

AISI 4150 鉻鉬鋼雷射銲接研究

Laser Welding AISI 4150 Steel

計畫編號：NSC86-2216-E-019-010

執行日期：85/08/01 ~ 86/07/31

主持人：蔡履文 國立臺灣海洋大學 副教授

一、中文摘要

本研究探討 AISI 4150 中碳低合金鉻鉬鋼板材及其雷射銲件，經不同溫度熱處理後，其微結構組織對疲勞裂縫成長特性之影響。

金相及 TEM 觀察顯示，AISI 4150 板材固溶後經 250 °C、300 °C、500 °C 等不同溫度回火處理所產生之回火麻田散鐵，碳化物隨回火溫度升高而凝集成長。板材經 250 °C 沃斯回火處理之微結構為下變韌鐵及回火麻田散鐵之混合組織，300 °C 沃斯回火處理之微結構主要為下變韌鐵組織，300 °C 沃斯回火處理後再經 550 °C 回火處理其碳化物逐漸凝集粗大。經 250 °C 或 300 °C 預熱及保溫之銲道其微結構與經相同熱處理程序之板材相同，但內部碳化物則較母材為粗大。疲勞裂縫成長試驗顯示，板材之裂縫成長速率均隨熱處理溫度上升而下降，其中經沃斯回火處理之試片其裂縫成長速率均低於經相同溫度回火處理者，顯示下變韌鐵及回火麻田散鐵之混合組織其裂縫成長速率低於回火麻田散鐵。銲件由於銲道微結構及殘留應力的雙重作用，不論平行或橫越銲道的疲勞裂縫成長試驗均顯示良好的裂縫抑制能力。經 300 °C 沃斯回火處理之板材或銲件，再經 550 °C 回火處理後，其裂縫成長特性與經淬火直接 550 °C 回火處理之板材趨於一致。

關鍵字：雷射銲接、疲勞裂縫成長、變韌鐵、回火麻田散鐵

Abstract

The microstructures and fatigue crack growth of the AISI 4150 steel plate and laser welds, which undergone various heat treatment, was investigated. Experimental results reveal the microstructure of the steel plate and laser weld subjected to a 250 °C austempering treatment consisted of a mixture of lower bainite and temper martensite. The microstructure in the 300 °C austempered specimen reveals mainly lower bainite. The fatigue crack growth rates (FCGRs) of the steel plate decreased with increasing the tempering temperature. As the crack propagates from the base metal (BM) into the heat-affected zone (HAZ), the da/dN values decreases gradually and the retardation of crack growth is very significant in the HAZ and weld metal (WM). However, the increase in crack growth rates in the WM is obtained for the weld tempered at 550 °C.

二、計劃緣由和目的

隨著工業生產形態的改變，高功率二氧化碳雷射加工技術的應用已不再侷限於國防與航空工業的領域。雷射銲接低熱輸入量、高接合效率、銲件熱影響區與變形量極低的特點，使得傳統大型及形狀複雜的機械零件，設計人員可依零件不同部位的功能需求，選用不同的鋼料，分別加工製造，最後利用雷射銲接

製程加以組合；需要耐磨耗的位置更可選用碳含量較高的鋼材，以雷射直接加以表面硬化，提供製程上更大的彈性。

AISI 4150 為中碳低合金鉻鎢鋼，具良好之硬化能，常用於表面須硬化的零件上；0.5 wt% 的含碳量，使得鐸接製程需要適當的預熱及鐸後保溫程序，否則極易產生冷裂的問題，另一方面硬化、脆化之鐸道及熱影響區，極易引發不穩定快速破裂。本研究為評估 4150 板材及雷射鐸件經不同熱處理程序，所產生之顯微組織對其疲勞裂縫成長特性之影響。並探討預熱及回火程序對於阻擋裂縫成長之效益。

三、研究方法

3-1. 實驗材料

實驗所使用之 AISI 4150 鋼材，係由直徑 90mm 之桿料切成厚 5.5mm 圓板，其化學組成 (wt%) 為 0.47C, 1.04Cr, 0.21Mo, 0.25Si, 0.80Mn, 0.015P, 0.02S, Fe bal. 實驗流程如圖 3-1 所示。

3-2. 熱處理程序

本實驗沃斯田鐵化固溶溫度為 850 °C 時間 40min，依據不同顯微組織要求，進行不同後續處理，表 3-1 為實驗熱處理程序。試片鐸接前以砂紙去除氧化層並以丙酮清洗乾清。

3-3. 雷射鐸接

實驗所用的鐸接設備為 Rofin-Sinzer RS850 5kw CO₂ 雷射加工機，配備可控制三軸之 CNC 工作台。試片採用 Bead-on-Plate 方式鐸接，由於試片為圓形桿料，無論鐸接方向為何，鐸道皆垂直於原始桿料之軸向，因此不考慮鐸接方向。鐸接前試件置於預熱載台，預熱及鐸後保溫溫度設定為 250 °C 或 300 °C。鐸後試件經 x-ray 檢驗是否有鐸接缺陷。鐸接參數為功率 4000W，速度 800 mm/min，光學聚焦鏡為 ZnSe 材質，聚焦長度 190.5mm。

3-4. 硬度試驗

經回火及沃斯回火處理之板材以 AKASHI 洛氏硬度試機，取 5 點作平均測量其硬度值。鐸件裁取適當尺寸，經鑲埋、研磨拋光後，以 4% Nital 輕微腐蝕後，以 AKASHI MVK-II Vickers 微硬度試驗機，測試其鐸道硬度值。測試負荷 300g 作用時間 15 秒；鐸件每隔 1mm 量測一點以涵蓋母材、熱影響區及鐸道。

3-5. 疲勞裂縫成長試驗

本試驗依據 ASTM E647-91 規範來進行，試片採單邊開口之 CT 型試片，分為板材及鐸件兩種，其中鐸件又分為平行鐸道 (PW) 及橫越鐸道 (CW)，試片取裁位置如圖 3-2 所示。實驗所用設備為 10 噸之 MTS 動態試驗機，可利用 PC 連線直接控制試驗變數及存取數據並進行分析。

疲勞裂縫成長試驗分兩階段進行，預裂階段以 20Hz 頻率及 K_{max} 遞減的方式進行，預裂長度為 2mm。預裂完成後，接著以 20Hz 頻率之定負荷方式進行疲勞裂縫成長。疲勞試片中之裂縫長度是利用材料 elastic compliance 原理以 clip on gauge 來量測，由 PC 自動收集 clip on gauge 的開口位移與 load cell 的訊號，計算兩者在線性關係範圍內的斜率。將斜率、材料的楊氏係數與試片尺寸代入 compliance 函數多項式，即可計算出裂縫的長度。而應力強度係數 ΔK 值則依據 ASTM E399 之關係式計算。

3-6. 金相顯微組織與破斷面

將板材與鐸件切片取樣，經鑲埋、研磨拋光後經 4% Nital 溶液輕微腐蝕後，以光學顯微鏡觀察顯微組織。TEM 微結構觀察使用台大材料所之 JOEL 100cx 穿透式電子顯微鏡；疲勞破斷面之觀察則使用 HITACHI S4100 掃

描式電子顯微鏡來進行。

四、結果與討論

4-1. 硬度量測

4150 板材經不同溫度回火及沃斯回火處理後，其平均硬度值如表 4-1 所示。圖 4-1 為淬火後 550°C 回火板材，進行不同溫度之預熱及銲後熱處理，銲件微硬度分佈情形；板材經 250°C 及 300°C 預熱，並於銲後進行 1 小時保溫處理（圖 4-1(a)、(b)），如結果所示，250°C 預熱及銲後保溫，銲道硬度高達 Hv570 左右；進行 300°C 預熱及保溫，由於較高之預熱導致銲後冷卻速率較低，故銲道硬度大幅降低為 Hv440；雷射銲接因熱輸入量低，因此熱影響區狹小，其寬度僅約 2mm，300°C 預熱及保溫銲件，其熱影響區最大硬度亦較前者為低；圖 4-1(c) 所示為經 300°C 預熱及保溫處理銲件，再進行 550°C 應力消除回火處理，其微硬度分佈情形，銲件經高溫回火處理後，銲道及熱影響區硬度與母材接近一致。

4-2. 顯微組織觀察

受制於光學顯微鏡解析度之影響，試片經不同熱處理程序處理，觀察其金相顯微組織，不同試片僅顯現許差異性。淬火回火板材如 QT250、QT300、QT550 其 TEM 顯微組織如圖 4-2 所示。AISI 4150 板材經淬火回火，內部組織為板條狀麻田散鐵析出微細碳化物，且隨回火溫度升高，板條邊界碳化物及其內部碳化物均有聚集且粗大化現象。圖 4-3 所示為經沃斯回火處理 AT250 及 AT300 試片之 TEM 顯微組織，AT250 呈現下變韌鐵及回火麻田散鐵混合組織，AT300 試片主要為下變韌鐵。銲件經由程序控制預熱及銲後持溫溫度，其顯微組織同於沃斯回火板材，但由於銲道較慢冷速，因此內部碳化物較板材粗大。

4-3. 疲勞裂縫成長試驗

圖 4-4 為板材之疲勞裂縫成長特性，比較 QT 與 AT 兩組試片，顯示在相同熱處理溫度下，下變韌鐵與回火麻田散鐵混合組織對疲勞裂縫抑制能力均優於回火麻田散鐵。

經淬火及高溫回火 550°C 板材，施以 250°C 或 300°C 預熱，銲接完成後並持溫 1 小時，裂縫成長橫越銲道位置，疲勞裂縫成長特性如圖 4-6 所示，在銲道及熱影響區有較母材為低之裂縫成長特性。選用經 300°C 沃斯回火板材進行雷射銲接，以定 ΔK 值試驗法，進行銲件裂縫成長特性評估，結果如圖 4-7 所示，於不同 ΔK 值情況下，裂縫成長進入熱影響區即呈現裂縫成長速率下降。銲件進行 550°C 高溫回火後，反而在銲道有較快之裂縫成長（圖 4-8）。

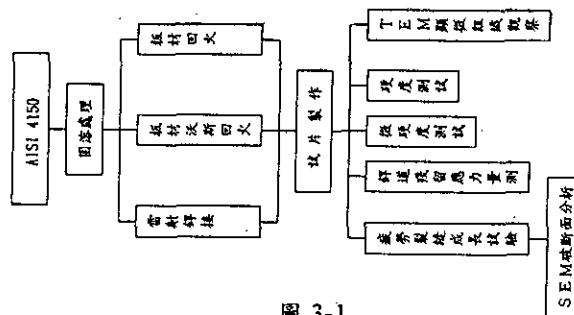


圖 3-1

Specimen ID	Heat Treatment Procedures
QT250	Q + Temper 250°C/1hr
QT300	Q + Temper 300°C/1hr
QT550	Q + Temper 550°C/1hr
AT250	850°C/40min + Austempering 250°C/1hr
AT300	850°C/40min + Austempering 300°C/1hr
AT550	AT300 + Temper 550°C/1hr
Q25cw A25pw	Q + preheat 250°C + Laser welding + keep 250°C/1hr
Q30cw A30pw	Q + preheat 300°C + Laser welding + keep 300°C/1hr
Q55cw A55pw	Q30cw + Temper 550°C/1hr A30pw

Q : 850°C/40min + 80°C oil quench

表 3-1

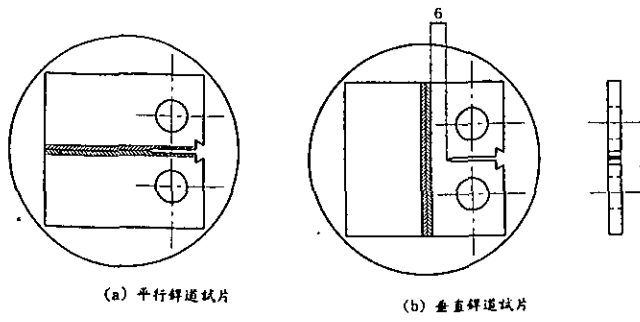


圖 3-2

Specimen ID	HRC
A. Q.	57.5
QT 250	54.1
QT 300	51
QT 550	40.1
AT 250	52.5
AT 300	46.8
AT 550	37.2

表 4-1

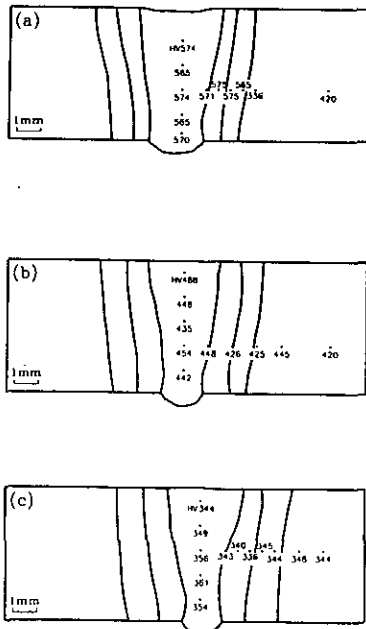


圖 4-1

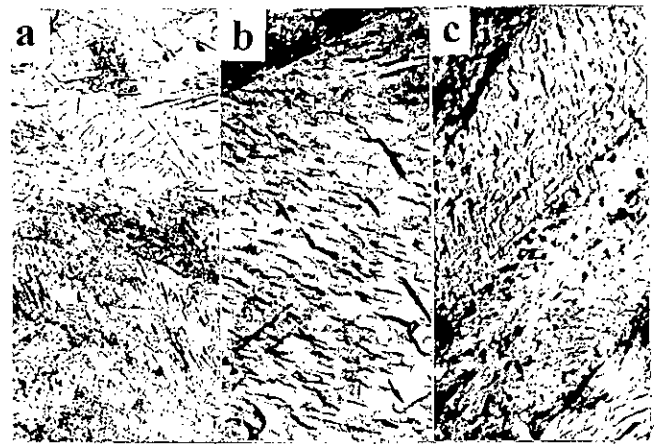


圖 4-2 4150 板材經(a)250 °C/1hr (b) 300 °C/1hr (c) 550 °C/1hr 回火處理之 TEM 金相

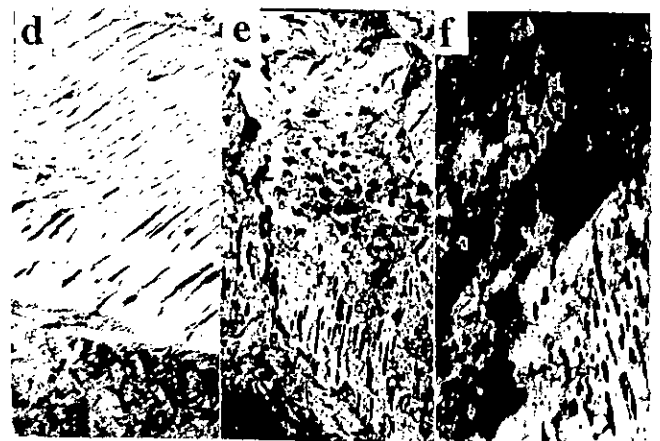
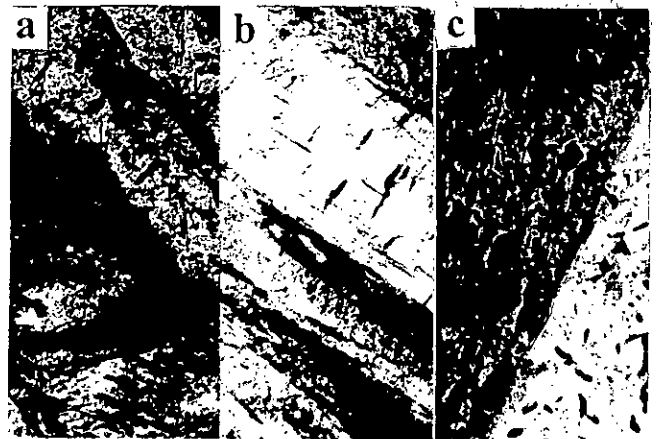


圖 4-3 4150 板材經(a)(b)250 °C/1hr (c)(d) 300 °C/1hr (e)(f) 550 °C/1hr 沃斯回火處理之 TEM 金相

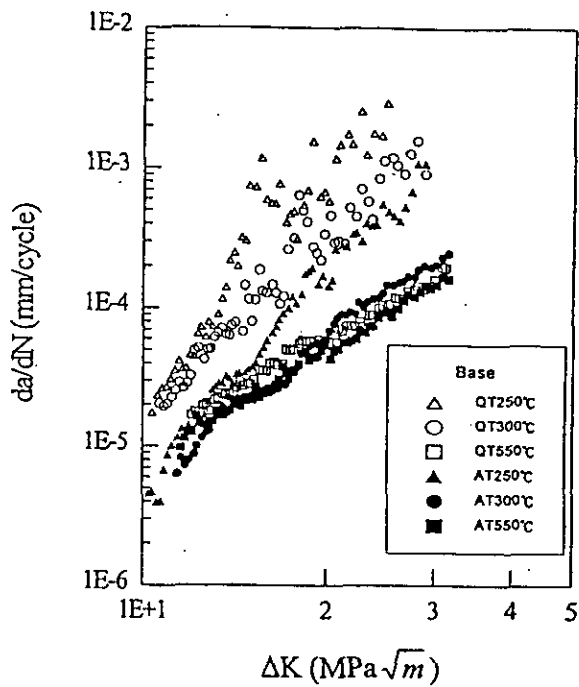


圖 4-4

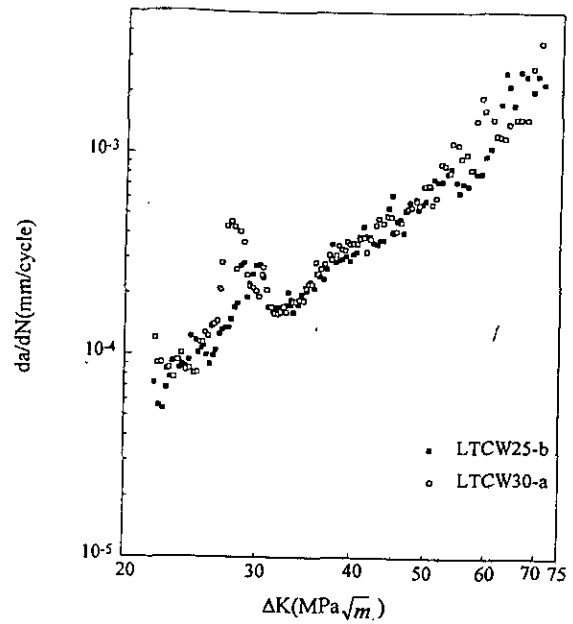


圖 4-8

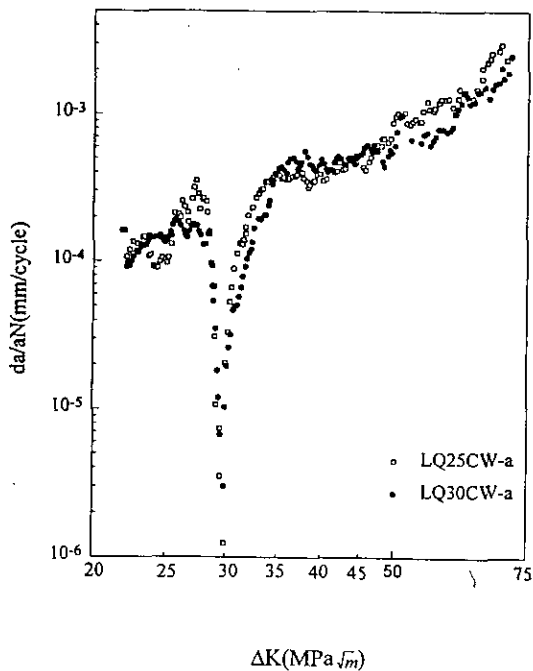


圖 4-6

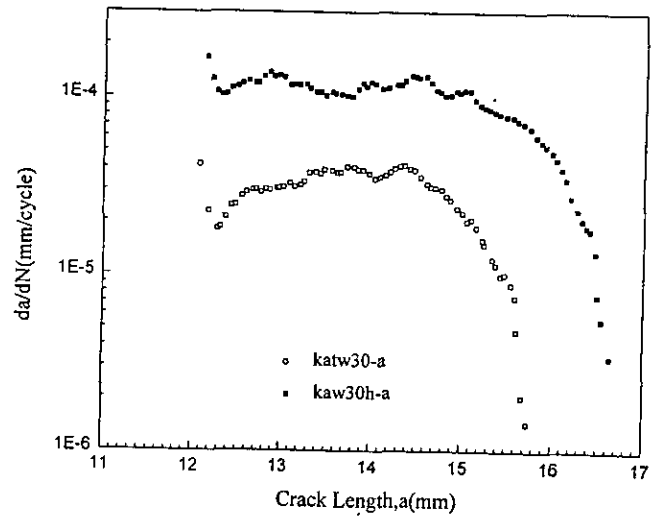


圖 4-7

五、參考文獻

1. R. O. Ritchie, Near-Threshold Fatigue-Crack Propagation in Steels, International Metals Reviews, Vol.24, No.5 and 6, 1979, pp.205-230.
2. W. Elber "Damage Tolerance in Aircraft Structures", ASTM STP-486, 1971, pp.230-242.
3. S. K. Bhambri, V. Singh and G. Jayaraman, Int. J. Fatigue, Vol.11, 1989, pp.51-54.
4. P. N. Thielen and M. E. Fine, "Fatigue Crack Propagation in 4140 Steel", Metall. Trans., Vol.6A, 1975, pp.2133-2141. (Fatigue crack growth rate of 4140)
5. A. A. Anctil and E. B. Kula, "Effect of Environment and Complex Load History on Fatigue life", ASTM STP-472, 1968, pp.297-317.
6. D. V. Edmonds and R. C. Cochrane, "Structure-Property Relationship in Bainitic Steels", Metall. Trans, 1990, Vol.21A, pp.1527-1540.
7. F. Bahrami and R. Kennedy, "Strength and Fatigue Properties in Medium Carbon Duplex Steels", Mater. Tech., No.5, 1995, pp.206-212.