

橋樑結構用鋼高熔填率潛弧銲接(SAW)銲接製程技術研發

朱豐耀、李天謝

中鋼結構公司

摘要

本研究主要以潛弧銲接(SAW)A709Gr50 橋樑結構用鋼，探討高熔填率潛弧銲藥 KF550 搭配 KW-3HP 高熔填包藥銲線單極潛弧銲接(SAW)銲接製程技術開發。研究結果顯示以 16mm 鋼板不開槽銲接道數最快 1 道即可完成，最大入熱量達到 120kJ/cm；如使用傳統的作法開槽型式 50°V 型槽採用單極潛弧銲接製程需要 3 道次逐一熔填開槽的銲道銲接完成；且須達到無缺陷產生銲接性良好。因此，高熔填率潛弧銲材可使其鋼結構橋面板銲接在施工程序上增加生產效率，開發高熔填率 SAW 潛弧銲接的優點，主要是隨着世界潮流日新月異研發創新勢在必行，期許未來將引用至橋樑接板；以符合施工合約規範提高工作效率降低施工成本。

(1) 研究目標

- ※建立橋樑結構鋼板(A709Gr50, 16mm/t)高熔填率(SAW)銲接製程品質試驗及分析。
- ※高熔填率潛弧銲接品質達 UT 合格標準，銲道機械性質達抗拉強度標準值不得低於母材規定強度的範圍值 450-610MPA(46-62Kg/mm²)，側彎試驗試片表面的缺陷裂痕 <3.2mm，衝擊值 0°C >27J 及 Macro-etch 金相巨觀觀察分析。

(2) 研究成果

- ※符合鋼構銲接品質規範 AWS D1.1 的 UT 合格標準，且衝擊值為 0°C 高於 27J，及銲道機械性的合格需求。
- ※符合銲接 16mm 鋼板不開槽一道熔透，使用單極製程配合廣泰新開發銲材產品銲線(KW-3HP)配銲藥 KF-550 提高銲接效率僅需 1 道即可完成達成技術指標。

關鍵詞：橋樑結構用鋼、SAW、銲接道數、入熱量

一、前言：

(1)目前國內並無產製高熔填率鐳材，廠商普遍未應用或與聞之；方今絕大部份廠商應傳統 SAW 鐳材鐳接鋼構組件 16mm 鋼板需鐳至少 3 道，先進國家如德國、日本均創引應用高熔填率鐳材，普及應用於造船及鋼構產業，16mm 鋼板不用開槽，應用 SAW 可 1 道熔透。

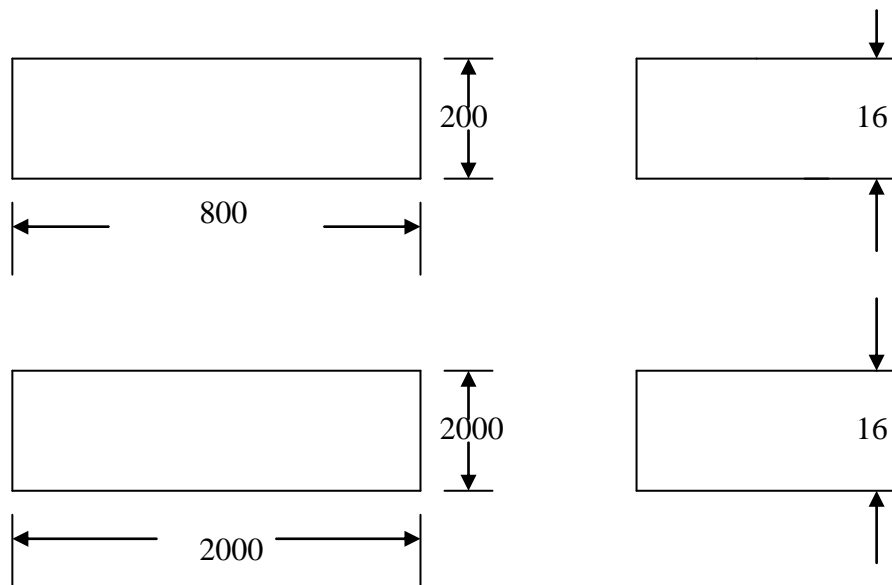
(2)高熔填率鐳材技術與(SAW)鐳接製程技術的開發，將可增加鐳道熔填效率，並建立鋼結構(SAW)潛弧鐳接製程相關的鐳接程序規範(WPS)及程序檢定記錄(PQR)資料，以降低操作成本及確保鐳接品質。

(3)本計畫由中鋼結構公司利用輕便型 LT-7 單電極潛弧鐳接設備配合完成鐳接製程作業，並由金屬工業研究發展中心進行鐳道品質相關試驗及分析，以作為鐳接製程開發的品質文件之依據。

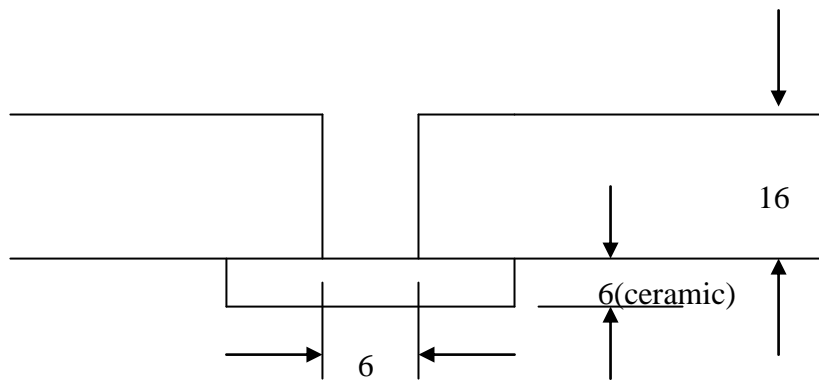
二、實驗方法

(1) 本研究目前採用之母材為中鋼公司所生產 A709Gr50 橋樑結構鋼，其尺寸利用液化石油氣體(LPG)與氧氣(O₂)配合使用自動切割機切割為 16mm×200mm×800mm 及 16mm×2000mm×2000mm 之規格如圖 1：

(2)



進行切割每組有 2 塊，其中 1 塊 800mm 長一邊不開槽另 1 塊 800mm 長亦一邊不開槽(詳圖所示)，其接頭型式規劃分別鐳接如圖 2：



採用銲線與銲藥，銲線部份由德國製品 Topcore 及廣泰金屬工業公司所生產 KW-3HP，銲藥部份由德國所生產產品編號為 ST-55 為國外貨與國內貨廣泰金屬工業公司所生產產品編號為 KF550；Topcore 直徑 3.2mm 與 ST-55 與 KW-3HP 3.2mm 與 KF550 填料金屬規範依據 AWS A5.17，填料金屬等級相當於 AWS F7A2-EM12K。

(3) 研究載具(箱型柱)

使用鋼板母材材質 A709Gr50 規格為 16mm×2000mm×2000mm 數量 2 塊，採用鋼板不開槽，依據計畫規範要求組合間隙 6mm 製作程序(1)先將鋼板母材利用 LPG 與 O2 配合使用自動切割機切割完成，(2)將鋼板吊運至組合區，將間隙留 10mm 然後貼上背襯板(3)將兩塊板對接間隙預留 6mm，(4)將陶瓷背襯帶貼緊銲道間隙，(5)再將鋼板扁鐵與母材點銲固定，(6)最後再加點銲兩端之端板。

(4) 評估方法

本研究採高熔填率 SAW 銲接，銲前將板材不預熱板厚 16mm，以 1 道完成，而且銲接過程中並利用鉤式電流量測電流、電壓及碼表量測銲道之銲接速度，下列根據入熱量公式計算：

Heat input 入熱量(KJ/cm) = A 電流 × V 電壓 × 60 / S 銲接速度(cm)

※ WPS-9-14 = 750 × 40 × 60 / 15 = 120KJ/cm (間隙 6mm) 使用國內廣泰銲材

※ WPS-10-1 = 850 × 34 × 60 / 20 = 87KJ/cm (間隙 4mm) 使用國外德國銲材

※ WPS-10-2 = 700 × 34 × 60 / 17.5 = 82KJ/cm (間隙 5mm) 使用國外德國銲材
其銲接參數如表 1 所示

WPS(16mm) 銲接參數表

表 1

WPS/道數 (pass)	銲接方法 (process)	填料金屬 (Filler Metals)		電流 (Current)		電壓 (Volts)	運行速度 (Travel speed) mm/min(in/min)
		等級 (class)	直徑 (diam)	極性 (Polarity)	安培 Amps(A)		
WPS-9-14 1	SAW	F7A2-EM12K	3.2mm	DC+	750	40	150(6)
WPS-10-1 1	SAW	F7A2-EM12K	3.2mm	DC+	850	34	200(8)
WPS-10-2 1	SAW	F7A2-EM12K	3.2mm	DC+	700	34	175(7)

試驗項目依據 AWS 規範進行試片加工衝擊(CVN)試片，其開槽位置選定鐸道中心再以拉床 V Notch 缺口開槽，試片於 0°C 鐸道衝擊試驗 (Impact Test) 其衝擊值取 27J(20ft-lb) 標準進行數據判定：

1. 5 塊中的最大值及最小值不列入計算。
2. 中間值的 3 塊，要有 2 塊 $\geq 20\text{ft-lb}$ ，另 1 塊要 $\geq 15\text{ft-lb}$ 。
3. 3 塊的平均值要 $\geq 20\text{ft-lb}$ 。

縮減斷面拉伸試驗：

(Reduced Section Tension Test) 於試驗前必須測量試片縮減斷面處的最小寬度和相應厚度，試片經拉力機至拉斷為止所得抗拉強度標準值不得低於母材的規定抗拉強度範圍的最低值；抗拉強度的計算方式如下：

$$\text{抗拉強度(Tensile Strength)} = P_u / A_0$$

P_u 為 M 點的最大荷重 A_0 為試片原始截面積

抗拉強度的單位為 N/mm^2 or Kg/mm^2 or Ksi

側彎試驗(Side Bend Test) 必須對已經彎曲試片凸面的表面缺陷進行目視檢測，合格試片表面的缺陷不得超過下列尺寸：

- (1) 表面任何方向瑕疵不得超過 $1/8"$ (3mm)。
- (2) 瑕疵總計每一最大尺寸 $1/8"$ (3mm)，但總數不得超過 $3/8"$ (10mm)。
- (3) 瑕疵隅角不得超過 $1/4"$ (6mm)，但有夾渣或熔合不良不得超過 $1/8"$ (3mm)。

巨觀腐蝕試驗(Macroetch Test) 必須使用適當的液體進行腐蝕使鐸道呈現清晰的輪廓標準判定經目視檢測評定合格的巨觀腐蝕試驗必須符合下列要求：

- (1) 無裂紋。
- (2) 相鄰鐸層之間及鐸道與母材之間完全熔合。
- (3) 無超過 $1/32"$ (1mm) 的鐸蝕。

三、結果與討論

- 3.1 高熔填率潛弧鐸接 SAW 製程開發採用鐸線與鐸藥，鐸線部份由德國製品 Topcore 及廣泰金屬工業公司所生產 KW-3HP，鐸藥部份由德國所生產產品編號為 ST-55 為國外貨與國內貨廣泰金屬工業公司所生產產品編號為 KF550；Topcore 直徑 3.2mm 與 ST-55 與 KW-3HP 3.2mm 與 KF550 填料金屬規範依據 AWS A5.17，填料金屬等級相當於 AWS F7A2-EM12K；

經 20 次測試試驗中由鐸接參數的設定至現場設備模擬作業條件施工取得最佳鐸接條件已同時建立鐸接程序書(WPS)以及鐸接程序品質紀錄書(PQR)，由此 20 次測試中得知試驗結果如下表所示：

16mm 銲接機械性試驗結果(表二)

試片代號	抗拉強度 (Mpa)		彎曲試驗 裂紋<3.2mm				衝擊值(0°C, >27J)					試驗結果	銲材/道數/銲日(98/99)
			OK	OK	OK	X							
WPS-9-1(A709/16mm)	561	554	OK	OK	OK	X	44	38	34	42	41	X: 破斷 NG	KF550*KW3HP/各 1/5/4
WPS-9-2(A709/16mm)	577	577	OK	OK	4. 2	OK	36	33	61	50	52	NG	KF550*KW3HP/各 1/5/5
WPS-10(A709/16mm)	577	575	OK	OK	OK	OK	76.6	61.5	88	100	69.2	PASS	KF550*Topcore/各 1/2/16
WPS-10-1(A709/16mm)	562	562	OK	OK	OK	OK	120	80	116	96	114	PASS	ST-55* Topcore / 1/5/15
WPS-10-2(A709/16mm)	575	572	OK	OK	OK	OK	142	146	118	144	119	PASS	ST-55* Topcore / 1/5/22
WPS-9-3(A709/16mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	滲透不足	KF550*KW3HP/1/7/15
WPS-9-4(A709/16mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	滲透不足	KF550*KW3HP/1/7/22
WPS-9-5(A709/16mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	銲冠過高	KF550*KW3HP/1/7/31
WPS-9-6(A709/16mm)	576	565	OK	OK	OK	OK	7.68	10.2 2	17.3 8	12.8 6	18.1 4	NG	KF550*KW3HP/1/8/11
WPS-9-7(A709/16mm)	576	76	OK	OK	×	×	27.6 8	19.8 5	22.6 3	13.7 5	10.5 6	NG	KF550*KW3HP/1/8/19
WPS-9-8(A709/16mm)	576	576	OK	OK	OK	OK	25.3 0	7.04	23.5 4	11.8 2	21.4 6	NG	KF550*KW3HP/1/8/21
WPS-9-9(A709/16mm)	570	567	OK	OK	OK	OK	31.1 2	24.7 7	27.1 5	26.4 3	23.2 3	NG	KF550*KW3HP/各 1/9/22
WPS-9-10(A709/16mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	銲冠過高	KF550*KW3HP/1/9/18
WPS-9-11(A709/25mm)	541	543	OK	OK	OK	OK	54.4 6	38.7 4	42.6 3	32.7 0	49.3 9	PASS	KF550*KW3HP/各 1/9/22
WPS-9-12(A709/16mm)	565	568	OK	OK	OK	OK	21.5	24.5	23.0	25.0	15.5	NG	KF550*KW3HP/1/11/25
WPS-9-13(A709/16mm)	602	564	OK	OK	OK	OK	27.5	33.0	27.0	23.0	25.5	NG	KF550*KW3HP/1/11/25
WPS-9-14(A709/16mm)	557	565	OK	OK	OK	OK	34.5	32.0	36.0	29.0	30.5	PASS	KF550*KW3HP/1/12/4
WPS-9-15(A709/16mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	滲透 不足	KF550*KW3HP/1/12/17

3.2 由上表得知試驗結果採用母材材質 A709Gr50 板厚 16mm 試驗編號 WPS-10-1 WPS-10-2 銲接材料使用德國 ST-55 銲藥 搭配德國 Topcore 直徑 3.2mm 銲線銲接 1 道完成及採用母材材質 A709Gr50 板厚 16mm 試驗編號 WPS-9-14 銲接材料使用廣泰 KF550 銲藥 搭配 廣泰 KW-3HP 直徑⁵3.2mm 銲線銲接 1 道；經機械性試驗結果合格。

範例：

16mm 銲接程序書(WPS)	表三，五，七
如下表所示	
16mm 銲接程序品質紀錄書(PQR)	表四，六，八
如下表所示	

預檢定銲接程序規範

表三

(PREQUALIFIED JOINT WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)

1.母材規範(Material specification)	ASTM A709Gr50		
2.銲接方法(Welding process)	SAW		
3.手動或機械(Manual or machine)	Machine		
4.銲接姿勢(Position of welding)	1G		
5.熔填金屬規範(Filler metal specification)	AWS A5.17		
6.熔填金屬等級(Filler metal classification)	AWS EM12K-F7A2		
7.銲藥(Flux)	-		
8.遮護氣體(Shielding gas)	-	流量(Flow rate)	-
9.單或多道(Single or multiple pass)	Single pass		
10.單或多極(Single or multiple arc)	Single arc		
11.銲接電流(Welding current)	DC		
12.極性(Polarity)	DCEP, -		
13.銲接進行方式(Welding progressing)	String		
14.根部處理(Root treatment)	Grind(Slag & Mill scale) or brush(Loose rust)		
15.預熱和層間溫度(Preheat and interpass temperature)	20-38mm=10°C(min) , 39-65mm=65°C (min) , 150°C (max)		
16.後熱處理(Postheat treatment)	-		

銲接程序(WELDING PROCEDURE)

銲道數 Pass no	銲條規格 Electrode size	銲接電流 Welding current		運行速度 TVS (in/min)	接頭詳圖 Joint detail (mm)
		安培 Amperes	伏特 Volts		
1	3.2mm	650-902 ±10%	35-41 ±7%	6-14 ±25%	

本程序依美國銲接協會 D1.1(2006 年版)結構銲接法規製作,其製作順序、組合方式、銲道規格等,可於該法規第 3 章節所載限制範圍內做適當變動。The procedure may vary due to fabrication sequence, fit-up, pass size, etc, within, the limitation of variables given in 3 of AWS D1.1(2004/year) Structural Welding Code.

程序編號(Procedure no) WPS-9-14 製造廠或協力廠(Manufacturer of contractor) F. Y. Chu
 修正編號(Revision no) _____ 品保部門(QA Department) Z. Y. Horng
 日期(Date) 98.12.4

銲接程序檢定試驗記錄

表四

(WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TEST RECORD)

程序規範(PROCEDURE SPECIFICATION)

1.母材規範(Material specification) A709Gr50
 2.銲接方法(Welding process) SAW
 3.手動或機械(Manual or machine) Machine
 4.銲接姿勢(Position of welding) 1G
 5.熔填金屬規範(Filler metal specification) AWS A5.17
 6.熔填金屬等級(Filler metal classification) EM12K(KW3HP)
 7.銲藥(Flux) F7A2 (KF550)
 8.遮護氣體(Shielding gas) - 流量(Flow rate) -
 9.單或多道(Single or multiple pass) Single pass
 10.單或多電極(Single or multiple arc) Single arc
 11.銲接電流(Welding current) DC+
 12.銲接進行方式(Welding progression) String
 13.預熱溫度(Preheat temperature) 30°C(常溫)
 14.後熱處理(Postheat treatment) -
 15.銲接者姓名(welder, s name) 康建仁
 16.無法於 AWS 歸類者(Has no AWS classification) -
 17.目視檢驗(VISUAL INSPECTION 9.25.1) -
 18.外觀(Appearance) No defect
 19.過熔低陷(銲蝕)(Undercut) none
 20.管狀氣孔(Piping porosity) none
 21.試驗日期(Test date) 98.12.04
 22.證明人(Witnessed by) Feng Yaw Chu

開槽銲接試驗結果

(GROOVE WELD TEST RESULTS)

拉力強度(N/mm²)

1. 557 , 565
 2.彎曲試驗(根彎 2 塊、面彎 2 塊或 4 塊側彎) -
 Guided-bend tests(2 root,2 face or 4 side-bend)
 側彎 side 側彎 side
 1. OK 3. OK
 2. OK 4. OK

放射線或超音波檢驗(Radiographic or Ultrasonic examination)

RT 報告編號(RT report no) -

UT 報告編號(UT report no) Acceptable

角銲試驗結果(FILLET WELD TEST RESULTS)

巨觀浸蝕多道 巨觀浸蝕單道
 銲接之最小尺寸 銲接之最大尺寸

(Minimum size multiple pass Macro-etch) (Maximum size single pass Macro-etch)

1. OK 3. OK 1. - 3. -
 2. OK 2. -

衝擊試驗(Impact tests) : OK

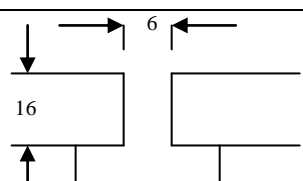
試片尺寸(Size of specimen) 10mm×10mm×55mm

試驗溫度(Test temp) 0°C

J: 34.5, 32.0, 36.0, 29.0, 30.5

實驗室試驗編號(Laboratory test no.) MTT85723-3

銲接程序(WELDING PROCEDURE)

銲道數 Pass no.	銲條規格 Electrode size	銲接電流 Welding current		運行速度 TVS	接頭詳圖 Joint detail
		安培 Ampers	伏特 Volts		
1(Side-A)	3.2mm	750	40	150 mm/min (6 in/min)	

茲簽證,此份報告之內容正確無誤,且其試體之準備銲接及試體之進行,係依據 AWS D1.1 與(2004 年版) 結構銲接法規第 4 章節之要求辦理。(We, the undersigned, certify that the statement in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirement of S.4 AWS D1.1(2004/year) Structural Welding code.

程序編號(Procedure no) PQR-9-14 製造廠或協力廠(Manufacturer of contractor) F. Y. Chu

修正編號(Revision no) _____ 品保部門(QA Department) Z. Y. Horng

日期(Date) 99.01.08

預檢定銲接程序規範

表五

(PREQUALIFIED JOINT WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)

1.母材規範(Material specification)	ASTM A709Gr50		
2.銲接方法(Welding process)	SAW		
3.手動或機械(Manual or machine)	Machine		
4.銲接姿勢(Position of welding)	1G		
5.熔填金屬規範(Filler metal specification)	AWS A5.17		
6.熔填金屬等級(Filler metal classification)	AWS EM12K-F7A2		
7.銲藥(Flux)	-		
8.遮護氣體(Shielding gas)	-	流量(Flow rate)	-
9.單或多道(Single or multiple pass)	Single pass		
10.單或多極(Single or multiple arc)	Single arc		
11.銲接電流(Welding current)	DC		
12.極性(Polarity)	DCEP, -		
13.銲接進行方式(Welding progressing)	String		
14.根部處理(Root treatment)	Grind(Slag & Mill scale) or brush(Loose rust)		
15.預熱和層間溫度(Preheat and interpass temperature)	20-38mm=10°C(min) , 39-65mm=65°C(min) , 150°C(max)		
16.後熱處理(Postheat treatment)	-		

銲接程序(WELDING PROCEDURE)

銲道數 Pass no	銲條規格 Electrode size	銲接電流 Welding current		運行速度 TVS (in/min)	接頭詳圖 Joint detail (mm)
		安培 Amperes	伏特 Volts		
1	3.0mm	630-770 ±10%	32-40 ±7%	6-18 ±25%	

本程序依美國銲接協會 D1.1(2004 年版)結構銲接法規製作,其製作順序、組合方式、銲道規格等,可於該法規第 3 章節所載限制範圍內做適當變動。The procedure may vary due to fabrication sequence,fit-up,pass size,etc,within,the limitation of variables given in 3 of AWS D1.1(2004/year)Structural Welding Code.

程序編號(Procedure no) WPS-10-1 製造廠或協力廠(Manufacturer of contractor) F. Y. Chu
 修正編號(Revision no) _____ 品保部門(QA Department) Z. Y. Horng
 日期(Date) 98.5.12

銲接程序檢定試驗記錄

表六

(WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TEST RECORD)

程序規範(PROCEDURE SPECIFICATION)

- 1. 母材規範(Material specification) A709Gr50
- 2. 銲接方法(Welding process) SAW
- 3. 手動或機械(Manual or machine) Machine
- 4. 銲接姿勢(Position of welding) 1G
- 5. 熔填金屬規範(Filler metal specification) AWS A5.17
- 6. 熔填金屬等級(Filler metal classification) EM12K(Topcore)
- 7. 銲藥(Flux) F7A2 (ST-55)
- 8. 遮護氣體(Shielding gas) - 流量(Flow rate) -
- 9. 單或多道(Single or multiple pass) Single pass
- 10. 單或多電極(Single or multiple arc) Single arc
- 11. 銲接電流(Welding current) DC+
- 12. 銲接進行方式(Welding progression) String
- 13. 預熱溫度(Preheat temperature) 30°C(常溫)
- 14. 後熱處理(Postheat treatment) -
- 15. 銲接者姓名(welder , s name) 曾榮裕
- 16. 無法於 AWS 歸類者(Has no AWS classification) -
- 17. 目視檢驗(VISUAL INSPECTION 9.25.1) -
- 18. 外觀(Appearance) No defect
- 19. 過熔低陷(銲蝕)(Undercut) none
- 20. 管狀氣孔(Piping porosity) none
- 21. 試驗日期(Test date) 98.05.15
- 22. 證明人(Witnessed by) Feng Yaw Chu

開槽銲接試驗結果

(GROOVE WELD TEST RESULTS)

拉力強度(N/mm2)

- 1. 562 , 562
- 2. 彎曲試驗(根彎 2 塊、面彎 2 塊或 4 塊側彎) -
Guided-bend tests(2 root,2 face or 4 side-bend)
- 側彎 side
- 1. OK 3. OK
- 2. OK 4. OK

放射線或超音波檢驗(Radiographic or Ultrasonic examination)

RT 報告編號(RT report no) -
UT 報告編號(UT report no) Acceptable

角銲試驗結果(FILLET WELD TEST RESULTS)

巨觀浸蝕多道 巨觀浸蝕單道
銲接之最小尺寸 銲接之最大尺寸
(Minimum size multiple (Maximum size single
pass Macro-etch) pass Macro-etch)

- 1. OK 3. OK 1. - 3. -
- 2. OK 2. -

衝擊試驗(Impact tests) : OK

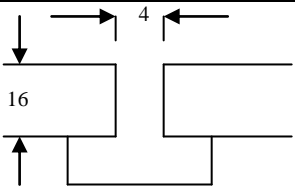
試片尺寸(Size of specimen) 10mm×10mm×55mm

試驗溫度(Test temp) 0°C

J: 120,80,116,96,114

實驗室試驗編號(Laboratory test no.) MTT83884-1

銲接程序(WELDING PROCEDURE)

銲道數 Pass no.	銲條規格 Electrode size	銲接電流 Welding current		運行速度 TVS	接頭詳圖 Joint detail
		安培 Ampers	伏特 Volts		
1(Side-A)	3.0mm	700-850	33-34	200 mm/min (8 in/min)	

茲簽證,此份報告之內容正確無誤,且其試體之準備銲接及試體之進行,係依據 AWS D1.1 與(2004 年版) 結構銲接法規第 4 章節之要求辦理。(We,the undersigned,certify that the statement in this record are correct and that the test welds were prepared , welded , and tested in accordance with the requirement of S.4 AWS D1.1(2004/year) Structural Welding code.

程序編號(Procedure no) PQR-10-1 製造廠或協力廠(Manufacturer of contractor) F . Y. Chu

修正編號(Revision no) _____ 品保部門(QA Department) Z. Y. Horng 日期(Date) 98.05.20

預檢定銲接程序規範

表七

(PREQUALIFIED JOINT WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)

1.母材規範(Material specification)	ASTM A709Gr50		
2.銲接方法(Welding process)	SAW		
3.手動或機械(Manual or machine)	Machine		
4.銲接姿勢(Position of welding)	1G		
5.熔填金屬規範(Filler metal specification)	AWS A5.17		
6.熔填金屬等級(Filler metal classification)	AWS EM12K-F7A2		
7.銲藥(Flux)	-		
8.遮護氣體(Shielding gas)	-	流量(Flow rate)	-
9.單或多道(Single or multiple pass)	Single pass		
10.單或多極(Single or multiple arc)	Single arc		
11.銲接電流(Welding current)	DC		
12.極性(Polarity)	DCEP, -		
13.銲接進行方式(Welding progressing)	String		
14.根部處理(Root treatment)	Grind(Slag & Mill scale) or brush(Loose rust)		
15.預熱和層間溫度(Preheat and interpass temperature)	20-38mm=10°C(min) , 39-65mm=65°C(min) , 150°C(max)		
16.後熱處理(Postheat treatment)	-		

銲接程序(WELDING PROCEDURE)

銲道數 Pass no	銲條規格 Electrode size	銲接電流 Welding current		運行速度 TVS (in/min)	接頭詳圖 Joint detail (mm)
		安培 Amperes	伏特 Volts		
1	3.0mm	630-770 ±10%	32-40 ±7%	6-18 ±25%	

本程序依美國銲接協會 D1.1(2004 年版)結構銲接法規製作,其製作順序、組合方式、銲道規格等,可於該法規第 3 章節所載限制範圍內做適當變動。The procedure may vary due to fabrication sequence,fit-up,pass size,etc,within,the limitation of variables given in 3 of AWS D1.1(2004/year)Structural Welding Code.

程序編號(Procedure no) WPS-10-2 製造廠或協力廠(Manufacturer of contractor) F. Y. Chu
 修正編號(Revision no) _____ 品保部門(QA Department) Z. Y. Horng
 日期(Date) 98.5.20

銲接程序檢定試驗記錄

表八

(WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TEST RECORD)

程序規範(PROCEDURE SPECIFICATION)

- 1. 母材規範(Material specification) A709Gr50
- 2. 銲接方法(Welding process) SAW
- 3. 手動或機械(Manual or machine) Machine
- 4. 銲接姿勢(Position of welding) 1G
- 5. 熔填金屬規範(Filler metal specification) AWS A5.17
- 6. 熔填金屬等級(Filler metal classification) EM12K(Topcore)
- 7. 銲藥(Flux) F7A2 (ST-55)
- 8. 遮護氣體(Shielding gas) - 流量(Flow rate) -
- 9. 單或多道(Single or multiple pass) Single pass
- 10. 單或多電極(Single or multiple arc) Single arc
- 11. 銲接電流(Welding current) DC+
- 12. 銲接進行方式(Welding progression) String
- 13. 預熱溫度(Preheat temperature) 30°C(常溫)
- 14. 後熱處理(Postheat treatment) -
- 15. 銲接者姓名(welder , s name) 曾榮裕
- 16. 無法於 AWS 歸類者(Has no AWS classification) -
- 17. 目視檢驗(VISUAL INSPECTION 9.25.1) -
- 18. 外觀(Appearance) No defect
- 19. 過熔低陷(銲蝕)(Undercut) none
- 20. 管狀氣孔(Piping porosity) none
- 21. 試驗日期(Test date) 98.05.22
- 22. 證明人(Witnessed by) Feng Yaw Chu

開槽銲接試驗結果

(GROOVE WELD TEST RESULTS)

拉力強度(N/mm2)

- 1. 575 , 572
 - 2. 彎曲試驗(根彎 2 塊、面彎 2 塊或 4 塊側彎) -
Guided-bend tests(2 root,2 face or 4 side-bend)
- | | |
|--------------|--------------|
| 側彎 side | 側彎 side |
| 1. <u>OK</u> | 3. <u>OK</u> |
| 2. <u>OK</u> | 4. <u>OK</u> |

放射線或超音波檢驗(Radiographic or Ultrasonic examination)

RT 報告編號(RT report no) -
UT 報告編號(UT report no) Acceptable

角銲試驗結果(FILLET WELD TEST RESULTS)

巨觀浸蝕多道 巨觀浸蝕單道
銲接之最小尺寸 銲接之最大尺寸
(Minimum size multiple (Maximum size single
pass Macro-etch) pass Macro-etch)

- | | | | |
|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 1. <u>OK</u> | 3. <u>OK</u> | 1. <u>-</u> | 3. <u>-</u> |
| 2. <u>OK</u> | | 2. <u>-</u> | |

衝擊試驗(Impact tests) : OK

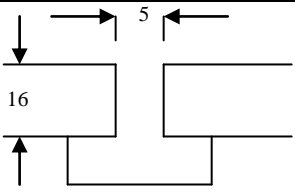
試片尺寸(Size of specimen) 10mm×10mm×55mm

試驗溫度(Test temp) 0°C

J: 142,146,118,144,119

實驗室試驗編號(Laboratory test no.) MTT83884-2

銲接程序(WELDING PROCEDURE)

銲道數 Pass no.	銲條規格 Electrode size	銲接電流 Welding current		運行速度 TVS	接頭詳圖 Joint detail
		安培 Amperes	伏特 Volts		
1(Side-A)	3.0mm	700	34	175 mm/min (7 in/min)	

茲簽證,此份報告之內容正確無誤,且其試體之準備銲接及試體之進行,係依據 AWS D1.1 與(2004 年版) 結構銲接法規第 4 章節之要求辦理。(We,the undersigned,certify that the statement in this record are correct and that the test welds were prepared , welded , and tested in accordance with the requirement of S.4 AWS D1.1(2004/year) Structural Welding code.

程序編號(Procedure no) PQR-10-2 製造廠或協力廠(Manufacturer of contractor) F . Y. Chu
修正編號(Revision no) _____ 品保部門(QA Department) Z. Y. Horng 日期(Date) 98.05.20

3.2 實際應用

(1)將廣泰研發出高熔填潛弧銲藥 KF550 搭配 KW-3HP 高熔填包藥銲線進行實際 16mm 板銲接，如圖 1 所示。傳統的單極潛弧銲接製程，需要銲接 3 道次逐一熔填開槽的空缺部份，此目標為降低至不開槽 1 道即可完成 16mm 板銲接，且其機械性質仍可符合 AWS A5.17 F7A2 的規範。圖 2，3，4 為 16mm 板銲接之銲道橫截面巨觀照片。

由圖可知，以高熔填潛弧銲藥 KF550 搭配 KW-3HP 包藥銲線銲接 16mm 板，其銲接道次為 1 道，且無缺陷產生。因此，高熔填潛弧銲材可使其鋼結構橋面板銲接在施工程序上增加生產效率。



載具試體銲接施工作業前外觀情形 圖 1

WPS-9-14 Macro-etch 如下：



WPS 9-14 16 mm 銲道橫截面巨觀圖 2



WPS 9-14 16 mm 銲道橫截面巨觀圖 3



WPS 9-14 16 mm 銲道橫截面巨觀圖 4

(2)載具高熔填 Butt Joint 對接實際應用

本載具製作為規格為 16mm×2000mm×2000mm 1 組重達 1 噸經製作成型，使用廣泰新開發鐳材 KW-3HP 鐳線配 KF550 鐳藥鐳接使用參數比照 WPS-9-14 鐳接 1 道完成施工作業情形及成品構件照片詳如附



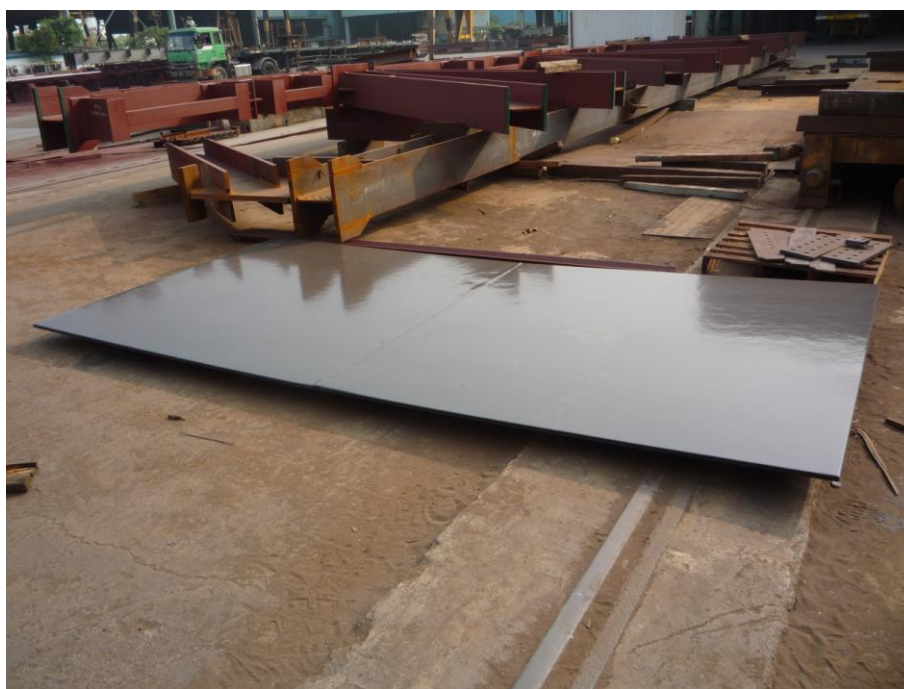
載具試體鐳接施工作業中情形



載具試體銲接施工作業中情形



載具試體待塗裝施工作業中情形



載具試體待塗裝施工作業後外觀情形

四、指標與成果檢驗與驗證

(1) 建立橋樑結構鋼板(A709Gr50, 16mm/t)高熔填率(SAW) 銲接製程品質試驗及分析與金屬工業研究發展中心合作。

由委託金屬工業研究發展中心製作銲接機械性能測試及金相分析報告中顯示研究開發使用銲藥國外貨試片編號 WPS-10-1、WPS-10-2(16mm)與使用銲藥國內貨試片編號 WPS-9-14(16mm)機械性質試驗結果均合格，詳附金屬工業研究發展中心製作銲接機械性能測試及金相分析報告。

(2) 高熔填率(SAW)潛弧銲接品質達 UT 合格標準，銲道機械性質達抗拉強度標準值不得低於母材規定強度的範圍值 450-610MPA(46-62Kg/mm²)，側彎試驗試片表面的缺陷裂痕<3.2mm，衝擊值 0°C>27J 及 Macro-etch 金相巨觀觀察分析。

① 詳附 WPS-9-14(16mm) 及 WPS-10-1(16mm)、WPS-10-2(16mm)、載具成品構件(16mm)之超音波檢測(UT)合格報告。

② 詳附合格 WPS-9-14、WPS-10-1、WPS-10-2, 含 PQR 試驗報告。

五、結論(最後歸納成果)

(1) 研究成果

※符合鋼構銲接品質規範 AWS D1.1 的 UT 合格標準，且衝擊值為 0°C 高於 27J，及銲道機械性的合格需求。

※符合銲接道數預期 16mm 鋼板開槽 60° 依據 AWS D1.1 規範接頭型式 B-L2c-S 原採單極 SAW 由正面 Side A 銲 2 道，背面剷除(BACKGOUGE)再銲 2 道，後開發使用單極製程鋼板不開槽配合廣泰新開發銲材產品銲線(KW-3HP) 配銲藥 KF-550 提高銲接效率僅需 1 道即可完成達成技術指標。

(2) 針對銲接製程機械性質進行探討結論如下：

1. 經由多次試驗 16mm 銲接道數 1 道即可完成經機械性質測試合格，入熱量達到國內貨使用 120KJ/cm 比國外貨使用 87&82KJ/cm 使用大，主要是間隙 Root opening 加大造成銲接參數變化之故。詳如下比較：

WPS-9-14=750×40×60/15=120KJ/cm(間隙 6mm)使用國內廣泰銲材

WPS-10-1=850×34×60/20=87KJ/cm(間隙 4mm) 使用國外德國鐸材

WPS-10-2=700×34×60/17.5=82KJ/cm(間隙 5mm) 使用國外德國鐸材

2. 16mm 接頭採不開槽方式施工作業確實非常困難起初使用銅背襯試用不同之間隙結果試片很多全部皆全滲透不足，後來經商討後才改為陶瓷背襯比照國外貨德國作法逐漸試用國內貨改善鐸接性及機械性加強研發改善鐸材成份及製程參數，將完成此重大之任務。

3. 開發高熔填率 SAW 潛弧鐸接的優點，主要是隨着世界潮流日新月異研發創新勢在必行，此套鋼結構產業高值化研發聯盟技術研發，期許未來將可引用至橋樑接板以符合施工合約規範提高工作效率降低施工成本。

六、感謝經濟部技術處給予本計畫「鋼結構產業高值化技術研發計畫-計畫編號：97-EC-17-A-05-11-014」補助研究經費，使其新產品可順利開發完成。

七、參考文獻

- 1.American Welding Society(Structural Welding Core-Steel ，AWS DI.1/D1.1M:2006)
- 2.American Society of Mechanical Engineers(2001 ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE, ASME Part C)
- 3.CHINA STEEL CORPORATION 產品手冊