

鋼結構高熔填潛弧銲材開發與熔深性質研究

*范志銘¹、林海梁¹、張家銘¹、李佩蓉²

¹廣泰金屬工業股份有限公司、²國立成功大學材料科學與工程學系

近年來環保意識與節能減碳意識抬頭，本研究擬開發環保高熔填潛弧銲材，藉使用高熔填潛弧銲材來提高銲道熔深，以達到減少銲接道次，進而節省電力使用量，加上銲接時不必外加CO₂氣體，可以充分達到節能減碳的目的。研究中設計三種銲材組合，包括KF 550 + KW3、KF 550HP+KW3與KF 550HP+ KFW HP，以探討銲道截面熔深現象、熔金成分的影響與銲接機械性質的影響。實驗結果顯示，傳統銲材之銲道淺實心銲線與高熔填銲線搭配高熔深銲藥時可增加銲道熔深，高熔填銲線搭配高熔深銲藥時有最大銲道深寬比約0.37。三種組合之熔金成分相差不多，顯示高熔深銲藥或高熔深銲線對熔金成分影響不大，銲道機械性質皆能符合AWS A5.17的規定。

關鍵詞：節能減碳、潛弧銲製程、銲道熔深、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是世界之冠，二零零六年的溫室氣體排放量是一九九零年時的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]。

然而銲接產業其實是高耗能、高碳排放量的產業，因此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。

此外，許多結構體是採用潛弧銲製程來施工。銲接時透過高溫電弧來熔融銲藥，使其流動覆蓋在高溫熔融的銲道上，銲接後表面的銲道上遺留高溫熔融後並逐漸冷卻凝固的玻璃質銲渣，

可以隔絕空氣以防止氧化與氣孔的產生[4]，因此不需要使用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、燒結製成。然而這些使用過之銲渣往往被當成固體廢棄物，再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，銲渣回收再利用也開始有文獻探討其可靠度與再利用次數的銲接性[5]。因此潛弧銲製程是所有銲製程中對鋼鐵材料接合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。潛弧銲製程示意圖如圖1所示。

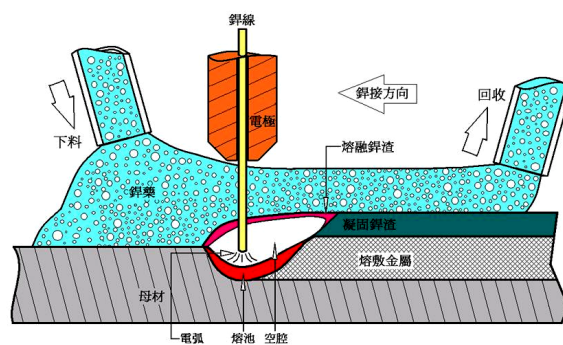


圖1 潛弧銲製程示意圖

所謂鋼結構又細分廠房鋼結構、大樓鋼結構、橋樑鋼結構、鐵塔鋼結構、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、鋼板等鋼材，經加工、銲接、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(綠建築)。鋼結構與鋼筋水泥相比較下，鋼結構因可以幾乎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」。

然而，因為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高。因此若能透過適當的研發與推廣以提高鋼結構的使用比例，不但能改善鋼結構產業因產能過剩所形成的殺價競爭狀態，還可以為國人提供更安全的居住環境與更完善的生活品質。

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，大量採用組合金鋼，和美國習慣使用熱軋型鋼之生產方式有很大的差異。組合金鋼之原料是鋼板，鋼板依施工設計以火焰切割方式，裁成所需要之尺寸形狀，經由大量銲接程序組合成所需之型鋼，所以鋼結構主要的加工程序為切割與銲接。其中切割大多以自動化設備進行，切割速度快；但銲接需考量銲接後鋼板的機械強度，以及防止銲接缺陷的生成，因此速度較慢，也成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。

一般鋼結構鋼板在銲接前通常會事先開槽，單邊30~60°V型槽，單邊60°V型槽，或U型槽等，主要的原因是因為潛弧銲的銲道熔深淺，無法有效達到穿透效果，導致潛弧銲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銲材使用量與施工時間來思考，因此本研究擬開發具足夠熔透力之高熔填的銲材來達到降低銲材使用量與施工時間。高熔填的銲材能提升銲材的熔深效果，也能減少開槽角度，甚至預留適當縫隙時可降低銲材使用量，同時也能減少銲接道次之數目，達到降低人工工時與節省電力使用量的目的。

近年來許多國內學者也開始研究銲接高熔深的理論[6、7、8]與專利[9]，然而罕有針對於鋼結構銲接製程用的潛弧銲材研究熔深現象的文獻，

因此本研究擬先開發高熔深之高熔填銲接材料，以潛弧銲製程銲覆於ASTM A36基材上，並將此銲道進行截面熔深的分析、成分與機械性質分析。

二、實驗方法

本研究首先針對實心銲線KW3 ϕ 4.0mm與包藥銲線KFW HP ϕ 4.0mm(銲線成份符合EM12K)，配合使用傳統銲藥KF 550與具高熔深特性的銲藥KF 550HP的銲道截面熔深現象作分析，銲材組合如表1所示，其次分析不同銲材組合對熔金成分的影響，第三則針對不同銲材組合進行銲接機械性質的影響。

表1 銲材組合

	銲材組合
A	KF 550 + KW3 ϕ 4.8mm
B	KF 550HP+KW3 ϕ 4.8mm
C	KF 550HP+ KFW HP ϕ 4.8mm

2.1 銲道橫截面熔深試片

本研究首先針對實心銲線或包藥銲線的銲道截面熔深現象作分析，利用表2之潛弧銲接參數製作銲接態試片，銲道截面熔深尺寸示意圖如圖2所示。

表2 潛弧銲接條件參數

	銲接參數
銲接方法	SAW DC+
電流	450A
電壓	30V
移行速度	50cm/min

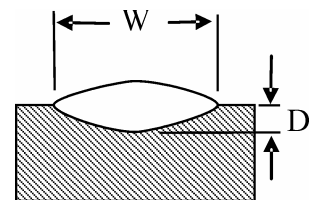


圖2 銲道截面熔深尺寸示意圖

2.2 銲道熔金成分分析

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，每一銲接銲條

件各製作試片三片，銲接態試片尺寸如圖3所示。
 銲道熔金成分利用型號：SPECTRO LABLAVFC10A
 之分光分析儀進行成分分析，如圖4所示。

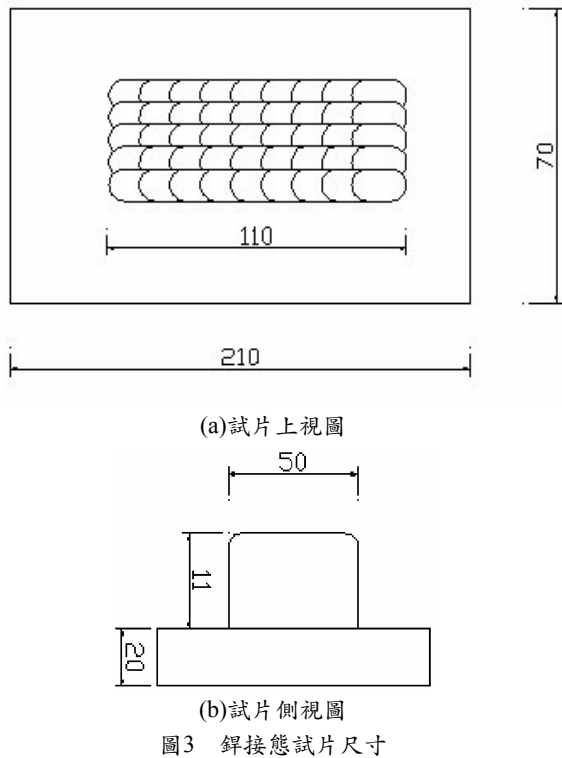


圖4 分光分析儀

2.3 銲接機械性質分析

先以碳鋼A36母材組立銲接試板，如圖5示意圖所示。以半自動銲接方式在銲接試板上銲接拉伸試片。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，如圖6所示。試片再以20公噸萬能試驗機分析其拉伸機械性質，製作5片衝擊片以衝擊試驗機來分析。20公噸萬能試驗機與衝擊試驗機如圖7與圖8所示。

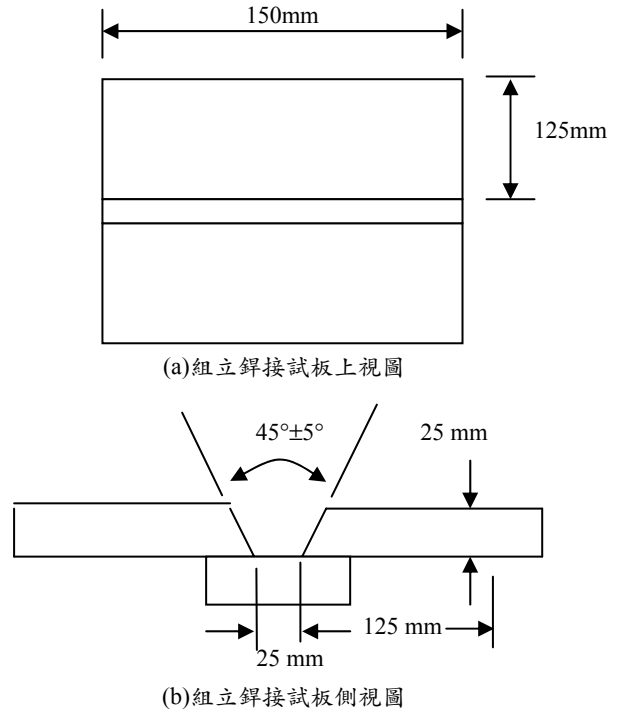


圖5 拉伸試片組立銲接試板尺寸示意圖

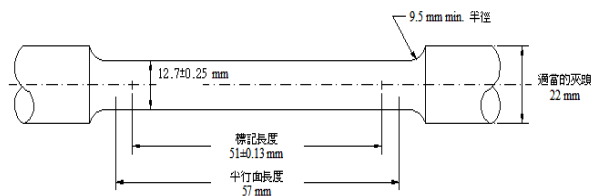


圖6 拉伸試片尺寸示意圖



圖7 萬能拉伸試驗設備圖

三、結果與討論

3.1 銲道熔深現象分析



圖8 衝擊試驗設備圖

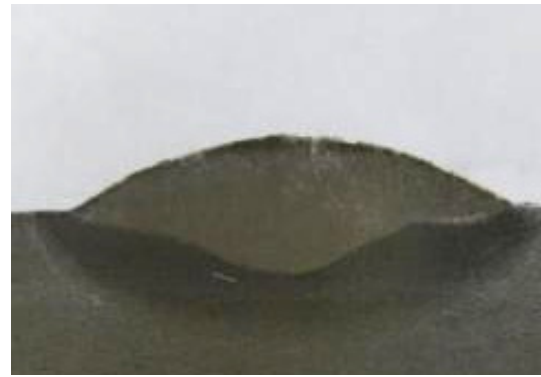
三種銲材組合分別在20mm厚的A36鋼板上以表2條件銲接一道，取其銲道截面，經研磨至#1200後，腐蝕出銲道熔深。如圖2所示量測其銲道之寬度與深度，計算出深寬比。

圖9顯示三種銲材組合之銲道熔深情形，圖10與圖11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，改換高熔深銲藥KF 550HP後，熔深明顯增加，改換高熔深銲線KFW HP後可得最深之銲道熔深如圖9(c)所示。

圖12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。圖13顯示銲道深寬增加率變化，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%。顯示透過高熔深銲粉與高熔深銲線的共同作用下有熔深穿透力加倍的效果。

3.2 熔金成分變化與銲道機械性質

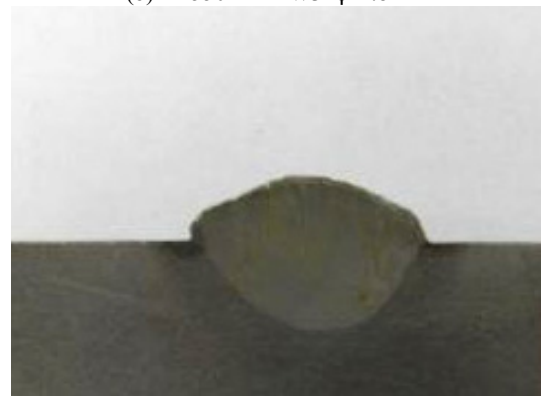
表3顯示潛弧銲接熔金成分，使用高熔深銲藥KF 550HP或高熔深銲線KFW HP對熔金成分影響不大。圖14、圖15與圖16顯示銲道拉伸強度、延伸率與-29°C時衝擊值的變化，使用高熔深銲藥KF 550HP及高熔深銲線KFW HP會微幅提升銲道拉伸強度及微幅降低延伸率與衝擊值，但拉伸強度、降低延伸率與衝擊值皆符合AWS A5.17 F7A2的規定。



(a)KF 550 + KW3 φ 4.8mm



(b)KF 550HP+KW3 φ 4.8mm



(c)KF 550HP+KFW HP φ 4.8mm

圖9 三種銲材組合之銲道熔深

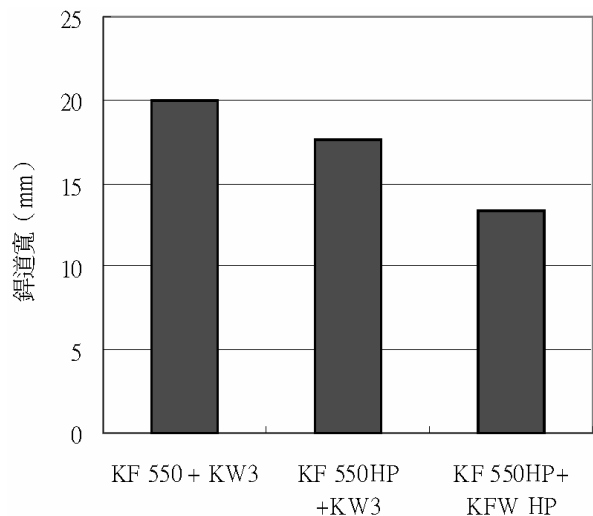


圖10 銲道寬度變化

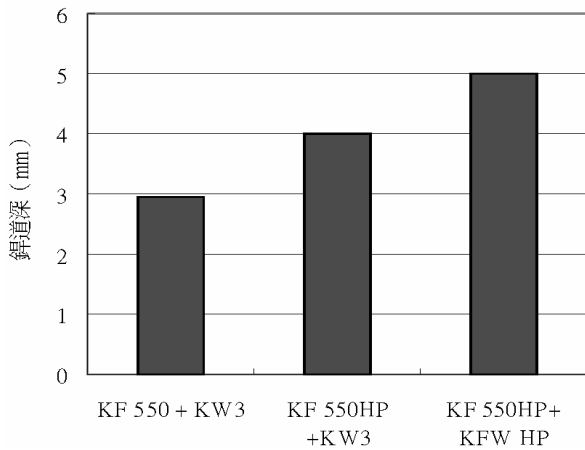


圖11 銲道深度變化

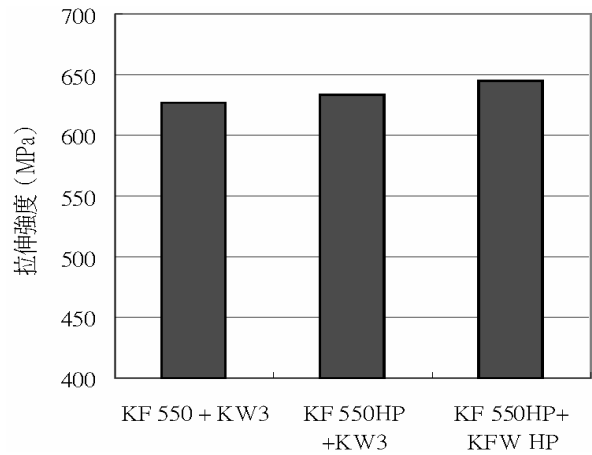


圖14 銲道拉伸強度變化

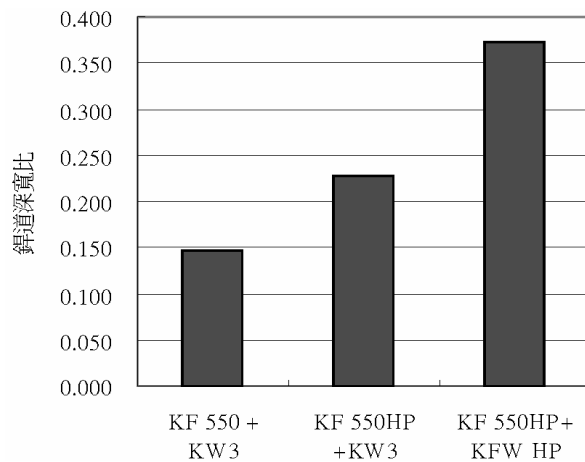


圖12 銲道深寬比變化

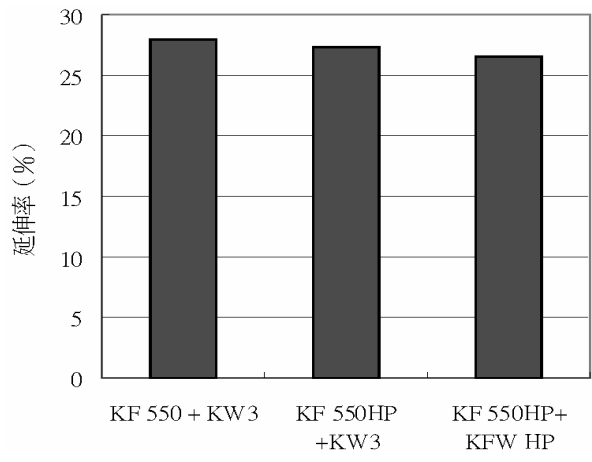


圖15 銲道延伸率變化

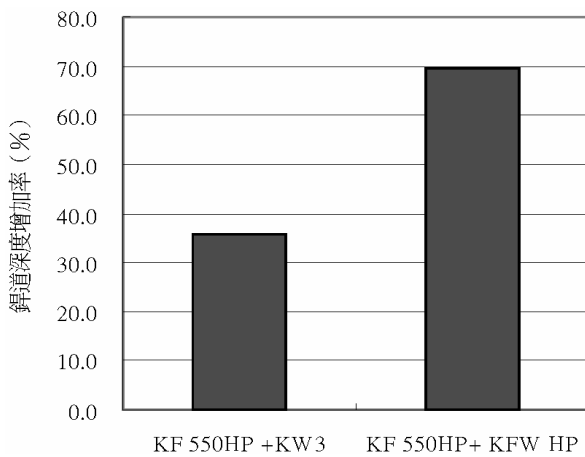


圖13 銲道深寬增加率變化

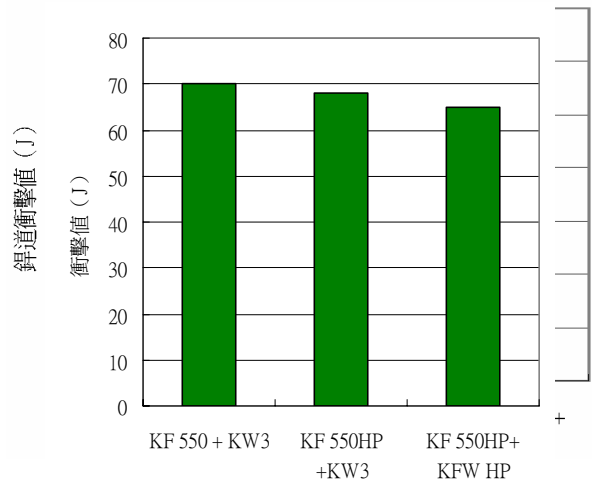


表3 潛弧銲接熔金成分

	C	Si	Mn	P	S
KF 550 + KW3	0.0748	0.712	1.956	0.0268	0.0167
KF 550HP + KW3	0.0752	0.680	1.975	0.0257	0.0170
KF 550HP + KFW HP	0.0763	0.650	1.960	0.0212	0.0166

四、結 論

1. 傳統銲材之銲道淺實心銲線與高熔填銲線搭配高熔深銲藥時可增加銲道熔深，高熔填銲線搭配高熔深銲藥時有最大銲道深寬比約0.37。
2. 三種組合之熔金成分相差不多，顯示高熔深銲藥或高熔深銲線對熔金成分影響不大。

3.三種組合之鐸道機械性質皆能符合AWS A5.17的規定。

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。

參考文獻

- 1.林志森,“節能省電救地球”,新自然主義股份有限公司,1996,p.1-5
- 2.吳明修,吳隆佃,謝興達,許宏旭“運用工業機器人之三維曲面摩擦攪拌鐸接技術研究”,鐸接與切割,第18卷,第2期,2008,p.44-48
- 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”,鐸接技術,第33卷,第1期,2004,p.44-45
- 4.陳永甦,鐸接學,文京圖書有限公司,1992,p.120.
- 5.H. P. Beck and A. R. Jackson, Recycling SAW Slag Proves Reliable and Repeatable, Welding Journal, 1996, p.51~54.
- 6.黃和悅、徐享文、周長彬,“A-TIG 鐸接製程技術開發”,鐸接與切割,第14卷,第2期,2004,p.14-22
- 7.黃和悅、曾光宏、徐享文、楊宗杰、周長彬,“不鏽鋼電弧鐸用助鐸劑專利介紹”,鐸接與切割,第16卷,第1期,2006,p.32-34
- 8.曾光宏、黃和悅、徐享文、蔡豐灝、周長彬,“SAE 1020低碳鋼A-TIG鐸道熱裂研究”,鐸接與切割,第18卷,第2期,2008,p.71-75
- 9.曾光宏、黃和悅、曾信哲,“碳鋼鐸接用助鐸劑”,專利,2008,專利證書編號：I295605。