

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

TIG-Flux 銲接製程之銲道穿深能力增加機制研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2216-E-009-025-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程研究所

計畫主持人：周長彬

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 6 日

TIG-Flux 銲接製程之銲道穿深能力增加機制研究

Study on the operation of the enhance weld penetration by TIG-Flux welding process

計畫編號：NSC-93-2216-E-009-021

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：周長彬 交通大學機械系（所）

計畫參與人員：黃和悅、蔡曜隆 交通大學機械所

一、中文摘要

本研究主要在探討 TIG-Flux 銲接製程參數對沃斯田鐵不銹鋼銲道形態、銲道機械性質及銲道殘留肥粒相含量之影響行為與作用機制。實驗材料選用 Type 304 沃斯田鐵不銹鋼，活性助銲劑選用 TiO_2 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 ZnO 及 MnO_2 等氧化物粉末，銲接方法採用不加填料金屬的氬氣保護鎢極電弧銲來進行 Bead-on-plate 實驗。實驗結果顯示 TIG-Flux 銲接製程除了可改善傳統氬銲製程之銲接金屬熔融效率外，亦可有效提高不銹鋼銲道深寬比。在銲接電流參數條件維持定值的情況下，添加氧化物型助銲劑將會提高電弧電壓值，而且電漿電弧柱與陽極斑點產生收縮現象。此外，添加氧化物型助銲劑之 TIG-Flux 銲接製程，將會造成沃斯田鐵不銹鋼銲接金屬在銲後會殘留有較多的肥粒相組織；然其銲道機械性質雖略比傳統佳，但差異不大。

關鍵詞：TIG-Flux 銲接、製程參數、活性助銲劑、沃斯田鐵型不銹鋼

Abstract

The effects of the process parameters of TIG-Flux welding on the weld morphology, retained-ferrite content and mechanical properties in austenitic stainless steel were investigated. In the bead-on-plate experiment, the experimental material is Type 304 stainless steel, the activating flux is oxide powder (TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , ZnO and MnO_2), and the welding method is argon shielding gas tungsten arc welding without filler metal. Given identical parameters in the TIG-Flux welding process, the penetrating capability of TIG welding can be significantly increased by application of the

fluxes. The welding current was maintained at a constant value, and it was found that the arc voltage increases as the result of the fluxes used in the conventional TIG welding technique. It can also be seen that higher retained-ferrite content in austenitic stainless steel weld metals can be obtained by using a TIG welding with the oxide fluxes. The constraction of the plasma arc and the anode spot are the possible mechanism for the effects of activating flux on the penetration capability in TIG welding process. The welds with activating flux exhibit equal or better mechanical properties than conventional TIG welds deposited without using the flux.

Keywords: TIG-Flux welding, Process parameter, Activating flux, Austenitic stainless steel

二、緣由與目的

如何提高傳統 TIG 銲接製程之滲透深度，確保銲道完全滲透並提昇銲接生產效率，長久以來銲接界所致力研發的課題，其中以 TIG-Flux 銲接製程技術逐漸受到國際銲接界的高度重視，此製程技術首先係由烏克蘭 Paton Welding Institute (PWI)於 60 年代開始研發並使用於鈦合金銲接工作 [1]，直到 90 年代末期美國 Edison Welding Institute (EWI)才開始發展 TIG-Flux 製程技術 [2]，其中 EWI 所發展的 TIG-Flux 製程技術目前已被廣泛應用於美國海軍造船工業。目前 TIG-Flux 製程技術可用於銲接碳鋼、不銹鋼、鎳基合金及鈦合金等材料 [3]。

由於 TIG-Flux 銲接製程技術在實際應用上可大幅提高生產效率及降低生產成本，因此極具非常重要的應用願景。根據文獻資料 [4,5] 得知目前銲接學者對 TIG-Flux 銲接製程技術的研究，主要集中在

於活性助銲劑作用機制的研究及活性化銲接應用技術的研究兩方面，顯少針對活性助銲劑之組成配方加以探討；因此，本研究主要係針對沃斯田鐵型不銹鋼材料，以自行新研發出之活性助銲劑來探討活性助銲劑添加對不銹鋼銲道穿深能力之增加機制進行探討與分析，以期能為 TIG-Flux 銲接製程技術的實用化奠定基礎。

三、結果與討論

3.1 TIG-Flux 銲接製程參數對不銹鋼銲道形態之影響

如圖 1 所示為 TIG-Flux 銲接製程參數對不銹鋼銲道熔透面積之影響。由圖中可得知當添加 TiO_2 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 ZnO 及 MnO_2 等氧化物型助銲劑時，在不同銲接電流參數條件下，均可提高不銹鋼銲道熔透面積；由此可知，氧化物型助銲劑的添加將可改善傳統氬銲製程之銲接金屬熔融效率。在本研究中係以銲道深寬比來作為活性助銲劑添加劑對氬銲銲道穿深能力之評估指標，此部份實驗結果顯示，氧化物型活性助銲劑的添加可有效提高不銹鋼 TIG-Flux 銲道穿深能力，如圖 2 所示。

3.2 TIG-Flux 銲接製程改善傳統不銹鋼氬銲銲道熔深不足缺失之機制研究

根據實驗結果顯示添加 Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO_2 、 SiO_2 、 TiO_2 及 ZnO 等氧化物型助銲劑將可有效提高銲道深寬比，亦即可得到窄而深的銲道截面。關於活性助銲劑對銲道成形機制之影響，在此可藉由電漿電弧柱收縮與熔融銲池緊縮現象來加以探討與分析：

(A) 電漿電弧柱收縮

在活性化銲接過程中，可明顯發現電漿電弧柱會產生收縮現象，而此電漿電弧柱收縮現象將可有效集中電弧熱量，進而使銲道熔透深度增加。由於電漿電弧中心區域的溫度要遠高於分子解離溫度，因此活性助銲劑在高溫電漿噴射流的作用下，氣體與助銲劑原子將會產生電離而形成電子與正離子。然而在相對溫度較低的電漿電弧柱外圍區域，活性助銲劑中被蒸發的物質仍會以分子或解離原子的形態存在，且

解離原子將會大量地吸附電漿電弧柱周邊區域中的電子而形成負離子，使得電漿電弧柱周邊區域中作為主要導電物質的電子數急劇減少，亦即會降低電漿電弧柱之導電能力或縮小電漿電弧柱之導電面積，進而迫使電漿電弧柱產生收縮現象，如圖 3 所示。而此現象將可有效集中電弧熱量，進而使銲道熔透深度增加。

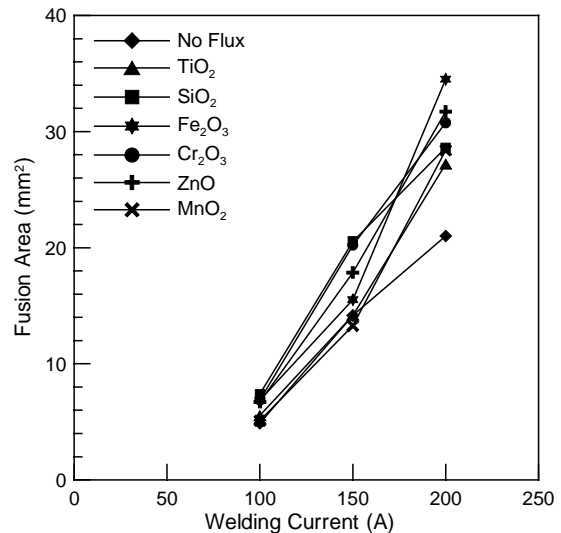


圖 1 TIG-Flux 銲接製程參數對銲道熔透面積之影響

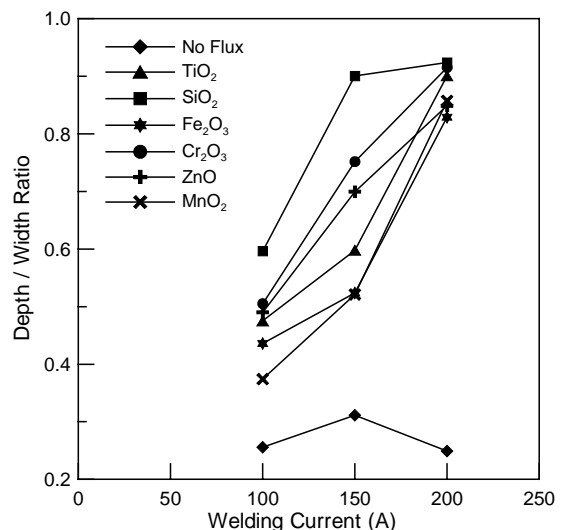


圖 2 TIG-Flux 銲接製程參數對銲道深寬比之影響

(B) 熔融銲池緊縮

在活性化銲接過程中，除了可發現氬銲電漿電弧會產生收縮現象外，位於銲池中之陽極斑點(anode spot)亦會產生明顯的緊

縮現象，如圖 3 所示。

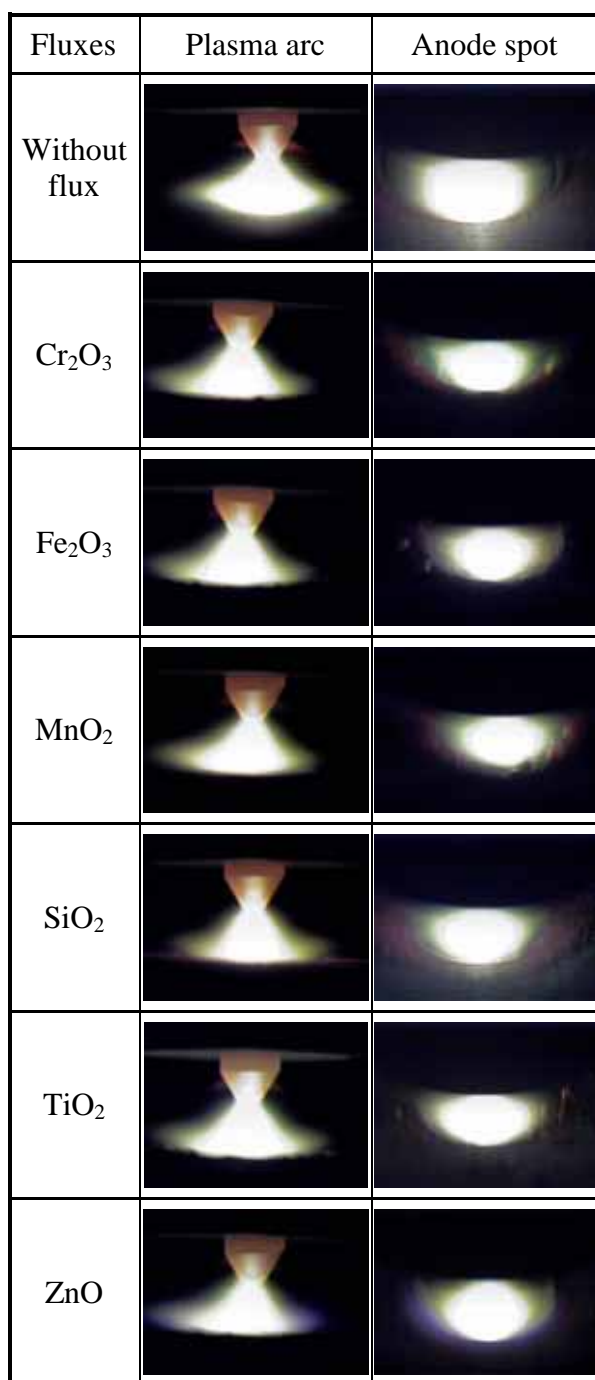


圖 3 活性助銲劑對電漿電弧與熔融銲池之影響

由於助銲劑本身不具有導電性，且其熔/沸點亦比銲接金屬材料高，此外只有在電漿電弧中心的高溫區域才會產生金屬蒸氣。因此銲接金屬材料在塗敷助銲劑後，此金屬蒸氣將會受到抑制，而在較少的金屬蒸氣情況下，熔融銲池將會形成較小的陽極斑點區。換言之，助銲劑物質的存在

將會造成熔融銲池的緊縮現象，而此現象將會提高作用於陽極斑點區的電流密度 [1]，亦即會增加銲池內部因電流相互作用所形成的電磁力，然同時會降低銲池表面因電漿對流所產生的氣動拖曳力 (aerodynamic drag force)，進而形成窄而深的銲道截面。

3.3 TIG-Flux 銲接製程參數對銲道肥粒相含量之影響

沃斯田鐵不銹鋼在室溫下的微觀組織，理論上應為完全沃斯田相組織，但事實上絕大部份的沃斯田鐵不銹鋼銲接金屬在銲後皆會殘留有或多或少的肥粒相組織。此乃由於銲接是屬於不均勻的急速加熱與冷卻過程，因此在急速冷卻的過程中將會導致肥粒相與沃斯田相在高溫時的相態無法順利完全轉變，進而造成沃斯田鐵不銹鋼銲接金屬在銲後會殘留有肥粒相組織。如圖 4 所示為 TIG-Flux 銲接製程參數對不銹鋼銲道肥粒相含量之影響。由圖中可得知當提高銲接電流時，由於會造成銲接熱輸入量的增加，此現象將會導致銲道冷卻速率的降低，進而增加銲道殘留肥粒相含量 [6]。

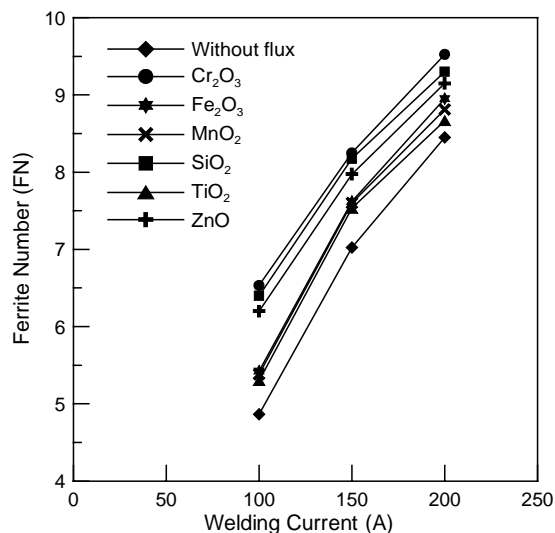


圖 4 TIG-Flux 銲接製程參數對銲道肥粒相之影響

此外，在銲接電流參數條件維持定值的情況下，當添加 TiO₂、SiO₂、Fe₂O₃、Cr₂O₃、ZnO 及 MnO₂ 等氧化物型助銲劑時將會提

高電弧電壓值(如圖 5 所示),進而提高銲接熱輸入量。由此可知,添加氧化物型助銲劑之 TIG-Flux 銲接製程,將會造成沃斯田鐵不銹鋼銲接金屬在銲後會殘留有較多的肥粒相組織。

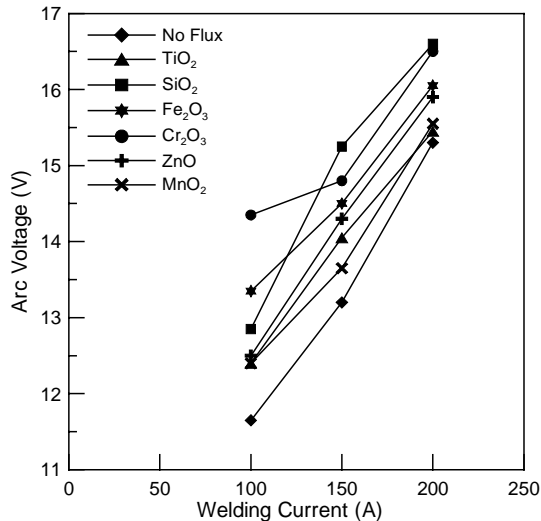


圖 5 TIG-Flux 銲接製程參數對電弧電壓之影響

3.3 TIG-Flux 銲接製程參數對銲道機械性質之影響

如圖 6 所示為活性助銲劑對不銹鋼銲道硬度值之實驗結果,結果顯示在添加 Cr₂O₃、Fe₂O₃、MnO₂、SiO₂、TiO₂及 ZnO 等氧化物型助銲劑後,不銹鋼銲道其最大抗拉強度約可提高 3~8%;此外,針對銲道硬度值之比較,添加氧化物型活性助銲劑後,其銲道之硬度值均高於傳統 TIG 銲接製程。綜合言之,活性化銲接製程的銲道之機械性質,雖略比傳統銲道佳,但其銲道之機械性質差異不大。

四、計畫成果自評

1. TIG-Flux 銲接製程除了可改善傳統氬銲製程之銲接金屬熔融效率外,亦可提高銲道深寬比。
2. 在 TIG-Flux 銲接過程中,除了可明顯發現氬銲電漿電弧會產生收縮現象外,活性助銲劑的存在亦會造成位於銲池中之陽極斑點產生緊縮現象。此電漿電弧收縮及熔融銲池緊縮現象的共同作用應是 TIG-Flux 銲接製程可有

- 效提高銲道穿深能力的主要作用機制。
3. 添加氧化物型活性助銲劑之 TIG-Flux 銲接製程,將會造成沃斯田鐵型不銹鋼銲接金屬在銲後會殘留有較多的肥粒相含量。
4. 添加氧化物型之活性助銲劑對其銲道機械性質影響並不顯著。

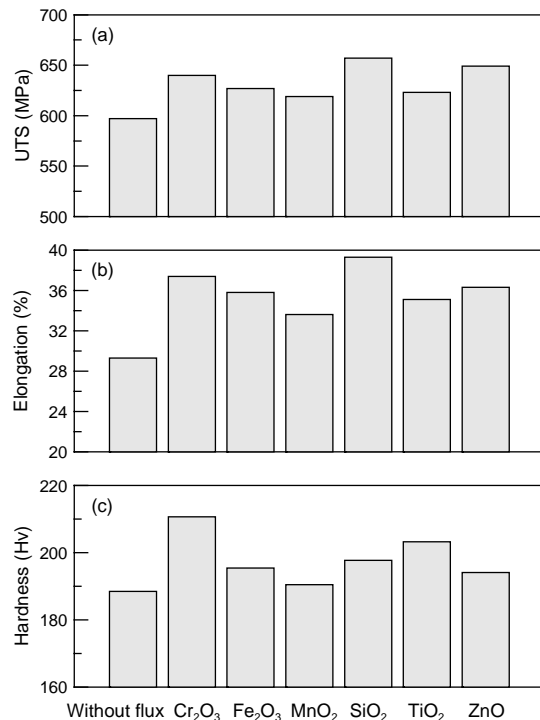


圖 6 TIG-Flux 銲接製程參數對不銹鋼機械性質之影響

五、參考文獻

- [1] T. Paskell, C. Lundin, and H. Castner, *Weld. J.*, **76**(4), 57-62, 1997.
- [2] Troy D. Paskell, "Gas Tungsten Arc Welding Flux", United State Patent 5804792, Sep. 8, 1998.
- [3] P.C.J. Anderson and R. Wiktorowicz: *Weld. Met. Fabr.*, 1996, **64**(3), 108-109.
- [4] Paulo J. Modenesi, Eustáquio R. Apolinário, Iaci M. Pereira: *J. Mater. Process. Technol.*, 2000, **99**, 260-265.
- [5] C.L. Yang, S.B. Lin, F.Y. Liu, W. Lin and Q.T. Zhang: *J. Mater. Sci. Technol.*, 2003, **19**, 225-227.
- [6] K.H. Tseng and C.P. Chou: *J. Mater. Process. Technol.*, 2003, **142**, 139-144.