

不同攪拌桿凸銷外型對鋁合金之異材摩擦攪拌銲接

郭聰源¹、王威勝¹、林煥章²、林非錯¹、姬俊宇³

¹ 南台科技大學機械工程系

² 義守大學工業工程與管理系助理教授

³ 中龍鋼鐵股份有限公司

摘要

2024-T3與7075-T6皆為可熱處理型鋁合金，具有優良的耐蝕性與高的比強度，目前已被廣泛應用於航空工業上，但其在傳統熔融銲接上，若銲接參數之選用與製程之控制不當，極易產生氣孔與凝固裂紋等缺陷。摩擦攪拌銲接(Friction Stir Welding, FSW)有別於一般傳統熔融銲接製程，是一種低變形、高品質之固態接合製程，可有效提升鋁合金銲接之品質與效率。本研究以FSW製程對3 mm厚之2024-T3與7075-T6航空用鋁合金進行異材對接銲，探討不同攪拌桿凸銷外型(圓柱形外切螺紋、三角柱外切螺紋)、銲接參數與材料放置位置對銲道形貌、硬度與機械性質之影響。結果顯示，隨著轉速提高，銲道形貌之兩種材料混合有越趨均勻的趨勢，且以三角柱外切螺紋為佳；在硬度上，兩種凸銷所完成的試件硬度趨勢均隨著轉速與走速增高而提高，試件兩側之TMAZ與HAZ硬度則以2024-T3置於退出側(RS)較前進側(AS)高，且以使用凸銷為三角外切形螺紋者較圓柱形外切螺紋高；至於銲道抗拉強度與伸長率，在AS(2024)-RS(7075)試件，使用兩種凸銷皆隨著轉速與走速的增高而升高，而在AS(7075)-RS(2024)試件，以三角柱外切螺紋為凸銷者會隨之升高，但以圓柱形外切螺紋為凸銷者則是下降。此外，AS(7075)-RS(2024)又較AS(2024)-RS(7075)為低，在凸銷外型上又以三角柱外切螺紋為佳。

關鍵詞：摩擦攪拌銲接、攪拌桿凸銷外型、鋁合金、異材銲接

1. 前言

論近年來，隨著資源短缺而使能源價格高漲，在訴求節約能源及環保的要求下，具質輕且可回收的鋁合金在運輸、航太及建築等工業方面應用逐日加深，由於鋁合金因質輕、耐蝕性佳以及比強度高等特性，在交通運輸工業以及軍事工業上已被廣泛運用[1]，特別是交通運輸工業更已成為鋁合金的第一大市場，其消耗量佔全球鋁產量的35%左右[2]，而其中之2024 (Al-Mg-Cu)與7075 (Al-Mg-Zn)則被廣泛的應用在航空工業上。當鋁合金的運用愈趨廣泛時，有效地將其結合起來的製程技術將是不可或缺的，而銲接則是最佳選擇的製程技術之一。

早期鋁合金之銲接以傳統熔融銲接製程為主，但因在熔融區易形成樹狀晶結構，而容易產生氣孔與凝固裂紋，導致銲接品質降低[3-6]。因此，適當銲接製程的選用是有效避免上述銲接缺陷生成的方法之一。摩擦攪拌銲接(FSW)為近十年來發展的新銲接製程，銲接製程中因未達材料熔點，並無凝固過程，因此不會出現傳統熔融銲接之氣孔與裂紋等現象。此外，FSW又比傳統熔融銲接更具有變形量少、無需銲條與保護氣體、成本低與銲接效率高等優點，在航空工業上已逐漸使用FSW來取代傳統熔融銲接製程[7]。目前探討2024-T3與7075-T6鋁合金之FSW的相關研究中，大多數較著重於微結構、硬度、拉伸與疲勞試驗等方面之研究[8-18]，但對於不同攪拌桿凸銷外型對銲道內部析出物之變化與機械性質間之關係研究較少[19-22]。從相關研究得知，除了攪拌桿轉速與走速之外，攪拌桿之凸銷外型亦會影響銲道之組織以及機械性質，且不同攪拌桿凸銷外型會有不同的材料塑性流動方式。Zhao等人[19]設計四種不同之攪拌桿凸銷外型來對2014鋁合金進行FSW，結果顯示以錐形外切螺紋凸銷之塑性流動較為強烈，銲道無缺陷，晶粒以及析出物尺寸亦是此四種凸銷中最細的，且銲道之拉伸強度能達到母材的75%，也是機械性質最佳的。而Fujii等人[20]則使用三種不同之攪拌桿凸銷外型對1050-H24、6061-T6以及5083-O鋁合金個別進行FSW，結果顯示，在1050-H24鋁合金銲接中，以圓柱形外切凸銷之銲道與機械性質較佳。在6061-T6鋁合金方面，則銲道皆無缺陷形成，且機械性質並沒有因凸銷之外型而有明顯的影響。而在5083-O方面，當走速固定時，銲道微結構與機械性質在當轉速為1500 rpm時，以三角柱凸銷較佳，當轉速為800 rpm時，則以圓柱形外切螺紋凸銷之銲道較佳，而在轉速為600 rpm時，各種銲道性質相近，顯示攪拌桿之凸銷外型對銲道微結構與機械性質的影響受轉速的影響極大。另外，Elangovan等人[21-22]則設計五種不同之攪拌桿凸銷外型對2219鋁合金進行FSW，結果顯示以四方形(Square: SQ)凸銷外型所得之銲道微結構與機械性質較佳，其原因為SQ凸銷在銲接過程中，其外形對材料產生脈衝的攪拌行為，且SQ凸銷比其他凸銷更容易讓材料產生塑性流動，減少缺陷的發生。另外，這位學者亦提出在固定的走速下，同樣以SQ凸銷之銲道為最佳，也發現凸銷外型對銲道之機械性質

影響極大。此外，不同攪拌桿凸銷外型對鋁合金之FSW異材銲接的相關研究則更少，因此，本研究選用二種不同攪拌桿凸銷(Pin)外型搭配不同轉速與走速以及材料放置位置進行鋁合金摩擦攪拌銲接，探討不同攪拌桿凸銷外型、銲接參數與材料放置位置對鋁合金異材銲接之銲道形貌、微結構與機械性質之影響。

2. 實驗方法

本實驗選用的素材為3 mm厚之2024-T3與7075-T6可熱處理型鋁合金，成份如表1所示，素材於銲接前先切成120 mm×60 mm之長方形板塊，接合面以銑床將表面加工平整。摩擦攪拌銲接所選用攪拌桿材料為Mo系高速鋼之SKH55，並製作兩種不同攪拌桿凸銷外型，分別為圓柱形外切螺紋(Threaded Cylindrical)與三角柱外切螺紋(Threaded Triangular)，形狀與尺寸如圖1所示，其銲接參數如表2所示。攪拌桿以逆時針方向旋轉，並搭配不同材料放置位置進行異材摩擦攪拌銲接，如圖2所示。銲接完成後之試片，切取銲道適當大小之橫截面做冷鑲埋，經研磨拋光後，再以Killer's Reagent腐蝕液進行腐蝕，於光學顯微鏡(OM)觀察其顯微結構。微硬度則以Vickers硬度試驗機進行量測，荷重為200g。並對母材(Base Metal, BM)、熱影響區(Heat Affected Zone, HAZ)、熱機影響區(Thermo-Mechanical Affected Zone, TMAZ)、攪拌區(Stir Zone, STZ)進行巨觀與微觀組織觀察，再由觀察之結果探討不同攪拌桿外型與銲接參數對微觀組織的影響。

3. 結果與討論

3.1 銲道形貌分析

圖3為各種銲接參數之異材銲道形貌圖，結果顯示，在參速為轉速900 rpm、走速80 mm/min之異材銲道形貌，以圓柱形外切螺紋與三角柱外切螺紋之銲道形貌皆無缺陷形成，但從圖中亦可發現三角柱外切螺紋凸銷所完成的銲道之兩種材料混合趨勢較圓柱形外切螺紋來的均勻，其因為三角柱外切螺紋之凸銷具有三個平面，在銲接過程中，對材料產生脈衝式的攪拌行為，比圓柱形螺紋更容易增加材料的塑性流動，使兩種材料混合更為均勻[21]。當固定走速(80 mm/min)下，將轉速提高至1100 rpm時，圓柱形外切螺紋與三角柱外切螺紋之銲道形貌一樣無缺陷形成，但圖中亦發現兩種凸銷所完成的銲道更為均勻，其中又以三角柱外切螺紋之銲道形貌較佳。若在轉速1100 rpm、走速120 mm/min時，其結果顯示，在固定轉速下，將走速提高至120 mm/min時，圓柱形外切螺紋凸銷所完成之銲道有明顯的缺陷形成，主要是因入熱量的不足，使得材料不易塑性流動，其中將7075-T6置放於前進邊(AS)側又較為嚴重，而三角柱外切螺紋則也是在7075-T6置放於AS側之異材銲道有缺陷形成，這也證明7075-T6之材料塑性流動較

差，且三角柱外切螺紋之塑性流動又較圓柱形外切來的。

3.2 硬度分析

2024-T3母材硬度值約為150HV，7075-T6母材硬度值略高於2024-T3約為170HV。圖4(a)為轉速900 rpm、走速80 mm/min之異材銲道硬度趨勢圖，結果顯示，兩種凸銷所完成之銲道硬度趨勢相似，其中STZ區之硬度均較二母材為低，而HAZ則是所有區域最低，且在AS(2024)側又較RS(7075)側為低，主要是因7075-T6之母材硬度高於2024-T3之母材，而在兩側同時受熱影響時，會導致析出物粗大化[23]，而造成硬度下降的現象，但因在相同條件下7075-T6之析出強化效果高於2024-T3，所以7075-T6側之硬度又較2024-T3側高。圖4(a)中亦發現TMAZ之硬度較HAZ高，主要是在TMAZ中因受熱與塑性變形之影響，而產生差排及部份再結晶所造成。然而在相同的轉速與走速下，前進邊與退出邊硬度變化趨勢不同，顯然在TMAZ中，塑性變形現象是其主要的影響因素。此外，因塑性變形的多寡以及二母材之析出特性的不同，所造成析出物的改變亦可能是影響硬度趨勢之重要因素之一。此外，硬度趨勢以三角柱外切螺紋又較圓柱形外切螺紋略高。若將材料放置位置對換，從圖4(a)中的將2024置放於AS側與2024置放於RS側之TMAZ與HAZ相比，可明顯發現以AS側之TMAZ與HAZ硬度較RS為低，主要是因AS側受到較大的塑性變形與摩擦阻力，使AS側受到相對較多的熱能所導致，而Amancio-Filho與Xux兩位學者[24,25]也提出相同的結果。若在固定走速(80 mm/min)下，當轉速提高到1100 rpm時，其異材銲道硬度趨勢圖如圖4(b)所示，結果顯示，與圖4(a)之結果相似，呈現TMAZ最高，HAZ為最低的趨勢，其因轉速提高，使得入熱量與塑性變形量增加，導致2024置於AS側與2024置於RS側之TMAZ與HAZ之差異更佳明顯，其中又以三角柱外切螺紋之硬度較圓柱形外切螺紋微高。若將走速提高至120 mm/min，其硬度趨勢如圖4(c)所示，以TMAZ最高，HAZ為最低，且2024置於AS側或RS側之TMAZ與HAZ之差異又較圖4(b)小，但整個硬度趨勢有明顯提高的趨勢，其因是走速提高，使入熱量減少，導致硬度趨勢明顯提高，且從圖4(c)亦可發現，將2024置放於AS側之TMAZ與HAZ硬度較2024置放RS側來的微低。

3.3 拉伸試驗分析

圖5為轉速為900 rpm、走速80 mm/min之不同凸銷對鋁合金異材銲接之機械性質變化曲線圖。2024-T3之母材抗拉強度約270 MPa，7075-T6為340 MPa，而母材伸長率各為24%與13%。由圖5之數據整理出在轉速900 rpm、走速80 mm/min之不同凸銷對抗拉強度與伸長率之關係，如圖5(b)、5(c)所示，結果顯示，以圓柱形外切螺紋為凸銷所完成的銲道之抗拉

強度與伸長率都低於三角柱外切螺紋約 25 MPa 與 1.8 % 左右, 且從圖 3 之鐸道形貌圖可明顯看出, 以圓柱形外切螺紋為凸銷, 在攪拌區中可明顯區變別出兩種材料之形貌, 這說明兩種材料並無完全的均勻攪拌在一起, 但在三角柱外切螺紋則比圓柱形外切螺紋來的更均勻, 且從表 3 中可證明, 圓柱形外切螺紋之鐸件斷裂位置於攪拌區處, 而三角柱外切螺紋則在母材處, 但在 AS 側放置 7075 之鐸接時, 則試件斷裂位置均在 2024 之熱機影響區(TMAZ)處斷裂, 如表 3 所示, 其因為攪拌區的材料組成以退出邊的材料為多, 因此其機械性質偏近退出邊, 所以退出邊的材料對鐸道的機械性質與微觀結構影響較大, 而前進邊影響較小[26], 導致斷裂於機械性質較低之處。另外, 材料放置位置方面, 皆以 AS(2024)-RS(7075)之抗拉強度與伸長率為高。在相同走速(80 mm/min)下, 將轉速提高到 1100 rpm 時, 從圖 6 中發現, 兩種凸銷外型所完成之抗拉強度與伸長率均有提高約 30 MPa 與 4 %, 且又以三角柱外切螺紋高於圓柱形外切螺紋約 20 MPa 與 0.3 %, 而在材料放置位置方面, 皆以 AS(2024)-RS(7075)之抗拉強度與伸長率略高於 AS(7075)-RS(2024)約 47 MPa 與 3.5 %。在固定轉速(1100 rpm)下, 當走速提高至 120mm/min 時, 以圓柱形外切螺紋之攪拌銷所完成的鐸道抗拉強度與伸長率各為 95 MPa 與 0.8 %, 這是因走速過高, 入熱量的不足, 使材料塑性流動不易而形成缺陷, 導致抗拉強度與伸長率嚴重下降, 且又較三角柱外切螺紋來的低約 147 MPa 與 6.4 %, 如圖 6(b)、6(c)所示。就材料放置位置而言, 凸銷為三角柱外切螺紋之 AS(2024)-RS(7075)與 AS(7075)-RS(2024)之抗拉強度與伸長率差異較大約 52 MPa 與 5 %, 其中又以 AS(2024)-RS(7075)較高, 其原因三角柱外切螺紋之凸銷具有三個平面, 在鐸接過程中, 對材料產生脈衝式的攪拌行為, 增加材料的塑性流動, 使二種材料更容易均勻混合在一起[22], 使抗拉強度與伸長率較圓柱形外切螺紋來的好。另外, 將拉伸試件之斷裂位置總整理出, 如表 3 所示, 結果顯示, 大部份斷裂位置皆在強度較低之 2024-T3 的 TMAZ 區或鐸道區(STZ), 只有少部份斷裂在 2024-T3 母材上。

3.4 斷口形貌分析

為了瞭解鐸接件在強度上的變化, 透過SEM分析其各試件拉斷過後之破壞面組織。圖 7 為圓柱形外切螺紋與三角柱外切螺紋之各種鐸接參數的斷口金相上, 各斷口貌似韌窩(Dimple)狀與延性撕裂脊線(Ductile Tear Ridge)所組成, 此為延性破壞的典型特徵。從圖 7(a)可發現, 在轉速 900 rpm、走速 80 mm/min 之斷口金相, 以圓柱形外切螺紋凸銷之韌窩狀大小與延性撕裂脊線較三角柱外切螺紋為大且少, 這說明抗拉強度以三角柱外切螺紋為高。在固定走速下, 當提高轉速至 1100 rpm 時, 結果顯示, 兩種凸銷之韌窩狀有明顯變小的現象, 導致抗拉強度有提高的趨勢, 其中又以三角柱外切螺紋為高, 如圖 7(b)所

示。圖 7(c)為轉速 1100 rpm、走速 120 mm/min 之斷口金相, 結果顯示, 圓柱形外切螺紋之韌窩狀數量與淺淺較三角柱外切螺紋為少與淺, 其中又以 AS(7075)-RS(2024)更少與更淺, 使得抗拉強度與伸長率較三角柱外切螺紋低。另外, 在此參數下, 圓柱形外切螺紋所完成的鐸道有明顯缺陷形成, 這也是導致抗拉強度不及三角柱外切螺紋的原因。

4. 結論

1. 異材鐸接所選之鐸接參數(轉速為 900 rpm 搭配走速 80 mm/min 與轉速為 1100 rpm 搭配走速 80 mm/min), 除使用圓柱形外切螺紋凸銷在轉速為 1100 rpm、走速 120 mm/min 之 7075-T6 置於 AS 側外, 其餘試件皆可成功完成接合。
2. 異材鐸接試件之硬度皆隨著轉速與走速增高而有所提高, 其中以轉速最高(1100 rpm)、走速最高(80 mm/min)之三角柱外切螺紋凸銷所完成之試件最高, 且材料放置位置為 AS(2024)-RS(7075)較 AS(7075)-RS(2024)為高。此外, TMAZ 與 HAZ 之硬度, 則以置於 RS 側較高。
3. 異材鐸接試件之材料放置位置為 AS(2024)-RS(7075)的抗拉強度與伸長率皆隨著轉速與走速增高而有所提高, 並以轉速最高(1100 rpm)、走速最高(80 mm/min)之三角柱外切螺紋凸銷所完成之試件最高, 其斷裂位置在 2024-T3 之母材。而 AS(7075)-RS(2024)方面, 當凸銷為三角柱外切螺紋時, 鐸道抗拉強度與伸長率變化趨勢與 AS(2024)-RS(7075)相同, 也就是隨著轉速與走速增高而上升, 但凸銷為圓柱形外切螺紋時, 則呈相反之下降趨勢。整體抗拉強度與伸長率比較, AS(2024)-RS(7075)試件比 AS(7075)-RS(2024)為高, 以三角柱外切螺紋為凸銷來鐸接之試件又較以圓柱形外切螺紋為凸銷者為高。

5. 誌謝

本實驗感謝金屬中心提供FSW之設備與鐸接組員謝興達先生之協助, 使本實驗能順利進行。

6. 參考文獻

1. S. J. Maddox, Review of fatigue assessment procedures for welded aluminium structures, International Journal of Fatigue, pp. 1359-1378, 2003.
2. 劉文海, 鋁合金材料的發展趨勢, ITIS 經濟部產業報告, 2007。
3. 黃錦鐘 譯, 鋁合金的鐸接, 機械月刊, 第二十二卷, 第七期, 1996 年 7-12 月。
4. 王振欽, 鐸接學, 第 150-171 頁, 高立圖書有限公司, 2006。
5. 李亞江主編, 鐸接冶金學-材料鐸接性, 機械工業出版社, 2007。
6. S. Kuo, Welding Metallurgy and Weldability of

- High Strength Aluminum Alloys, Welding Research Council Bulletin, 1986.
7. Z. Y. Ma, R. S. Mishra, M. W. Mahoney, Superplastic deformation behaviour of friction stir processed 7075Al alloy, *Acta Materialia*, Vol. 50, pp. 4419-4430, 2002.
 8. P. Cavaliere, A. Squillace, High temperature deformation of friction stir processed 7075 aluminium alloy, *Materials Characterization*, Vol. 55, pp. 136-142, 2005.
 9. R. S. Mishra, M. W. Mahoney, S. X. McFadden, N. A. Mara, A. K. Mukherjee, High strain rate superplasticity in a friction stir processed 7075 Al alloy, *Scripta Materialia*, Vol. 42, pp. 163-168, 2000.
 10. A. Von Strombeck, G. Cam, J. F. dos Santos, V. Venzke, and M. Kocak, A comparison between microstructure, properties and toughness behaviour of power beam and friction stir welds in al-alloys, TMS Annual Meeting, Aluminum 2001, pp. 249-264, 2001.
 11. S. A. Khodir, T. Shibayanagi, N. Masaaki, Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded AA2024-T3 Aluminum Alloy, *Materials Transactions*, Vol. 47, No. 1, pp. 185-193, 2006.
 12. G. Bussu, P.E. Irving, The role of residual stress and heat affected zone properties on fatigue crack propagation in friction stir welded 2024-T351 aluminium joints, *International Journal of Fatigue*, 25, pp. 77-88, 2003
 13. Y.J.Kwon, (AIST, Inst. for Structural and Eng. Mat.); N. Saito; I. Shigematsu, *Journal of Materials Science Letter* 21, pp. 1473-1476, Oct 1, 2002
 14. S. Benavides, Y. Li, L. E. Murr, D. Brown, J. C. McClure, Low-Temperature Friction-Stir Welding of 2024 aluminum, *Scripta Materialia*, Vol. 41, No. 8, pp. 809-815, 1999.
 15. W. D. Lockwood, B. Tomaz, A. P. Reynolds, Mechanical response of friction stir welded AA2024 : experiment and modeling, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 323, pp. 348-353, 2002.
 16. C. Zhou, X. Yang, G. Luan, Effect of root flaws on the fatigue property of friction stir welds in 2024-T3 aluminum alloys, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 418, pp. 155-160, 2006.
 17. C. G. Rhodes, M. W. Mahoney, W. H. Bingel, Effects of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminum, *Scripta Materialia*, Vol. 36, No. 1, pp. 69-75, 1997.
 18. J. Q. Su, T. W. Nelson, C. J. Sterling, Microstructure evolution during FSW/FSP of high strength aluminum alloys, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 405, pp. 277-286, 2005.
 19. Y. H. Zhao, S. B. Lin, L. Wu, F. X. Qu, The influence of pin geometry on bonding and mechanical properties in friction stir weld 2014 Al alloy, *Materials Letters*, Vol. 59, pp. 2948-2952, 2005.
 20. Hidetoshi Fujii, Ling Cui; Masakatsu Maeda, Kiyoshi Nogi, Effect of tool shape on mechanical properties and microstructure of friction stir welded aluminum alloys, *Materials Science and Engineering A*, v 419, n 1-2, pp. 25-31, Mar 15, 2006.
 21. K. Elangovan, V. Balasubramanian, Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, v 200, n 1-3, pp. 163-175, May 8, 2008.
 22. K. Elangovan, V. Balasubramanian, Influences of pin profile and rotational speed of the tool on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy, *Materials Science and Engineering A*, v 459, n 1-2, pp. 7-18, Jun 25, 2007.
 23. M. Guerraa, C. Schmidta, J.C. McClurea, L.E. Murra, A.C. Nunesb, Flow patterns during friction stir welding, *Materials Characterization* 49, pp. 95-101, 2003.

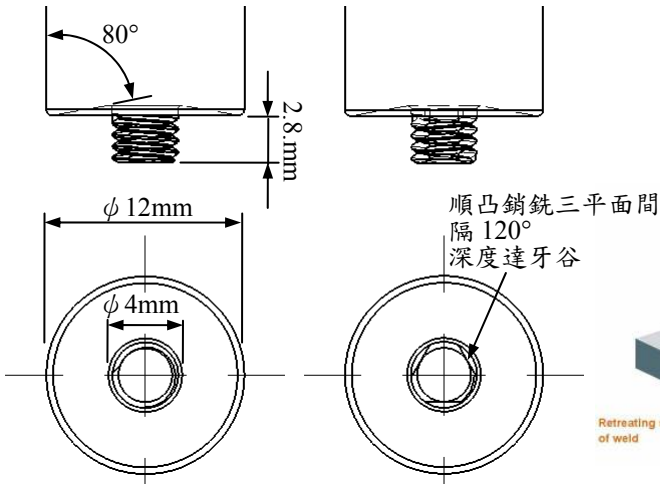
7. 圖表彙整

表 1 材料成分表(wt%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA2024-T3	0.5	0.5	3.8~4.9	0.3~0.9	1.2~1.8	0.1	0.25	--	Bal.
AA7075-T6	0.4	0.5	1.2~2	0.3	2.1~2.9	0.18~0.35	5.1~6.1	0.2	Bal.

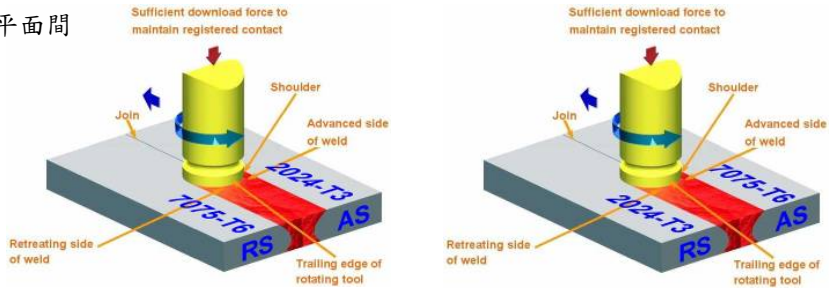
表 2 FSW 之異材銲接參數

Pin 外型	圓柱形外切螺紋、三角柱外切螺紋
銲接參數	轉速 900 rpm，走速 80 mm/min 轉速 1100 rpm，走速 80、120 mm/min
材料放置位置	AS(2024)-RS(7075)、AS(7075)-RS(2024)



(a) 圓柱形外切螺紋 (b) 三角柱外切螺紋

圖 1 攪拌桿之凸銷外型示意圖



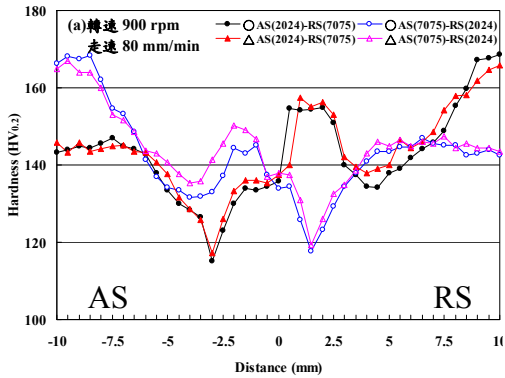
(a) AS(2024)-RS(7075)

(b) AS(7075)-RS(2024)

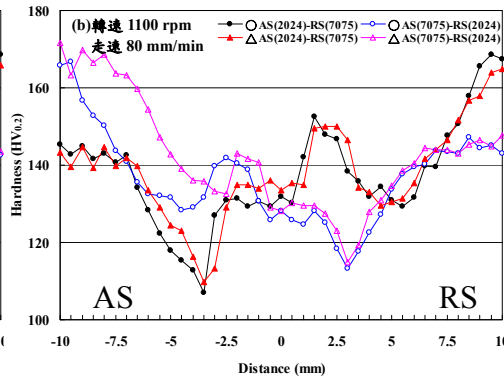
圖 2 異材對接之摩擦攪拌銲接示意圖

轉速與走速	攪拌桿凸銷外型	AS(2024)-RS(7075)	AS(7075)-RS(2024)
轉速 900 rpm 走速 80 mm/min	圓柱形外切螺紋		
	三角柱外切螺紋		
轉速 1100 rpm 走速 80 mm/min	圓柱形外切螺紋		
	三角柱外切螺紋		
轉速 1100 rpm 走速 120 mm/min	圓柱形外切螺紋		
	三角柱外切螺紋		

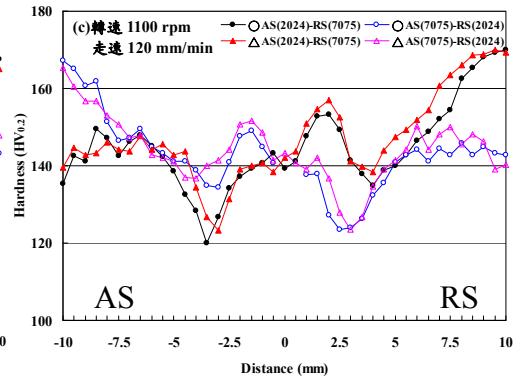
圖 3 FSW 之異材銲道形貌圖



(a) 轉速 900 rpm、走速 80 mm/min

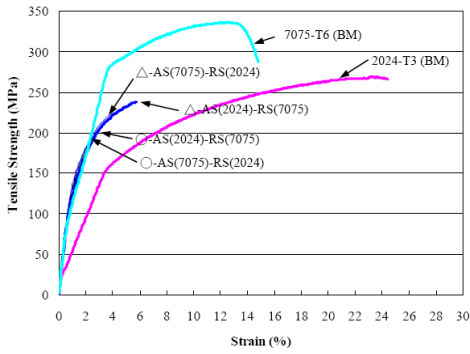


(b) 轉速 1100 rpm、走速 80 mm/min

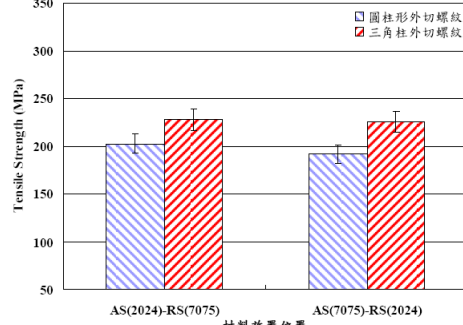


(c) 轉速 1100 rpm、走速 120 mm/min

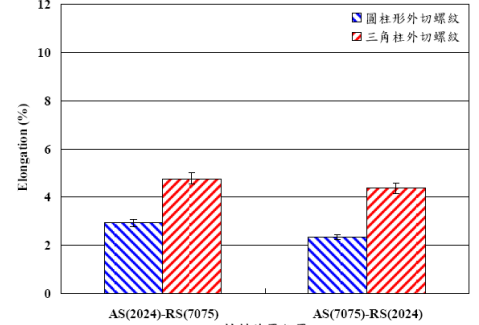
圖 4 FSW 之異材硬度趨勢圖



(a) 拉伸應力-應變

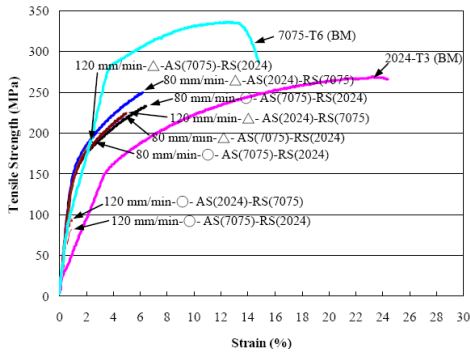


(b) 抗拉強度

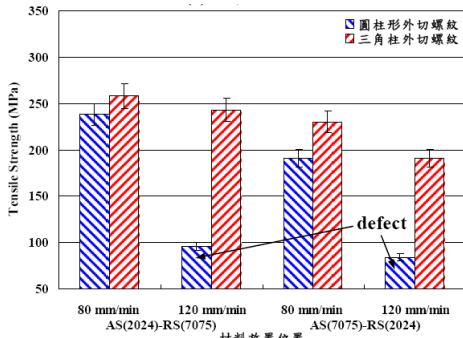


(c) 延伸率

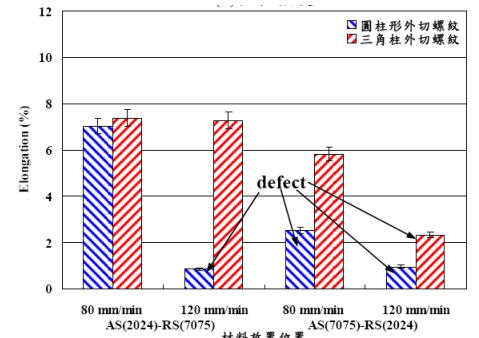
圖 5 轉速 900 rpm、走速 80 mm/min 之不同凸銷與走速對鋁合金異材銲接之機械性質變化曲線圖



(a) 拉伸應力-應變



(b) 抗拉強度

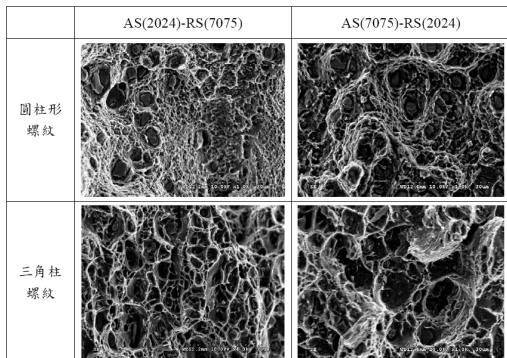


(c) 延伸率

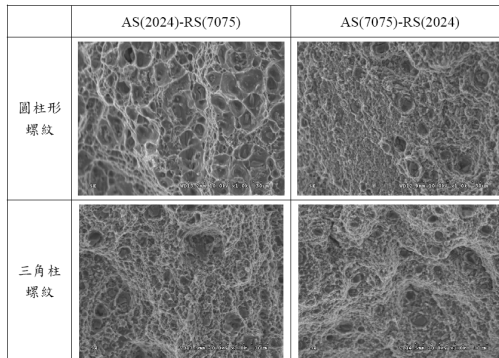
圖 6 轉速 1100 rpm 之不同凸銷與走速對鋁合金異材銲接之機械性質變化曲線圖

表 3 拉伸試件斷裂位置總整理

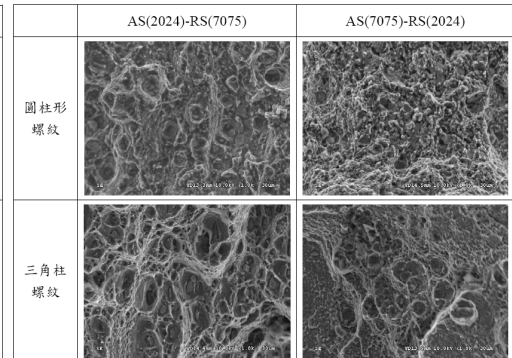
轉速與走速	凸銷外型	材料放置位置	銲道是否有缺陷	斷裂位置
900 rpm 80 mm/min	圓柱形螺紋	AS(2024)-RS(7075)	無	AS(2024)側之 TAMZ
		AS(7075)-RS(2024)	無	STZ
	三角柱螺紋	AS(2024)-RS(7075)	無	2024 母材
		AS(7075)-RS(2024)	無	RS(2024)側之 TAMZ
1100 rpm 80 mm/min	圓柱形螺紋	AS(2024)-RS(7075)	無	2024 母材
		AS(7075)-RS(2024)	無	RS(2024)側之 STZ
	三角柱螺紋	AS(2024)-RS(7075)	無	AS(2024)側之 STZ
		AS(7075)-RS(2024)	無	RS(2024)側之 STZ
1100 rpm 120 mm/min	圓柱形螺紋	AS(2024)-RS(7075)	有	AS(2024)側之 STZ
		AS(7075)-RS(2024)	有	RS(2024)側之 STZ
	三角柱螺紋	AS(2024)-RS(7075)	無	AS(2024)側之 STZ
		AS(7075)-RS(2024)	有	RS(2024)側之 STZ



(a) 轉速 900 rpm、走速 80 mm/min



(b) 轉速 1100 rpm、走速 80 mm/min



(c) 轉速 1100 rpm、走速 120 mm/min

圖 7 不同銲接參數之拉伸試件斷口金相圖

Effect of tool pin shape on the different aluminum alloy by friction stir welding

Tsung-Yuan Kuo¹, *Wei-Sheng Wang¹,
Huan-Chang Lin², Fei-Tso Lin¹, Chun-Yu Chi³

¹ Department of Mechanical Engineering,
Southern Taiwan University

² Department of Industrial Engineering and
Management, I-Shou University

³ Dragon steel Corporation

Abstract

Both 2024-T3 and 7075-T6 are heat treatable aluminum alloys which have been applied widely in aerospace industry, due to their high specific strength and corrosion resistance. However, if the welding parameters for the aluminum alloy are inappropriately specified during the traditional welding process, defects such as high porosity and solidification cracking can occur easily. Friction stir welding (FSW), which is different from traditional arc welding, is used on welding process conducted under the melting point, and is an emerging solid-state joining process that produces low-distortion and high-quality welds. FSW will effectively better general welding quality. In this study, FSW processes are conducted on 2024-T3 and 7075-T6 aluminum alloys, 3mm thick. The major areas discussed were, the effect of the welding parameters, the microstructures and hardness in different tool pin shapes (threaded cylindrical, threaded triangular).

The results for the different welding materials indicated that as the rotation speed increased, there was a tendency for weld appearances to become more homogenous and the threaded triangular tool pin was better. In term of hardness, the hardness of specimens using both types of tool pins was improved as the rotation speed and the welding speed were increased. For the hardness of the TMAZ and HAZ located at the two sides of the specimens, the retreating side in 2024-T3 was better than its advancing side. Between the tool pins, the threaded triangular was providing higher hardness than the threaded cylindrical pin. In the specimen AS(2024)-RS(7075), the tensile strength and elongation ratio of the weld increased when the rotation speed and the welding speed were increased for the threaded triangular tool pin. However, in the case of the threaded cylindrical tool pin, both tensile strength and elongation ratio decreased. Furthermore, the tensile strength and elongation of AS(7075)-RS(2024) was generally lower than that of AS(2024)-RS(7075). For the tool pin shape, threaded triangular was better.

Keywords : Friction stir welding (FSW) 、 Tool pin shape 、 Aluminum alloys 、 different welding materials