

MAG 銲接參數對 SUS 304 不銹鋼可銲區影響

曾光宏¹、黃介盟^{1,2}、曾銘智²

¹ 國立屏東科技大學材料工程研究所

² 盛全股份有限公司

國科會計畫編號：NSC100-2622-E-020-006-CC3

摘要

本研究主要探討 MAG 銲接參數對沃斯田鐵不銹鋼銲道外觀、銲道形態及可銲區等影響。實驗材料選用 SUS 304 不銹鋼，銲接方法採用 MAG 製程進行 bead-on-plate 銲接實驗。實驗結果顯示在銲接電壓維持定值情況，提高銲接電流可增加銲道寬度、銲道熔深及銲冠高度等。在銲接電流維持定值情況，提高銲接電壓可增加銲道寬度與銲道熔深，然將減少銲冠高度。採用本實驗建立之適用板厚範圍(2~3 mm)對應電流與電壓進行 SUS 304 不銹鋼 MAG 銲接時，將可獲致最佳銲道外觀及其形態。

關鍵字：MAG 銲接、製程參數、不銹鋼、可銲區

1. 前言

金屬活性氣體銲接(Metal Active Gas Welding, MAG Welding)係使用惰性-活性混合氣體作為保護氣體，且採用實心銲線作為消耗性電極並經由送線裝置連續輸送，自銲槍噴嘴送出而與工件接觸產生電弧，藉由此電弧熱量熔融銲線與工件以達接合目的[1-3]。其中，電源機一般採用定電壓銲機且具自行調節弧長功能，亦即當弧長(電壓)稍微改變時，將造成電流相當大的變化，進而可自動增快或減慢送線速率以重新獲得所需弧長。至於保護氣體組成則因銲接材料種類與熔滴移行方式而異，一般選用 Ar-CO₂ 或 Ar-CO₂-O₂ 混合氣體[4,5]。

氬氣與氦氣等惰性氣體雖可在銲接高溫下保護熔融銲池，然對鋼鐵材料之銲接作業並不完全適用。若於惰性氣體中添加某一成份比例之活性氣體，除了可有效改善電弧穩定性外，亦可獲致銲接作業中期望之熔滴移行方式。根據研究結果顯示[6]，單獨使用氬氣進行不銹鋼 MAG 銲接作業時，將產生以下缺失：(1)熔融液態金屬黏度過高，易產生氣孔或過熔缺陷；(2)電弧穩定性較差，易產生過多銲濺物。若進行不銹鋼 MAG 銲接作業時，在氬氣中添加某一成份比例之 CO₂ 時，除了可改善單獨使用氬氣銲接時所產生之電弧不穩定與熔融液態金屬黏稠等缺失外，亦具有銲濺物少，以及容易獲致噴弧熔滴移行模式等優越性，進而得到最佳不銹鋼 MAG 銲接品質。

MAG 銲接參數包括有銲接電流、銲接電壓、銲接走速、銲線尺寸、銲線伸出長度及保護氣體組成等，而此製程參數皆會顯著影響銲接品質[7-9]。其中，銲

接電流影響熔填率、銲道形態、電弧穩定性；銲接電壓影響熔填率、銲道形態；銲接走速影響電弧穩定性、銲道形態；銲線尺寸影響熔填率、銲道形態；銲線伸出長度影響熔填率、銲道形態、電弧穩定性及氣護效果；保護氣體組成影響熔滴移行方式。由此可知，欲獲得良好 MAG 銲接品質，須了解其製程參數。

若 MAG 銲接採低電流、低電壓及細線徑等製程參數條件時，則其熔滴將呈短電路移行(short-circuit transfer)方式。因短電路熔滴移行模式具熱輸入量低特性，故適合鐵金屬材料薄板銲接。如圖 1 所示為短電路熔滴移行模式[10,11]，階段 A 為銲線端部瞬時接觸熔融銲池時，將形成短路而造成電弧中斷；階段 B 為電弧中斷時因電流瞬間增加而使銲線端部產生緊縮效應(pinch effect)；階段 C 為銲線端部因緊縮效應而使熔滴落入銲池；階段 D 為熔滴脫離銲線端部瞬間造成電弧恢復；階段 E 為電弧熱量使銲線端部開始熔融而達到熔填效果。本研究除了探討 MAG 銲接參數對 SUS 304 不銹鋼銲道外觀、銲道形態及可銲區等影響外，亦將完整建立 SUS 304 不銹鋼銲接適用板厚範圍對應電流與電壓應用參數資料庫。

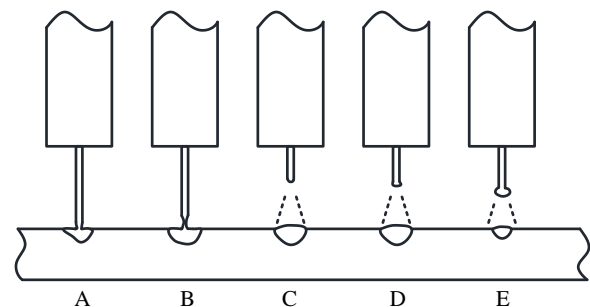


圖1 短電路熔滴移行模式

2. 實驗方法

2.1 實驗材料

實驗材料採用 SUS 304 不銹鋼(C: 0.075 wt.%, Si: 0.44 wt.%, Mn: 0.95 wt.%, P: 0.035 wt.%, S: 0.011 wt.%, Cr: 17.7 wt.%, Ni: 8.2 wt.%, N: 0.012 wt.%), 試片長寬尺寸為 150×75 mm, 試片厚度分別為 2 mm 與 3 mm。在進行 MAG 銲接實驗前，先將鋼板表面欲結合位置處之污染物利用#400 砂紙清除，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)公司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 銲接實驗且採短電路熔滴移行模式。銲線材料採用 AWS ER 308 (其化學成份如表 1 所示)，保護氣體採用 75%Ar+25%CO₂，氣體流量為 20 L/min，銲接速度為 110 cm/min，其他製程參數如表 2 所示。

表 1 AWS ER 308 銲線化學成份(wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.041	0.34	1.92	0.019	0.004	20.1	10.3

表 2 MAG 銲接參數

鋼板厚度	銲線尺寸	銲線伸出長度	銲接電流	銲接電壓
2 mm	ψ0.9 mm	5 mm	100~180 A	14~24 V
3 mm	ψ1.2 mm	10 mm	120~200 A	14~24 V

2.3 金相實驗

為研究 MAG 銲接參數對 SUS 304 不銹鋼銲道形態影響，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，經鑲埋後以碳化矽砂紙研磨至 #1200，再用氧化鋁粉拋光至 0.05 μm，經拋光完成後試片，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。其中在試片腐蝕方面，本實驗採用 10% 草酸水溶液進行電解腐蝕。如圖 2 所示為銲道形態量測示意圖，其中，W 為銲道寬度；D 為銲道熔深；R 為銲冠高度。

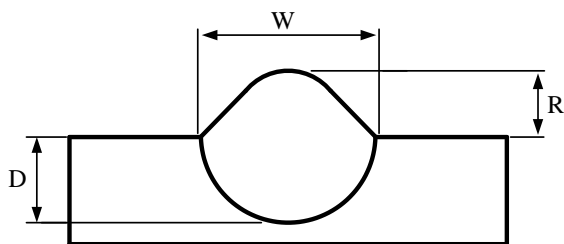


圖 2 銲道形態量測示意圖

3. 結果與討論

3.1 銲接電流對銲道外觀影響

如圖 3 所示為板厚 2 mm 與 3 mm 於固定銲接電壓(18 V)條件，改變銲接電流對銲道外觀影響。圖 3a 為板厚 2 mm、線徑 ψ0.9 mm、電流 120 A 之銲道外觀，其銲道表面粗糙、銲道波紋明顯、銲濺物少；圖 3b 為板厚 2 mm、線徑 ψ0.9 mm、電流 180 A 之銲道外觀，相較圖 3a，其銲道表面光滑、銲道波紋較不明顯、銲濺物較多。圖 3c 為板厚 3 mm、線徑 ψ0.9 mm、

電流 120 A 之銲道外觀，其銲道表面光滑、銲道波紋不明顯、銲濺物少；圖 3d 為板厚 3 mm、線徑 ψ0.9 mm、電流 200 A 之銲道外觀，由於其超過此銲線最高電流承載能力，因此銲道外觀將產生過多銲濺物。圖 3e 為板厚 3 mm、線徑 ψ1.2 mm、電流 120 A 之銲道外觀，其銲道表面粗糙、銲道波紋明顯、銲濺物少；圖 3f 為板厚 3 mm、線徑 ψ1.2 mm、電流 200 A 之銲道外觀，相較圖 3e，其銲道表面光滑、銲道波紋較不明顯、銲濺物較多。

由此實驗結果得知，SUS 304 不銹鋼板厚 2 mm 搭配線徑 ψ0.9 mm，以及板厚 3 mm 搭配線徑 ψ1.2 mm，當銲接電流提高時，銲道表面光滑、銲道波紋不明顯、銲濺物多。此外，因板厚 3 mm 搭配線徑 ψ0.9 mm 時，銲線無法承載高電流而易產生過多銲濺物，導致銲道外觀不良。故在本研究中，板厚 3 mm 之 SUS 304 不銹鋼皆搭配 ψ1.2 mm 之 ER 308 銲線進行 MAG 銲接實驗。

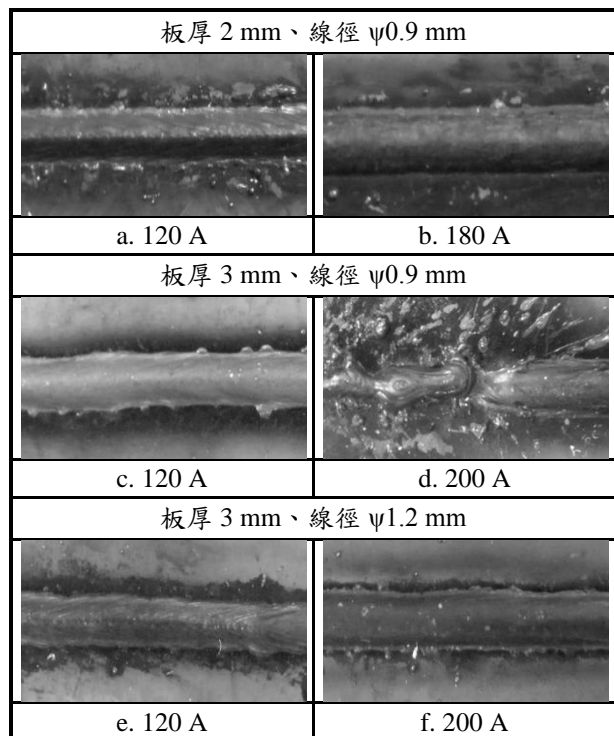


圖 3 MAG 銲接電流對銲道外觀影響

3.2 銲接電壓對銲道外觀影響

如圖 4 所示為板厚 2 mm 與 3 mm 於固定銲接電流(140 A)條件，改變銲接電壓對銲道外觀影響。圖 4a 為板厚 2 mm 於電壓 16 V 之銲道外觀，其銲道表面光滑、銲道波紋不明顯、銲濺物少；圖 4b 為板厚 2 mm 於電壓 22 V 之銲道外觀，相較圖 4a，其銲道表面粗糙、銲道波紋較明顯、銲濺物較多。圖 4c 為板厚 3 mm 於電壓 14 V 之銲道外觀，其銲道表面光滑、銲道波紋不明顯、銲濺物少；圖 4d 為板厚 3 mm

於電壓 22 V 之鐸道外觀，相較圖 4c，其鐸道表面粗糙、鐸道波紋較明顯、鐸濺物較多。

由此實驗結果得知，當鐸接電壓提高時，鐸道表面粗糙、鐸道波紋明顯、鐸濺物多。

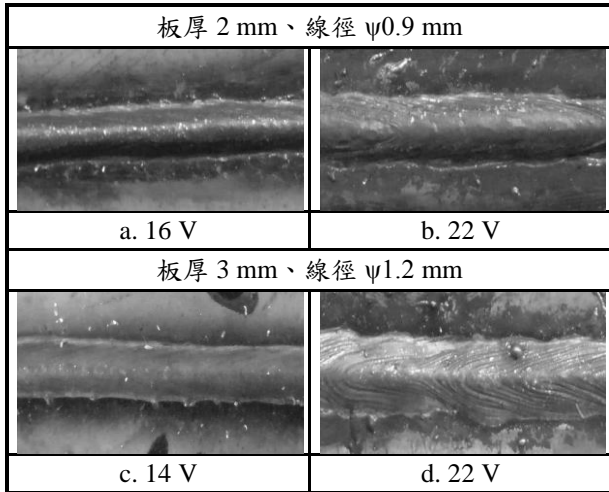


圖4 MAG鐸接電壓對鐸道外觀影響

3.3 鐸接電流對鐸道形態影響

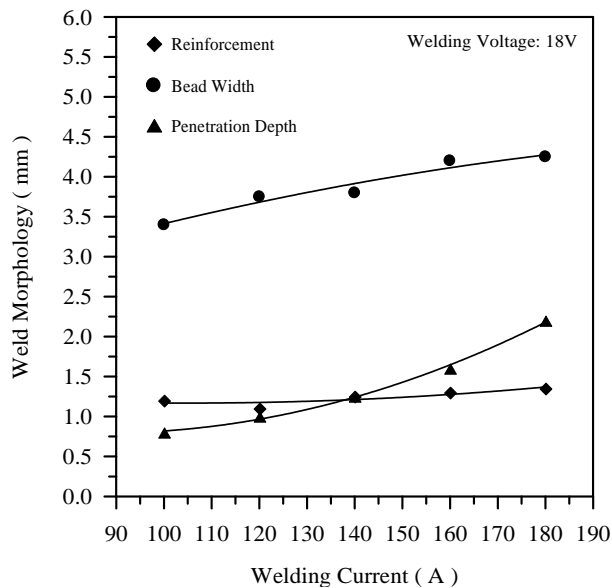


圖5 MAG鐸接電流對2t不銹鋼鐸道形態影響

如圖5與圖6所示分別為板厚2 mm與3 mm於固定鐸接電壓(18 V)條件，改變鐸接電流對鐸道形態影響。由此實驗結果得知，在MAG鐸接電壓維持定值情況，提高電流將使SUS 304不銹鋼鐸道寬度、鐸道熔深及鐸冠高度增加，尤其在高鐸接電流時更為顯著。由於本實驗設備係採用盛全(股)公司新式開發之微電腦數位脈衝式AMIG 350P鐸機，此鐸機具自動調節等電位系統，在固定鐸接電壓條件，提高鐸接電流將提高送

線速率，因此鐸道寬度、鐸道熔深及鐸冠高度等皆隨之增加。

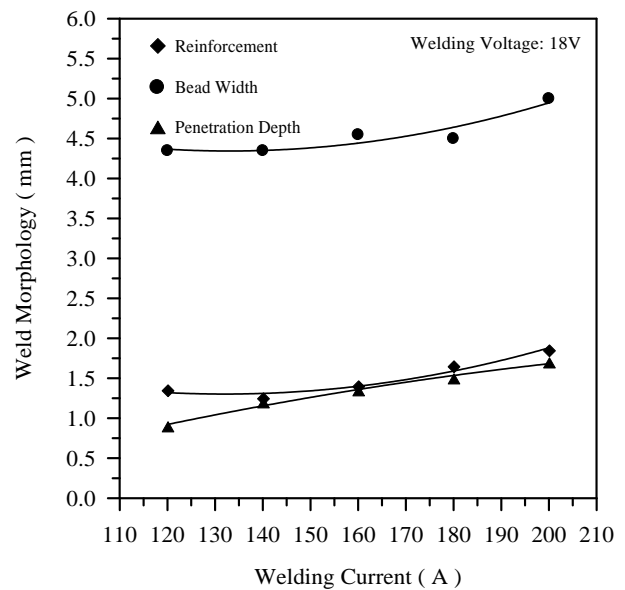


圖6 MAG鐸接電流對3t不銹鋼鐸道形態影響

3.4 鐸接電壓對鐸道形態影響

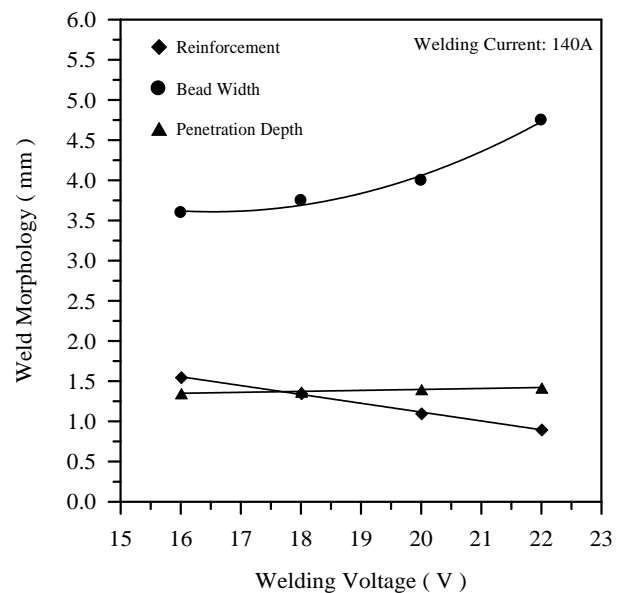


圖7 MAG鐸接電壓對2t不銹鋼鐸道形態影響

如圖7與圖8所示分別為板厚2 mm與3 mm於固定鐸接電流(140 A)條件，改變鐸接電壓對鐸道形態影響。由此實驗結果得知，在鐸接電流維持定值情況，提高電壓將使SUS 304不銹鋼鐸道寬度與鐸道熔深增加，然鐸冠高度卻隨之降低。此乃因提高鐸接電壓將提高熱輸入量，故鐸道熔深與鐸道寬度增加，尤以鐸道寬度變化最為顯著。此外，因鐸線尺寸與送線速率維持

定值情況，其熔填率將維持定值，故提高電壓雖可增加鉸道熔深與鉸道寬度，然將相對降低鉸冠高度。

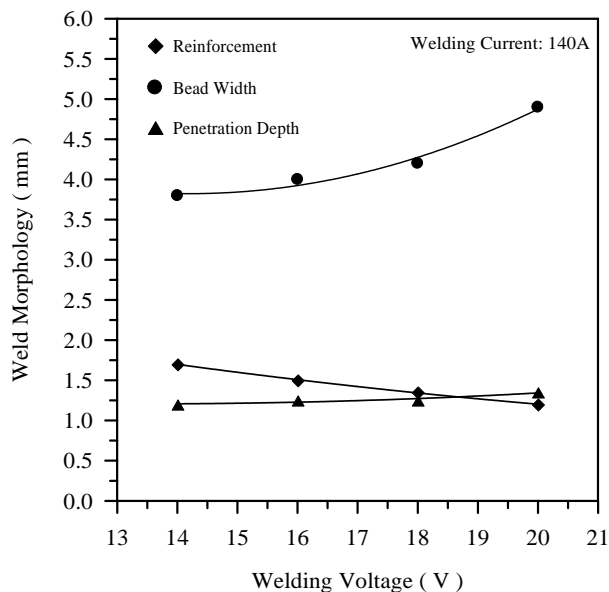


圖8 MAG鉸接電壓對3t不銹鋼鉸道形態影響

3.5 MAG 鉸接參數對 SUS 304 不銹鋼可鉸區影響

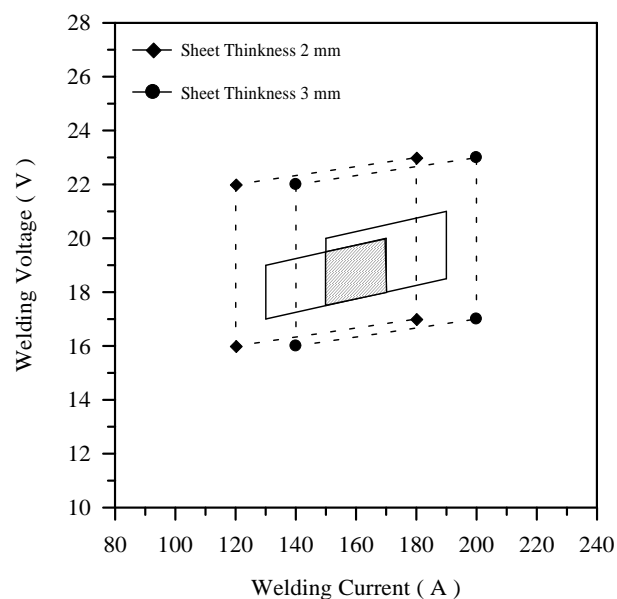


圖9 MAG 鉸接電流與電壓對不銹鋼可鉸區影響

如圖9所示為於MAG鉸接電流與電壓對不銹鋼板厚2 mm與3 mm可鉸區影響，由圖中可得知板厚2 mm不銹鋼可鉸區(虛線範圍)對應電流為120~180 A、電壓為16~22 V。如圖10a,b所示，若板厚2 mm之電流過低(100 A)時，雖鉸道外觀連續，然鉸冠過高而易導致鉸道局部應力集中現象；電流過高(200 A)時，因超過 ψ 1.2 mm鉸線最高電流承載能力，故將產生過多鉸濺物。

如圖10c,d所示，若板厚2 mm之電壓過低(14 V)時，鉸道不連續且易發生熄弧現象；電壓過高(24 V)時，鉸道不連續且鉸濺物多。如圖11所示中之板厚2 mm不銹鋼於鉸接電流120~180 A、鉸接電壓16~22 V施鉸時，鉸道熔深可達板厚1/3。

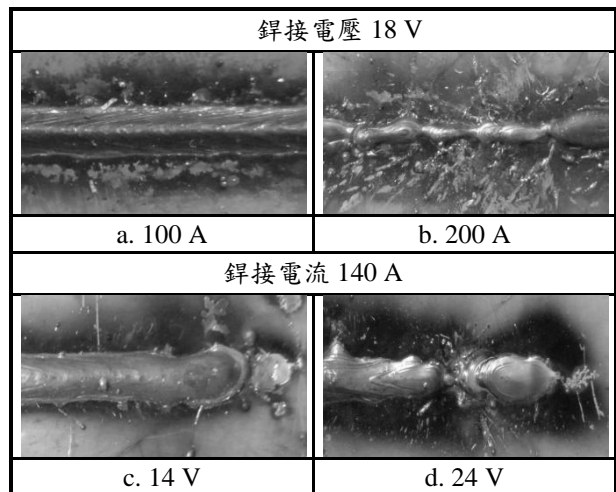


圖10 MAG 鉸接參數對板厚 2 mm 之 SUS 304 不銹鋼鉸道外觀影響

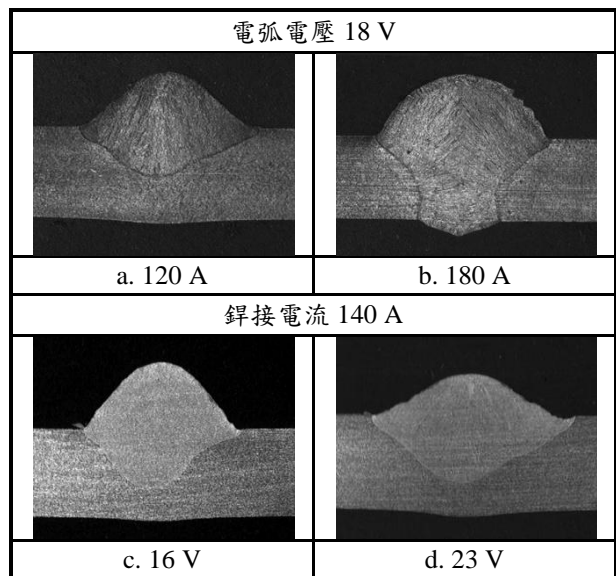


圖11 MAG 鉸接參數對板厚 2 mm 之 SUS 304 不銹鋼可鉸區鉸道形態影響

如圖9所示中之板厚3 mm不銹鋼可鉸區(虛線範圍)對應電流為140~200 A、電壓為16~23 V。如圖12 a,b所示，若板厚3 mm之電流過低(120 A)時，雖鉸道外觀連續，然鉸冠過高而易導致鉸道局部應力集中現象；電流過高(220 A)時，因超過 ψ 1.2 mm鉸線最高電流承載能力，故將產生過多鉸濺物。如圖12c,d所示，若板厚3 mm之電壓過低(14 V)時，鉸道外觀不連續且易發生熄弧現象；電壓過高(24 V)時，鉸道

不連續且銲濺物多。如圖 13 所示中之板厚 3 mm 不銹鋼於電流 140~200 A、電壓 16~23 V 施銲時，銲道熔深可達板厚 1/3。

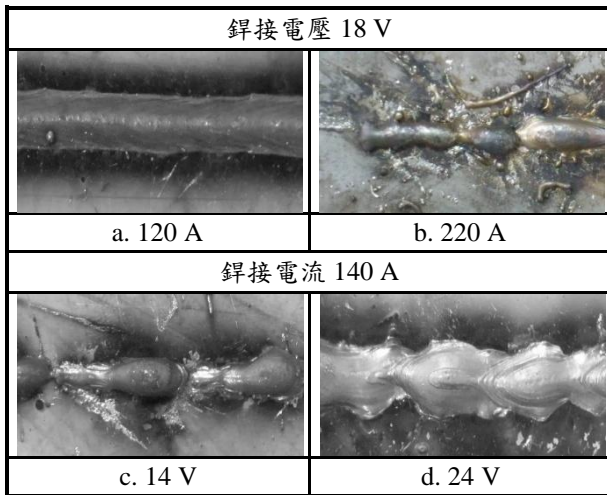


圖 12 MAG 銲接參數對板厚 3 mm 之 SUS 304 不銹鋼銲道外觀影響

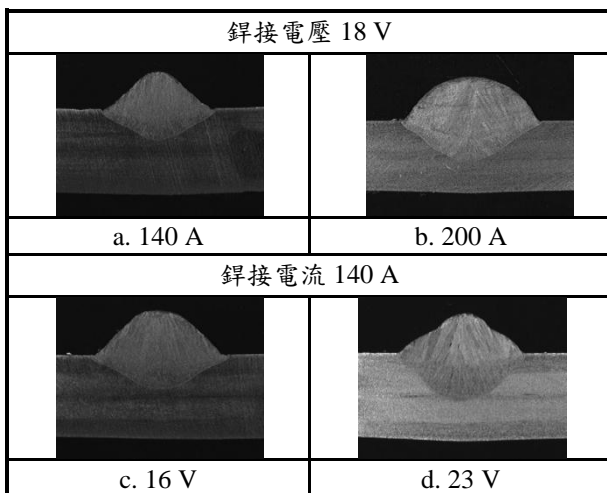


圖 13 MAG 銲接參數對板厚 3 mm 之 SUS 304 不銹鋼可銲區銲道形態影響

3.6 MAG 銲接參數對 SUS 304 不銹鋼施銲區影響

本實驗將針對不同MAG銲接參數，建立SUS 304 不銹鋼MAG銲接適用板厚範圍對應電流與電壓應用參數資料庫，藉以提供業界施銲參考依據。

由圖9可得知板厚2 mm不銹鋼施銲區(實線範圍)對應電流為130~170 A、電壓為17~19 V。如圖14a所示為板厚2 mm不銹鋼於電流140 A、電壓18 V施銲時，銲道表面光滑、銲濺物少，且銲道熔深達板厚2/3。由圖9可得知板厚3 mm不銹鋼施銲區(實線範圍)對應電流為150~190 A、電壓為18~20 V。如圖14b所示為板厚3 mm不銹鋼於電流160 A、電壓18 V施銲時，

道表面光滑、銲濺物少，且銲道熔深達板厚1/2。

藉由本實驗建立之銲接適用板厚範圍(2~3 mm)採用電流150~170 A、電壓17~20 V之MAG銲接參數，將可獲致最佳SUS 304不銹鋼銲道外觀及其形態。

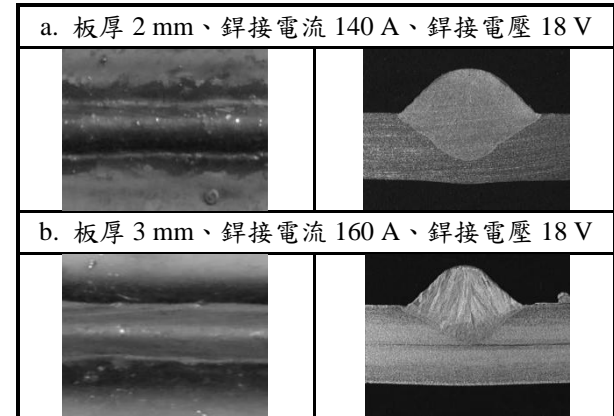


圖 14 MAG 銲接參數對 SUS 304 不銹鋼銲道外觀與銲道形態影響

4. 結論

本研究主要探討 MAG 銲接電流與電壓對 SUS 304 不銹鋼銲道外觀、銲道形態及可銲區等影響。根據結果與討論，可得到以下結論：

1. 不銹鋼板厚 2 mm、 $\psi 0.9$ mm 銲線，以及板厚 3 mm、 $\psi 1.2$ mm 銲線，當電流提高時，銲道表面光滑、銲道波紋不明顯、銲濺物多；當銲接提高時，銲道表面粗糙、銲道波紋明顯、銲濺物多。
2. 在銲接電壓維持定值情況，提高銲接電流將可增加銲道寬度、銲道熔深及銲冠高度等。
3. 在銲接電流維持定值情況，提高銲接電壓雖可增加銲道寬度與銲道熔深，然將減少銲冠高度。
4. 板厚 2 mm 不銹鋼施銲區對應電流為 130~170 A、電壓為 17~19 V；板厚 3 mm 不銹鋼施銲區對應電流為 150~190 A、電壓為 18~20 V。
5. 藉由本實驗建立之銲接適用板厚範圍(2~3 mm)採用電流 150~170 A、電壓 17~20 V 之 MAG 銲接參數，將可獲致最佳不銹鋼銲道外觀及其形態。

5. 致謝

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(NSC100-2622-E-020-006-CC3)」經費補助，以及盛全股份有限公司提供銲機設備，方能順利完成，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. H. Ates, Prediction of Gas Metal Arc Welding Parameters Based on Artificial Neural Networks,

- Materials and Design, Vol. 28, pp. 2015-2023, 2007.
2. M. St. Węglowski, Y. Huang, Y. M. Zhang, Effect of Welding Current on Metal Transfer in GMAW, Archives of Materials Science and Engineering, Vol. 33, pp. 49-56, 2008.
 3. S. Zielińska, F. Valensi, N. Pellerin, S. Pellerin, K. Musioł, Ch. de Izarra, F. Briand, Microstructural Analysis of the Anode in Gas Metal Arc Welding (GMAW), Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 3581-3591, 2009.
 4. M. T. Liao, W. J. Chen, A Comparison of Gas Metal Arc Welding with Flux-Cored Wires and Solid Wires Using Shielding Gas, International Journal Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 49-53, 1999.
 5. M. Ebrahimmia, M. Goodarzi, M. Nouri, M. Sheikhi, 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, Vol. 30, pp. 3891-3895, 2009.
 6. 董中能、卓照明、簡宏焯，混合氣於 MIG/ MAG 銲接之應用技術，中華民國第一屆銲接學術研討會論文集，臺北、臺灣，第 159-172 頁，1987。
 7. I. S. Kim, J. S. Son, C. E. Park, I. J. Kim, H. H. Kim, An Investigation into an Intelligent System for Predicting Bead Geometry in GMA Welding Process, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 159, pp. 113-118, 2005.
 8. E. Karadeniz, U. Ozsarac, C. Yildiz, The Effect of Process Parameters on Penetration in Gas Metal Arc Welding Processes, Materials and Design, Vol. 28, pp. 649-656, 2007.
 9. D. T. Thao, J. W. Jeong, I. S. Kim, J. W. H. J. Kim, Predicting Lap-Joint Bead Geometry in GMA Welding Process, Archives of Materials Science and Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 121-124, 2008.
 10. M. J. Kang, Y. Kim, S. Ahn, S. Rhee, Spatter Rate Estimation in the Short-Circuit Transfer Region of GMAW, Welding Journal, Vol. 82, No. 9, pp. 238-247, 2003.
 11. U. Ersoy, S. J. Hu, E. Kannatey-Asibu, Observation of Arc Start Instability and Spatter Generation in GMAW, Welding Journal, Vol. 87, No. 2, pp. 51-56, 2008.

Effect of MAG Welding Parameters on Acceptable Welded Zone for SUS 304 Stainless Steels

Kuang-Hung Tseng¹, Jie-Meng Huang^{1,2},
Min-Chi Tseng²

¹Institute of Materials Engineering, National
Pingtung University of Science and
Technology, Pingtung 91201, Taiwan

²Wel & Cut Co. Ltd., Kaohsiung 815, Taiwan
NSC Project: NSC100-2622-E-020-006-CC3

Abstract

This study investigates the influences of MAG welding parameters on appearance, morphology, and acceptable welded zone for austenitic stainless steel welds. Metal active gas (MAG) welding was applied on SUS 304 stainless steel to produce a bead-on-plate weld. The results indicate that welding voltage was maintained at a constant value, and it was found that the bead width, penetration depth, and reinforcement of stainless steel weld increase as the welding current increases. The welding current was maintained at a constant value, and it was found that the bead width and penetration depth increase of the weld as the welding voltage increases; however, its reinforcement was decreased with increasing the welding voltage. In this acceptable welded zone for MAG welding, a sound appearance, morphology of SUS 304 stainless steel welds can be achieved.

Keywords: MAG welding, Process parameters,
Stainless Steel, Acceptable welded zone