

摩擦壓接低碳鉻鉬鋼之機械性質與破斷面研究

柴雲清¹ 黃立仁² 呂俊鋒³ 朱正民⁴

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

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

³ 中州科技大學工程技術研究所 cflu@dragon.ccut.edu.tw

⁴ 中州科技大學工程技術研究所 td183300@yahoo.com.tw

摘 要

本研究利用摩擦壓接機對 SCM415 低碳鉻鉬鋼材，分別以未熱處理、經熱處理之材料相互壓接；及壓接後再施行熱處理四種壓接條件，探討熱處理前後、摩擦壓接條件不同，對摩擦壓接後之毛邊形狀、尺寸及試棒抗拉強度和破斷面等影響。

實驗中發現因壓接後壓接部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，不僅母材強度提升，且壓接部位強度也相對提高。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更具優異機械性質，和不同壓接條件拉伸後的破斷面亦呈現不同組織。

關鍵字：摩擦壓接、抗拉強度、破斷面

壹、前 言

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煞車式摩擦壓接機。英國則於 1961 年由英國 BWRA（焊接研究協會）研究開發完成摩擦壓接機 [1]。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。

通訊作者

姓名：黃立仁

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

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壓接[2]。

摩擦壓接亦稱為摩擦焊接或摩擦溶接，係利用旋轉之材料與固定材料接觸後施以一定壓力 (P_1)，接觸面因摩擦產生到達下一工程之壓接溫度。稱為壓接加熱工程，此時主軸急速煞車停止，續而施加更高於 P_1 壓力之 P_2 ($P_2 \geq P_1$) 並保持一段時間，使其安定即為壓接完成。

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]。

異種材接合後熱處理條件若依基準熱處理是困難的，只要求得該接合部滿足之品質之熱處理條件應就可滿足，完全依基準熱處理條件是無必要的。例如以 SUS304 與 S45C 壓接品用 SUS304 條件施以回火處理，界面附近之碳素因受鎳及鉻影響 S45C 側產生脫碳而使強度下降[5~7]。

直徑 180mm 以上超大徑品接合時中心部冷卻較慢，內部殘留拉應力，並產生偏析較易發生裂隙。如此之超大徑品接合後外徑部應施以延緩其冷卻之措施，一般會以斷熱材覆蓋以隔絕大氣進行保溫，或以另工程將外徑部再加熱，使內外冷卻速度之差變小殘留應力降低避免裂隙發生。若含接合部也施以高周波熱處理時有可能發生接合界面處燒入過當或未完全燒入之情形[8~9]。

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。A6061 與 SUS304 摩擦壓接界面及附近之細微組織，界面附近析出物固溶於母材硬度反而降低[10~12]。

本研究選擇之材料常用於傳動零件，可施行熱處理使機械強度提升。故以 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，並對摩擦壓接後之毛邊形狀、尺寸及抗拉強度、硬度等產生之變化進行研究。

貳、實驗方法與步驟

一、材料準備

本實驗另使用鉻鉬鋼（即 JIS SCM415）材料，成分如表 1，試棒利用車床加工為直徑為 12.8 mm、長度為 120 mm。分別以未經熱處理之母材作摩擦壓接、條件如圖 2 滲碳熱處理後作摩擦壓接、未經熱處理之母材與滲碳熱處理後材料作摩擦壓接、母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 (wt,%)	0.13~0.189	Ni (wt,%)	≤0.25 (vol)
Si (wt,%)	0.15~0.35 (vol)	Cr (wt,%)	0.9~1.2 (vol)
Mn	0.60~0.85 (vol)	Mo (wt,%)	0.15~0.3
P (wt,%)	≤0.030 (vol)	Bal (wt,%)	Cu≤0.25
S (wt,%)	≤0.030 (vol)		

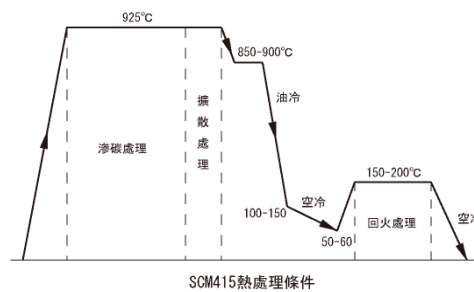


圖 2 SCM415 滲碳熱處理條件

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 固定為 12 kg/mm² 及壓接壓力 P2 為 17 kg/mm²、22 kg/mm²、33 kg/mm² 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未經熱處理之母材作摩擦壓接、硬化熱處理後作摩擦壓接之接合，部分母材接合件作接後硬化熱處理，探討熱處理對壓接件機械強度影響。

表 2 摩擦壓接條件表

Conditions	Description of Parameters
Material SCM415	Base metal、Heat treatment
P1	12 kg/mm ²
P2	17、22、33 kg/mm ²
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，計算壓接短縮量並利用同心度量測儀量測其偏心率，之後，利用萬能拉伸試驗機 (GOTECH LI-7000LA20) 以 2mm/sec 做拉伸試驗，並做抗拉強度及延伸率之比較，並用

硬度試驗機量測壓接部兩側之硬度變化。及微硬度試驗機量測壓接部微硬度變化。

參、結果與討論

一、外觀檢視

圖 3 (a) (b) (c) 分別為壓接壓力 22 kg/mm^2 壓接長度 4.0 mm 母材+母材、母材+已熱處理、已熱處理+已熱處理之壓接品，由圖可看出壓接面兩側之毛邊大小形狀大致相同，且毛邊亦呈現由裡向外捲曲現象，為正常之摩擦壓接結果。

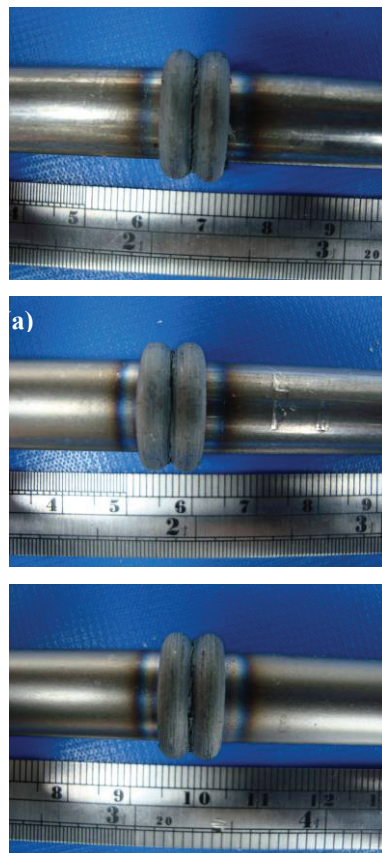


圖 3 (a)(b)(c) 分別為壓接壓力 22 kg/mm^2 壓接長度 4.0 mm 母材+母材、母材+熱處理、熱處理+熱處理之壓接成品

圖 4 為母材+母材之總長變化量，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 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



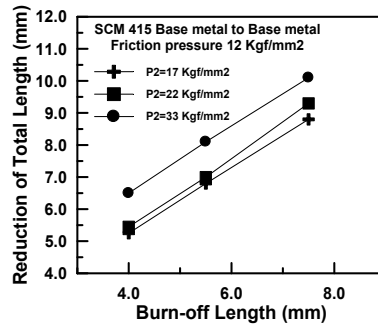
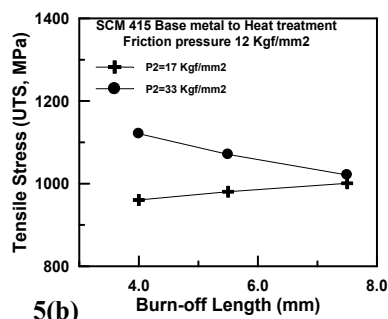
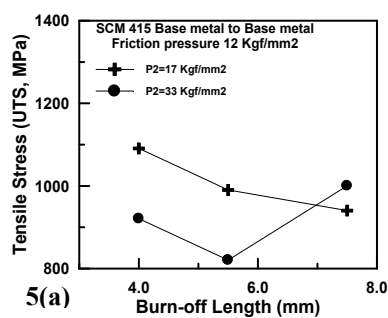


圖 4 不同壓接壓力和壓接長度下摩擦壓接母材+母材之總長變化減少量

二、壓接面之抗拉強度

圖 5 顯示為母材+母材 (b) 為母材+已熱處理 (c) 為已熱處理+已熱處理之 SCM415，不同壓接壓力 17~33 kg/mm² 和不同壓接長度 4~7 mm 之抗拉強度，圖 5 (a) 顯示為母材+母材之抗拉強度，壓接壓力同為 17kg/mm² 時，壓接長度為 4 mm、5.5mm、7.5mm 其抗拉強度分別為 1098.04 Mpa、992.07 Mpa、943.46 Mpa，壓接壓力同為 33 kg/mm² 時，其抗拉強度分別為 928.05 Mpa、826.27 Mpa、1003.6 Mpa。圖 5 (b) 為母材+已熱處理之抗拉強度，壓接壓力同為 17kg/mm² 時，壓接長度為 4 mm、5.5mm、7.5mm 其抗拉強度分別為 963.37 Mpa、983.252 Mpa、1008.48 Mpa，壓接壓力同為 33 kg/mm² 時，其抗拉強度分別為 1128.41 Mpa、1075.4 Mpa、1028.16 Mpa。圖 5 (c) 為已熱處理+已熱處理之抗拉強度，壓接壓力同為 17kg/mm² 時，壓接長度為 4 mm、5.5mm、7.5mm 其抗拉強度分別為 1346.47 Mpa、1254.16 Mpa、1200.3 Mpa，壓接壓力同為 33 kg/mm² 時，其抗拉強度分別為 1174.69 Mpa、1248.23 Mpa、1231.65 Mpa。



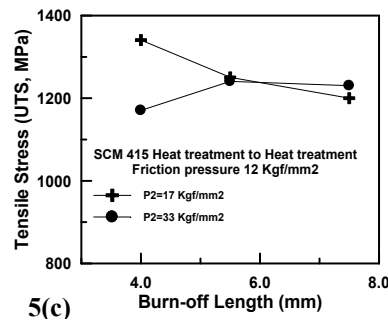


圖 5 顯示 (a) 為母材+母材 (b) 母材+已熱處理 (c) 已熱處理+已熱處理之 SCM415，不同壓接壓力和不同壓接長度之抗拉強度

圖 6 (a) SCM 415 壓接壓力 22kg/mm² 壓接 (a) 硬化材+硬化材 (b) 壓接後再硬化之拉伸試驗後試片照片，圖中顯示未經任何熱處理之母材互接，與未經熱處理之母材與滲碳硬化熱處理後材料作摩擦壓接，其抗拉試驗強度平均為 7894kg 及 8005kg (圖 5)，斷裂點不在接合處。經滲碳硬化熱處理後材料互作摩擦壓接，但斷裂點於非接合部，同圖經壓接後再行滲碳硬化熱處理之且斷裂點亦不在接合處。檢視其斷裂點均不在接合處，可知壓接部強度高於母材。圖 6 (b) 為 SCM 415 壓接壓力 22kg/mm² 壓接後行滲碳硬化熱處理後材料互作摩擦壓接拉伸試驗後試棒，由上至下同為壓接長度 7.5mm、5.5mm、4mm，經拉伸試驗後試棒其斷裂點均不在接合處，證明壓接後行滲碳硬化熱處理，與 SUS630 壓接後再行析出硬化熱處理同樣並不因再次加熱處理影響其強度。

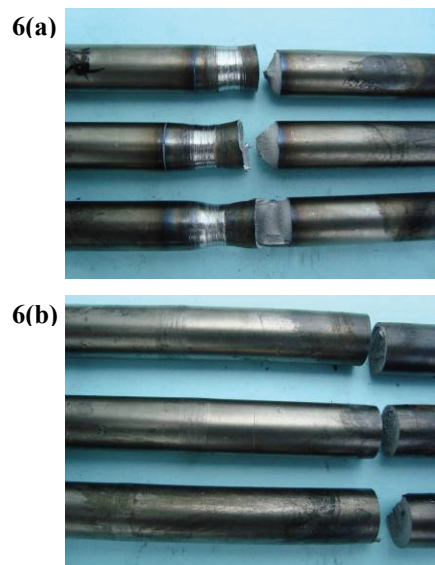


圖 6 SCM 415 壓接壓力 22kg/mm² 壓接 (a) 硬化材+硬化材 (b) 壓接後再硬化之拉伸試驗後試片照片



三、延伸率

圖 7 顯示已熱處理+已熱處理之 SCM415，不同壓接壓力和不同壓接長度之延伸率，綜觀摩擦壓接後不同熱處理條件對試棒延伸率影響不大，皆介於 0.1~0.25 之間。但隨壓接長度與壓接時間增加，而使延伸率因壓接面產生溫度愈高脆化組織增加，使延伸率略微下降。

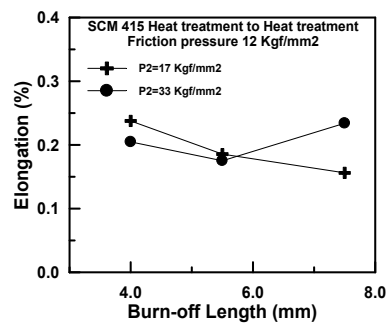
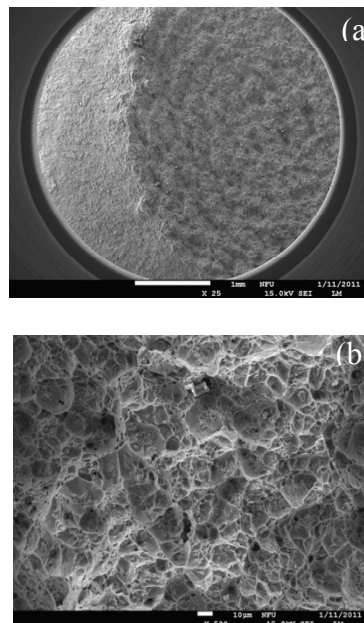


圖 7 已熱處理+已熱處理之 SCM415，不同壓接壓力和不同壓接長度之延伸率

四、破斷面組織觀察

1.不同壓接長度影響

圖 8 (a)(b) SEM 巨觀金相顯示接合處界面之巨觀組織，壓接長度越長則延展破裂面積較大，壓接後強度會較強。如拉伸試驗之圖 8 (d) 之延伸破裂面之破裂痕 dimple 較大，接合強度較強。



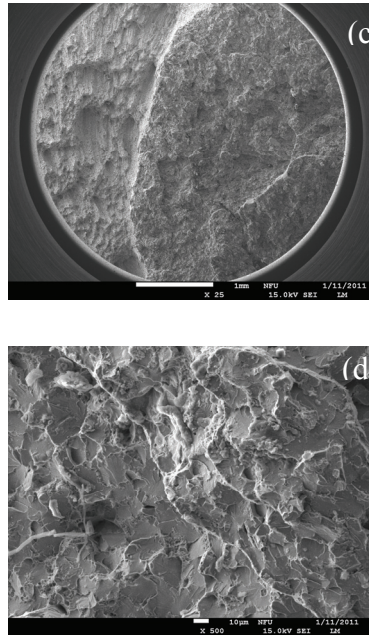
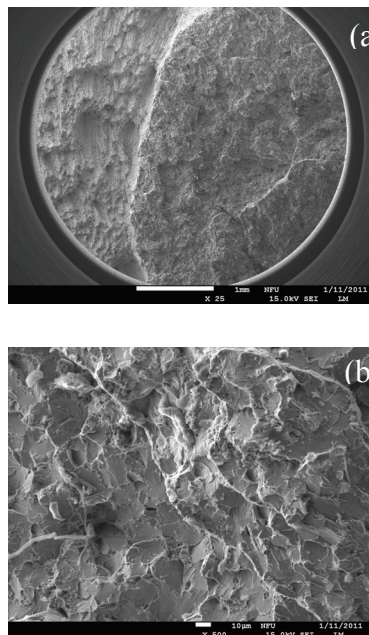


圖 8 SEM 金相顯示接合處界面之巨觀組織，壓接壓力 17 kg/mm^2 (a)(b)壓接長度 4.0 mm，
(c)(d) 壓接長度 5.5 mm 破裂面。

2.不同壓接壓力影響

圖 9 (a)(b) SEM 巨觀金相顯示接合處界面之巨觀組織，壓接壓力 17 kg/mm^2 則延展破裂面積較小，強度會顯得較弱。比較圖 9 (d) 顯示壓接壓力 33 kg/mm^2 延伸破裂面之撕裂裂晶粒痕較大，顯示接合較具整體性。



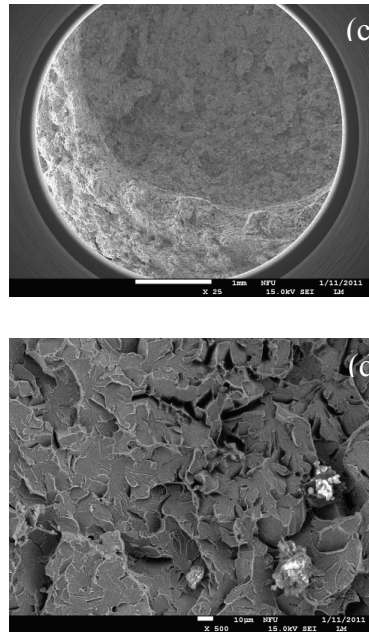
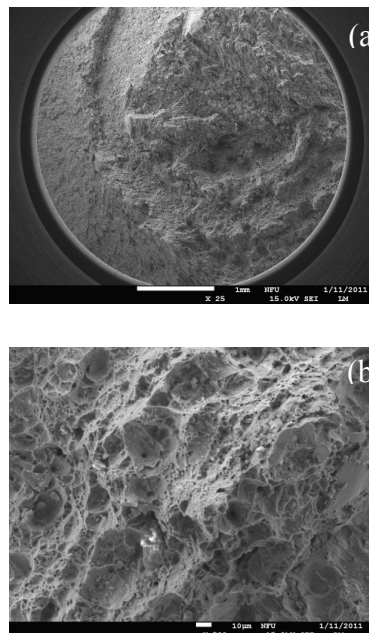


圖 9 SEM 金相顯示接合處界面之巨觀組織，(a)(b) 壓接壓力 17 kg/mm^2 (c)(d) 壓接壓力 33 kg/mm^2 ，壓接長度 5.5 mm 之破裂面

3.熱處理對壓接長度影響

圖 10 (a)(b) SEM 巨觀金相顯示接合處界面之巨觀組織，圖中顯示未經熱處理母材壓接與母材和熱處後壓接比較，圖 10 (c)(d) 母材和熱處後壓接途中顯得晶粒較為緻密，且熱處理後壓接和壓接長度較長 7 mm 則其壓接強度會較好。



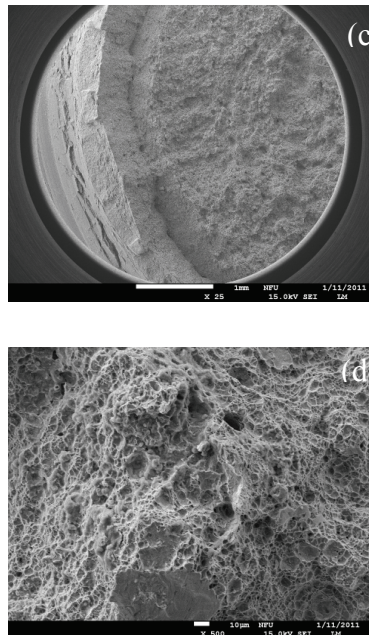


圖 10 SEM 金相顯示接合處界面之巨觀組織，(a) (b) 母材+母材壓接壓力 33kg/mm^2 壓接長度 4.0mm (c) (d) 母材+熱處理壓接壓力 33kg/mm^2 ，壓接長度 7.5mm 破裂面

4. 熱處理對不同壓接條件影響

由圖 8~10 比較 SEM 巨觀金相顯示不同壓接壓力下，摩擦壓接接合處界面之巨觀組織隨壓力愈大，組織愈細緻完整。組織愈細緻完整。而不同壓接長度下，接合處界面之巨觀組織隨壓接長度愈長偏心率較小，且壓接長度越長則延展破裂面積較大，強度會較強。不同熱處理條件下，接合處界面之組織不因熱處理而使硬度產生變化，因接合處介面之熱機處理極為細緻之介再物產生，使硬度不因熱處理產生變化。

肆、結 論

- 一、未經熱處理之母材相互壓接，未經熱處理之母材與析出硬化熱處理壓接，經析出硬化熱處理相互壓接成品毛邊直徑，未因材料熱處理硬化與否，而明顯影響毛邊直徑大小。
- 二、不同壓接壓力下，摩擦壓接接合處界面之巨觀組織隨壓力愈大，組織愈細緻完整。組織愈細緻完整。
- 三、不同壓接長度下，接合處界面之巨觀組織隨壓接長度愈長偏心率較小，且壓接長度越長則延展破裂面積較大，強度會較強。
- 四、不同熱處理條件下，接合處界面之組織不因熱處理而使硬度產生變化，因接合處介面之熱機處理極為細緻之介再物產生，使硬度不因熱處理產生變化。



伍、參考文獻

- [1]謝文隆 著 (民73) 三文出版社 高工機工精密測量學
- [2] R. F. Tylecote: British Welding Journal, March (1954), 117
- [3]摩擦壓接協會 著 (2006) 日刊新聞社發行 摩擦接合技術
- [4]周長彬等 編著 (2004) 全華科技圖書股份有限公司 焊接學
- [5]黃振賢 著 (2002) 新文京開發出版有限公司 金屬熱處理
- [6] 塩谷，山田，樽谷 (1966) 溶接學會誌 S45C之摩擦溶接部C，Cr及Ni移動與機械性質
- [7] 本田，田村 (2003) 摩擦壓接協會 高周波熱處理對摩擦壓接面的影響
- [8] S. Fukumoto, H. Tsubkino, T. Tomita, M. Aritoshi and K. Okita: Mater. Sci. Technol., 18 (2) (2002), 219-225
- [9]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
- [10]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
- [11] S. Fukumoto, H. Tsubkino, K. Okita, M. Aritoshi, T. Tomita: Mater. Sci. Technol., 15 (9) (1999), 1080-1086
- [12]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 Mechanical Properties and Fracture Surface of SCM415 by Friction welding

Un-Chin Chai¹ Lih-Ren Hwang² Chin-Fan Lu³ Chen-Min Chu⁴

^{1 2 3 4}Chung Chou University of Science and Technology, Dept.of Mechanical and
Automation Engineering

Abstract

The mechanical properties and fracture surface of 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 press time also evaluated in this experiment.

The experiments results showed under different friction time and friction pressure could obtained optimum parameters. Later, the strengths of the joints were determined by tensile and hardness distribution test. And results were compared with strengths of materials. Hardness variations and microstructures in the interfaces of the joints were also obtained and examined. Joints processed by this method exhibited better properties when compared to the fusion processed joints.

Key words: Friction Welding, Mechanical Strength

