



RRPB89020183 (G.P)

附件：封面格式

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

銲接部位之金相組織對銲後殘留應力與銲件強度之影響 Effects of Weldment Microstructure on the Residual Stress and the Weldment Strength

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2216-E-034-004-

執行期間： 88年 8月 1日至 89年 7月 31日

計畫主持人： 陳文璟

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：中國文化大學機械工程學系

中華民國 89 年 10 月 20 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

銲接部位之金相組織對銲後殘留應力與銲件強度之影響

Effects of Weldment Microstructure on the Residual Stress and the Weldment Strength

計畫編號：NSC 89-2216-E-034-004

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：陳文璟 中國文化大學機械工程學系

計畫參與人員：林憬鴻 中國文化大學機械工程學系

計畫參與人員：曾泓晟 中國文化大學機械工程學系

計畫參與人員：鄭凱仁 中國文化大學材料與製造研究所

一、中文摘要

銲接輸入熱量速率是影響銲件熱傳導，進而影響銲接部位之冷卻速率和銲接部位之金相組織之主要因素。銲接部位在銲接過程之加熱冷卻所得金相組織與微硬度值之變化，本計劃驗證與經由 Jominy End-Quench 熱處理相同加熱冷卻過程所產生之金相組織與微硬度值之變化一致。本計劃也驗證 Single-Pass 銲件之強度可由無限微元素並排串連之模式構想，由各微元素之微硬度值來決定。只要再能驗證銲接輸入熱量速率與銲接部位之加熱冷卻（包括 peak 溫度與冷卻速率）模式，就能簡單地從銲接輸入熱量速率預估銲接部位之 peak 溫度與冷卻速率，並從相對應之 Jominy End-Quench 熱處理所得之數據來預估銲接部位之微硬度值，進而預估銲件之強度。

關鍵詞：銲接、銲接輸入熱量速率、冷卻速率、金相組織、硬度值、銲後殘留應力、銲件強度

Abstract

Various welding heat-input rates affect heat transfer in the weldment during the welding process, and affect the cooling rates of the weldment, and thus, the microstructure of the weldment. This work confirms that the

microstructure and hardness of various points of the weldment are similar to those obtained from the points on the Jominy-end-quench testing bars where experience similar heating and cooling cycles. This work also confirms that the strength of a single-pass weldment can be determined by the hardness distribution of microelements that connect one-by-one in series to simulate the weldment. We need to further confirm the equations or computation models for predicting the peak temperature and cooling rate of the weldment from the heat-input rate. Thus, we would be able to predict the hardness distribution of the weldment, and therefore, the strength of the weldment from the heat-input rate and Jominy-end-quench test data.

Keywords: Welding, Welding Heat-input Rate, Cooling Rate, Microstructure, Hardness, Welding Residual Stress, Weld Strength

二、緣由與目的

不同的銲接輸入熱量速率、不同的冷卻方式、銲接前的預熱溫度、及銲接時的保熱溫度，都會影響銲件之熱傳導，進而

影響銲接部位之冷卻速率、和銲接部位之金相組織。銲材區與熱影響區之鋼鐵相變態與銲接過程加熱冷卻，所產生之體積變化，是導致銲件銲後殘留應力之主因。此銲接部位之金相組織與此銲後殘留應力更決定銲件之強度。

本研究計畫原旨在探討中、低碳鋼的銲接部位金相組織對銲件銲後殘留應力與銲件強度之影響。但因量測銲後殘留應力所需之量測儀器設備費未獲補助，本計劃乃將重點擺在對銲件強度之探討。從熱傳、冶金、與應力分析三方面著手。

〔一〕熱傳導分析：首先從解析方法尋求預估計算銲接部位加熱與冷卻之模式，並以實驗量測，來驗證此計算值。從而建立以銲接入熱量速率、不同的冷卻方式、銲接前的預熱溫度、及銲接時的保熱溫度，預估銲接部位加熱與冷卻之模式。

〔二〕冶金分析：以 Jominy End-Quench 熱處理方法，量測中、低碳鋼冷卻速率-金相組織-微硬度值相關連之連續冷卻相變態圖，並驗證冷卻速率對銲接部位之金相組織與微硬度值之影響。從而建立以冷卻速率預估銲接部位之金相組織與微硬度值之模式。

〔三〕應力分析：擬以無限微元素串連之模式構想，摹擬 Single-Pass 銲件結構，從上述分析之冷卻速率-金相組織-微硬度值之計算模式，計算各無限微元素在相變態與銲接過程加熱冷卻時，產生之微硬度值變化。進而整合各串連之無限微元素，計算銲件強度；並以實驗結果來修正和檢討此模擬程式。

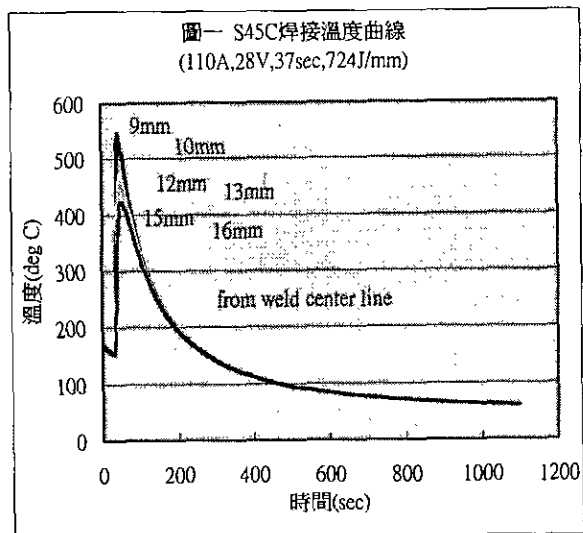
三、結果與討論

試片銲接與銲接試片溫度量測

中、低碳鋼試片銲接以手工金屬棒電弧銲 (SMAW) 為之，銲條分別選用強度與母材匹配之 E11016G 和 E4303。銲前調控預定之電流 I (amp)，銲接時並量測電壓 E (volt) 與銲接時間 t (sec)，如此可計算並控制銲接熱量輸入速率 H (J/mm)¹：

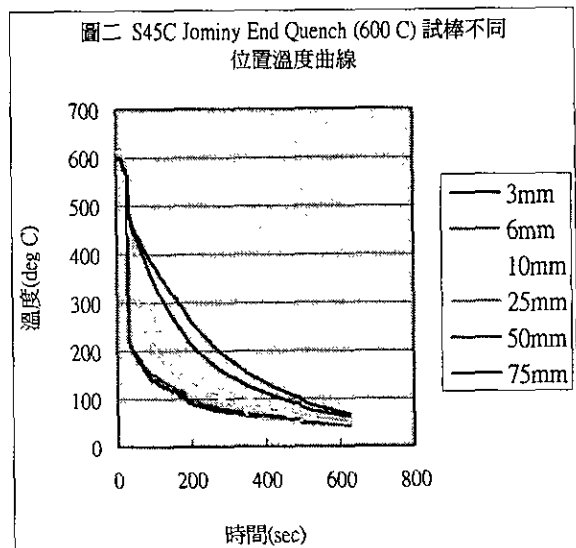
$$H = EI/v \quad (1)$$

v = 銲接速率 = w/t (mm/sec)， w = 銲道長度 (mm)。同時也以 6 條熱電偶線與測溫儀器量測記錄銲接部位不同位置之溫度變化，如圖一所示 S45C 銲接溫度曲線，可量得銲接部位距銲接試片 weld center line 不同位置之 Peak 溫度 T_p (°C) 和冷卻速率 R (°C/sec)。



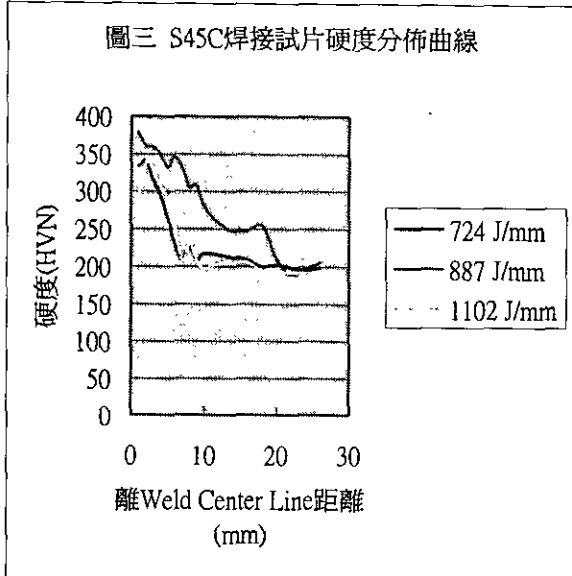
Jominy End Quench 試棒溫度量測

分別將中、低碳鋼試棒加熱至 400、600、740 和 850°C (S45C) 或 910°C (S15C)，然後置於 Jominy End Quench 實驗裝置，由底部噴水，同時並以 6 條熱電偶線與測溫儀器量測記錄試棒不同位置之溫度變化，如圖二所示 S45C Jominy End Quench 試棒溫度曲線，可量得距試棒底部不同位置 (如 3 mm、6 mm、10 mm、25 mm 等) 之 Peak 溫度 T_c (°C) 和冷卻速率 R (°C/sec)。



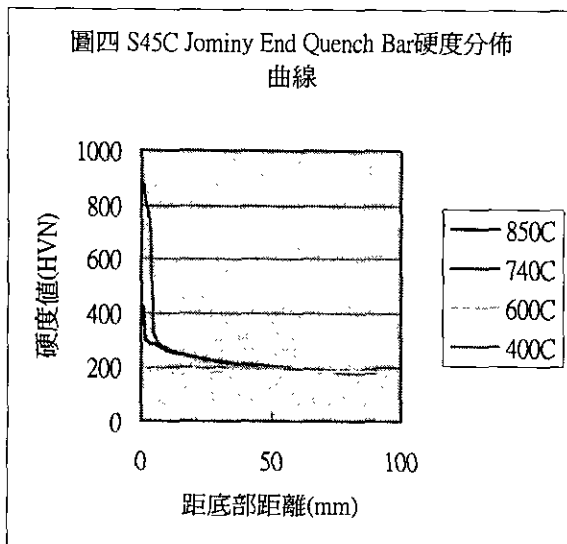
銲接試片硬度分佈曲線

將以不同銲接熱量輸入速率銲接之試片，切片後量測記錄銲接部位不同位置之硬度變化，如圖三 S45C 銲接試片硬度分佈曲線所示距 weld center line 不同位置之硬度。



Jominy End Quench 試棒硬度分佈曲線

將加熱至不同溫度後，底部噴水淬火後之 Jominy End Quench 試棒兩側研磨平行面後，量測記錄試棒距底部不同位置之硬度變化，如圖四 S45C Jominy End Quench 試棒硬度分佈曲線所示距底部不同位置之硬度。



銲接試片硬度與 Jominy 試棒相對應位置硬度之比較

銲接試片上以熱電偶線量測溫度之位

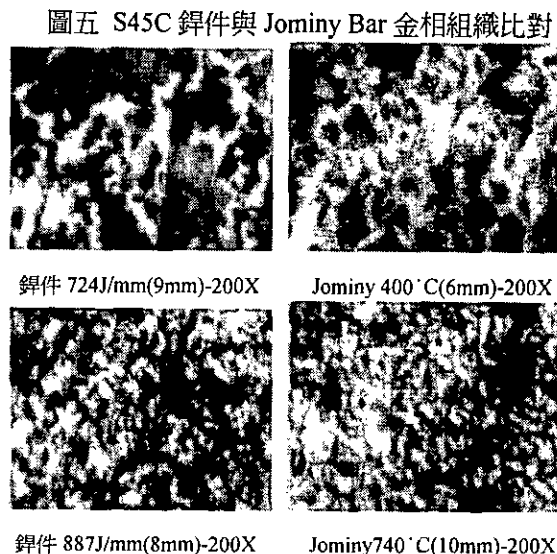
置上的加熱與冷卻過程，可在 Jominy End Quench 試棒找到相對應位置具有相似加熱 peak 溫度與冷卻速率之加熱與冷卻過程。表一所示銲接試片硬度值與 Jominy 試棒相對應位置硬度值之比較，硬度比值之平均值為 1.137，標準誤差為 0.153。此結果顯示銲接部位之硬度分佈可由其加熱 peak 溫度與冷卻速率和 Jominy 試棒相對應位置之硬度預估而得。

表一、銲接試片硬度與相對應 Jominy Bar 硬度值之比對

S45C 銲接試片 (110A, 28V, 37sec, 724J/mm)						
距銲件中線	9mm	10mm	12mm	13mm	15mm	16mm
Peak 溫度(°C)	549	525	472	453	422	424
冷卻速率 (@400°C/sec)	3.4	3.2	2.8	2.6	2.2	2.4
硬度(HVN)	209.8	217.4	216.4	214.5	211.3	210.1
Jominy 加熱溫度 (°C)	400	400	400	400	400	400
Jominy Bar 對應位置	6mm	6mm	6mm	6mm	3mm	3mm
硬度(HVN)	202.9	202.9	200.3	200.3	200.3	200.3
硬度比值	1.034	1.071	1.080	1.071	1.055	1.049

銲接試片金相組織與相對應 Jominy Bar 位置金相組織之比對

表一所比較之銲接部位與 Jominy End Quench 試棒相對應位置之金相組織，經相互比對，如圖五所示，吾人發現彼此亦相當類似。



銲接試片強度與其硬度分佈曲線之關係

圖三之 S45C 銲接試片硬度分佈曲線顯示銲接部位之硬度皆較母材部位之水平漸近線硬度值高，此表示母材強度小於銲接部位之強度。磨除 weld reinforcement 之銲接試片經拉伸試驗，將斷在母材部位。銲件之強度可由無限微元素串連之模式構想，由各微元素之硬度值來決定。S45C 銲接試片母材部位硬度值由圖三得知為 195HV_N，由硬度互換表²可換算為 186HBN。又由 HBN 可計算拉伸強度³：

$$\text{拉伸強度 (MPa)} \cong 3.45 \text{ HBN} \quad (2)$$

因此銲接試片強度可由母材之硬度 190HBN 和 Eq. (2) 計算出為 642 MPa。磨除 weld reinforcement 之 S45C 銲接試片經拉伸試驗發現皆斷在母材部位，並量得拉伸強度分別為 650 MPa (H=724 J/mm)、600 MPa (H=887 J/mm)、596 MPa (H=1102 J/mm)；計算值與實驗值相當吻合，誤差在百分之八以內。以不同銲接熱量輸入速率銲接之 S45C 試片強度並無顯著不同；因為如圖三所示銲接部位之硬度皆較母材部位之硬度值高。不過其中以 887 J/mm 熱量輸入速率銲接之銲接部位有較高之硬度。

銲接部位 peak 溫度與冷卻速率之計算

Eqs.(3)¹和(4)¹常用來計算 single-pass 銲接部位之 peak 溫度 T_p (°C) 與冷卻速率 R (°C/sec)：

$$1/(T_p - T_0) = 4.13 \rho C t Y / H_{net} + 1/(T_m - T_0) \quad (3)$$

$$R = 2\pi \kappa \rho C (t/H_{net})^2 (T_c - T_0) \quad (4)$$

T_0 = 銲前溫度 (°C)， T_m = 銲件熔點 (°C)， ρ = 密度 (g/mm³)， C = 比熱 (J/g.°C)， t = 銲件厚度 (mm)， $H_{net} = fEI/v$ ， f = 熱傳導效率， κ = 熱傳導係數 (J/mm.sec.°C)， T_c = 冷卻速率通過之溫度 (°C)。計算結果發現計算值與實驗量測值有不小之誤差。

結論

(一) 銲接部位在銲接過程之加熱冷卻所得金相組織與微硬度值之變化，本計劃驗證與經由 Jominy-End-Quench 熱處理相同加熱冷卻過程所產生之金相組織與微硬度值之變化一致。

(二) 本計劃也驗證 Single-Pass 銲件之強度可由無限微元素串連之模式構想，

由各微元素之硬度值來決定。銲接試片強度可由銲接試片硬度分佈曲線計算得來。

(三) 只要再能驗證銲接輸入熱量速率與銲接部位之加熱冷卻 (包括 peak 溫度與冷卻速率) 模式，就能簡單地從銲接輸入熱量速率預估銲接部位之 peak 溫度與冷卻速率，並從相對應之 Jominy End-Quench 熱處理所得之數據來預估銲接部位之微硬度值，進而預估銲件之強度。

四、計畫成果自評

(一) 本計畫原旨在探討銲接部位金相組織對銲件銲後殘留應力與銲件強度之影響。但因量測銲後殘留應力所需之量測儀器設備費未獲補助，本計劃乃將重點擺在對銲件強度之探討。

(二) 本計畫從熱傳、冶金、與應力分析三方面著手。在冶金分析方面，驗證了加熱/冷卻速率對銲接部位金相組織與微硬度值之影響。從而建立以 peak 溫度/冷卻速率預估銲接部位之金相組織與微硬度值之模式。此方面結果與原先預期目標相當吻合。

(三) 在應力分析方面，驗證 Single-Pass 銲件結構，可由無限微元素串連模擬，並由加熱/冷卻-金相組織-微硬度值之計算模式，計算各微元素硬度，進而計算銲件強度。此方面結果與原先預期目標相當吻合。

(四) 至於熱傳分析方面，因未能獲得電腦軟硬體設備費之補助，只能從事解析計算，而未能進行有限元素法分析。從現有計算公式，尚未找到能精確適用於銲接試片 peak 溫度與冷卻速率計算之公式。實為美中不足之處。

(五) 以不同銲接熱量輸入速率銲接之 S45C 試片強度並無顯著不同，因為銲件之銲接部位硬度皆較母材部位之硬度值高。

五、參考文獻

- [1] Welding Handbook, Vol. 1 Fundamentals of Welding, 7th Edition, American Welding Society, 1976.
- [2] Metals Handbook, Vol. 8 Mechanical Testing, 9th Edition, American Society for Metals, 1985.
- [3] William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering - An Introduction, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2000.