

高效率鋼結構潛弧銲製程與 專用銲材開發研究

廣泰金屬工業股份有限公司◆范志銘、張家銘、楊明翰、邱玉琇

中國鋼鐵結構股份有限公司◆朱豐耀

摘要

近年來環保意識與節能減碳意識抬頭，本研究擬針對鋼結構用鋼板銲接開發出高效率潛弧銲製程與專用銲材。針對16mm厚橋樑用鋼板銲接以高熔填潛弧銲材以單道銲接可完全滲透為目標，分別於包藥潛弧銲線與潛弧銲藥加入活性劑來做探討。而針對大於16mm厚板，則以添加約30%鐵粉於銲粉中來提高銲接熔填量，並搭配四極潛弧銲製程以達到減少銲接道次。實驗結果顯示，以高熔填潛弧銲藥KF-550HP搭配高熔填潛弧包藥銲線KFW-HP進行16mm厚板單道銲接可完全熔透。鐵粉系KF-660潛弧銲藥搭配KW-3可從傳統雙極潛弧銲的22~25道減少至12至13道。此外，此兩種銲材熔金成份與銲道機械性質皆能符合AWS A5.17 F7A2的規範。因此，對於16mm厚板可用高熔填潛弧銲材進行單道銲接完成，而針對80mm超厚板銲接則可使用鐵粉系四極潛弧銲藥來減半銲接道次。

關鍵詞：節能減碳、潛弧銲製程、高效率銲接、機械性質

一、前言

「節能減碳」已是目前全球性重大問題之一，過去十餘年來，台灣溫室氣體排放的成長速率幾乎為世界之冠，2006年的溫室氣體排放量是1990年時的2.4倍。除了颱風、豪雨、乾旱，以及日漸加劇的高溫效應等大地反撲的威脅之外，產業型態以外銷為導向的台灣，還將因環境議題而面臨國際社會的重大壓力，並有可能在全球的氣候新經濟中慘遭淘汰，因此各產業也積極尋求減少電力使用量與降低CO₂氣體排放量的方案來為地球抗暖化盡一份心力[1]。

銲接產業其實是高耗能、高碳排放量的產業，故近年來的產學研究也開始朝有效減少二氧化碳的使用量與節省電力來開發新的環保綠色銲製程。例如摩擦攪拌銲製程[2]、自遮護銲材銲與渣型包藥銲線製程等。摩擦攪拌銲製程與自遮護銲材銲均可不外加CO₂等保護性氣體，然而成熟的摩擦攪拌銲製程大都適用於較低熔點銅合金、鋁合金與鋁鎂合金，對高熔點的鋼鐵材料接合仍處於無法量產的階段；自遮護銲材則有成

本較高及銲接噴濺物與煙塵量較多的問題[3]。因此對銲接品質較重要的結構體施工目前仍大多採用渣型包藥銲線製程。

許多鋼結構體是採用潛弧銲製程來進行施工。銲接時透過高溫電弧來熔融鋪在工件上的潛弧銲藥，使其熔融流動並均勻的懸浮覆蓋在高溫熔融的銲道上，可以隔絕空氣以防止氧化與氣孔的產生，銲接後工件表面的銲道上會殘留一層逐漸冷卻凝固的玻璃質銲渣[4]，故潛弧銲製程不需要使用CO₂等氣體作為保護性氣體。潛弧銲製程自動化高，且單位時間的熔填效率也是所有銲製程中最高的製程，相對節省的電量也是最高的。潛弧銲製程所使用的銲藥是以粉碎之天然礦物混合、造粒及燒結製成。而銲接後產生之銲渣往往被當成固體廢棄物，透過掩埋法予以處理。近年來歐洲與日本開始興起環保製程，針於銲渣回收再利用，亦有文獻探討其可靠度與再利用次數的銲接性[5]。因此潛弧銲製程對鋼鐵材料接合為最具環保優勢的製程，對鋼結構產業也是不可或缺的主要製程。

鋼結構可分為廠房鋼結構、大樓鋼結構、橋

樑鋼結構、鐵塔鋼結構與其他金屬建築結構及組件等五大類產品。鋼結構是應用型鋼、鋼管及鋼板等鋼材，經加工、鐸接、組立及安裝後建造成之工程結構。鋼結構具備施工快速、耐震、跨距大與回收容易等優點，是近年來具有競爭優勢的環保綠色材料。而鋼結構與鋼筋水泥相較，由於鋼結構可幾乎100%回收、再生與重複使用，是目前全球普遍認同可以達到減碳的「綠建築」。

由於鋼筋水泥建築物比鋼結構便宜20%，導致國內鋼結構的使用比例一直無法大幅提升。但若透過適當的研發與推廣以提高鋼結構的使用比例，不僅可改善鋼結構產業因產能過剩所造成的競價狀態，還可為國人提供更安全的居住環境。提高鋼結構競爭力的方法有二：一是降低鋼結構生產成本，二是提高鋼結構性能與價值。目前鋼結構生產成本偏高的原因是由於國內之鋼結構設計沿襲日本，大量採用組合型鋼，和美國習慣使用熱軋型鋼之生產方式有很大的差異。組合型鋼之原料是鋼板，鋼板依施工設計以火焰切割方式，裁成所需尺寸形狀，經由大量鐸接程序組成所需之型鋼，故鋼結構主要的加工程序為切割與鐸接。其中切割大多為自動化設備進行，切割速度快；但鐸接需考量鐸接後鋼板的機械強度，與防止鐸接缺陷的產生，施工速度較慢，為鋼結構廠生產的主要瓶頸，同時也是鋼結構廠生產成本中的主要支出。

一般鋼結構鋼板會預先開槽，單邊30~60°V型槽、單邊60°V型槽、或U型槽等，主要的原因是由於潛弧鐸的鐸道熔深淺，無法有效達到穿透效果，導致潛弧鐸施工時需要逐一填滿開槽的空缺部分，並達到足夠的熔透，以確保具有足夠的機械強度。

若要降低鋼結構生產成本就必須從降低鐸材使用量與施工時間著手，故如能開發具足夠熔透力之高熔填的鐸材來達到降低鐸材使用量與施工時間。高熔填的鐸材能有效提升熔深效果，減少開槽角度，而預留適當縫隙時亦可降低鐸材使用量，同時減少鐸接道次，達到降低人力工時與節省電力成份。

近年來學者著力於研究鐸接高熔深的理論[6-8]與專利[9]，但極少文獻針對於鋼結構鐸接製程用的潛弧鐸材研究熔深現象。而對於厚板大於80mm的鐸接程序，若用傳統的單極潛弧鐸接製程，需要重複45~50道次來逐一填滿開槽的空缺部分，如此不僅曠日廢時，且多次鐸接會影響鐸接機械性質。故增加潛弧鐸接製程的電極數量即可達到減少重複鐸接道次的數量，當選用雙極時即可縮減至22~25道。若要降低鋼結構生產成本就必須從降低鐸材使用量與施工時間著手。近年來一些研究鐸接四極潛弧鐸接製程的文獻[10, 11]陸續被發表出來，四極潛弧鐸接製程如圖1所示。但極少文獻研究鋼結構鐸接製程用的高熔填量的鐵粉系鐸材再配合四極潛弧鐸接製程。

故本研究擬先針對16mm厚橋樑結構用鋼板開發具有高熔深特性之高熔填鐸接材料，以潛弧鐸接製程鐸覆於ASTM A36基材上，並將此鐸道進行截面熔深的分析、成份與機械性質分析。最後並將此鐸材實際於應用在16mm厚板對接測試。

同時針於超高大樓用80mm厚板鐸接，進行開發具高熔填量的鐵粉系鐸材再配合四極潛弧鐸接製程來達到降低鐸材使用量與施工時間的目的。因此本研究擬先開發添加約30%鐵粉且可配合四極潛弧鐸接製程專用的鐸接材料，以潛弧鐸接製程鐸覆於ASTM A36基材上，並將此鐸道進行截面潤濕角的分析、成份與機械性質分析。

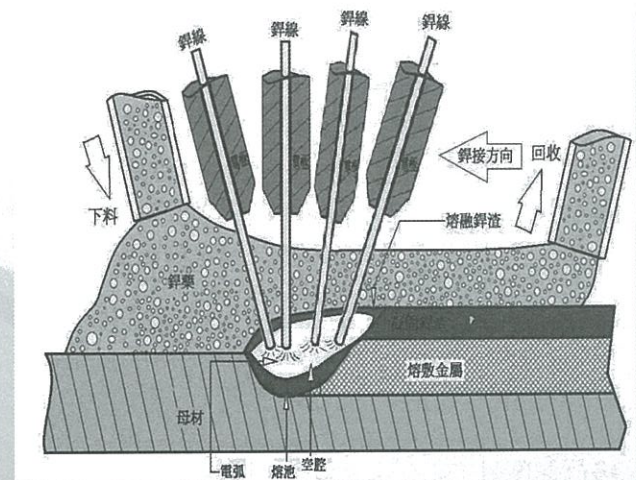


圖1 四極潛弧鐸接製程示意圖

二、實驗方法

2.1 高效率潛弧銲材搭配

本研究分別對16mm厚板與80mm超厚板進行其銲接性質分析，包括銲道橫截面熔深與潤溼性、成份分析以及機械性質。其銲材組合分為傳統鋼結構用潛弧銲材(T0)、高熔填潛弧銲材(A1、A2)與鐵粉系四極潛弧銲材(B1、B2)。高熔深潛弧銲材A1為高熔深潛弧銲藥KF-550HP搭配一般KW-3實心銲線(線徑 Φ 4.0 mm)；A2為高熔深潛弧銲藥KF-550HP搭配高熔深潛弧KFW-HP包藥銲線(線徑 Φ 4.0 mm)。鐵粉系四極潛弧銲材B1為廣泰研發之鐵粉系四極潛弧銲藥KF-660搭配KW-3實心銲線(線徑 Φ 4.0 mm)；B2為日本新日鐵之鐵粉系四極潛弧銲藥NSH-60加上KW-3實心銲線(線徑 Φ 4.0 mm)。

表1 銲材組合

銲材組合	潛弧銲藥	潛弧銲線
傳統鋼結構用潛弧銲材		
T0	KF-550	KW-3
高熔填潛弧銲材		
A1	KF-550HP	KW-3
A2	KF-550HP	KFW-HP
鐵粉系四極潛弧銲材		
B1	KF-660	KW-3
B2	NSH-60	KW-3

2.2 銲道橫截面熔深與潤溼性分析

本研究利用表2之潛弧銲接參數以平銲製作試片。取其銲道之橫截面，經SiC砂紙研磨與 Al_2O_3 拋光，以5%Nital進行腐蝕後，進行銲道熔深與潤溼性分析。其銲道橫截面示意圖如圖2所示，W為銲道寬、D為熔深及 θ 為潤溼角。

表2 潛弧銲接參數

銲接方式	高熔填單道銲接	鐵粉系四極銲接
電流(A)	450	600
電壓(V)	30	30
移行速度(cm/min)	50	60

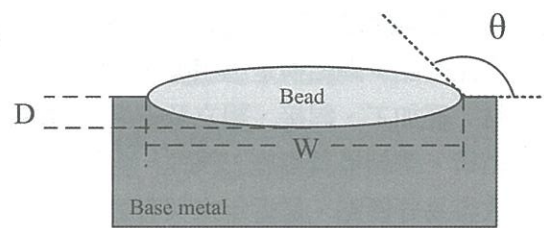


圖2 銲道橫截面示意圖

2.3 銲道熔金成份分析

本研究所使用的母材為厚度20mm的母材，銲接設備為ESAB LAE-1250型潛弧銲機，利用表2之潛弧銲接參數製作銲接態試片，每一銲接條件各製作試片三片，其銲接態試片尺寸如圖3所示。銲道熔金成份利用型號：SPECTRO LABLAVFC10A之分光分析儀進行成份分析，其分光分析儀原理如圖4所示。

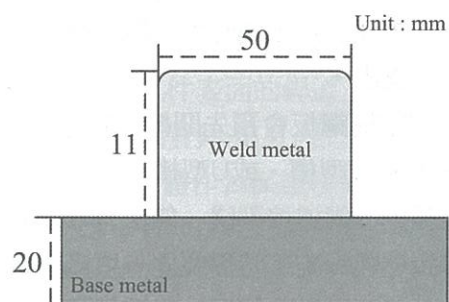
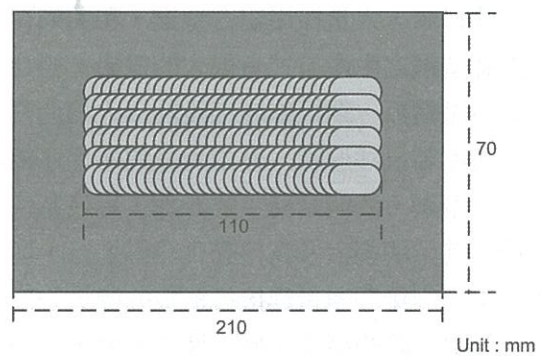


圖3 銲接態試片尺寸示意圖

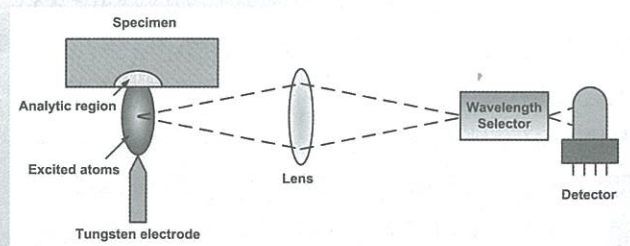


圖4 分光分析儀原理

2.4 銲接機械性質分析

以碳鋼A36母材組立銲接試板，以半自動銲接方式在銲接試板上銲接。銲接後以電漿切割機切下翼板，並以精密車床車削試片成標準拉伸試片。試片再以20公噸萬能試驗機分析其抗拉強度與延伸率；製作5片衝擊片以衝擊試驗機來分析其衝擊韌性。其試片尺寸與試片取樣位置，如圖5所示。

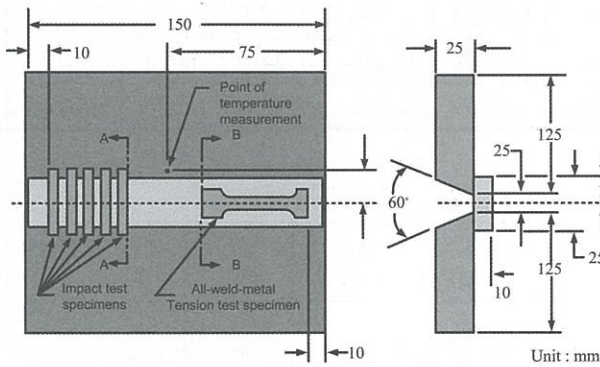


圖5 機械性質尺寸示意圖

銲道熔深如圖6(c)所示。圖8顯示銲道深寬比變化情形，由圖可知KF-550HP搭配KFW-HP可得最大深寬比約0.37，而傳統銲材只有0.15。使用實心銲線搭配KF-550HP銲藥時，深度的增加量是傳統的35%，KFW-HP銲線搭配KF-550HP銲藥時也有熔深增加的效果，約增加70%。顯示透過高熔填銲粉與高熔填銲線的共同作用下有熔深穿透力加倍的效果。

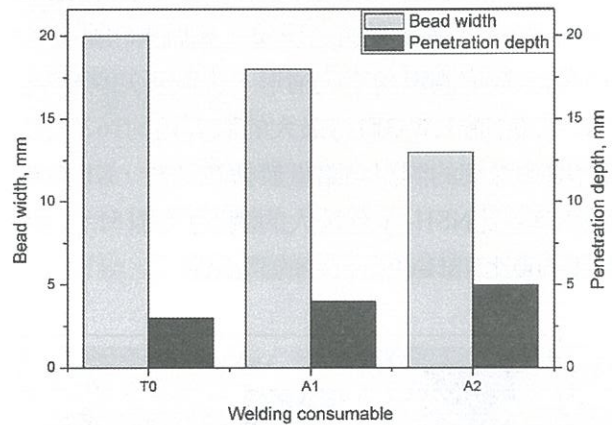


圖7 銲道寬度與深度變化情形

三、結果與討論

3.1 銲道熔深現象分析

三種銲材組合分別在A36鋼板上以表2條件銲接一道，取其銲道截面，經研磨至#1200後，腐蝕出銲道熔深。結果如圖2所示，量測其銲道之寬度與深度，計算出深寬比。圖6顯示三種銲材組合之銲道熔深情形，圖7顯示銲道寬度與深度變化情形。傳統銲材的銲道最寬且熔深最淺，改換高熔填銲藥KF-550HP後，熔深明顯增加。再高熔填銲藥加上高熔填銲線KFW-HP後可得最深之

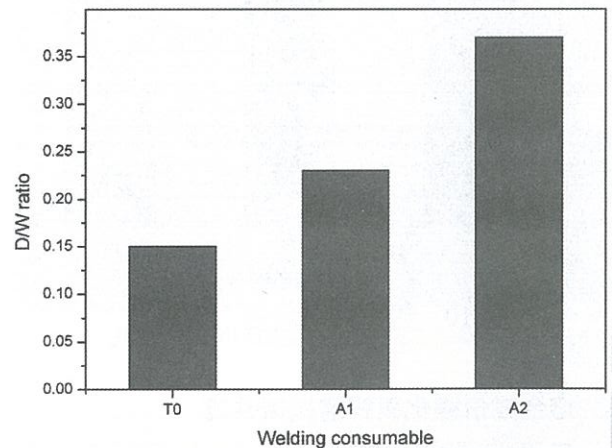


圖8 銲道深寬比變化情形

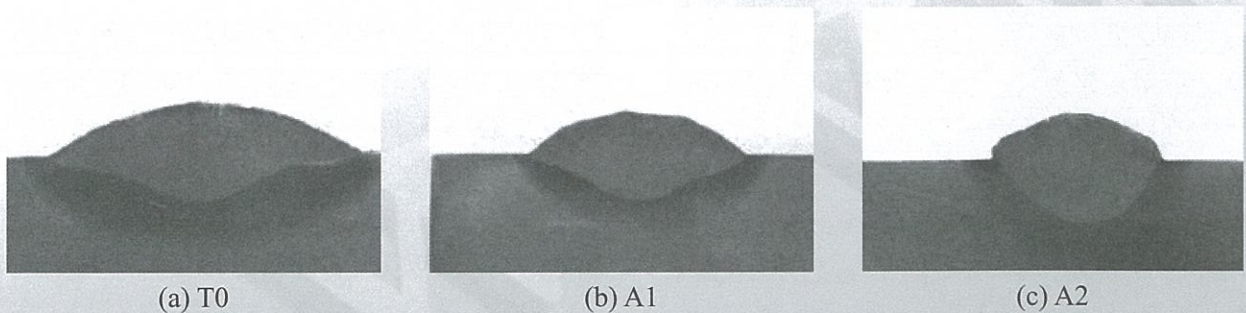


圖6 高熔填潛弧銲材之銲道橫截面

3.2 鐸道潤濕現象分析

兩種鐸材組合分別在A36鋼板上以表2條件鐸接一道，取其鐸道截面，經研磨至#1200後，腐蝕出鐸道熔深。結果如圖2所示，量測其鐸道之潤濕角。圖9顯示三種鐸材組合之鐸道潤濕情形，圖10顯示鐸道潤濕角變化情形。傳統鐸材KF-550的鐸道最寬且鐸冠高度小，改換鐵粉系四極潛弧鐸藥KF-660後，鐸道寬度與鐸冠高度明顯增加，改換鐵粉系四極潛弧鐸藥NSH-60後發現鐸道縮小與鐸冠高度增加之現象，如圖9(c)所示。圖10顯示鐸道潤濕角變化情形，由圖可知傳統鐸材KF-550搭配KW-3可得最大的潤濕角約162°，而高熔填率鐸藥的潤濕角略低於傳統鐸材，KF-660搭配KW-3比NSH-60有較大的潤濕角約151°，顯示KF-660比NSH-60有較好的潤濕性。

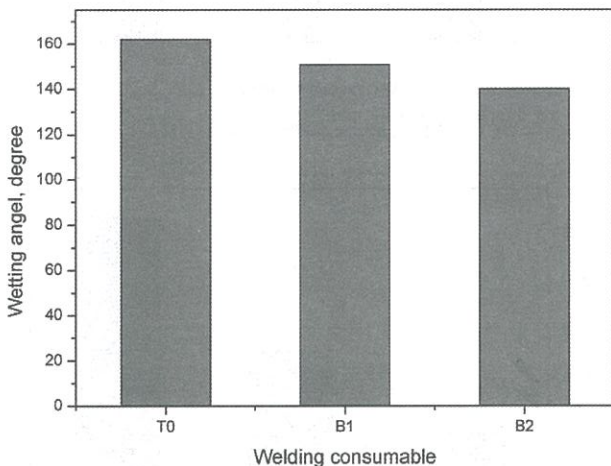


圖10 鐸道潤濕角變化情形

3.3 熔金成份變化與鐸道機械性質

表3顯示潛弧鐸接熔金成份，使用高熔填鐸藥KF-550HP或高熔填鐸線KFW-HP並無影響其熔金化學成份，如A1與A2與傳統鋼結構用潛弧鐸材T0之成份差異不大。而使用鐵粉系四極潛弧鐸藥，B1與B2相較傳統鐸材T0亦無任何影響。

表4顯示鐸道拉伸強度、延伸率與-29°C時衝擊值的變化，使用高熔填鐸藥KF-550HP (A1)及高熔填鐸線KFW-HP (A2)會微幅提升鐸道拉伸強度及微幅降低延伸率與衝擊值，但拉伸強度、降低延伸率與衝擊值皆符合AWS A5.17 F7A2的規範

。對於使用鐵粉系四極潛弧鐸藥，可從表4得知KF-660 (B1)比NSH-60 (B2)有較好的衝擊值性能，但其拉伸強度、延伸率與-29°C時衝擊值亦符合AWS A5.17 F7A2的規範。

表3 熔金成份變化

成份	C	Si	Mn	P	S
T0	0.0748	0.212	1.256	0.026	0.0167
A1	0.0752	0.280	1.275	0.025	0.0170
A2	0.0763	0.250	1.260	0.021	0.0166
B1	0.0779	0.254	1.240	0.021	0.0171
B2	0.0709	0.275	1.248	0.023	0.0163

表4 潛弧鐸接機械性質

	T.S. (MPa)	Y.S. (MPa)	EL (%)	-29°C 衝擊值 (J)
AWS A.5.17 F7A2	480~560	400	22	60
T0	540	450	30	70
A1	548	452	27	68
A2	555	455	26	65
B1	510	430	28	77
B2	547	445	27	69

3.4 實際應用

將廣泰研發出之高熔填鐸藥KF-550HP以及高熔填包藥鐸線KFW-HP進行實際16mm厚板單道鐸接，如圖11所示。其目標為鐸接單道可完全滲透16mm厚板且其機械性質可符合AWS A5.17 F7A2的規範。圖12為16mm厚板單道鐸接之鐸道橫截面巨觀照片。由圖可知，以高熔填鐸藥KF-550HP搭配高熔填包藥鐸線KFW-HP可完全滲透16mm厚板，且無缺陷產生。故此高熔填鐸材可增加其鋼結構厚板鐸接之施工程序上增加其生產效率。

將廣泰研發出之鐵粉系四極潛弧鐸藥KF-660搭配KW-3實心鐸線進行實際80mm超厚板鐸接，如圖13所示。傳統的雙極潛弧鐸接製程，需要重複22~25道次來逐一填滿開槽的空缺部

分，此目標為降低至13道即可完成80mm超厚板銲接，且其機械性質仍可符合AWS A5.17 F7A2的規範。圖14為80mm超厚板銲接之銲道橫截面巨觀照片。由圖可知，以鐵粉系四極潛弧銲藥KF-660搭配KW-3實心銲線銲接80mm超厚板，其銲接道次為13道，且無缺陷產生。因此，鐵粉系四極潛弧銲材可增加其鋼結構超厚板銲接之施工程序上增加其生產效率。

三、結 論

藉由開發出高效率之潛弧銲材對鋼結構業可降低銲材使用量與施工時間。針對16mm厚度以下鋼板銲接，如16mm橋樑用鋼板。高熔填的銲材能提升銲材的熔深效果，減少開槽角度，能減少銲接道次之數目，達到降低人力工時與節省電

力使用量。而對於超過26mm厚鋼板，如80mm超高大樓用鋼板，則可考慮以具高熔填量的鐵粉系銲材再配合四極潛弧銲接製程來達到降低銲材使用量與施工時間的目的。

四、誌 謝

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-I1-014」補助研究經費，使此新產品可順利開發完成。

五、參考文獻

- 林志森，“節能省電救地球”，新自然主義股份有限公司，第1-5頁，1996。
- 吳明修、吳隆佃、謝興達、許宏旭，“運用工業

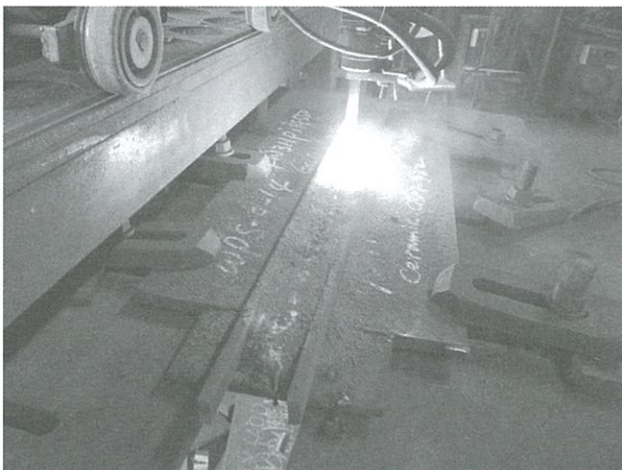


圖11 16mm厚板單道銲接實際狀況

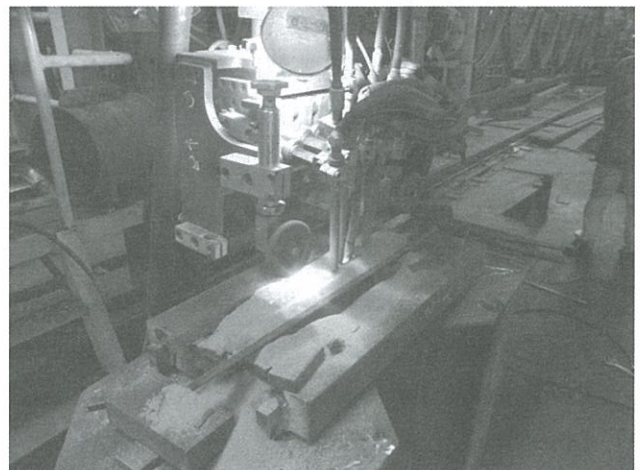


圖13 80mm超厚板銲接實際狀況

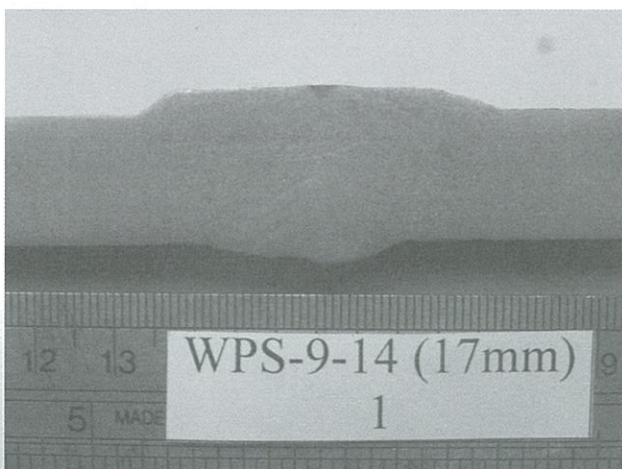


圖12 16mm厚板單道銲接之銲道橫截面巨觀

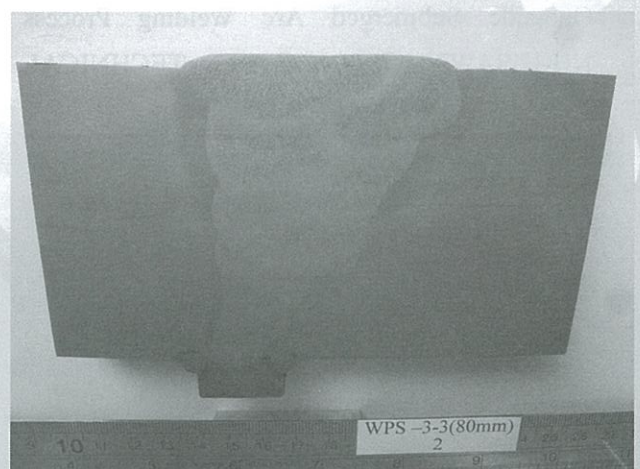


圖14 80mm超厚板銲接之銲道橫截面巨觀

- 機器人之三維曲面摩擦攪拌銲接技術研究”，銲接與切割，第18卷，第2期，第44-48頁，2008。
3. 喻萍、薛錦、潘川，“自保護藥芯焊絲與氣保護藥芯焊絲的比較”，銲接技術，第33卷，第1期，第44-45頁，2004。
 4. 陳永甦，“銲接學”，文京圖書有限公司，第120頁，1992。
 5. H.P. Beck and A.R. Jackson, Recycling SAW Slag Proves Reliable and Repeatable, Welding Journal, vol. 75, pp. 51-54, 1996.
 6. 黃和悅、徐享文、周長彬，“A-TIG銲接製程技術開發”，銲接與切割，第14卷，第2期，第14-22頁，2004。
 7. 黃和悅、曾光宏、徐享文、楊宗杰、周長彬，“不鏽鋼電弧銲用助銲劑專利介紹”，銲接與切割，第16卷，第1期，第32-34頁，2006。
 8. 曾光宏、黃和悅、徐享文、蔡豐灝、周長彬，“SAE 1020低碳鋼A-TIG銲道熱裂研究”，銲接與切割，第18卷，第2期，第71-75頁，2008。
 9. 曾光宏、黃和悅、曾信哲，“碳鋼銲接用助銲劑”，專利，2008，專利證書編號：I295605。
 10. Z. Baba, M. Nagashima, M. Nakanishi, N. Kataumoto, K. Kawai, “Four-wire Submerged Arc Welding Process with DC-AC Power Combination for Production of High Toughness Line Pipe”, Transaction ISIJ, vol. 26, p.373-378, 1986.
 11. S. Oyama, T. Kasuya, K. Shinada, “High-speed One-side Submerged Arc Welding Process NH-HISAW”, NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 95, pp.17-21, 2007.