

## 利用摩擦壓接低碳鉻鉬鋼圓棒之特性與偏心率探討

柴雲清<sup>1</sup> 黃立仁<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中州科技大學工程技術研究所 ucchai@dragon.ccut.edu.tw

<sup>2</sup> 中州科技大學工程技術研究所 lrhwang@dragon.ccut.edu.tw

### 摘 要

本研究利用摩擦壓接機對 SCM415 低碳鉻鉬鋼材，分別 (1) 未經熱處理之材料相互壓接，(2) 未經熱處理與經熱處理後之材料壓接；(3) 經熱處理後之材料相互壓接，(4) 未經熱處理之材料壓接後再施行熱處理等四種壓接條件，探討前後熱處理和摩擦壓接條件對摩擦壓接後之壓接處試棒硬度、偏心率、巨觀和微觀組織變化進行研究。

實驗中發現不論熱處理與否，壓接後壓接部硬度和抗拉強度均高於原熱處理前之母材，且摩擦壓接後再行熱處理，不僅母材硬度強度提升，且壓接部位硬度強度也相對提高。並發現材料摩擦壓接後再行熱處理，其接合部之熱影響區已不明顯，與原母材熱處理一致。且偏心率隨壓接條件之鍛壓時間和鍛壓長度增加而有減少趨勢，且破斷面更為細緻和強化。

關鍵字：摩擦壓接、抗拉強度

### 壹、緒 論

近年來鋼鐵材料價格飛漲，以及能源短缺的不確定因素，原本由棒材直接一體加工之零件，為節省大部份材料損耗及加工成本，已改為鍛造方式或二件（或以上）以摩擦壓接方式接合[1]。其中又以摩擦壓接最能發揮其特性，不僅材料節省且所消耗之能源亦大幅減低，甚至連異種材質也能容易接合，是一種省能源又環保的另一種焊接方式。

摩擦壓接最早由 1954 年蘇聯人 A.I Chudikov 利用車床改裝，成功地將金屬圓棒材接合，並於 1957 年由蘇聯聯邦電氣焊接研究所成功開發出摩擦壓接機，此種方式亦是目前常用熱車式摩擦壓接機。英國則於 1954 年由英國 BWRA（焊接研究協會）研究開發完成摩擦壓接機[2]。美國約於 1958 年開始由 AMF 公司與加州工科大學開始進行研究，1961 年 AMF 公司發表原型機。日本真正導入摩擦壓接技術在於 1963 年，雖然比前蘇聯及歐美起步較晚，但技術

---

通訊作者

姓名：黃立仁

E-mail: lrhwang@dragon.ccut.edu.tw

已達世界領先地位。台灣雖無明確摩擦壓接相關記載，但目前已有數家摩擦壓接機製造商。歷經半世紀，現在摩擦壓接技術已發展到不僅同材質可壓接，異種材料亦可順利接合，之前不易完成非圓形同相位接合，現也能輕易控制其角度。

摩擦壓接是利用回轉、加壓之機械能投入，利用摩擦最大目的有兩個，一是將包含氧化皮膜之外部表層強制破壞，另一個目的即是發熱。壓接時首先利用摩擦將接合面氧化皮膜強制破壞，同時也因摩擦而發熱，接合面溫度上升，很多情況下產生的最高溫度都在被接合材的融點以下，並將氧化皮膜切斷成相當細微，這些細微皮膜大部分都隨著毛邊排出到外部，一部分固溶於材料中，氧化皮膜消失之金屬表面同時處於高溫、高加壓狀態下，結晶粒的細微化現象發生，在壓接的數秒到數十秒間產生奈米或微米程度之原子發生擴散，摩擦壓接因此產生。另接合面因摩擦狀態不同，除了靜的擴散接合結構外，動的機械混合也有其效果存在，因此摩擦使溫度上升和氧化皮膜去除兩者是摩擦壓接最重要的[3]。

滲碳用鋼經滲碳硬化處理後，表層部分須能硬化且具耐磨耗性，但內部要具有韌性以耐衝擊負荷。鉻鉬鋼因含 Cr 以外又含有 Mo，其機械性質不但更好，質量效果也減少，所以能用在質量更大的零件，用途更廣，汽車工業所用的零件，大多採用鉻鋼或鉻鉬鋼。主要用於傳動軸、齒輪、機械零件、鍛造模具等[4,5]。

熱加工影響部與摩擦攪拌接合部有相同組織呈現，這部份因在再結晶溫度以上之高溫下，受高速及強大之扭曲變形產生再結晶，結晶粒也細微化，可看出結晶粒均在 1 至數  $\mu\text{m}$  之細微化狀態。一般金屬結晶粒愈小強度愈大。另於摩擦面很近部份比較起來較低溫但受到扭轉加工，也會產生加工硬化，因為結晶粒細微化現象及加工硬化現象使摩擦壓接部出現較佳之機械性質。但一些材質並非如此，例如像 6000 系列之鋁合金類似的析出強化型合金，需考慮結晶粒的細微化以外因熱影響致析出物固溶於母材中，因為這類合金結晶粒的細微化，第二相之析出物固溶於母材硬度反而降低。界面附近析出物固溶於母材硬度反而降低 A6061 與 SUS304 摩擦壓接界面及附近之細微組織[6,7]。

本研究選擇的 SCM415 材料常用於傳動零件，可施行熱處理使機械強度提升。以 SCM 415 鉻鉬鋼材做摩擦壓接，分別以未經熱處理之母材及經熱處理後之材料壓接，研究針對熱處理之前後壓接，及摩擦壓接條件不同，並對摩擦壓接壓接處試棒硬度、偏心量、巨觀和微觀組織變化進行研究。

## 貳、實驗方法與步驟

### 一、材料準備

本實驗使用低碳鉻鉬鋼（即 JIS SCM415）材料，成分如表 1，試棒利用車床加工為直徑 12.8 mm、長度 120mm。分別以（1）未經熱處理之素材、（2）條件如圖 2 滲碳熱處理後之材料、（3）未經熱處理之素材與滲碳熱處理後材料作摩擦壓接、及（4）素材壓接完成之試棒施以滲碳熱處理等條件探討其機械強度與性質。



表 1 SCM415 成分表

C	0.13~0.18	Ni	≤0.25
Si	0.15~0.35	Cr	0.9~1.2
Mn	0.60~0.85	Mo	0.15~0.3
P	≤0.030	Cu	≤0.25
S	≤0.030	Fe	Bal

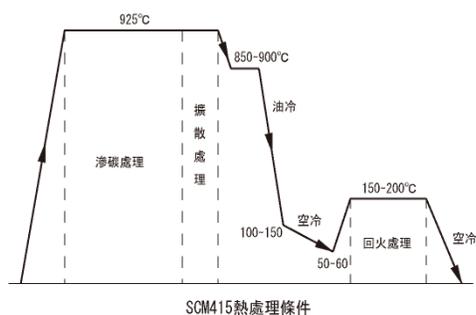


圖 2 SCM415 滲碳熱處理時間

## 二、摩擦壓接

本實驗接合利用日本日東制機製 FF-15 之摩擦壓接機，設定摩擦壓力 P1 為 12 kg/mm<sup>2</sup> 及壓接壓力 P2 為 17 kg/mm<sup>2</sup>、22 kg/mm<sup>2</sup>、33 kg/mm<sup>2</sup> 壓接長度 4.0 mm、5.5 mm 和 7.5 mm 條件進行摩擦壓接如表 2。於摩擦接合前，接合面均以 #1200 SiC 砂紙研磨，以去除切割造成的毛邊及熱影響區，並去除表面之氧化物。然後於不同的壓力及長度變化量等參數下進行 (1) 未經熱處理之母材、(2) 滲碳熱處理後之材料，(3) 母材接合後再滲碳熱處理等摩擦壓接，探討熱處理對壓接件機械強度之影響。

表 2 摩擦壓接條件表

Conditions	Description of Parameters
Material	Base metal、Heat treatment、SCM415
P1	12 kg/mm <sup>2</sup>
P2	17、22、33 kg/mm <sup>2</sup>
Burn off	4.0、5.5、7.5 mm
Upset time	7 sec

## 三、成品檢測

摩擦壓接後工件以游標卡尺將壓接成品量測毛邊直徑、寬度並量測總長，再與未壓接前長度比較，計算壓接短縮量，試棒壓接處硬度、偏心量、巨觀和微觀組織變化。

## 參、結果與討論

### 一、毛邊直徑

圖 3 (a) 為母材+母材壓接成品之毛邊直徑，圖 3 (b) 母材+已熱處理壓接成品之毛邊直徑，圖 3 (c) 為已熱處理+已熱處理壓接成品之毛邊直徑。因壓接長度增加使被壓接之體積變大而擠出越多毛邊，且壓接壓力增加使流出成毛邊之速度變快，由圖顯示毛邊直徑因壓接長度之增加而增加，也因壓接壓力增加而有所增加。

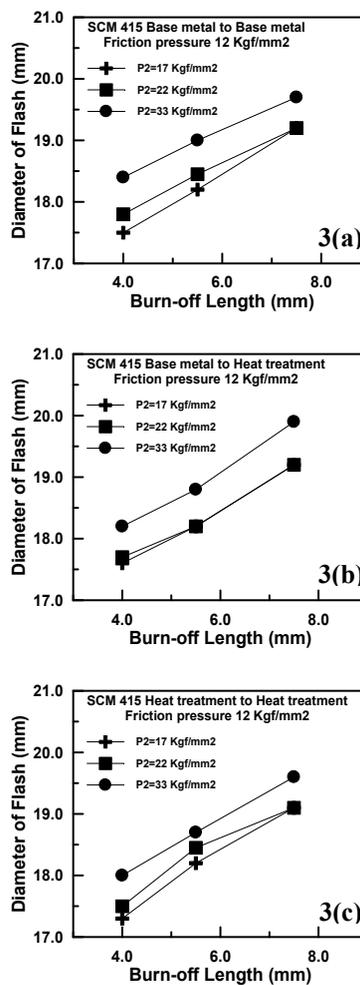


圖 3 (a) (b) (c) 不同材料壓接成品之毛邊直徑

### 二、總長度減少量

圖 4 (a)、圖 4 (b)、圖 4 (c) 分別為母材+母材之總長變化量、母材+已熱處理之總長變化量、已熱處理+已熱處理之總長減少量，由於壓接長度增加，使得被擠壓的體積增加，

擠出之毛邊也越多，由圖我們可以看出總長度減少量會因壓接壓力增加而增加，當壓接壓力增加超過  $10 \text{ kg/mm}^2$  時，總長度減少量亦有明顯增加之趨勢，由圖亦可得知總長度減少量因壓接長度之增加而有大幅度增加之趨勢。

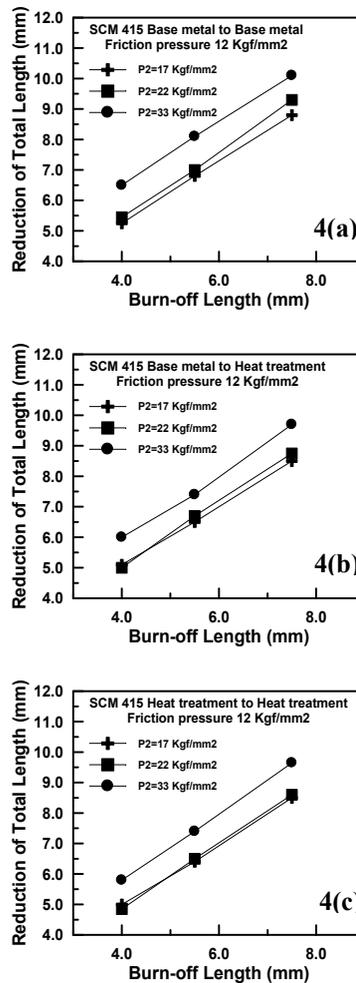


圖 4 (a) (b) (c) 不同材料之總長變化量

### 三、同心度量測

圖 5 (a) (b) (c) 為 SCM415 之母材對母材作摩擦壓接之同心度量測，圖中顯示隨著壓接面的距離越遠則其偏心率越大，但當壓接之鍛壓長度越長，因熔融金屬越多，較易使兩圓棒接近中心軸，故而偏心率較為下降至  $0.1\sim 0.2\text{mm}$  之間，另鍛壓壓力越大偏心率也越大，差異約  $0.1\sim 0.3\text{mm}$ 。

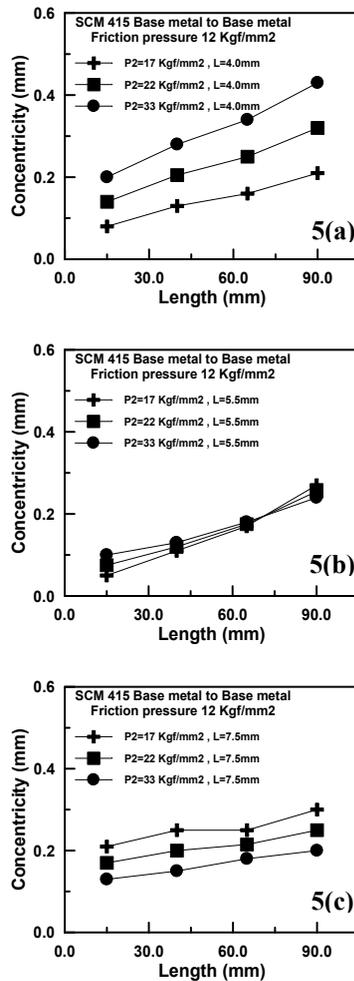
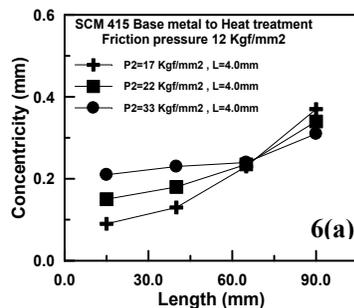


圖 5 SCM415 材料母材對母材作摩擦壓接之壓接壓力 12kg/mm<sup>2</sup> 壓接長度 (a) 4.0mm (b) 5.5 mm (c) 7.5mm 之同心度

圖 6(a)(b)(c) 為 SCM415 母材對已熱處理之 SCM415 材料作摩擦壓接之同心度量測，圖中顯示隨著壓接面的距離越遠則其偏心率越大，但當壓接之鍛壓長度越長，因未熱處理母材熔融金屬越多，較易使兩圓棒接近中心軸，故偏心率較為下降至圖 6 (a) 顯示 0.1~0.2mm 之間，較母材與母材壓接之偏心率佳。



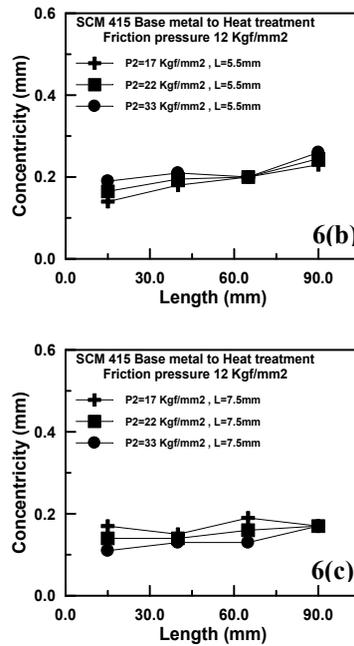
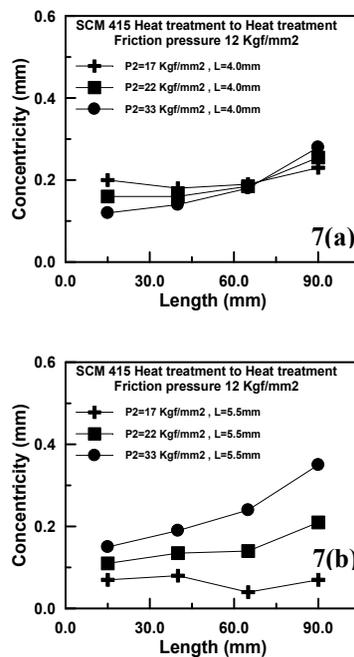


圖 6 SCM415 材料母材對已熱處理之 SCM415 作摩擦壓接之壓接壓力 12kg/mm<sup>2</sup> 壓接長度(a) 4.0mm (b) 5.5 mm (c) 7.5 mm 之同心度

圖 7 (a) (b) (c) 為已熱處理對已熱處理之 SCM415 材料作摩擦壓接之同心度量測，圖中顯示隨著壓接面的距離越遠則其偏心率越大，但已熱處理材當壓接之鍛壓長度越長，使兩圓棒的中心軸偏心率未改，偏心率為 0.1~0.3mm 之間。



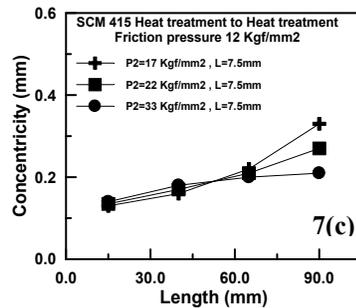


圖 6 SCM415 材料已熱處理對已熱處理作摩擦壓接之壓接壓力 12kg/mm<sup>2</sup> 壓接長度 (a) 4.0mm (b) 5.5 mm (c) 7.5 mm 之同心度

#### 四、壓接芯部細微結構

圖 8 為壓接壓力 17kg/mm<sup>2</sup> 壓接長度 4.0mm 壓接芯部斷面細微結構，並比較壓接壓力 33kg/mm<sup>2</sup> 壓接長度 7.5mm 壓接芯部斷面細微結構並為未有明顯之差異，並可清楚看到壓接時材料因受軸向壓力，及高溫高熱產生塑性變形之流痕，與母材壓縮變形與毛邊發生理論相合。

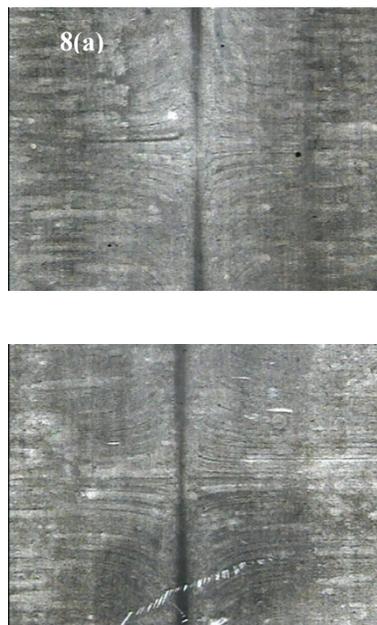


圖 8 SCM415 (a) 壓接壓力 17kg/mm<sup>2</sup> 長度 4.0mm ; (b) 壓接壓力 33kg/mm<sup>2</sup> 長度 7.5mm 壓接芯部細微結構

#### 五、壓接部硬度變化

壓接面為準向兩側每間隔 1mm 測試其硬度變化，圖 9 (a) 為 SCM 415 未經滲碳熱處理之素材互接後壓接部硬度變化，壓接處表面硬度由原材料硬度 HRC 12 壓接後上升至 HRC 34 且兩側隨距離的增加，而硬度漸降呈倒“V”字型之趨勢。圖 9 (b) 為 SCM 415 經滲碳熱處理之材料互接後壓接部表面硬度變化，原素材硬度 HRC 12 經滲碳熱處理後硬度 HRC 58，摩擦



壓接後壓接面表面硬度下降至 HRC 34，與未經滲碳熱處理之素材互接後壓接面表面硬度 HRC 34 相當，但硬度變化趨勢卻與其相反呈”V”字型，且於距壓接面兩側 2 mm 處，發現瞬間硬度變化較劇情況。再以微硬度試驗機測試得圖 9 (c) SCM 415 素材相互壓接再經滲碳熱處理後壓接硬度層變化，亦得到距壓接面 2mm 處表面硬度急速升高至 HRC730。

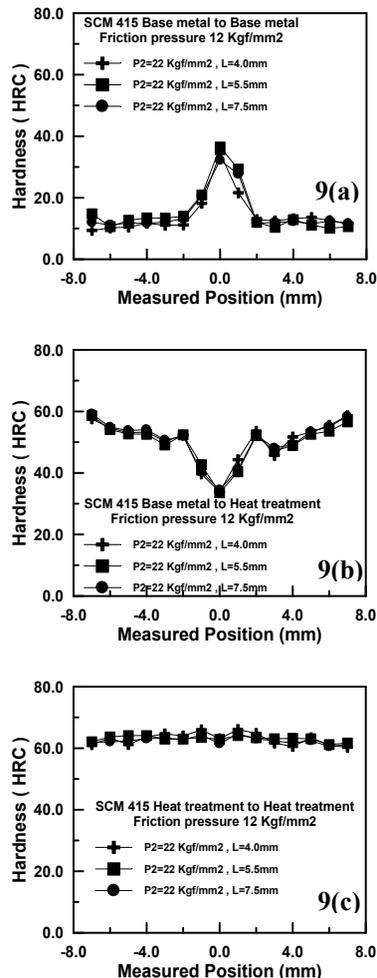


圖 9 SCM 415 (a) 素材+素材 (b) 硬化材+硬化材 (c) 素材相互壓再滲碳熱處理後壓接部硬度變化

圖 10 (a) 為 SCM 415 壓接後行滲碳熱處理壓接部硬度變化，顯示壓接後硬化之壓接部硬度變化幅度較小，且全區域硬度變化也在 HRC 4 以內。圖 10 (b) 為 SCM 415 壓接後行滲碳熱處理壓接部硬度層變化，亦呈安定趨勢，未因摩擦壓接而影響熱處理性質。

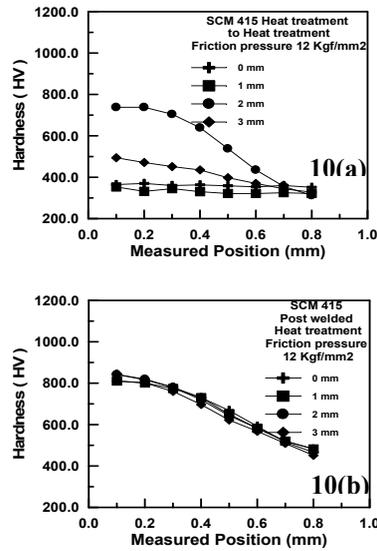


圖 10 SCM 415 (a) 硬化材+硬化材 (b) 壓接後硬化壓接部硬化層變化

### 六、破斷面組織觀察

圖 11 顯示 SCM415 已熱處理對已熱處理材料作摩擦壓接，壓接壓力  $33\text{kg/mm}^2$ 、壓接長度  $5.5\text{mm}$ ，拉伸試驗後之破斷面，圖中巨觀組織 11 (a) 顯示破裂特性為斷面積較不規則之扇形韌性破裂，其中心於壓接時因壓接時間和壓接長度較不足易使軸中心偏一邊產生偏心。11 (b) 顯示 dimple 之破斷面組織和部分橢圓狀介在物。

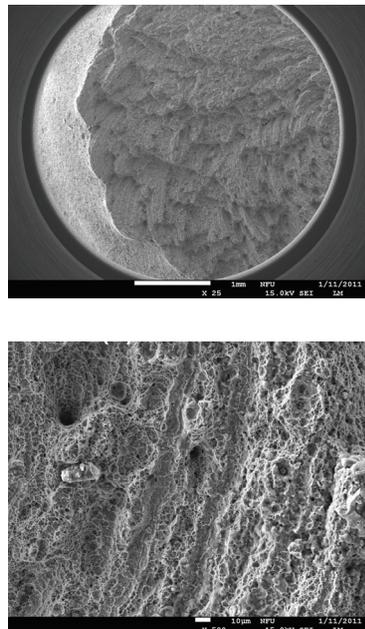


圖 11 (a) (b) SCM415 已熱處理對已熱處理材料作摩擦壓接，壓接壓力  $33\text{kg/mm}^2$ 、壓接長度  $5.5\text{mm}$ ，拉伸試驗後之破斷面



圖 12 顯示 SCM415 母材對已熱處理材料作摩擦壓接，壓接壓力  $33\text{kg}/\text{mm}^2$ 、壓接長度  $7.5\text{mm}$ ，拉伸試驗後之破斷面，圖中巨觀組織 12 (a) 顯示破裂特性為斷面積較規則之扇形韌性破裂，其中心於壓接時因壓接時間較長和壓接長度較長，較不易產生偏心。12 (b) 顯示 dimple 之破斷面組織和因壓接長度較長較無介在物存在。

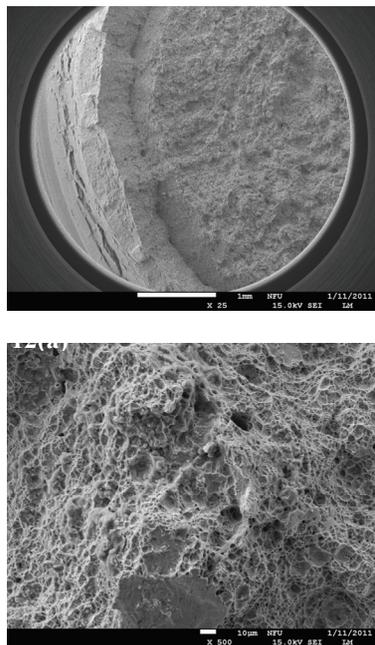


圖 12 SCM415 母材對已熱處理材料作摩擦壓接後，壓接壓力  $33\text{kg}/\text{mm}^2$ 、壓接長度  $7.5\text{mm}$ ，  
拉伸試驗後之破斷面

#### 肆、結 論

1. SCM 415 摩擦壓接所生毛邊直徑會隨壓接壓力及壓接長度之增加而增加。
2. 總長度則因塑性變形區域的厚度與形狀增加，及壓接壓力和壓接長度增加其總長度明顯減少，而呈現毛邊寬度直徑變大。
3. SCM 415 經滲碳熱處理之材料互接後壓接部表面硬度變化，因壓接時產生高熱具熱斷壓之熱機恢復與重溶作用，使接合面硬度與表面相差較大有下降趨勢，但硬度變化趨勢卻與其相反呈“V”字型，且於距壓接面兩側  $2\text{mm}$  處，發現瞬間硬度變化較劇情況
4. 破裂斷面積較規則之扇形韌性破裂，其中心於壓接時因壓接時間較長和壓接長度較長易使軸中心較不易產生偏心。

## 伍、參考文獻

- [1]謝文隆 著 三文出版社 高工機工精密測量學 (1984)
- [2]R. F. Tylecote : British Welding Journal, March (1954) , 117
- [3]S. Fukumoto, H. Tsubkino, T. Tomita, M. Aritoshi and K. Okita: Mater. Sci. Technol. , 18 (2) (2002) , 219-225
- [4]福本信次, 小野敏嗣, 田中宗嗣, 椿野晴繁, 有年雅敏, 富田友樹, 沖田耕三 (2001) 輕金屬51 (10) 563-567
- [5]福本信次, 大橋幹生, 椿野晴繁, 沖田耕三, 有年雅敏, 富田友樹, 後藤浩二 (1998) 輕金屬48 (1) 36-41
- [6] S. Fukumoto, H. Tsubkino, K. Okita, M. Aritoshi, T. Tomita: Mater. Sci. Technol., 15(9)(1999), 1080-1086
- [7]福本信次, 小野敏嗣, 椿野晴繁, 有年雅敏, 有年雅敏, 富田友樹, 沖田耕三: (2002) 輕金屬40 (5) 220-226



## **A Study of Concentricity of SCM415 Rods by Friction welding**

Un-Chin Chai<sup>1</sup> Lih-Ren Hwang<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Chung Chou University of Science and Technology, Dept.of Mechanical and Automation Engineering

### **Abstract**

The interface properties and concentricity of the friction welding joint were fully investigated in this study by using SCM415 material. As-rolled and heat treatment of carburizing nitride SCM415 material, forged pressure and time also evaluated each other.

The experimental results showed superior hardness and tensile strength at friction interface to as-rolled material. The heat treatment enhanced the raw material and friction position hardness. Hardness variations and microstructures in the interfaces of the joints were also obtained and examined. The concentricity amount decreased as longer forged length and forged time to excellent central line, induce fine dimple cross section at friction interface.

Key words: Friction Welding, Concentricity