~8]。

二. 實驗方法

本研究之實驗程序包含不同厚度與不同壓延率變化後，SPT性質分析和微結構觀察，其實驗流程如圖1.所示，再進行一系列測試。

2.1 實驗試片製備

將二種鋁合金材料均製作成不同厚度的試片(0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9mm)如圖2.和不同壓延率試片(0%、9%、18%、27%、36%、45%)如表3.，利用萬能材料試驗機如圖3.，以固定速率對試片進行微衝壓，來記錄試片從變形到破裂整個過程中負荷對位移數據。

2.3 微結構性質與組織分析

將4032與6061鋁合金的不同厚度和不同壓延率試片用3wt.%氫氧化鈉、7 wt.%氟化鈉、90 wt.%酒精的比例配製腐蝕液，腐蝕半小時後，以光學顯微鏡觀察如圖4.~5.，在利用SEM進一步觀察其鋁矽合金試片的金相組織。

2.4 機械性質分析

本實驗探討鋁矽合金不同壓延率的機械性質影響，藉由二組不同壓延量的鋁合金試片經微衝壓測試，分析塑性變形過程中鋁矽合金的微結構變化及對機械性質之影響。利用微衝壓實驗可得到負載-位移曲線(load-displacement curve)，在本文中簡稱為L-D曲線，如圖6.所示。由負載-位移曲線中的衝壓負荷最大值，本文

將其定義為極限衝壓負荷(ultimate punch load) [4~5]。

2.5 破壞型貌觀察

在不同厚度及不同壓延率經機械性質破壞後的試片，分別拿來做破斷面之形貌的觀察，在進行SEM觀察前，試片以酒精放置超音波震盪機，震盪數分鐘後去除試片表面雜質後烘乾，以確保試片表面的潔淨。

三. 結果與討論

3.1 微觀組織觀察

鋁矽合金實驗壓延材的金相組織，如圖7.可發現晶粒大小並不均勻，在壓延後產生不同的塑性變形所導致，當壓延率上升矽晶粒堆積越細密也觀察出有壓延方向流紋。

3.2 不同厚度之微衝壓L-D曲線解析

本研究針對不同厚度變化與極限強度作圖，用以瞭解鋁矽合金實驗材料不同厚度、隨著厚度增加強度漸增變化，其結果如圖8.所示。圖中結果顯示各組試片之強度隨著厚度增加而增加。

3.3 不同壓延率硬度值(HV)

本研究針對不同壓延率與硬度值作圖，可瞭解鋁矽合金薄片經不同冷壓後硬度值的變化，其結果如圖9.顯示二組試片均隨著壓延率上升硬度值也有漸漸遞增的趨勢。

3.4 不同壓延率微衝壓L-D曲線解析

本研究針對不同壓延率與極限強度作圖。實驗結果如圖10.，4032鋁合金經不同壓延率後晶粒變化不大，極限荷力隨壓延率改變並沒有明顯的變化，呈現平緩之情形。6061鋁合金結果顯示極限荷力隨壓延率上升到達一定程度，內部產生微缺陷產生串連效應，導致提早破裂極限荷力下降，呈現先升後降之情形。

3.4 微衝壓變形與破壞型態

經不同壓延率變化之較小時實驗結果顯示，塑性流變乃至於破斷過程，主要

為延性現象。極限荷力隨壓延率之增加，成漸增趨勢；觀察此類型破斷面特徵大多以酒渦狀呈現。4032鋁合金明顯有粗矽晶破壞，6061則因矽晶細小分佈較均勻而不明顯，如圖11.~12.，當壓延率達某臨界值或更大時，試片內部已生成微裂痕或微缺陷，導致可承受荷力之有效截面積降低，如圖13.。而經微衝壓時，極限荷力隨壓延率之增加，數值呈現遞減趨勢；次表面破壞觀察破斷面特徵，此類型則出現較多剪滑移面，近似V型破壞現象。

四. 結論

- 1、評估鋁矽合金於不同測試厚度下以微衝壓試驗 (Small Punch Test) 的可行性之機械性質的分析方式。
- 2、壓延後，試片微衝壓測試結果顯示，試片之極限負荷值均有隨冷壓延率增加而增加之趨勢。
- 3、壓延後，試片硬度測試結果顯示，試片硬度均有隨冷壓延率增加而增加之趨勢。
- 4、經壓延後鋁矽合金 4032 試片呈現放射狀破壞特徵，6061 鋁合金則呈現環狀特徵，兩合金之破斷面，均出現許多酒渦狀特徵。

五. 參考文獻

1. 劉文海，“2006 非鐵金屬年鑑-鋁合金篇”，經濟部技術處產業技術知識服務 (ITIS)計畫，2006，第 1-48 頁。
2. 劉文海，“鋁合金潛力產品與前景分析”，經濟部技術處產業技術知識服務 (ITIS)計畫，2007，第 1-38 頁。
3. 陳炳言，“微衝壓法評估冷軋效應對高強度鋁合金機械性質與破壞現象之影響”，遠東科技大學碩士論文，2011。
4. M. P. Manuhan, “A new post irradiation mechanical behavior test: the miniaturized disk bend test”, Nuclear Technology, 1983, vol. 63, pp.295-315.

5. J. M. Baik, J. Kameda and O. Buck, "Small Punch Test Evaluation of Intergranular Embrittlement of An Alloy Steel", Script Mitalurgica, 1983, vol. 17, pp. 1443-1447.
6. 劉靜雯, "利用微衝壓測試法評估熱處理條件對 AZ61 鎂合金熱軋延板材於室溫至 400°C 機械性質之影響", 遠東科技大學碩士論文, 2008。
7. Y. W. Ma, K. B. Yoon, "Assessment of tensile strength using small punch test for transversely isotropic aluminum 2024 alloy produced by equal channel angular pressing "Materials Science and Engineering A, A527, 2010, pp.3630-3638.
8. Z. Hu, L. Wan, S. Wu, H. Wu, X. Liu, "Microstructure and mechanical properties of high strength die-casting Al-Mg-Si-Mn alloy", Materials and Design, 2013, vol. 46, pp. 451-456.



圖 3. 試驗機進行微衝壓情形

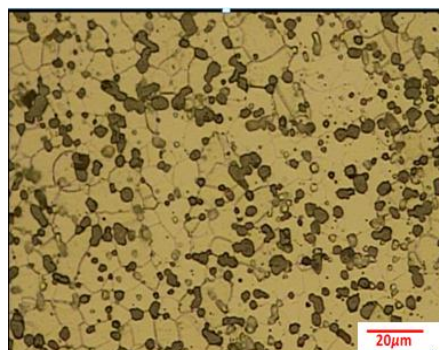


圖 4. 4032 鋁合金金相

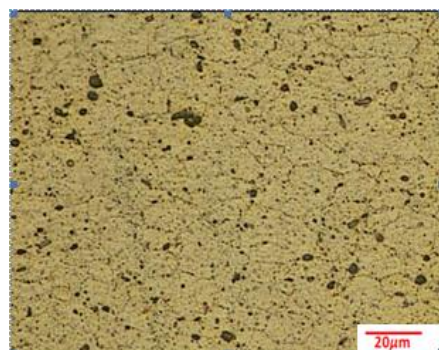


圖 5. 6061 鋁合金金相

六. 圖表彙整

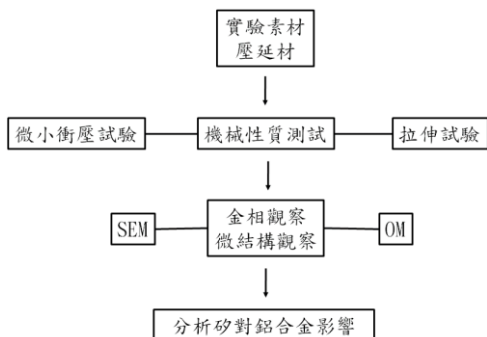


圖 1. 實驗流程圖

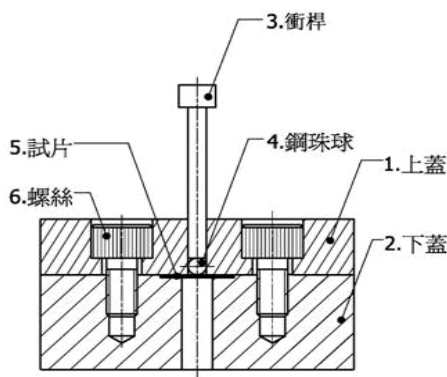


圖 2. 微衝壓模具示意圖

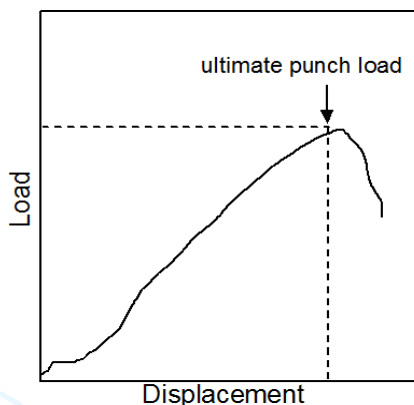


圖 6. 微衝壓測試負荷—位移曲線圖

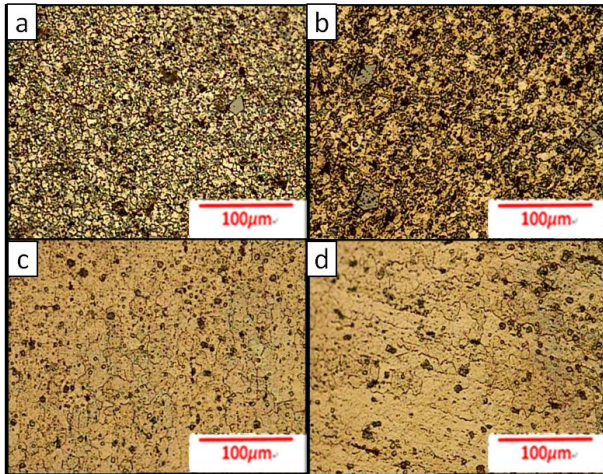


圖 7. 4032 與 6061 鋁合金壓延金相
(a) 4032 壓延率 0% (b) 4032 壓延率 45%
(c) 6061 壓延率 0% (d) 6061 壓延率 45%

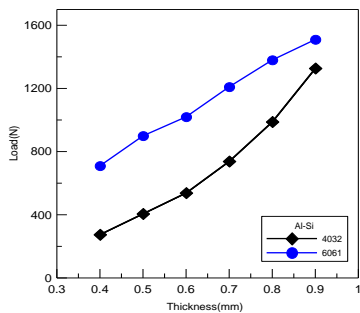


圖 8. 不同厚度極限荷力曲線之比較

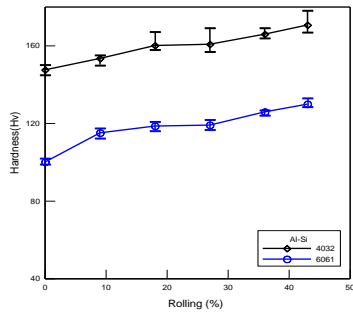


圖 9. 不同壓延率硬度值

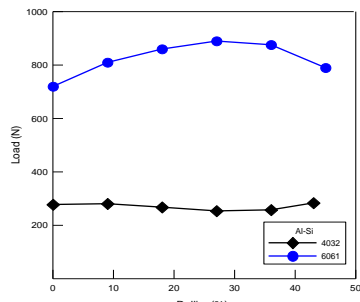


圖 10. 不同壓延率極限荷力曲線之比較

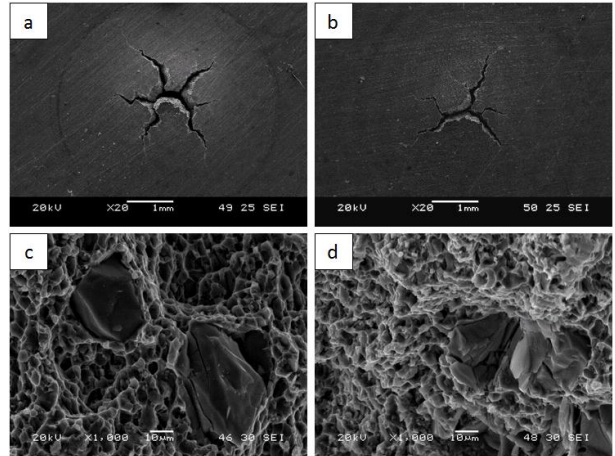


圖 11. 4032 鋁合金不同壓延率微銜壓 SEM 觀察
(a) 帽口形貌(壓延率 0%) (b) 帽口形貌(壓延率 45%)
(c) 微觀組織(壓延率 0%) (d) 微觀組織(壓延率 45%)

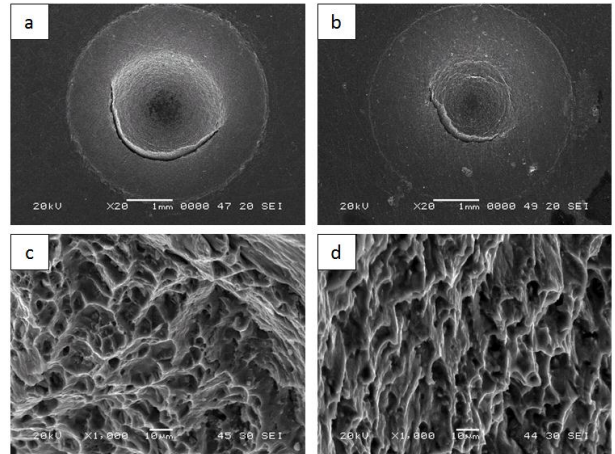


圖 12. 6061 鋁矽合金不同壓延率微銜壓 SEM 觀察
(a) 帽口形貌(壓延率 0%) (b) 帽口形貌(壓延率 45%)
(c) 微觀組織(壓延率 0%) (d) 微觀組織(壓延率 45%)

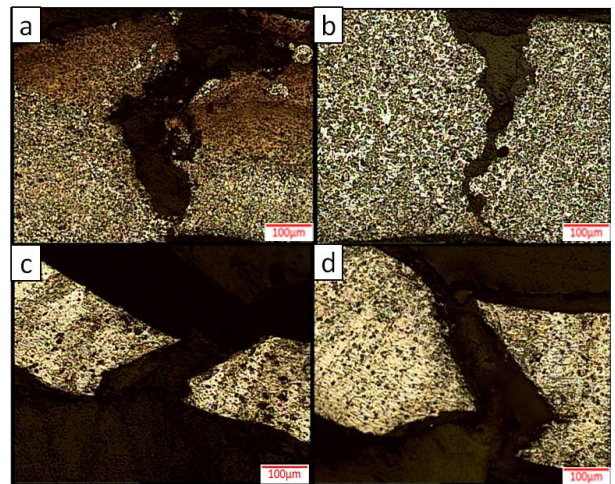


圖 13. 4032 與 6061 鋁合金破壞裂紋走向金相觀察
(a) 4032 壓延率 0% (b) 4032 壓延率 45%
(c) 6061 壓延率 0% (d) 6061 壓延率 45%

表 1. 本實驗 4032 鋁合金成份表

4032 鋁合金			
元素	Al	Mg	Si
Wt. %	Bal.	0.31	12.00

表 2. 本實驗 6061 鋁合金成份表

6061 鋁合金			
元素	Al	Mg	Si
Wt. %	Bal.	1.20	0.80

表 3. 4032 與 6061 鋁合金軋延前後尺寸比對表

目標壓延率 (%)	未軋延尺寸 (mm)	壓延後尺寸 (mm)	研磨後尺寸 (mm)
0	0.90	0.90	0.47±0.01
9	0.90	0.82	0.47±0.01
18	0.90	0.74	0.47±0.01
27	0.90	0.66	0.47±0.01
36	0.90	0.58	0.47±0.01
45	0.90	0.52	0.47±0.01