

以高週波加熱為焊接件應力消除退火熱源之研究

The effect of Stress Relieving on the welded parts by using induction heating

廖桓震¹, 張右中¹, 姜建帆¹, 邱六合^{*1}

H.C. Liao¹, Y.C. Chang¹, C.F. Chiang¹, L.H. Chiu^{*1}

1.大同大學材料工程系

摘要

本研究針對 JIS SK5 板材進行淬火回火到 45HRC，與低碳快削鋼螺帽進行氬銲熔接後，以一般空氣爐及高週波熱源進行退火，探討其對熔接件之影響。高週波熱源係以定額功率 150KW 及 100KHz 高週波設備定點對熔接區加熱 2~4 秒。空氣爐加熱參數係 300°C 及 400°C 應力消除一小時。分析包含 OM 觀察及維克氏硬度等量測。研究結果顯示，以高週波熱源持溫 2 秒 SK5 組織依然是麻田散體；而持溫 3~4 秒時，其組織已變態成波來鐵。高週波處理要避免加熱超過 A₁ 線，造成重新沃斯田鐵化，SK5 將會生成波來鐵與肥粒鐵等要求外的組織，更嚴重者會有因急冷所生成之脆性淬火麻田散鐵。而空氣爐以 400°C 持溫具有較佳之效益，此方法可獲得工件均勻的應力消除，不過也會造成 SK5 工件本體的硬度下降，且費時較長，高週波加熱只需 2 秒就就可完成應力消除。

關鍵字：JIS SK5、高週波、應力消除、焊接。

Abstract

In this study, the effects of heat source on the stress relief of the welded parts, produced with JIS SK5 plates and low carbon free-cutting steels nut have been studied. The heating of the welded parts was conducted by using muffle air furnace and induction processing respectively. The induction heating was applied by 150KW

and 100KHz machine to the welded part for 2~4 seconds. The muffle furnace was used to heat the welded part to 300°C and 400°C respectively for 1 hour. The results show the microstructure of JIS SK5 was changed to tempered martensite by induction heating for 2 seconds, and transformed into perlite by induction heating for 3~4 seconds. The stress relieving by using air furnace heating in 400°C for 1 hour is better than 300°C. This furnace heating can obtain uniform stress relieving, but the hardness of JIS SK5 plates was decreased.

Keywords: JIS SK5, induction heating, welding, quenched martensite

1.前言

接合是一種以加熱方式連結金屬件的製造技術，主要透過三種途徑達成目的，一是熔接，加熱欲接合之工件使其局部形成熔池區，必要時可加入填料輔助，二是單獨以填料藉由毛細現象作用連接工件之硬焊，三是於相當於工件熔點左右的溫度，給予高壓或疊合擠塑使兩工件擴散接合。焊接於工業上有大量的應用。

焊接結束之後，焊道附近的材料顯示出幾個明顯的區域。焊道被稱為熔池區，更具體地說就是焊劑及母材融化後填充的區域，熔池區的材料特性主要取決於所使用的焊料及母材。

熔池區周圍的是熱影響區 (Heat Affected Zone, HAZ)，該區域在焊接過程中產生了微觀

結構和特性上的變化，這些變化取決於母材在受熱狀態下的特性。熱影響區的金屬性能通常與母材和熔化區有差異，殘餘應力就分布在這一區域，由於焊接時金屬被加熱到熔化溫度，它們在冷卻時會產生收縮。收縮會產生殘留應力，此殘留應力極可能造成缺陷，使得熔池區及熱影響區較為脆弱，形成破壞起始點，故進行應力消除的動作是必須的。

本研究除了一般傳統空氣爐加熱持溫之外，另外嘗試使用高週波為熱源的加熱持溫方式，探討高週波加熱快速之特性對熔接件的影響。

2. 實驗方法

2.1 試片製備

高週波加熱需要注意到工件的尺寸大小，因高週波熱影響深度受到高週波頻率的限制，使用必須考量工件的大小再決定高週波頻率。

本實驗採用 JIS SK5 板材及 SUM 21 低碳快削鋼螺帽，氬焊熔接後，委託立鑫高週波公司以定額功率 150KW、100KHz 高週波定點對熔接區持溫 2~4 秒，試片外觀如圖 1 所示。



Fig.1、試片外觀

2.2 試片分析

2.2.1 微觀組織觀察

以 Nital (95ml 酒精 + 5ml 硝酸) 作為化學腐蝕液，並用 Nikon OPTIHOT-100 光學顯微鏡觀察處理之熔接件的金相組織。

2.2.2 硬度試驗

硬度試驗用 Matsuzawa MXT50 型維

克氏 (vikers) 硬度試驗機，測試不同製程之試片硬度值變化。每一試片及其各區域均打三點維克氏硬度值 (HV)，再求其平均值。

3. 結果與討論

3.1 微觀組織

本次針對 JIS SK5 板材進行淬火回火至 45HRC，與低碳快削鋼螺帽進行氬焊熔接後，由於焊接熱流對熔接件組織產生影響，使 JIS SK5 板材部份區域產生高硬度之現象，此現象是因 JIS SK5 與低碳快削鋼螺帽間之熔接區因加熱到高溫後急冷所導致，使得工件容易斷裂。為此，JIS SK5 與低碳快削鋼熔接件須進行應力消除處理，消除氬焊所殘留之應力及急冷淬火未回火之麻田散體。使用經氬焊之 SK5 與 SUM21 熔接件，其橫截面如 Fig.2 所示，可看到清楚的熔池區、熱影響區及 SK5 高硬度區三個區域。其熔池區硬度為 568HV，熱影響區硬度為 596HV，高硬度區硬度為 613HV，SUM21 螺帽硬度為 158HV。

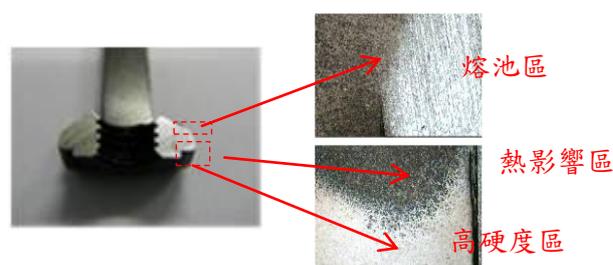


Fig.2、試片實照-2

而利用高週波對熔接件熔池區持溫 2~4 秒，並觀察其對 SK5 高硬度區受到的影響效益。Fig.3 為高週波加熱持溫秒數對微觀組織之影響。由 Fig.3 可以觀察到 0 秒收料，即氬焊後未回火，其高硬度區因

氬焊加熱至高溫，然後急冷下來，故形成淬火麻田散體狀態。經過 2 秒高週波加熱後其金相組織則為回火麻田散體，但經過 3~4 秒高週波回火，其組織已經變態為波來鐵現象。表示經過 2 秒高週波處理，其時間及溫度有達到回火的效果，使其變態為回火麻田散體，但經過 3 秒高週波回火，其時間太長，溫度過高，使其重新沃斯田體化，冷卻下來形成波來鐵，經過 4 秒高週波回火後，波來鐵有粗大化之現象。

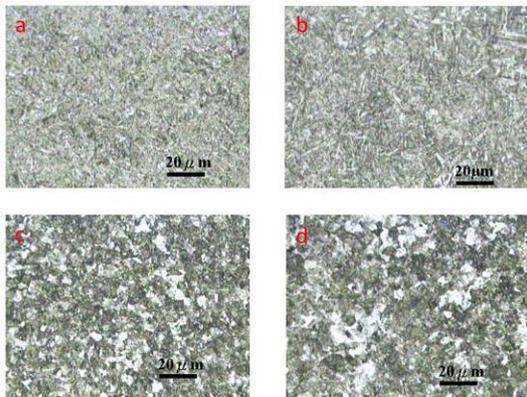


Fig.3、高週波處理秒數對 SK5 高硬度區微觀組織(a)熔接件,(b)2s,(c) 3s 及(d) 4s。

Fig.4 顯示熱影響區因受到熔接熱流影響，重新沃斯田鐵化，但因較原高硬度區靠近熱源，冷卻速率較慢下生成較細緻的波來鐵。

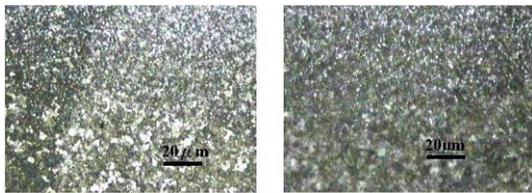


Fig.4、(左)3s，(右)4s，熱影響區(上)高硬度區(下)

為比較高速加熱之效益，熔接件亦使用空氣爐加熱到 300°C 及 400°C 持溫一小時，其金相微觀組織如 Fig.5 所示。由 Fig.5 中可明顯看出在經過回火後，麻田散鐵分布較均勻，而且回火過程中對麻田散鐵進行調質回火，使它更有韌性，400°C 的效

果優於 300°C，因為在越高溫下可增進調質的驅動力，有利於硬度下降。以 300°C 和 400°C 回火其在原 SK5 高硬度區之硬度變為 $599.1 \pm 8\text{HV}$ 和 $491.1 \pm 2\text{HV}$ 。

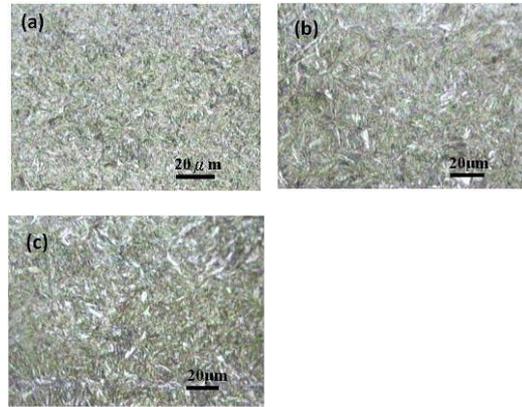


Fig.5、熔接件之高硬度區微觀組織(a)未回火(b) 300°C 回火 (c)400°C 回火。

除了高硬度區外，熔接區和熱影響區也都應有此現象，在回火後硬度下降，可以推得其主要原因來自過飽和固溶碳析出過渡物碳，使回火麻田散鐵內應力降低。

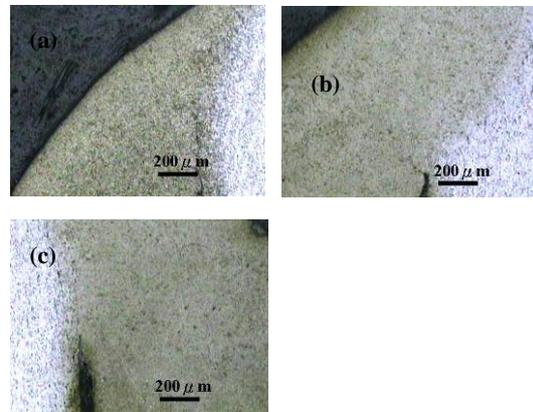


Fig.6、(a)未回火之熔接件 (b) 300°C 回火件及(c) 400°C 回火件之熱影響區和焊接區之組織。

3.2 硬度試驗

由 Fig.7 可以發現熔接件經過高週波加熱兩秒後即有明顯的硬度下降，而後硬度都約略維持在 300HV 左右，高硬度區回火時間四秒硬度則會再度上升。由金相推測是因為高週波回火時間過長，回火溫

度超過 A1 線，SK5 板材經自體冷卻又生成了高硬度的組織。

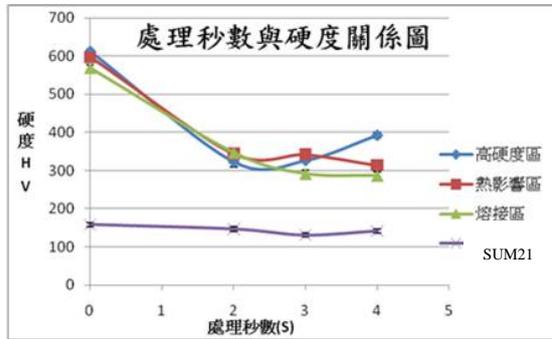


Fig.7、高週波回火秒數對熔接件各區之硬度值關係圖

利用回火參數 $M=T(c+\log t)$ 建立回火時間與溫度對回火硬度 H 的改變效益。由於高週波處理係以高溫、短時間為處理指標，極短的处理時間，即有回火效益。Fig.8 中實際值硬度爬升，係因高週波以定額功率對試片加熱，若處理時間過長，則會導致加熱溫度超過 A₁ 線，由於產生非期望的結構，使得硬度造成變化。

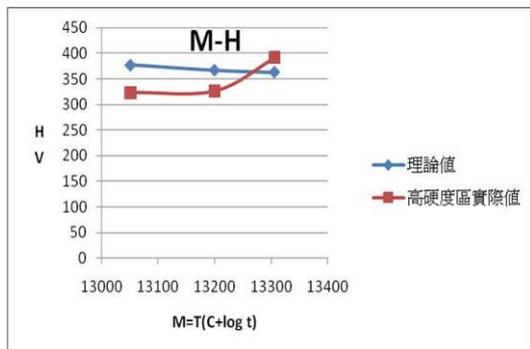


Fig.8、理論 M-H 值與實際 M-H 比較圖[8]

當工件在 300℃ 回火時，熱影響區與熔接區硬度有明顯的下降(Fig.9)，此代表回火消除熔接熱內應力之效應，而高硬度區在回火到 300℃ 時硬度卻沒有下降，是因為在焊接時較無受到熱影響，但當回火溫度超過 400℃ 時，因回火溫度即可造成工件高硬度區之硬度下降。

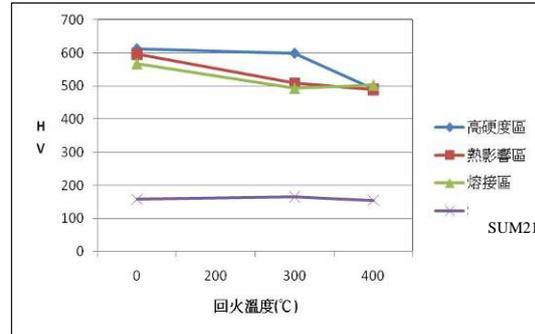


Fig.9、熔接件各區硬度隨回火溫度關係圖

若由回火參數 M 所繪出回火時間和溫度的 $M-H$ 關係圖(Fig.10)可得到與理論值相符的數值曲線，如此可驗證回火後的硬度測試值，如在與高週波回火相比，則顯得回火效益不足。

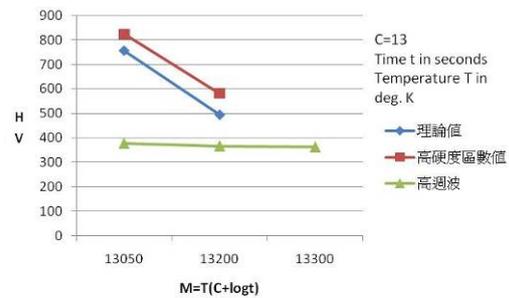


Fig.10、理論、實驗高週波之 M-H[8]

4.結論

- SK5 板材與 SUM21 低碳快削鋼氬焊熔接件，未經過高週波回火其高硬度區硬度為 613HV，熱影響區硬度為 596HV，熔池區硬度為 568HV，SUM21 螺帽硬度為 158HV。經過高週波加熱 2、3、4 秒後，其 SK5 高硬度區硬度分別為 385、342、379HV，熱影響區硬度分別為 385、342、314HV，熔池區硬度值為 427、292、287HV，SUM21 螺帽硬度分別為 151、131、141HV。
- 經空氣爐以 300 及 400℃ 回火後，熔接件 SK5 原高硬度區硬度分別降為 599、491HV，熱影響區硬度分別為 509、489HV，熔池區硬度值為 493、503HV，SUM21 螺帽硬度分別為 165、155HV。

3. SK5 板材與低碳快削鋼氬焊熔接件，經過高週波回火後硬度下降，代表高週波加熱有助於消除焊接熱流所造成的內應力殘留。高週波加熱時間亦需要受到控制，避免高週波升溫超過 A₁ 線溫度，以至於碳鋼重新沃斯田鐵化，再度冷卻時生成不必要的組織，影響機械性質。高週波回火時間四秒，其硬度則會再度上升，由金相推測是因為高週波回火時間過長，回火溫度超過 A₁ 線，SK5 板材經自體冷卻又生成了高硬度的組織。
4. 工件進行空氣爐回火，可使焊接區硬度下降，雖然此方法可獲得工件均勻的回火，不過也會造成 SK5 工件本體的硬度下降，而且回火需使用 1 小時以上之較長時間，相較於高週波加熱，只需 2 秒就可在所需的地方加熱到高溫達到降低硬度之目的。

參考文獻

- [1] 王萬泉; 銲接學, 台灣復文興業股份有限公司, 1995年。
- [2] ASM, Metals Handbook, Volume 1, 10th ed., American Society for Metals, 1990, pp. 603-613.
- [3] B.F. Brown, "stress Corrosion Cracking and Corrosion Fatigue of high Strength steels," Report 210, Defense Metals Information Center, 1964, pp. 91-102.
- [4] D.P Fairchild, Brittle Zones in Structural Welds, in Welding Metallurgy of Structural Steels, J. Koo, Ed., The Metallurgical Society, 1987, pp. 303-318.
- [5] J. Koo and A. Ozekan, Local Brittle Zone Microstructure, in Welding Metallurgy of Structural Steels, J. Koo, Ed., The Metallurgical Society, 1987, pp. 119-135.
- [6] American Welding Society, Welding Handbook, Vol I and II, 7th ed., American

Welding Society, 1983.

- [7] Kelly Ferjutz, Joseph R. Davis, welding, Brazing, and soldering, Vol 6, 9th ed., Metals Handbook, American Society for Metals, 1983.
- [8] Charlie R. Brooks, Principles of the Heat Treatment of plain Carbon and Low Alloy Steels, ASM International, 1996.