

# MAG 製程參數對熱軋低碳鋼銲道特性影響

曾光宏\* 范哲維

國立屏東科技大學材料工程系

\*Email: tkh@mail.npust.edu.tw

## 摘要

本研究主要探討MAG製程參數對熱軋低碳鋼板銲道外觀與銲道形態影響，且完整建立其銲接適用板厚對應之電壓-電流應用參數資料。實驗材料選用板厚 2 mm之JIS G3131 熱軋低碳鋼，銲接方法採用MAG製程進行bead-on-plate實驗，保護氣體採用 70%Ar-30%CO<sub>2</sub>混合氣體。實驗結果顯示當銲接電壓維持定值時，提高銲接電流可有效提高銲道熔深。當銲接電流為維持值時，提高銲接電壓將提高銲道寬度、降低銲冠高度。綜合本實驗結果可得知，板厚 2 mm之JIS G3131 熱軋低碳鋼MAG製程可銲區相對應銲接電壓為 21~22V、銲接電流為 120~140A。

**關鍵字：**MAG 銲接、製程參數、銲道特性、熱軋鋼、可銲區。

## 1. 前言

氣護金屬線電弧銲接(Gas Metal Arc Welding, GMAW)係使用送線馬達連續等速送進銲線，與待銲工件間產生之電弧作為熱源藉以熔融銲線、工件，進而達成接合目的之製程技術[1-3]。由於氣護金屬線電弧銲接之銲線供應係採連續送進，因此其和手工電弧銲接相較能獲得更快之銲接速度，可說是自動化工業生產習用之高效率銲接技術[4,5]。此外為獲致高品質銲道，其需採用外加氣體作為電弧介質且保護銲滴、熔融金屬及銲接高溫金屬以防止大氣危害物質成分影響。氣護金屬線電弧銲接因保護氣體組成不同而有不同製程分類，使用 100% 惰性氣體稱為金屬惰氣電弧銲接(Metal Inert Gas Welding, MIG Welding)；使用惰性氣體混合少量活性氣體者稱為金屬活性氣體銲接(Metal Active Gas Welding, MAG Welding)；使用 100% 二氧化碳者稱為CO<sub>2</sub>銲接(CO<sub>2</sub> Welding)。氬氣與氮氣等惰性氣體雖可有效保護高溫熔融金屬，然對鋼鐵材料之銲接作業並不完全適用。若將惰性氣體混合某一成份比例之活性氣體則可有效改善電弧特性，且可獲致銲接作業中期望之銲滴傳遞模式。根據文獻資料顯示[6-8]，不同比例之混合氣體組成將顯著影響熔銲電弧特性、銲滴傳遞模式及銲道幾何形態等，進而影響銲接品質。

MAG 銲接之保護氣體組成為氬氣與二氧化碳，而其銲機電源則為直流定電壓式，即銲接電壓可預先設定且對應銲接電流為一範圍。其中定電壓式電源特性為當銲接弧長(銲接電壓)稍微改變時，將造成銲接電流相當大之變化，進而適時改變其送線速度，如此將可自動增快或減少銲線熔化速率以穩定銲接弧長。MAG 銲接主要製程參數有銲接電流、銲接電壓、銲接走速、銲線尺寸及保護氣體組成比例等，而此製程參數間之相互影響皆會顯著影響銲接品質[9-13]。由此可知，欲獲得良好 MAG 銲接品質，需深入了解其製程參數間之影響行為及其作用機制。本研究除了藉由實驗研究方式，探討 MAG 製程參數對 JIS G3131 熱軋低碳鋼銲道之表面外觀與幾何形態影響外，亦完整建立 JIS G3131 熱軋低碳鋼銲接適用板厚對應之電壓-電流應用參數資料，所獲研究結果期望能對銲接工業界有實用參考價值。

## 2. 實驗方法

### 2.1 實驗材料

實驗材料選用 JIS G3131 熱軋低碳鋼(其化學成份如表 1 所示)，鋼板尺寸為 100×60×2 mm。在進行 MAG 銲接實驗前，先將鋼板表面欲銲接位置處之氧化物與油污利用#400 碳化矽砂紙予以研磨清除，再輔以丙酮清潔乾淨。

### 2.2 MAG 銲接實驗

實驗設備採用盛全股份有限公司新式開發之微電腦數位脈衝式AMIG 350P銲機，銲接方法採用MAG製程進行bead-on-plate實驗。其中銲線材料採用直徑 1 mm之AWS ER70S-6 (其化學成份如表 2 所示)，保護氣體採用 70%Ar-30%CO<sub>2</sub>混合氣體，氣體流量為 25 liter/min，其他製程參數如表 3 所示。

表 1 JIS G3131 熱軋低碳鋼化學成份(wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.05	0.01	0.29	0.017	0.004

表2 AWS ER70S-6 銲線化學成份(wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.07	0.86	1.51	0.015	0.018

表3 MAG 銲接製程參數

銲線伸出長度	銲接速度	銲接電流	銲接電壓
15 mm	500 mm/min	100~140A	21~23V

### 2.3 金相實驗

為研究 MAG 銲接參數對熱軋低碳鋼銲道形態影響，在銲後截取銲道橫截面進行金相實驗。實驗步驟為先取樣與切取試片，經熱鑲埋後以碳化矽砂紙研磨至#1200，再用氧化鋁粉拋光至 0.05  $\mu\text{m}$ ，經拋光完成後之試片，以酒精清洗乾淨並用吹風機吹乾，最後將試片腐蝕並採用實體顯微鏡拍照觀察，以進行銲道形態量測工作。銲道形態量測設備採用 Olympus SZ61TR 實體顯微鏡。在腐蝕方面，本實驗係採用 10% 草酸水溶液進行電解腐蝕。如圖 1 所示為銲道幾何形態量測示意圖，其中 W 為銲道寬度；D 為銲道熔深；R 為銲冠高度。

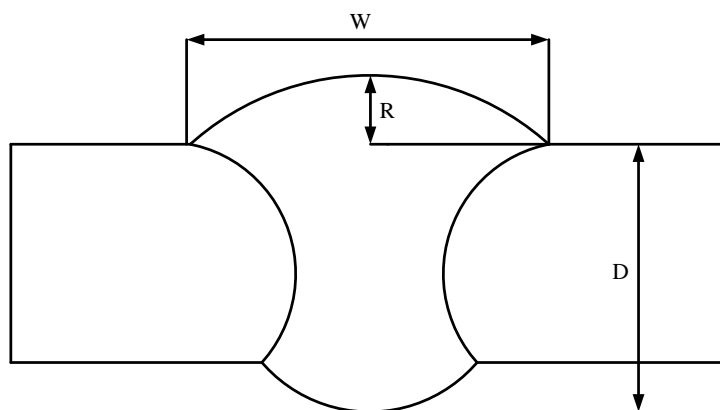


圖 1 銲道幾何形態

## 3. 結果與討論

### 3.1 MAG 銲接電流對熱軋低碳鋼銲道外觀及其形態影響

如圖 2 所示為固定銲接電壓為 21V、22V 及 23V、改變 MAG 銲接電流對熱軋低碳鋼銲道外觀影響。當銲接電壓為 21V 且銲接電流低於 140A 時，銲道表面平整、銲濺物較少(如圖 2a、2b、2c、2d 及 2e 所示)，然當銲接電流為 150A 時，銲道表面產生裂縫缺陷(如圖 2f 所示)；當銲接電壓為 22V 且銲接電流低於 120A 時，銲道表面平整、銲濺物較少(如圖 2g、2h、2i 所示)，然當銲接電流高於 130A 時，將產生較多銲濺物(如圖 2j 所示)；當銲接電壓為 23V 且銲接電流為 100A 時，銲道表面平整、銲濺物較少(如圖 2k 所示)，然當銲接電流為 110A 時，將產生較多銲濺物(如圖 2l 所示)。由此實驗結果可得知，銲接電流高低取決銲線直徑大小，當提高銲接電流時，若銲線尺寸未適度增加，則將產生較多銲濺物。

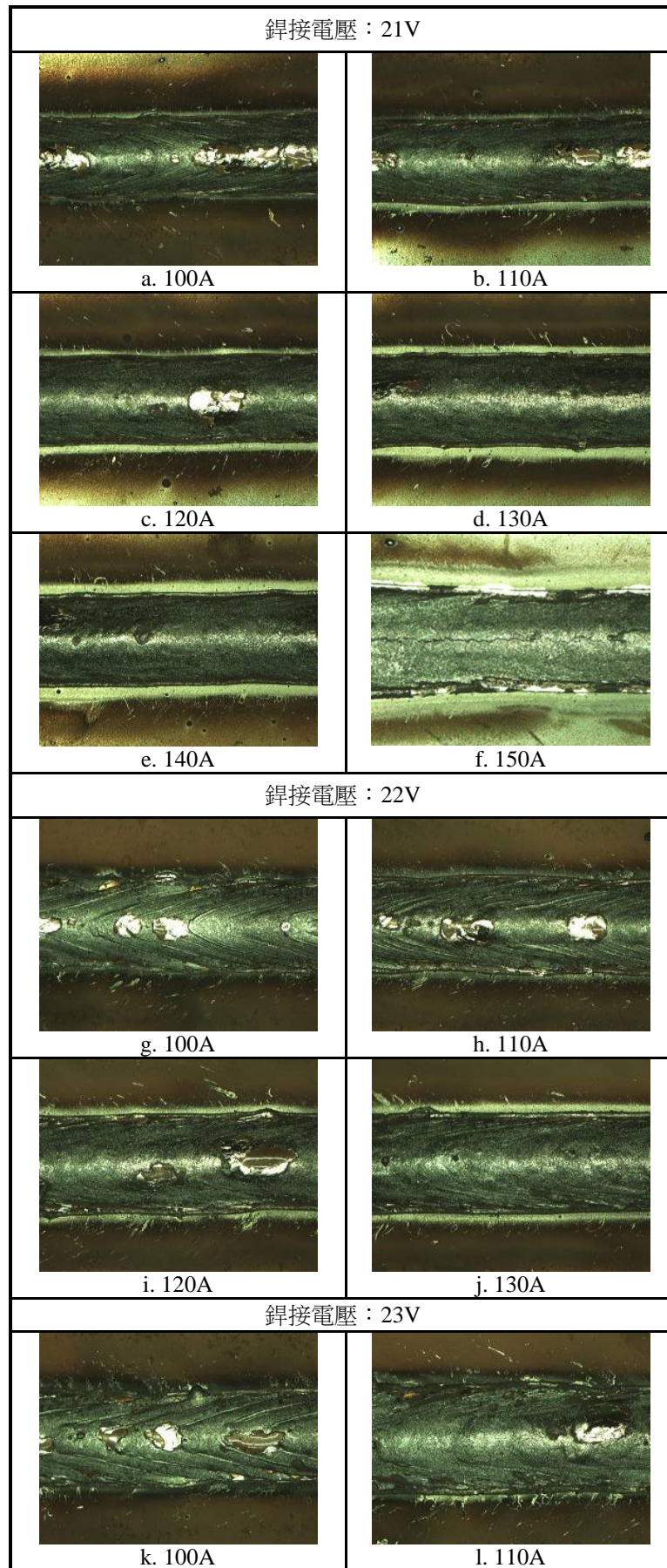


圖 2 MAG 銲接電流對熱軋低碳鋼銲道外觀影響

如圖 3 所示為固定銲接電壓為 21V，改變 MAG 銲接電流對熱軋低碳鋼銲道形態影響。當提高銲接電流時將提高銲道熔深與銲道寬度，而銲冠高度則無顯著變化；如圖 4 所示為固定銲接電壓為 22V，改變 MAG 銲接電流對熱軋低碳鋼銲道形態影響。當提高銲接電流時將提高銲道熔深，銲道寬度則先增後減，而銲冠高度則無顯著變化；如圖 5 所示為固定電壓 23V，改變 MAG 銲接電流對熱軋低碳鋼銲道形態影響。當提高銲接電流時將提高銲道熔深與銲冠高度，而銲道寬度則無顯著變化。由此實驗結果得知，因銲接電流高低決定送線速率快慢，故當提高銲接電流時將可有效提高銲道熔深。

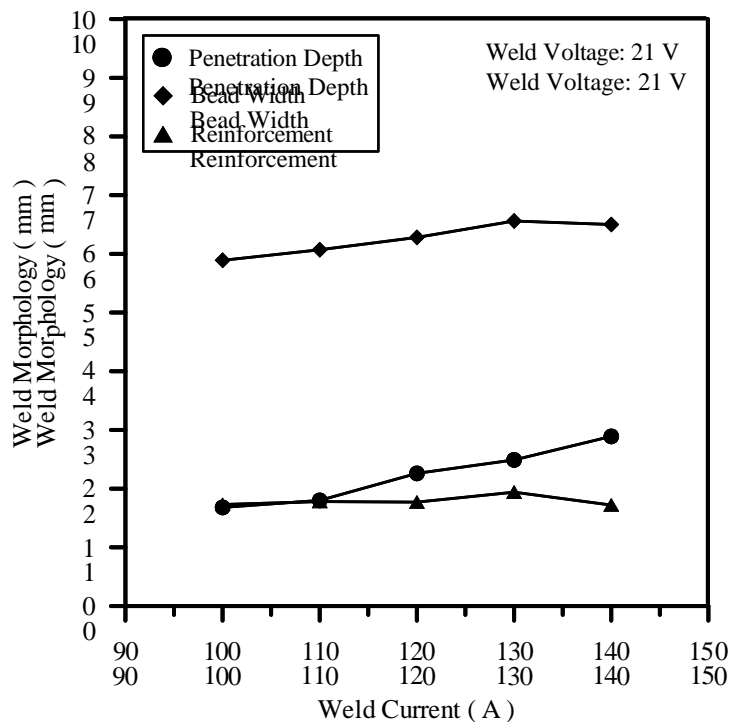


圖3 MAG銲接電流對熱軋低碳鋼銲道形態影響(固定銲接電壓21V)

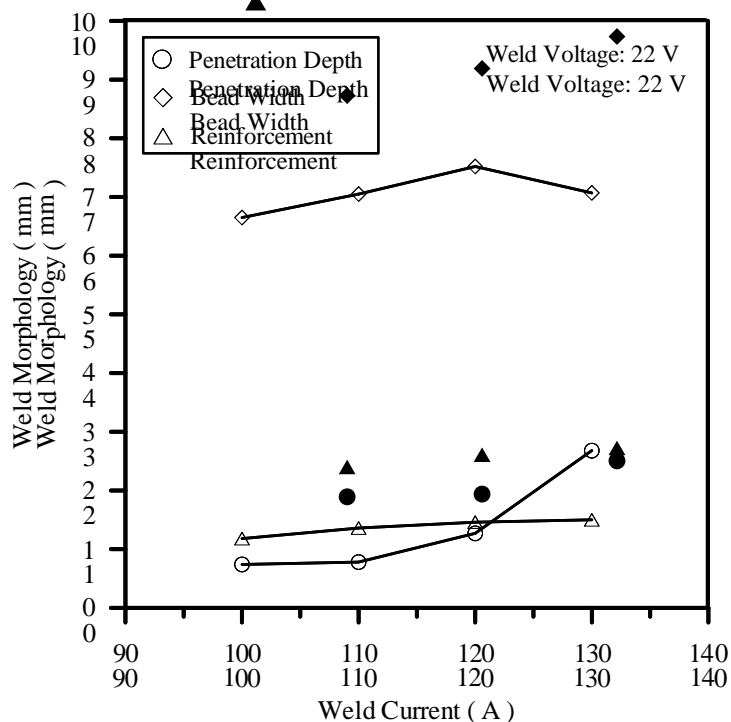


圖4 MAG銲接電流對熱軋低碳鋼銲道形態影響(固定銲接電壓22V)

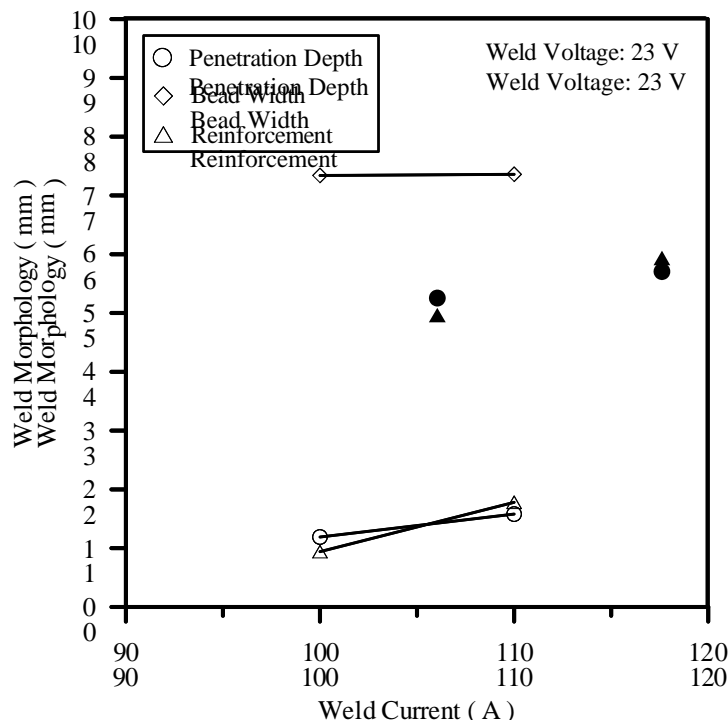


圖5 MAG銲接電流對熱軋低碳鋼銲道形態影響(固定銲接電壓23V)

### 3.2 MAG 銲接電壓對熱軋低碳鋼銲道外觀及其形態影響

如圖 6 所示為固定銲接電流為 110A，改變 MAG 銲接電壓對熱軋低碳鋼銲道外觀影響。當銲接電壓為 21V 時，銲道表面平整、銲濺物較少(如圖 6a 所示)；當銲接電壓為 22V 時，銲道表面平整、銲道波紋明顯、銲濺物較多(如圖 6b 所示)；當銲接電壓為 23V 時，銲道表面平整、銲濺物最多(如圖 6c 所示)。由此實驗結果得知，因銲接電壓將影響銲接電弧穩定性，故當提高銲接電壓時將產生較多銲濺物。

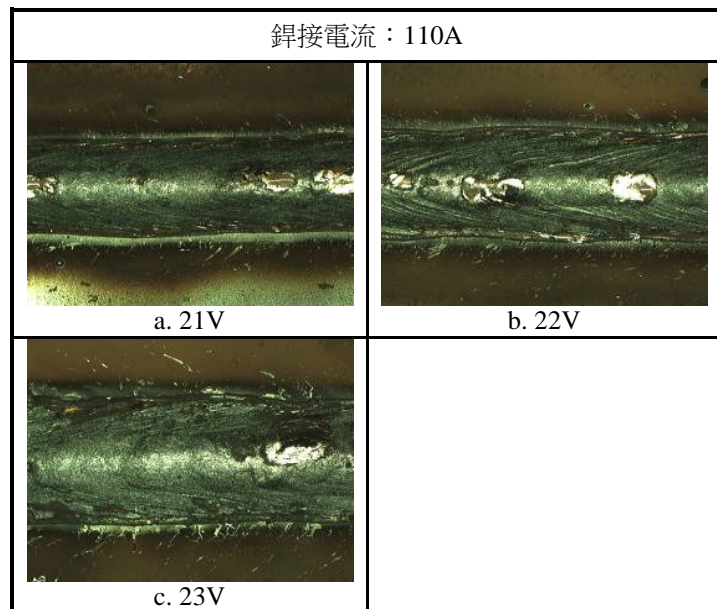


圖 6 MAG 銲接電壓對熱軋低碳鋼銲道外觀影響

如圖 7 所示為固定銲接電流為 110A，改變 MAG 銲接電壓對熱軋低碳鋼銲道形態影響。當提高銲接電壓時將提高銲道寬度、降低銲冠高度，且銲道熔深先降低後提高。此外，當銲接電壓為 22V 時，將因銲滴傳遞模式由短電路式轉變為短電路+噴弧混合式[14]，導致銲道熔深降低。由此實驗結果得知，因銲接電壓將影響銲滴傳遞模式，當提高銲接電壓時，若銲接電流未適度提高，則無法提高銲道熔深。

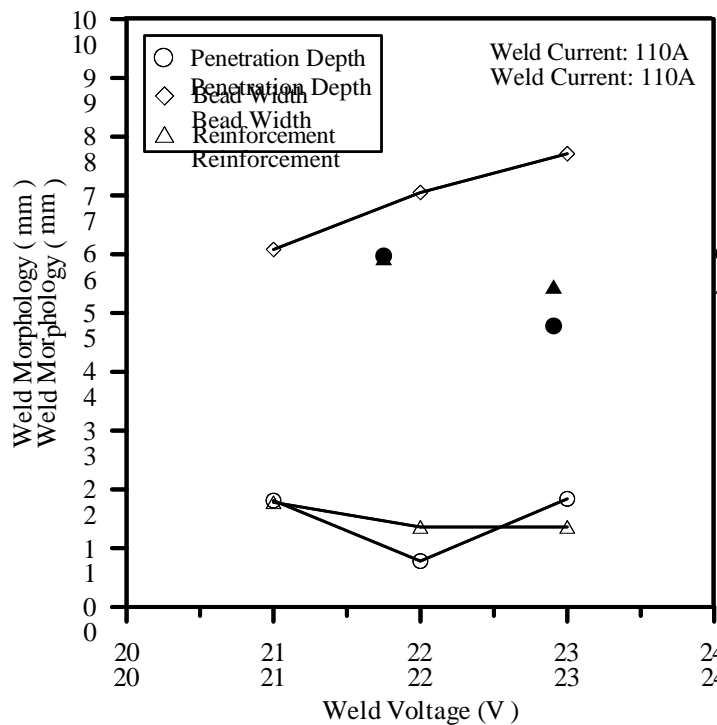
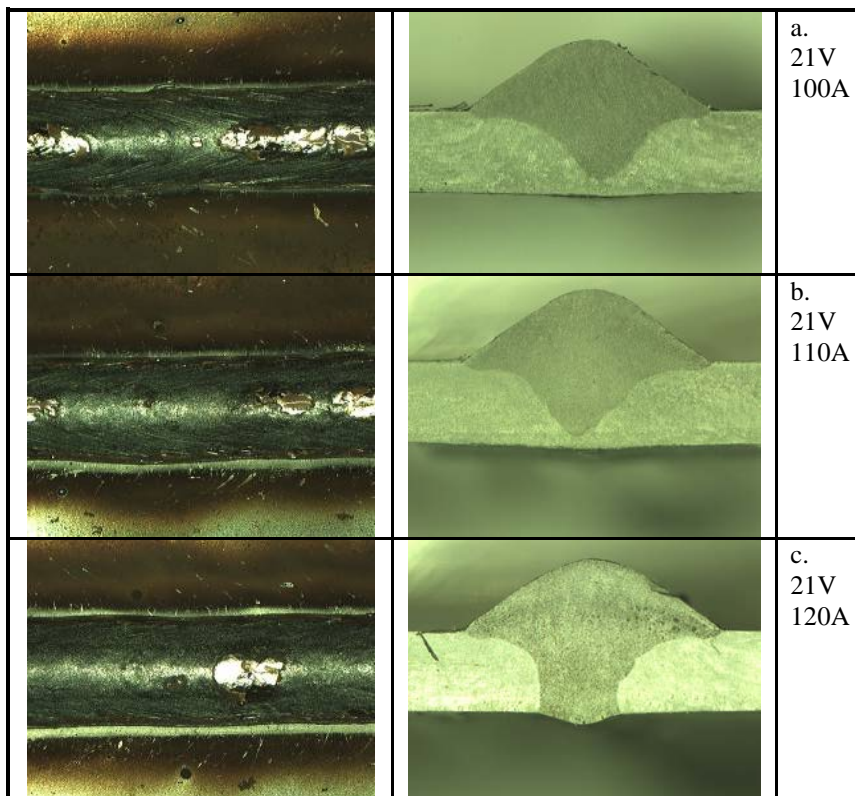
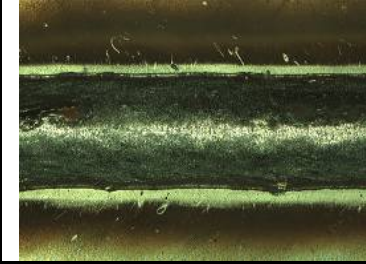
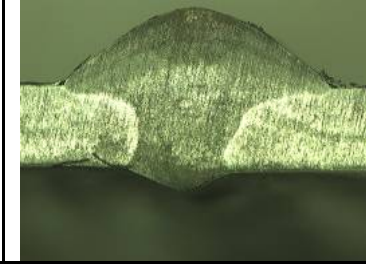
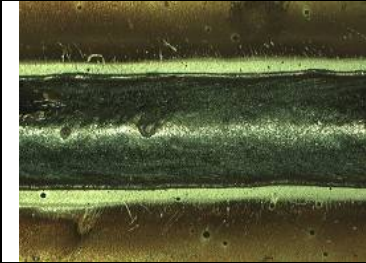
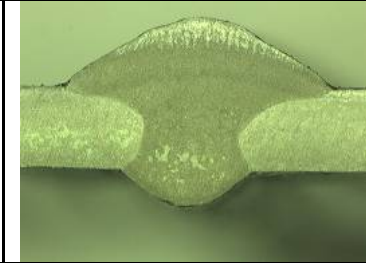
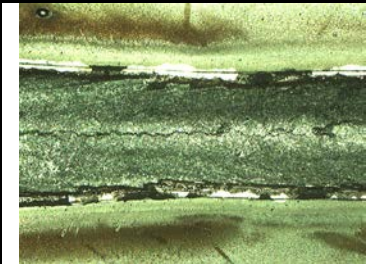


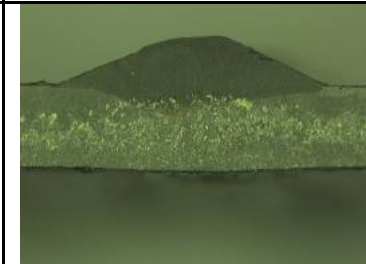


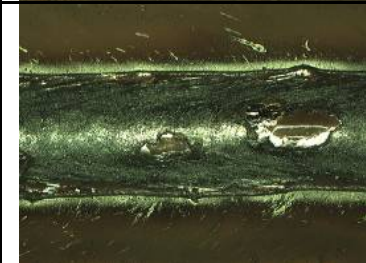
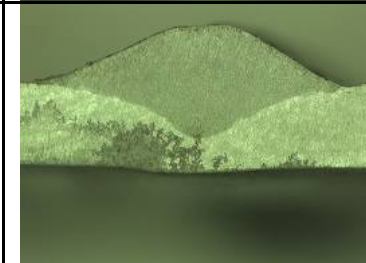




圖 7 MAG 銲接電壓對熱軋低碳鋼銲道形態影響

### 3.3 熱軋低碳鋼 MAG 銲接可銲區研究

本實驗主要係依據銲道外觀與銲道形態作為可銲區取決要件。在銲道外觀方面要求銲道表面平整、銲濺物較少；至於在銲道形態方面則以全熔透為標準(銲道熔深大於 2 mm 然不得大於 3 mm)，而銲冠高度則不得大於 1.8 mm。基於此取決要件，本實驗將針對 MAG 製程建構板厚 2 mm 之 JIS G3131 熱軋低碳鋼銲接適用板厚相對應可銲區(銲接電壓-銲接電流)參數。



		<p>d. 21V 130A</p>
		<p>e. 21V 140A</p>
		<p>f. 21V 150A</p>
		<p>g. 22V 100A</p>
		<p>h. 22V 110A</p>
		<p>i. 22V 120A</p>
		<p>j. 22V 130A</p>

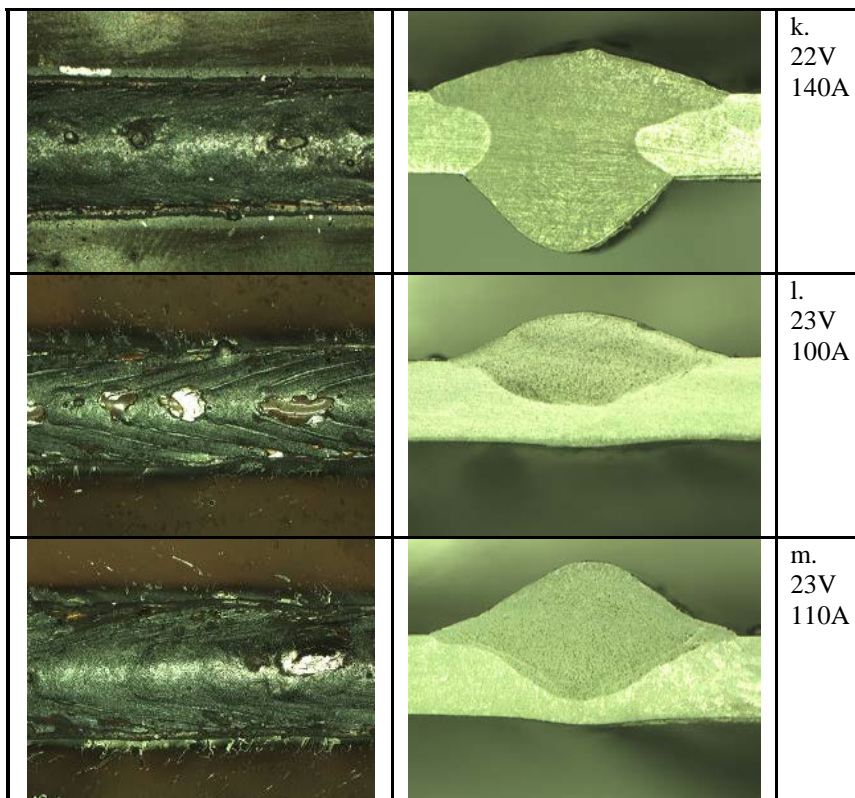


圖 8 MAG 銲接參數對熱軋低碳鋼銲道外觀及其形態影響

如圖 8 所示為 MAG 銲接參數對 JIS G3131 熱軋低碳鋼銲道外觀及其形態影響。銲接電壓為 21V、銲接電流為 100~110A，銲道未達全熔透(銲道熔深小於 2 mm)；銲接電壓為 21V、銲接電流為 120~140A，銲道品質符合要求(如圖 8c、8d、8e 所示)；銲接電壓為 21V、銲接電流為 150A，銲道產生裂縫缺陷。銲接電壓為 22V、銲接電流為 100~120A，銲道未達全熔透；銲接電壓為 22V、銲接電流為 130A，銲道品質符合要求(如圖 8j 所示)；銲接電壓為 22V、銲接電流為 140A，銲道形成過深現象(銲道熔深大於 3 mm)。銲接電壓為 23V、銲接電流為 100~110A，銲道未達全熔透。

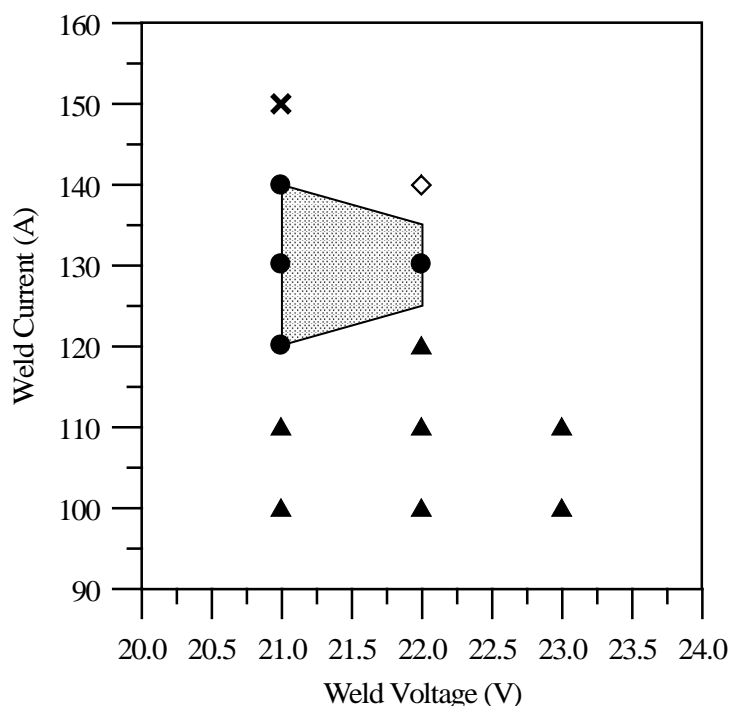


圖 9 板厚 2 mm 熱軋低碳鋼 MAG 製程可銲區



綜合此實驗結果可建構如圖 9 所示之 JIS G3131 熱軋低碳鋼 MAG 製程可銲區。其中●表示銲道全熔透、銲冠高度符合要求、銲濺物較少；▲表示銲道未達全熔透；◇表示銲道形成過深現象；x表示銲道產生裂縫缺陷。根據此銲接品質取決要件，可得板厚 2 mm 之 JIS G3131 熱軋低碳鋼 MAG 製程可銲區相對應電壓為 21~22V、電流為 120~140A。

為驗證本實驗所建構可銲區中之MAG銲接參數確實可獲致最佳熱軋低碳鋼銲接品質，本研究於可銲區中選取銲接電壓為 21.5V、銲接電流為 130A之MAG製程參數條件進行再現性實驗。如圖 10 所示為銲接電壓 21.5V、銲接電流 130A、銲接速度 500 mm/min及保護氣體 70%Ar-30%CO<sub>2</sub>之MAG製程參數對熱軋低碳鋼MAG銲道外觀及其形態影響。由圖 10 得知，此可銲區製程參數條件確實可獲致銲道全熔透、銲冠高度低於 1.8 mm及銲濺物較少之JIS G3131 熱軋低碳鋼MAG銲接品質。

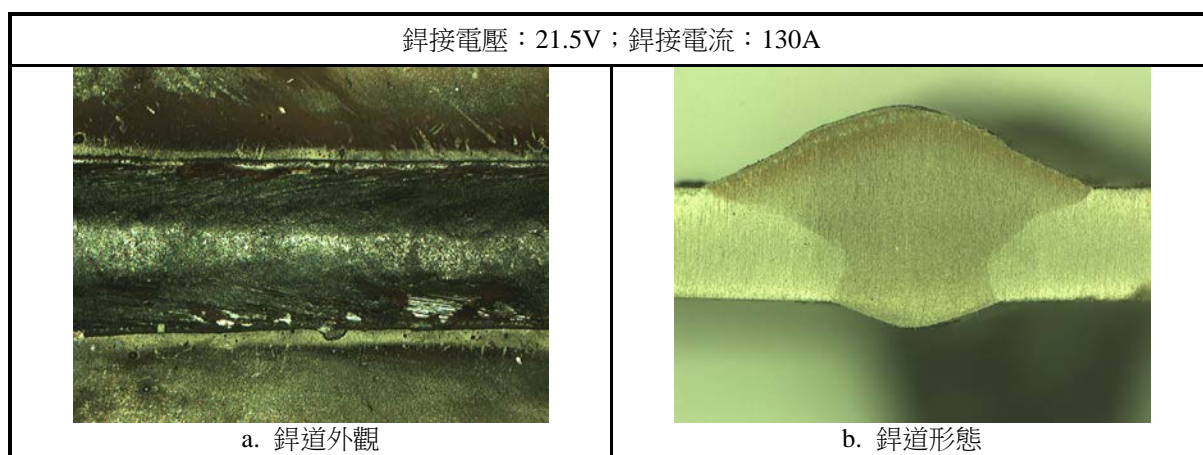


圖 10 再現性實驗對板厚 2 mm 熱軋低碳鋼 MAG 銲道外觀及其形態影響

#### 4. 結論

本研究主要探討 MAG 製程參數對 JIS G3131 熱軋低碳鋼銲道外觀與銲道形態影響，並優化其製程參數條件(可銲區)。根據實驗結果與討論，可得到以下研究結論：

1. 當銲接電壓為定值時，提高銲接電流可有效提高銲道熔深，然將產生較多銲濺物。
2. 當銲接電流為定值時，提高銲接電壓將提高銲道寬度、降低銲冠高度，然將產生較多銲濺物。當銲接電壓為 22V 時，將因銲滴傳遞模式由短電路式轉變為短電路+噴弧混合式而降低銲道熔深。
3. 板厚 2 mm 之 JIS G3131 熱軋低碳鋼 MAG 製程可銲區相對應電壓為 21~22V、電流為 120~140A。經本研究驗證確實可獲致銲道全熔透、銲冠高度適當及銲濺物較少之熱軋低碳鋼 MAG 銲接品質。

#### 誌謝

本研究承蒙國科會產學合作計畫-「微電腦數位電弧銲機之製程整合資料庫開發及其應用(NSC 100-2622-E-020-006-CC3)」經費補助，盛全股份有限公司提供實驗設備，以及盛全股份有限公司曾銘智副總經理實驗指導等，方能順利進行且完成，特此致上感謝之意。

#### 參考文獻

1. 黃介盟、曾光宏、曾銘智 (2012)。數位化脈衝式CO<sub>2</sub>銲機設備性能評估。臺灣銲接協會一〇一年年會暨論文發表會。彰化，臺灣。
2. 曾光宏、黃介盟、曾銘智 (2012)。MAG銲接參數對SUS 304不銹鋼可銲區影響。2012全國精密製造研討會。臺中，臺灣。
3. 曾光宏、范哲維 (2012)。CO<sub>2</sub>銲接參數對JIS G3131熱軋鋼可銲區影響。中國材料科學學會2012年年會。雲林，臺灣。
4. Ates, H. (2007). Prediction of Gas Metal Arc Welding Parameters Based on Artificial Neural Networks. *Materials and Design*. 28, 2015-2023.
5. Zielińska, S., Valensi, F., Pellerin, N., Pellerin, S., Musioł, K., Izarra, Ch. De, & Briand F. (2009). Microstructural Analysis of the Anode in Gas Metal Arc Welding (GMAW). *Journal of Materials Processing Technology*. 209, 3581-3591.

6. Liao, M. T., & Chen, W. J. (1999). A Comparison of Gas Metal Arc Welding with Flux-Cored Wires and Solid Wires Using Shielding Gas. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 15, 49-53.
7. Suban, M., & Tusek, J. (2001). Dependence of Melting Rate in MIG/MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used. *Journal of Materials Processing Technology*. 119, 185-192.
8. Ebrahimmia, M., Goodarzi, M., Nouri, M., & Sheikhi, M. (2009). Study of the Effect of Shielding Gas Composition on the Mechanical Weld Properties of Steel ST 37-2 in Gas Metal Arc Welding. *Materials and Design*. 30, 3891-3895.
9. Kim, I. S., Son, K. J., Yang, Y. S., & Yaragada, P. K. D. V. (2003). Sensitivity Analysis for Process Parameters in GMA Welding Processes Using a Factorial Design Method. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 43, 763-769.
10. Kim, I. S., Son, J. S., Kim, I. G., Kim, J. Y., & Kim, O. S. (2003). A Study on Relationship between Process Variables and Bead Penetration for Robotic CO<sub>2</sub> Arc Welding. *Journal of Materials Processing Technology*. 136, 139-145.
11. Karadeniz, E., Ozsarac, U., & Yildiz, C. (2007). The Effect of Process Parameters on Penetration in Gas Metal Arc Welding Processes. *Materials and Design*. 28, 649-656.
12. Ibrahim, I. A., Mohamat, S. A., Amir, A., & Ghalib, A. (2012). The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Process on Different Welding Parameters. *Procedia Engineering*. 41, 1502-1506.
13. Feng, J., Li, L., Chen, Y., Lei, Z., Qin, H., & Li, Y. (2012). Effects of Welding Velocity on the Impact Behavior of Droplets in Gas Metal Arc Welding. *Journal of Materials Processing Technology*. 212, 2163-2172.
14. Iordachescu, D., & Quintino, L. (2008). Steps Toward a New Classification of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding. *Journal of Materials Processing Technology*. 202, 391-397.

## **Effect of MAG Processing Parameters on Weld Characteristics of Hot-Rolled Low-Carbon Steels**

Kuang-Hung Tseng\* Che-Wei Fan

Department of Materials Engineering,

National Pingtung University of Science and Technology

\*Email: tkh@mail.npust.edu.tw

### **ABSTRACT**

This study investigated the influences of MAG welding parameters on appearance, morphology, and acceptable welded zone for hot-rolled steel welds. Metal active gas (MAG) welding was applied on JIS G3131 low carbon steel to produce a bead-on-plate weld. 70%Ar-30%CO<sub>2</sub> was used as shielding gas. The results showed that the welding voltage maintained at a constant value, and it was found that penetration depth of welds increase as the current increases. The welding current maintained at a constant value, and it was found that the bead width increase as the voltage increases; however, its reinforcement was decreased with increasing the voltage. In the MAG acceptable welded zone (voltages: 21~22V; currents: 120~140A), a sound appearance, morphology of JIS G3131 steel plate with 2 mm in thickness can be achieved.

**Keywords:** MAG welding, Process parameter, Weld characteristic, Hot-rolled steel, Acceptable welded zone.