執行機構 Implementation Agent



資助機構 Funding Organisation



申請機構 Applicant





編輯 Editors:

黎偉華先生 Mr Wai-wah LAI 楊浩坤博士 Dr Hao-kun YANG 李嘉欣小姐 Ms Jia-xin LI 郭展蓉小姐 Ms Chin-yung KWOK

出版 香港生產力促進局 香港九龍達之路 78 號生產力大樓 Published by The Hong Kong Productivity Council HKPC Building, 78 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong

版權所有 © 2021 香港生產力促進局 Copyright © 2021 The Hong Kong Productivity Council. All Rights Reserved.

未經出版商事先書面許可,本出版物的任何部分不得以複製,存儲在檢索系統中或以任何形式或通過任何方式傳播、傳輸。
No part of this publication may be reproduced in any form, whether in electronic retrieval system or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

免責聲明 Disclaimer

《回填式攪拌摩擦焊接技術總結報告》乃創新科技署撥款資助的創新科技基金項目的其中一項成果。此報告內刊載的資料,或項目成員表達的任何意見、結論建議及展現的成果,並不代表香港特別行政區政府或創新科技署的觀點。

This technical summary report is a publication under an Innovation and Technology Fund project funded by the Innovation and Technology Commission. Any opinions, findings, conclusions or recommendations expressed in this report (or by members of this project team) do not reflect the views of the Government of Hong Kong Special Administrative Region or the assessment committees of the Innovation and Technology Fund.

鳴謝 Acknowledgement

創新科技署
Innovation and Technology Commission
香港汽車零部件工業協會
Hong Kong Auto Parts Industry Association
香港金屬製造業協會
The Hong Kong Metals Manufacturers Association

贊助企業 Supporting Enterprises

奔達(香港)實業有限公司 Superband (H.K.) Industrial Ltd. 新力環保科技有限公司 Sunny EP Technology Ltd. 初出日(香港)有限公司 Morning Sun (HK) Ltd.

序言

當今,輕量化是汽車行業中的熱門話題之一。許多汽車製造商以努力降低車身重量為首要節能目標,以節省燃油並降低材料成本。由於目前電池能量密度還不足以滿足長行程需求,因而進一步推動了車身結構部件對輕質高強材料的需求。近年來,有兩類材料被開發出來以滿足需求:碳纖維複合材料和高強鋼。然而,這兩類材料製造成本高,並且無法回收再利用,以致無法用於汽車零部件的大規模製造。

因此,一種更具成本效益、能度身訂造的先進金屬板材:累積疊 軋金屬板材的製備技術研發顯得日益重要。不同性質(例如強度、 重量、硬度、熱傳導和吸震能力)的輕質高強金屬板材可透過累 積疊軋金屬板材製備技術,以低成本方便地製備。以此技術製備 的零件可用作特定的汽車零配件,特別是汽車結構件。

這本技術總結報告將會介紹輕量化在部份大型金屬產品中的重要性,以及現今的一些輕量化方案,從而詳細闡述累積疊軋技術(Accumulative Roll Bonding Technology),並根據我們對累積疊軋技術的研發成果,清楚地剖析所有有關此技術的要點。

Contents

1.	攪拌摩擦焊接技術簡介	8
2.	回填式攪拌摩擦焊接技術介紹	9
3.	回填式攪拌摩擦焊接設備	11
	3.1 加工設備	11
	3.1.1 設備機型	11
	3.1.2 設備的工作條件	13
	3.2 設備規格及技術參數	13
	3.2.1 設備進給軸及功能定義	13
	3.3 機床外形圖	14
	3.4 設備主體結構	15
	3.5 機械結構	16
	3.5.1 攪拌摩擦點焊機頭	16
	3.5.2 攪拌摩擦點焊工具拆裝	17
	3.5.3 氣液增壓機構	19
	3.5.4 緊急制動系統	19
	3.5.5 超程保護	20
	3.6 潤滑系統	20
	3.7 氣動冷卻、控制系統	20
	3.8 數控系統	21
	3.8.1 部件說明	21
	3.8.2 功能介紹	29
	3.9 操作說明	51
	3.10 電氣系統	53
	3.10.1 系統配置及組成	53

3.10.2 PLC 控制單元	54
3.10.3 伺服驅動單元	55
3.10.4 點焊機氣動單元	56
3.11 使用操作說明	57
3.11.1 使用操作說明及注意事項	57
3.11.2 設備上電和關機步驟	58
3.12 界面操作	61
3.12.1 主操作界面	61
3.12.2 自動模式	62
3.12.3 程序界面	63
3.12.4 程序管理界面	64
3.12.5 設備參數界面	65
3.12.6 手動操作	66
3.13 點焊操作流程	68
3.13.1 操作步驟	68
3.13.2 攪拌工具的保養	68
3.14 維修及養護	69
3.14.1 常見故障錯誤和說明	69
3.14.2 保養和維護	69
4.回填式攪拌摩擦工藝與焊點性能	71
4.1 回填式攪拌摩擦工藝	72
4.1.1 鋁/鋁同種材料	72
4.1.2 鋁/鋼異種材料	75
4.2 回填式攪拌摩擦焊點性能	78
4.2.1 鋁-鋁同種材料焊點性能	83

4.2.2 鋁-鋼異種材料焊點性能	102
5.案例分析	118
6.成本分析	120
6.1 設備成本	120
6.2 行機成本	120
6.5 總成本計算	121
	122

1. 攪拌摩擦焊接技術簡介

隨著不可再生的自然資源不斷被消耗,如何最大程度降低 化石燃料消耗成為汽車結構設計的重點。異種材料的焊接,例如 鋁-鋼,鋁-鋁合金的結合,既可利用到鋁合金低密度、導熱導電佳、 耐腐蝕的優勢,又可以利用鋼鐵材料的高強度和剛性,在保證安 全的前提下,盡最大可能滿足汽車車身輕量化設計需求。

傳統異種金屬例如鋁和鋼,其熔點和線膨脹系數不同,在 電阻焊接過程中會形成金屬間化合物,並產生不可忽視的內應力, 導致焊接接頭性能變差。此外,機械連接例如鉚接技術,會增加 車身的總體重量,且加工成本昂貴。

攪拌摩擦焊接是一種固相機械連接技術,無須對焊點進行 高溫加熱,就可以形成高強度的焊點。該工藝利用焊件和攪拌工 具之間互相摩擦所產生的熱力,使材料達到熱塑性狀態,然後在 攪拌工具的壓力作用下完成焊接。

雖然傳統攪拌摩擦焊接工藝具有低成本、高強度焊點等優勢,但焊接結束後會在焊點上留下一個焊孔,導致應力集中並且容易出現鏽蝕,其焊點的可靠性有待加強。

2.回填式攪拌摩擦焊接技術介紹

傳統攪拌摩擦點焊形成的的焊孔會減少焊點的有效承載面積,導致焊點的應力狀態存在不平衡,亦即應力集中現象。另外,在車身塗裝的過程中,保護性油漆很難達到退出孔的底部,而使用過程中退出孔的底部容易積水造成焊點腐蝕,降低接頭的力學性能。這嚴重影響了汽車車身的安全性,導致傳統攪拌摩擦焊接技術發展受限。

回填式攪拌摩擦點焊工藝成功解決了傳統攪拌摩擦點焊過程存在的退出孔問題。該工藝採用圖 2.1.1 中所示的攪拌針(Pin)、攪拌套(Sleeve)和壓緊套(Clamping Ring),通過控制攪拌針回撒和攪拌套下壓這組相對運動,使焊接過程在最後有一個回填下壓的過程,將焊接過程中的母材材料推回到焊孔中。在焊接過程中,攪拌針和攪拌套配合運動,形成無匙孔的焊點。同時,設備配備的壓緊環對焊板進行固定,防止塑性材料外溢,避免了耗材的浪費。採用這種方法焊接後焊點平整,焊點的有效載荷界面面積增加,有效提高焊點強度。此外,回填式攪拌摩擦焊點的表面應力狀態亦得以優化,進而提升了焊接結構的力學性能,並且有利於在工件表面噴塗保護漆,延長了其使用壽命,降低了腐蝕開製引發工程事故的可能性。



圖 2.1.1 回填式攪拌摩擦焊頭示意圖

3.回填式攪拌摩擦焊接設備

3.1 加工設備

3.1.1 設備機型

本文中所涉及的回填式攪拌摩擦點焊是在C型立式攪拌摩擦點焊設備上進行,用於1~4mm的1XXX-7XXX系列鋁和鋁合金產品攪拌摩擦點焊,可廣泛應用於航空、航天、兵工、發動機、造船、機車、汽車模具、水泵、機床等行業。設備詳見圖3.1.1.1-3.1.1.3。



圖 3.1.1.1 C 型立式攪拌摩擦點焊設備



圖 3.1.1.2 點焊設備操作界面



圖 3.1.1.3 點焊設備操作面板

3.1.2 設備的工作條件

- ▶ 設備所處環境溫度為-5°C~+40°C;
- ▶ 設備所處環境相對濕度一般應為≤90%;
- ▶ 設備使用的動力源應滿足如下標準:電壓 380V(-10%~ +10%),三相四線制,頻率 50HZ,總功率不小於 12KW, 動力電纜用戶自備,規格為 4G6 以上;
- 設備不能在露天環境下使用,應避免接觸粉塵、油污、 漂浮性塵埃、金屬微物、電磁雜訊、腐蝕性、易燃性氣 體或液體;
- ▶ 噪音水平要求:≤75dB;
- ▶ 設備使用氣源:≥0.7MPa 壓縮空氣,氣源流量不小於 5m³/min;
- ▶ 設備電動機防護等級 IP65。

3.2 設備規格及技術參數

- 3.2.1 設備進給軸及功能定義
- ▶ Z軸—點焊主軸上下運動;
- ▶ W1 軸-攪拌針上下運動;
- ▶ W2 軸-攪拌套上下運動;
- ▶ S軸—攪拌針套旋轉運動;

3.2.2 設備主要性能參數

▶ 主軸驅動功率:5.65kW

▶ 主軸額定扭矩:18Nm

3.2.3 設備參數

表 3.2.3.1

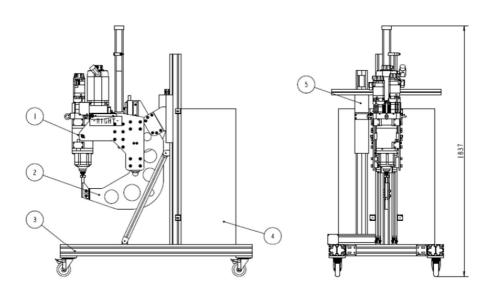
	項目	參數		
通過高度	Z軸運行至最上端,攪拌 工具至C型支架墊板螺栓 的距離	100mm		
タもし	Z軸	100mm		
各軸行程	W1軸	10mm		
17在	W2軸	10mm		
外形 尺寸	長×寬×高	1440mm×850mm×1840mm		
	設備總重量	約為400Kg		

3.3 機床外形圖

回填式攪拌摩擦點焊機頭和電氣櫃安裝在鋁型材架上(詳見圖 3.3.1)。

- 1. 點焊主軸
- 2. C型支架

- 3. 鋁型材架
- 4. 電氣櫃
- 5. 氣液增壓機構



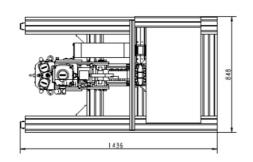


圖 3.3.1 總裝圖

3.4 設備主體結構

設備的主體結構(詳見圖 3.4.1),主要包括:機械部分(鋁型材架、攪拌摩擦點焊主軸、C 型支架、氣液增壓機構、傳動系統)、氣動系統、電控系統等。

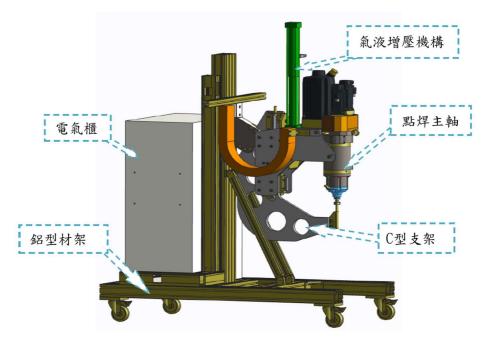


圖 3.4.1 C 型立式攪拌摩擦點焊設備示意圖

3.5 機械結構

3.5.1 攪拌摩擦點焊機頭

回填式攪拌摩擦點焊機頭(詳見圖 3.5.1.1)主要包括 C 型支架、氣液增壓機構和點焊主軸。氣液增壓機構由氣動控制,使用時保證氣路暢通。

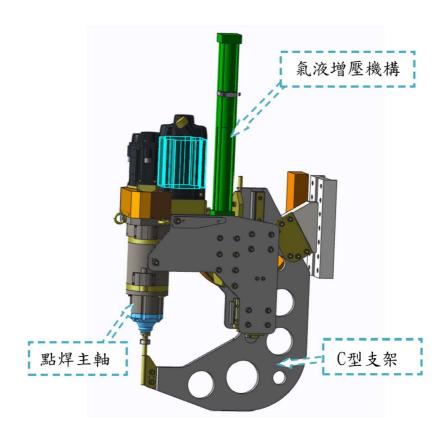


圖 3.5.1.1 攪拌摩擦點焊機頭

3.5.2 攪拌摩擦點焊工具拆裝

步驟 1:在非工作狀態拆下 3 個螺釘 M5,將壓緊套從錐柄 上拆下,再拆下 3 個螺釘 M8,將錐柄拆下。 (詳見圖 3.5.2.1)

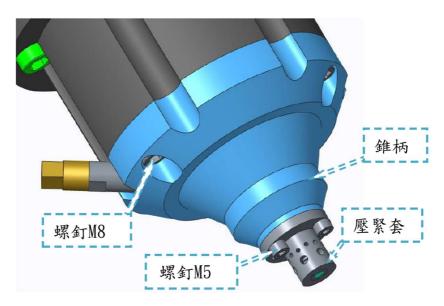


圖 3.5.2.1 壓緊套拆卸

步驟 2:通過扳手逆時針擰動攪拌套,拆下攪拌套;用扳手逆時針擰動攪拌套壓緊螺母,用一字螺絲刀頂住可以取下攪拌套壓緊螺母;拆下攪拌套過渡軸。(詳見圖 3.5.2.2)

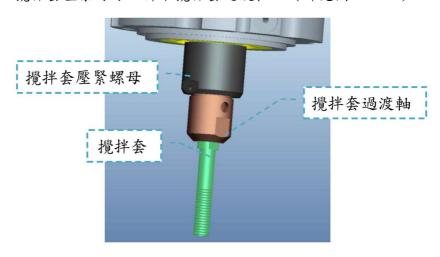


圖 3.5.2.2 攪拌套拆卸

步驟 3:通過扳手擰動攪拌針壓緊螺母,拆下攪拌針。(詳見圖 3.5.2.3)

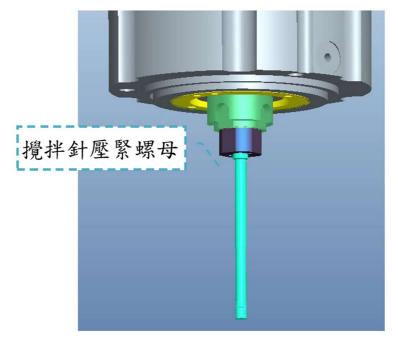


圖 3.5.2.3 攪拌針拆卸

攪拌摩擦點焊工具全部拆下後,可更換新的點焊工具,其 安裝過程就是拆卸過程的反過程。

3.5.3 氣液增壓機構

設備在 Z 軸方向配置一套氣液增壓缸,並由氣動控制,在點焊過程中對工件施加軸向壓緊力,同時通過壓力傳感器反饋壓力值(可通過調壓閥調節)保證點焊焊接正常進行。

3.5.4 緊急制動系統

緊急制動系統主要用於 Z 軸制動,在氣液增壓缸斷氣失去負載能力時,緊急制動點焊主軸,防止主軸及工件受損。

3.5.5 超程保護

設備在氣液增壓機構及點焊攪拌針、攪拌套上下運動部位 均設有接近開關限位保護裝置,一旦運動超過限位,伺服 電機自動停止運轉,同時系統彈出超程警報界面提醒;此 時,只需控制運動反向,即可消除警報。

注意:禁止調整接近開關,禁止拆除行程限位塊,以免損害設備或人員。

3.6 潤滑系統

潤滑系統(圖 3.4.1 C 型立式攪拌摩擦點焊設備示意圖)包括主軸軸承、減速器、導軌滑塊及滾珠絲槓的潤滑等。

其中攪拌針、攪拌頭運動系統使用的減速器均採用 APEX 系列產品,出廠前內部已經填充足夠的優質潤滑脂,密封良好,潤滑脂無洩漏免保養。導軌滑塊採用定期手動注脂潤滑。

3.7 氣動冷卻、控制系統

採用壓縮空氣對點焊設備進行控制和冷卻。氣動元件安裝在電氣櫃側面。氣動冷卻、控制系統原理圖,詳見圖 3.7.1:

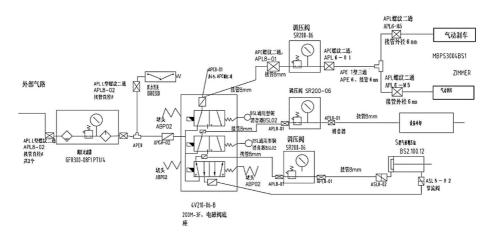


圖 3.7.1 點焊氣體冷卻系統原理圖

3.8 數控系統

採用 SIEMENS 數控系統 SINUMERIK 828D。

3.8.1 部件說明

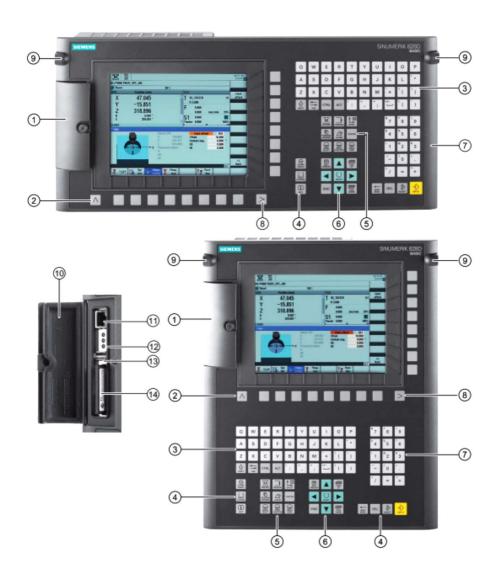
3.8.1.1 週邊處理單元

PPU (Peripheral Processor Unit, 週邊處理單元) 是整個數控系統的核心,它將顯示器、PC、鍵盤、NC (Numerical Control,數控)、PLC (Programmable Logic Controller,可編程邏輯控制器)等集於一體。PPU 硬件分為三款:PPU24x.3、PPU28x.3 和觸摸屏 PPU290。支持包含 4 個檔次3 種加工工藝,共 11 種系統 CF 卡 (其中 SW28 沒有磨床版)。具體功能對照參考下表 3.8.1.1:

表 3.8.1.1 PPU 功能

PPU 硬體	PPU24x.3 BASIC		PPU290.3 /PPU28x.3								
2 4t CF L	SW 24 SW 2		SW 26	6 SW 28		SW 28 Advance					
系統 CF 卡	車	銑	磨	車	銑	磨	車	銑	車	銑	磨
標配軸數	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3
最大支持軸 數		5			6+2		8+2	6+2	10+2	8+2	10+2
最大通道數	1		1		:	1	2	1	2		
最大支持 PP72/48	3		4	1	5	į	5		5		

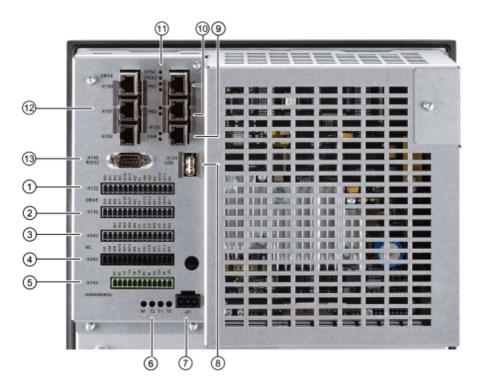
1) PPU 硬件接口,詳見圖 3.8.1.1。



- (1)前蓋
- 4)控制鍵區
- 7數字區
- 10 前蓋板
- (13)X125:USB 接口

- ②菜單回調鍵
- (5) 熱鍵區
- 8菜單擴展鍵
- ①X127:以太網接口
- 14用户 CF 卡接口

- ③字母區
- 6)光標區
- 93/8"螺孔,安裝輔助裝置
- ②狀態 LED 燈: RDY、NC、CF卡



- (1)(2)X122,X132 數字量輸入輸出端,用於驅動
- (3)(4)X242,X252 NC 的數字量輸入/輸出端
- (5)X143 手輪接口
- ⑥M,T2,T1,T0 測量插口
- (7)X1 電源接口
- ⑧X135 USB 接口
- (9)X130 以太網 LAN
- ⑩PN PLC I/O 接口
- ①SYNC,FAULT 狀態 LED 燈
- 12X100,X101,X102 DriveCLIQ 接口
- (3) X140 串行接口 RS232

圖 3.8.1.1 面板處理單元 (PPU) 概觀

2) PPU 正面的 LED 顯示

PPU 前蓋(PPU290.3 除外)的後面共有 3 個 LED 燈,各個指示燈含義詳見下表 3.8.1.2:

表 3.8.1.2 LED 顯示含義

名稱	顏色	狀態	含義
	綠色	恒亮	NC 就緒並且 PLC 正在運行
	黄色	恒亮	PLC 停止
	東巴	閃爍	開機上電中
RDY	紅色	恒亮	NC停止:
NC	黄色	循環閃爍	NC 運行
CF	黄色	恒亮	正在存取 CF 卡

3) PPU 背面的 LED 顯示

在 PN1 端口旁邊有兩個端口狀態的 LED (Fault、Sync)

表 3.8.1.3 LED 顯示含義

名稱	顏色	狀態	含義	
			當外圍I/O模塊、MCP和PN/PN 耦合	
		滅	器連接至控制系統時,該狀態與診	
			斷無關	
	紅色		總線故障:	
Fault	紅黄色		• 沒有到子網/開關的物理連接	
			● 傳送速度錯誤	
			• 全雙工傳送沒有激活	
		閃爍	5 L D	
		(2Hz)	無故障	
				周期系統和PLC I/O接口的發送周期
			不同步。生成了一個和發送時鐘周	
Sync	綠色		期大小相同的內部替代周期。	
			周期系統已和PLC I/O接口的周期同	
		恒亮	步,正在進行數據交換。	

閃爍	周期系統已和PLC I/O接口的周期同
(0.5Hz)	步,正在進行循環數據交換

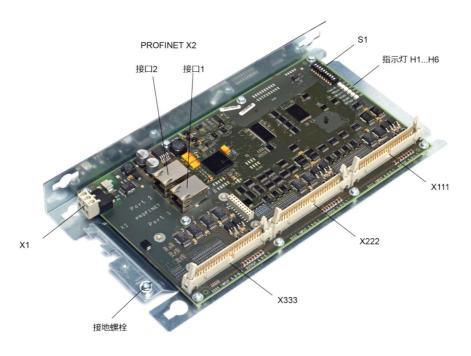
4) 手輪界面 X143 定義

表 3.8.1.4 手輪界面含義

引腳	信號名	說明	引腳	信號名	說明
1	P5	5V 手輪電源	7	P5	5V 手輪電源
2	М	信號地	8	М	信號地
3	1A	A1 相脈衝	9	2A	A2 相脈衝
4	/1A	A1 相脈衝負	10	/2A	A2 相脈衝負
5	1B	B1 相脈衝	11	2B	B2 相脈衝
6	/1B	B1 相脈衝負	12	/2B	B2 相脈衝負

3.8.1.2 輸入輸出模組 PP72/48D PN

PP72/48D PN 是一種基於 PROFINET 網絡通訊的輸入輸出模塊,可提供 72 個數字輸入和 48 個數字輸出。每個模塊具有三個獨立的 50 芯插槽,每個插槽中包括了 24 位數字量輸入和 16 位數字量輸出(輸出的電流最大為 0.25A)。MCP PN只需通過 PROFINET 電纜與 828D PPU 的 PN 口相連,設置相應的參數,並在 PLC 中調用標準 MCP 子程序庫即可正常使用,詳見圖 3.8.1.2.1。



界面名稱	界面類別	說明		
X1	24VDC 電源	3 芯端子式插頭(插頭上已		
XI	24VDC 电源	標明 24V,OV 和 PE)		
PROFINET X2	PROFINET 接口	Port1 和 Port2		
X111, X222,	50 芯扁平電纜插頭	用於數位量輸入和輸出,		
X333	50 心細干电視個與	可與端子轉換器連接		
S1	PROFINET 地址開關			

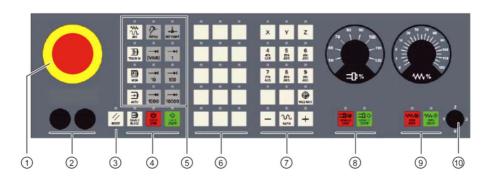
圖 3.8.1.2.1 PP72/48D PN 模塊

3.8.1.3 機床控制面板

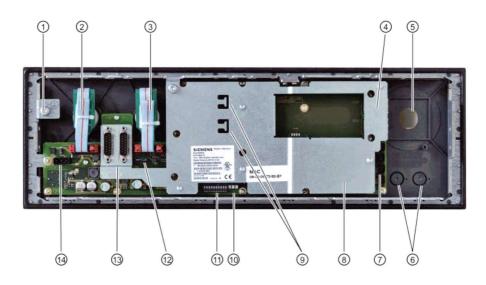
MCP(Machine Control Panel,機床控制面板)PN 只需通過PROFINET 電纜與828D PPU的PN 口相連,設置相應的參數,

並在 PLC 中調用標準 MCP 子程序庫即可正常使用,面板的 按鍵佈局詳見圖 3.8.1.3.1。

▶ MCP483 PN 面板的按鍵正面佈局



- ①急停開關 ②預留按鈕開關的安裝位置 (d=16mm) ③復位
- 4 程序控制 ⑤操作方式選擇 ⑥用戶自定義鍵 T1~T15
- ⑦手動操作鍵 R1~R15 ⑧帶倍率開關的主軸控制
- 9 帶倍率開關的進給軸控制 10 鑰匙開關 (4個位置)
- ▶ MCP483 PN 面板的按鍵背面佈局



- ①地端子②進給倍率 X30 ③主軸倍率 X31
- ④PROFINET 接口 X20/X21 ⑤ 急停開關的安裝位置
- ⑥預留按鈕開關的安裝位置 (d=16 mm)
- ⑦用户專用輸入接口(X51、X52、X55)和輸出接口(X53、
- X54) ⑧蓋板 ⑨以太網電纜固定座 ⑩指示燈
- ① 撥碼開關 S2 ② 保留 ③ 保留 4X10 電源接口

圖 3.8.1.3.1 機床面板正面及背面佈局

- 3.8.2 功能介紹
- 1) 程式管理

DXF、BMP、PDF、JPG 及 HTML 等各種儲存媒體格式的內容, 均可透明顯示。CNC 程式只須複製與貼上,即可從資料伺服 器傳輸到 CNC 記憶體。可在程式管理員選擇大型模具製作 工件,並透過公司網路、USB 隨身碟或 CF 卡直接執行。

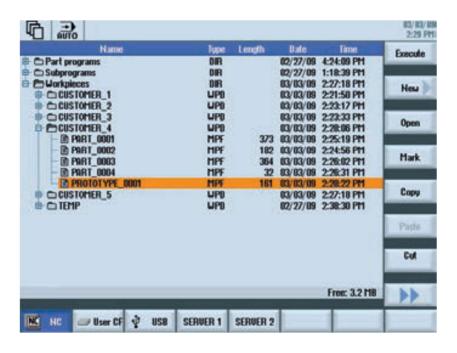


圖 3.8.2.1 程式管理界面

2) 工步編程

工步編程把工件的加工過程分解成具體的工序步驟,諸如 鑽孔、定心、槽及型腔銑削等加工工序都以工步的結構顯 示出來。各種加工信息一目了然,即使用於複雜工件加工, 其程序結構也非常緊凑易讀。這種編程方法有效縮短編程 時間,最大限度地提高加工效率。

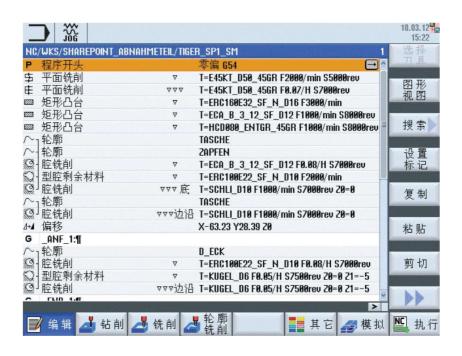


圖 3.8.2.2 工步編程界面

動態藍圖顯示按照真實比例顯示加工程序中的所有幾何元素,並能夠反映在編程過程中輸入信息而產生的變化,無論元素增減,都能在畫面上準確顯示。工步程序和編程動態藍圖可即時切換顯示,並且不需要程序模擬,能夠快速檢查生成的輪廓,確保程序輸入更加準確。當然,在ShopMill/ShopTurn工步編程中也可以使用加工程序模擬功能,編程結束後通過程序模擬以確保程序可靠。

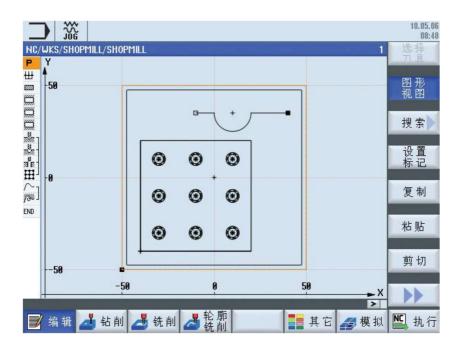


圖 3.8.2.3 動態藍圖顯示界面

3) 智慧型寸動進給模式

智慧型寸動功能操作簡易,不需要編程,寸動方式下能夠實現快速直線、圓弧定位、車削、鑽削、銑削等工藝。對於具有豐富工藝經驗以及極高的機加工技能,而不熟悉編程指令的操作工人而言,手動機床功能是一種高效的生產方式。

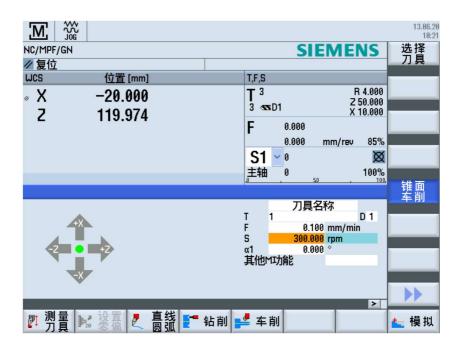
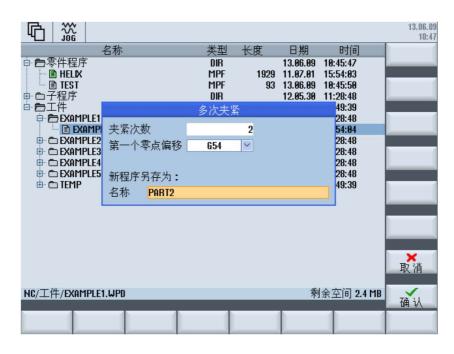


圖 3.8.2.4 寸動界面

4) 多工位裝夾

對於同時加工多個相同或不同零件的編程應用,利用多工位裝夾功能,可以將工件程序目錄下的多個相同或不同的 ShopMill 工步程序,以刀具優先的策略進行整合,重新集成 為一個完整的加工程序。

該功能針對多工位加工應用,能夠最大程度的降低刀具更 換的次數,縮短非切削輔助時間,有效提升加工生產效率。



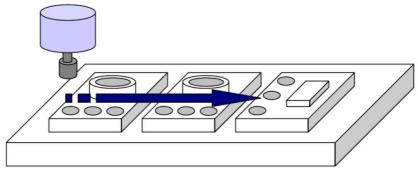
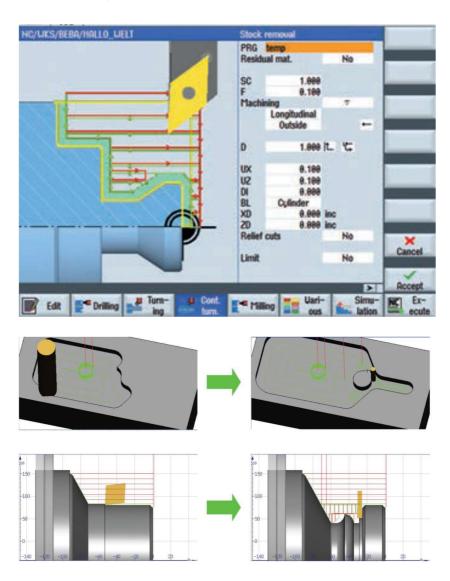


圖 3.8.2.5 多工位裝夾功能界面

5) 剩餘材料偵測及材料移除

SINUMERIK 提供整合式輪廓計算機及智慧型材料移除循環,除了標準幾何圖形外,複雜幾何圖形無需 CAD/CAM 系統即可加工。其範圍從最多 12 個凸島的腔室輪廓銑削延伸,到

車床上輪廓進刀,以及所有這些加工的自動剩餘材料偵測。 這代表每個加工階段皆可使用理想刀具,達成最佳的加工 品質,同時節省大量時間。



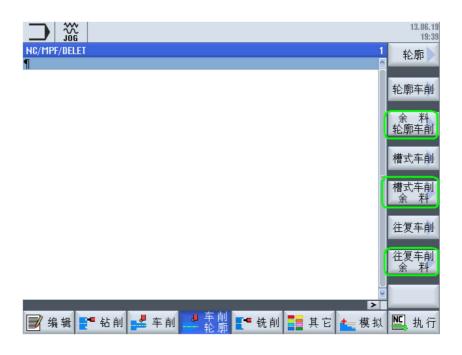


圖 3.8.2.6 輪廓計算機及智慧型材料移除界面

6) 程序模擬

程序模擬使用刀具的實際幾何圖形,模擬顯示出所需加工操作的精確影像,通過模擬倍率調整、單步執行功能,可以控制模擬速度。無論是平面、柱面或旋轉的工件平面,同時通過縮放功能還可以觀察到加工過程的任意細節,而不需重新模擬。全面的 3D 成品模擬功能提供各種角度視圖以及可自定義的剖視圖,借助模擬視圖的實時縮放、旋轉等功能,可以觀察最細微的加工細節,提高加工可靠性。

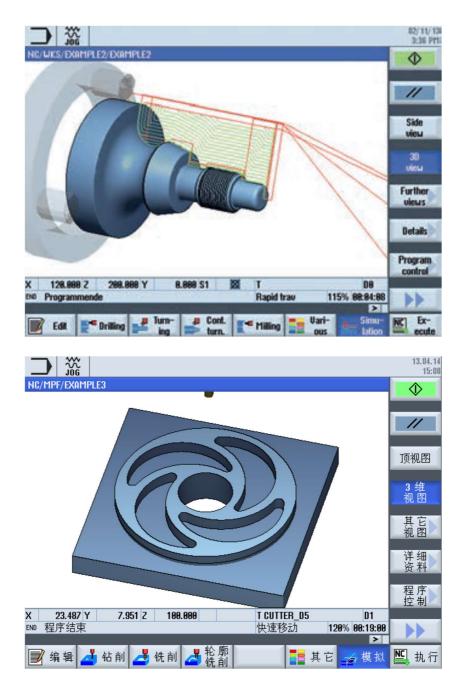


圖 3.8.2.7 CNC 模擬功能

7) 加工實時模擬

在自動加工過程中,程序的實時記錄功能可以顯示完整的 刀具中心軌跡圖以及毛坯加工的頂視圖、側視圖、前視圖 等多種視圖,還可以對視圖進行實時縮放,旋轉等操作, 方便操作人員即時了解、監控加工情況。

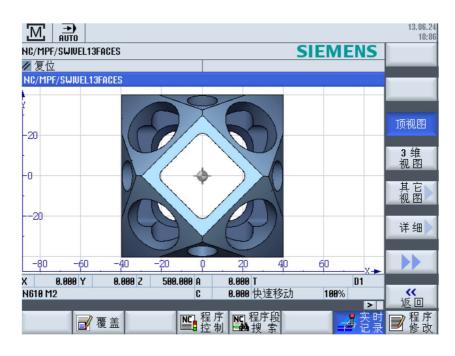
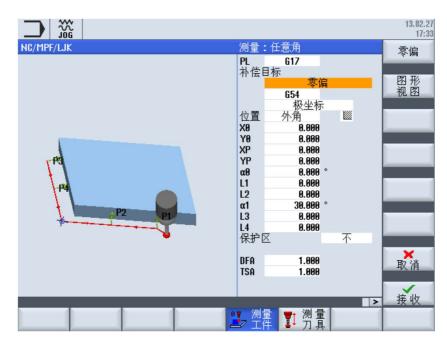


圖 3.8.2.8 加工實時模擬功能

8) 測量循環

通過在線測量循環,進行自動工件找正、檢測以及對刀、 刀具破損檢測,減少機床輔助加工時間,提高生產效率並 確保在整個加工過程中工件精度的一致性。



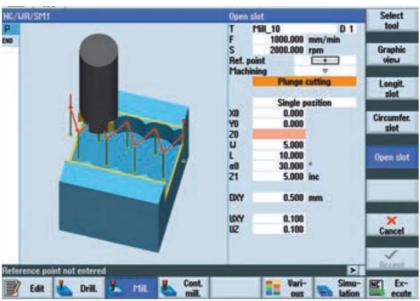


圖 3.8.2.9 測量循環界面

9) 網絡驅動器管理

將電腦同 SINUMERIK 828D 前端的以太網端口連接起來,該端口即插即用。通過背板上的 100Base-T 以太網端口,SINUMERIK 828D 無需其它軟件協議,只需通過簡單連接、配置,即可以自由接入公司網絡。借助網絡驅動器管理功能,在程序管理器上可以直觀的顯示伺服器上的信息。如果您想要從伺服器上傳輸一個加工程序到數控系統內存中,只需通過複製和貼上即可實現加工程序的傳輸,也可以直接編輯、處理網盤數據。

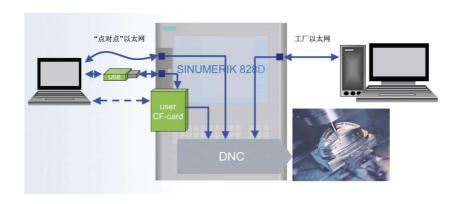


圖 3.8.2.10 網絡驅動器管理

10) FTP 客戶端管理加工程序

通過 FTP 文件傳輸協議驅動器功能,可以輕鬆將機床接入 Internet 網絡,實現機床數據和文件的網絡化管理。該功能可以實現在機床側和外部 FTP 伺服器之間的數據交換(加工

程序),亦可在 FTP 伺服器上新建目錄和子目錄。

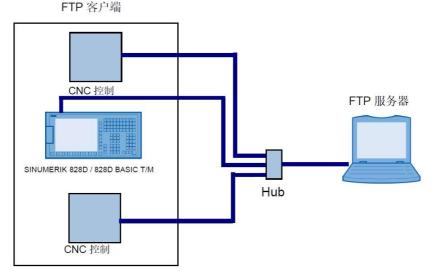




圖 3.8.2.11 FTP 客戶端管理加工程序

11) 替換刀具管理

在刀具清單列表中同時顯示刀具工藝參數和刀套信息,刀 具類型以圖標的方式顯示,工藝人員可以按照工藝習慣自 行定義刀具名稱。通過清晰的刀具表,可以保證刀具管理 穩定可靠。

相同名稱的刀具為替換刀具(ST),利用刀具壽命監控功能, 系統在刀具壽命結束時發出提示並自動調用替換刀具,有 效避免由於刀具破損造成的停機時間。

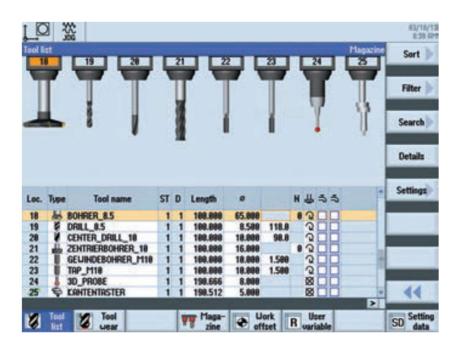




圖 3.8.2.12 刀具管理界面

12) 輪廓手輪

在自動或 MDI 方式下執行程序時,利用 NC 指令 FD=0 或 PLC 信號激活輪廓手輪功能後,通過手輪來控制插補軸或同步軸的進給速度,手輪旋轉的當量、速度和方向將決定插補軸的進給速度和方向。

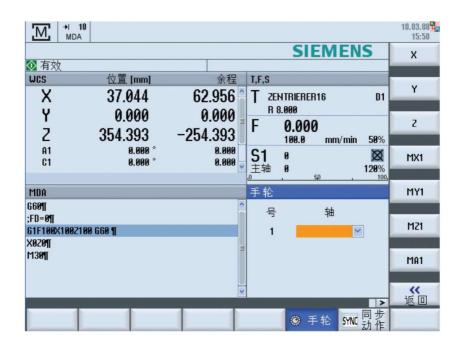
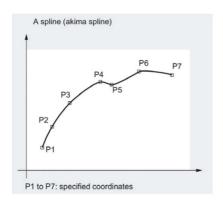
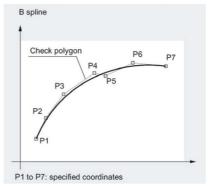


圖 3.8.2.13 輪廓手輪界面

13) 樣條插補

在汽車、航空航天製造以及工模具製造等領域,工件多數需要加工自由曲面,加工程序通常是藉助 CAM 等工具生成並由大量微小的線段組成,根據不同的加工特點及表面質量要求,利用各種樣條插補功能(A 樣條、B 樣條、C 樣條)將這些小線段進行位置和速度平滑處理。尤其是 B 樣條和 C 樣條插補功能,確保加工過程中不僅速度是連續變化,加速度同樣可以實現連續變化,從而保證最優的加工表面質量效果,為自由曲面加工,尤其是高速加工提供優異的解決方案。





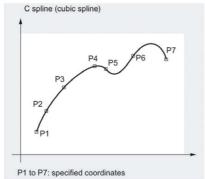


圖 3.8.2.14 樣條插補界面

14) 旋轉軸運動測量循環

在激活斜面加工功能後,利用旋轉軸運動測量循環,可以通過 3D 測頭對空間球體的位置進行測量,利用測量空間內的曲面位置精確計算用於定義斜面轉換的幾何關係。操作過程簡便快捷,測量結果精確,設置簡便。該測量功能適用於 3+2 軸機床首次調試,也可以用於精密校正已經調試好的機床。

只需調用刀具測量循環,測量得到的幾何偏差就會立刻補 償到刀具磨損值中,從而修正刀具參數。如需記錄工件測 量值,測量循環會將測量結果寫入一個日誌文件中,這樣 可以在任何時候驗證工件精度。

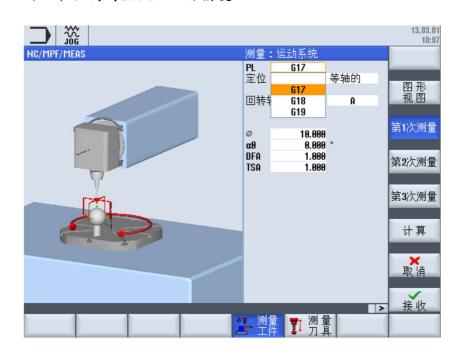


圖 3.8.2.15 旋轉軸運動測量循環界面

15) 雙通道同步編程

對於配置有雙刀架,雙主軸或單主軸等可以進行雙通道加工的車床,利用雙通道同步編程功能,NC編程定義 JOB 文件實現對雙通道加工數據的引用、調用,設置同步加工點,調整不同通道間同時加工程序的生產時間以及停機時間,有效提升雙通道車床的生產效率,便捷的雙通道人機對話

編程方式能輕鬆實現複雜的同步程序編輯並有效優化加工程序。雙通道同步編程適用於 G 代碼以及 ShopTurn 工步程序。

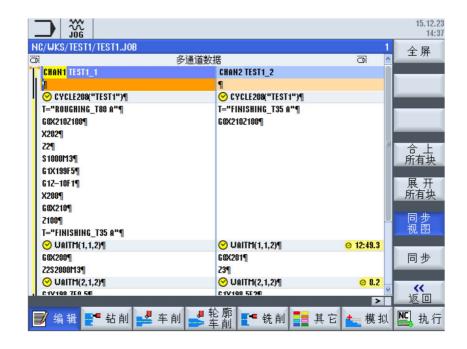
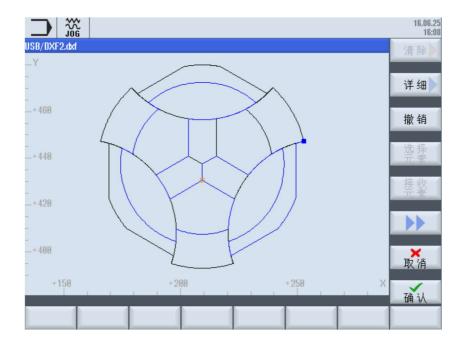


圖 3.8.2.16 編程界面

16) DXF 讀取器

DXF 讀取器可支援顯示這種 CAD 資料格式,並直接傳輸至 CNC 程式。DXF 文件可直接在數控系統中打開,輕鬆點擊鼠標便可將幾何輪廓或點位數據轉換為數控程序。在G代碼或 ShopMill/ShopTurn 工步程序的編輯器中直接導入 DXF 文件 圖紙,可以選擇相應圖層顯示,進行快速的加工輪廓幾何

元素的選取或鑽削類工藝孔位的選擇,系統自動生成所選 擇的封閉或非封閉元素的輪廓程序或孔位中心位置程序。 簡便快捷的完成從零件圖紙到加工程序的轉化。



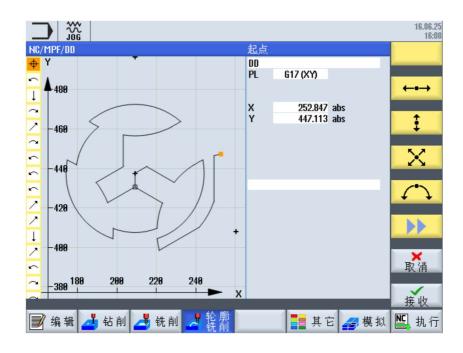


圖 3.8.2.17 DXF 讀取器

17) 刀具最高速度監控

通過調整相應的刀具數據,對刀具的最大速度以及最高旋轉加速度進行監控,實現對刀具更完善的監控管理。靈活的刀具最高速度監控功能,避免由於刀具調用錯誤造成的刀具損壞、加工故障機率。



圖 3.8.2.18 刀具參數界面

18) 測量刀具及工件

智慧型寸動進給模式提供刀具與工件測量,以探測稜邊、轉角或孔洞以決定鉗緊位置,包含刀具的基本旋轉,以及旋轉工件平面內。使用刀具「刮擦」或測量系統判定即可,能將幾何形狀傳輸至 CNC 的刀具偏移量記憶體。

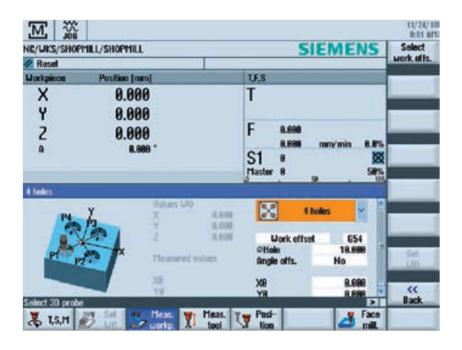


圖 3.8.2.19 刀具與工件測量界面

3.9 操作說明

- 操作者必須通過安全培訓和操作培訓,方可操作設備。操作人員必須嚴格按照使用說明來操作設備,嚴禁超負荷、超規範使用設備。
- 接通設備前,應檢查並確認主軸上攪拌頭已擰緊,防止攪拌頭未擰緊情況下旋轉甩出,造成人身傷害。
- 3) 至少雨名以上操作人員在場,才允許開動設備。
- 4) 開機順序: 先合上總電源開關, 然後再合上主電源開關。

- 5)接通電源後,要密切注意設備的狀況:有無故障信號顯示, 是否影響設備正常運行。檢查各項壓力指標:壓縮空氣壓 力應大於等於 0.7MPa、潤滑是否正常。攪拌摩擦點焊機頭 需先進行預熱,再進行焊接。
- 6)如有異常音響、異常現象或故障警報,如噪音、異味、溫升、振動等,應立即停機,找出原因,排除故障,並做相應記錄後再運行。
- 7) 焊接件必須有工裝夾具固定,嚴禁無固定或手持等方式。
- 8) 在進行點焊焊接時,操作人員要戴手套,採用加持工具進行焊接,嚴禁空手持被焊工件進行焊接,防止燙傷。
- 9) 設備運行中必須關好電器櫃門。
- 10)急停按鈕裝在控制面板的顯眼位置,運行中一旦發現可能 會對人員、設備造成傷害的情況,必須迅速按急停按鈕; 這也適用於誤操作或對系統部件有損害的情況。
- 11) 在主軸停止運動後,才允許進行攪拌頭的裝卸和被焊工件 的更換。
- 12) 設備斷電應遵循先按下停止按鈕,再切斷總電源的原則。
- 13) 關機順序應遵循先停止,再關電源的原則。
- 14) 機床運行過程中,嚴禁停電。
- 15) 測量、調整和清掃設備時,設備必須停止運行並切斷電源, 以免造成意外。
- 16)機床防護罩和拖鏈上禁止放置任何物品或站人。

17) 設備電氣操作詳見 3.10 電氣部分。

3.10 電氣系統

此設備貫徹標準 GB5226.1-2002 機械安全機械電氣設備第一部分:通用技術條件,每一個操作者和維護者應熟悉設備說明書中的操作說明及注意事項,以及 SIEMENS SIMOTION 控制系統及SINAMIC S120 伺服系統的相關資料,並使設備及電櫃接地良好。設備電櫃內及各電氣接線盒內有對人身危險的電壓,應由經過培訓的具經驗人員按照說明書進行操作和維護,否則將導致人身傷亡和財產、設備損壞,造成重大事故。設備和所有的電氣設備都必須可靠的接地。每隔一季度至半年檢查一次電氣接線有否鬆動,電機、電櫃、組合行程開關及各限位開關的絕緣和工作性能,發現問題應及時更換。

3.10.1 系統配置及組成

攪拌摩擦點焊設備控制系統包括控制櫃和操作台。設備的工藝過程控制系統採用 SIEMENS 828D 數控系統。該系統主要包括如下特性(詳見表 3.10.1.1):

表 3.10.1.1 系統功能組件

功能種類	功能描述
控制特性	基於SINAMICS S120內置PLC S7(集成式)

驅動特性	動態伺服控制(DSC: Dynamic Servo Control)動 態回應好
佈線	採用智慧型DRIVE-CLIQ界面使得佈線簡單
補償種類	反向間隙補償+螺距誤差
插補方式	直線插補

通過以上組件構成一個控制功能強大、結構緊凑、控制精 度高的攪拌摩擦焊點焊機控制系統。具有易用的操作界面、 靈活的操作方式、中、英文等多種語言的操作環境、豐富 的編程語言,可實現設備的各種控制要求。

摩擦點焊機旋轉軸、針軸及套軸均採用 1FK 系列高動態性能的交流伺服電機。

根據設備工藝控制需要,還配備有以下輔助控制:

1) 氣路單元:摩擦點焊機氣動剎車、氣液增壓、工件冷卻;

2) 腳踏開關:可以方便地啟動焊接。

3.10.2 PLC 控制單元

PLC 控制單元採用 PP72/48 分佈式 I/O 模塊,通過 Profinet 總線接口方式使得系統響應時間更快,如下圖 3.10.2.1 所示。

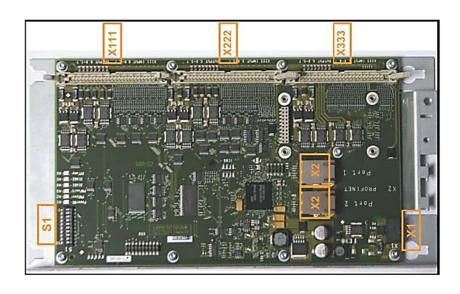


圖 3.10.2.1 PLC 控制單元

3.10.3 伺服驅動單元

伺服驅動單元包括伺服驅動電源、伺服驅動器和伺服電機。 伺服驅動電源主要為伺服驅動器提供穩定的 600VDC 動力電 壓。伺服驅動器將伺服驅動電源提供的 600VDC 轉化為電機 可使用的 380VAC。伺服驅動器通過 DRIVE-CLIQ 接口接受 CNC 單元指令完成伺服位置控制任務。伺服電機驅動執行機 構,完成各個軸(針、套、點焊旋轉軸)的運動。

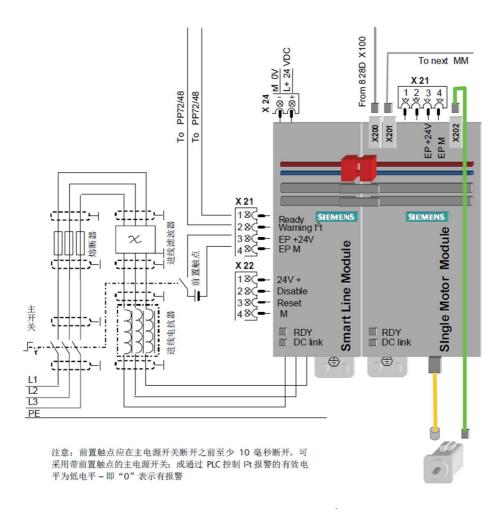


圖 3.10.3.1 伺服驅動單元

3.10.4 點焊機氣動單元

氣動系統主要功能有:為氣液增壓缸提供動力,以便焊接 時對工件進行壓緊;為焊接提供冷卻氣體。氣動單元主要 由閥島、減壓閥、壓力傳感器等組成。 由於攪拌摩擦點焊焊接的特殊性,焊接時攪拌主軸高速旋轉,同時工件與工作台之間沒有預置的固定部件,所以焊接時如果設備本身提供的壓力不足,容易造成工件飛出,造成工作人員受傷。為了滿足設備的安全要求,我們專門選用了氣液增壓缸提供壓力動力,並在氣體進入系統後預置了壓力開關,以便在壓力不足時提供警報信息,同時進行系統鎖定,來保證設備的安全運行。

氣液增壓缸上預置了壓力開關,防止出現進氣壓力不足令 警報失效,造成設備在欠壓的情況下運行,導致工傷風險; 同時通過調整氣動單元的減壓閥,改變進氣壓力,從而調 節氣液增壓缸對工件的壓緊力。

3.11 使用操作說明

3.11.1 使用操作說明及注意事項

- 1) 設備在上電前,首先確認各個連接端子是否連接良好、電源是否已經可靠接地,方可上電執行操作。設備的供電系統採用交流 380V,從電源引到控制箱後左側的航空插頭處。
- 2) 設備的供電系統採用三相四線制交流 380V,要求電源的 電壓的波動必須在±10%的範圍內。

- 3)為保證設備的電氣系統穩定運行,設備要安裝於遠離高頻、電火花及干擾源之處。
- 4) 為保證設備安全運行,建議用戶最好配置穩壓電源。
- 5)從電源將三相線引入到穩壓電源(穩壓電源由用戶自備),從穩壓電源輸出的電源線引入到控制箱左側航空插頭處。
- 6) 電櫃的三相動力電源線必須採用不得低於 4G6mm² 銅導線引入到電源總開關。
- 7) 設備的接地、接零一定要正確,所有接線必須牢固。

注意:

- ▶ 需要在增壓缸的下壓或抬起動作到位後,才可以關閉剎車,以免增壓缸動作沒有到位時關閉剎車,造成下次打開剎車時增壓缸直接動作引起危險。
- ▶ 「氣動剎車」和「氣液增壓缸」動作時,操作員需處於 安全位置,身體遠離機頭和底座。
- 通氣時,要考慮當前的氣閥狀態,考慮到通氣後機頭可能出現的動作。操作員需處於安全位置,身體遠離機頭和底座。
- ▶ 任何時候,不得將肢體置於圓形底座與攪拌頭之間。

3.11.2 設備上電和關機步驟

3.11.2.1 設備上電步驟

當控制箱的主電源線與供電系統接好後,確認地線與零線連接無誤,即可上電。注意插接主電源線時,需將供電箱線路斷電。將控制箱上的電源總開關轉至「ON」的位置上,使設備上電。當人機界面啟動完成後,鬆開控制櫃和面板急停開關,按下系統啟動按鍵和操作界面上的復位鍵,系統允許上電,警報消除。當有緊急情況發生時,請按下「緊急停止」按鈕,待故障排除後方可將「緊急停止」復位。

3.11.2.2 設備斷電步驟

在進行設備斷電時應注意以下操作是否完成:

- 軸運動是否結束,將設備開在安全位置並取消各軸允許
 活動訊號,按下操作台上的急停按鈕;
- 2) 系統完全斷電,將控制機櫃上的旋鈕選擇開關轉至「OFF」的位置上。

3.11.2.3 設置零點操作

1) 手動調零位

將套和針調至與壓緊套齊平的位置,可用鋼尺等物件來判斷是否齊平。

2) 設置參數

點菜單鍵(詳見圖 3.11.2.3.1)→調試→機床數據→軸機床數據,右上角切換到 W1,搜索 32700 改為 0,搜索 34210 改為 1。點機床數據有效,點 RESET 復位鍵,使得參數生效。

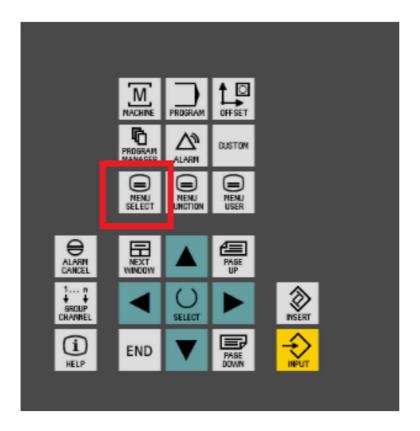


圖 3.11.2.3.1 菜單鍵

3) 控制面板操作

- ▶ 控制面板上切換至零點模式
- ▶ 選中 X(W1),點軸+,則 W1 設置為 0。

4) 修改參數使得補償生效

將 W1 的 32700 改為 1,機床數據有效,點復位鍵。

- ▶ 同樣的辦法用於設置套軸 W2 的零點
- ▶ 當兩個軸都需要設置零點時,可設置兩個軸的參數, 然後面板上依次選中 W1 軸+, W2 軸+來操作設置零 點。

3.12 界面操作

3.12.1 主操作界面

設備上電後,操作軟件啟動完成,點擊 CUSTOM,進入主操作界面。主界操作面包含自動操作、程序、程序管理、參數等操作按鍵。操作界面如下圖 3.12.1.1 所示:



圖 3.12.1.1 主操作界面

3.12.2 自動模式

點 AUTO 進入自動模式 (詳見圖 3.12.2.1),自動模式包含:

- ▶ 當前程序名
- ▶ 針和套的位置圖形顯示
- ▶ 設置預熱轉速
- ▶ 顯示主軸轉速、針和套的位置
- ▶ 顯示自動流程:進度條指示處於下壓、焊接、抬起階段



圖 3.12.2.1 自動模式界面

在實際焊接過程中,可以實時觀察「主軸實時轉速」、「針位置」、「套位置」。通過條形圖可以實時觀察針和 套的相對位置。

3.12.3 程序界面

在進行正式焊接之前,必須對程序進行設置(詳見圖 3.12.3.1)。序號代表著工藝步驟,與序號同行的一組工藝 參數則為一個工藝步驟對應的工藝參數,每一步位置、轉 速及時間,焊接流程最多8個工藝步驟。



圖 3.12.3.1 程序界面

- ▶ 不使用的步驟設置參數為 0
- ▶ 複製鍵可以實現程序的複製
- ▶ 選擇到其他程序時,可以執行貼上
- ▶ 右側顯示程序名
- ▶ 點選項按鍵,進入程序管理器,可以選擇和新建程序

3.12.4 程序管理界面

在程序界面,點選項按鍵,進入程序管理器(詳見圖 3.12.4.1)。



圖 3.12.4.1 程序管理器

- ▶ 右側按鍵可以選擇程序
- ▶ 選擇程序後,可更改程序名
- ▶ 被選擇的程序名深色顯示
- ▶ 可以翻頁查看程序
- ▶ 按退出鍵,返回程序界面

3.12.5 設備參數界面

設備參數界面(詳見圖 3.12.5.1):

▶ 顯示針和套的限位,可設置手動主軸轉速。

- ▶ 針和套的限位由於機械結構的限制,不允許放大。
- ▶ 通過「主軸轉速」設置手動模式的主軸轉速。



圖 3.12.5.1 設備參數界面

3.12.6 手動操作

操作面板(詳見圖 3.12.6.1)上包括三個氣閥按鍵:「氣冷」、「剎車」、「氣液增壓缸」。按鍵指示燈顯示氣閥 狀態。剎車控制導軌抱閘,打開時抱閘鬆開,關閉時抱閘 鎖緊。氣液增壓缸在剎車打開的前提下,才可以動作。 可以手動運行各軸,選中 JOG 模式,選中對應軸(W1-針, W2-套,SP-主軸),按+/-手動運行軸。



圖 3.12.6.1 操作面板

注意:

- 通氣時,要考慮當前的氣閥狀態,考慮到通氣後機頭可能出現的動作。操作員需處於安全位置,身體遠離機頭和底座。
- ▶ 「氣動剎車」和「氣液增壓缸」動作時,操作員需處於 安全位置,身體遠離機頭和底座。
- ▶ 手動操作完畢,需要關閉剎車。
- 需要在增壓缸的下壓或抬起動作到位後,才可以關閉剎車,以免增壓缸動作沒有到位時關閉剎車,造成下次打開剎車時增壓缸直接動作引起危險。
- 在拆卸攪拌工具時,不允許操作設備;當有人操作設備時,不允許拆卸攪拌工具,不允許將肢體任何部分放置於攪拌針和底座之間。

3.13 點焊操作流程

3.13.1 操作步驟

- 1) 检查設備狀態、是否已接通氣源;
- 2) 打開設備;
- 3) 攪拌工具裝拆,步驟詳見3.5.2 攪拌摩擦點焊工具拆裝;
- 4) 安裝工裝:將點焊工裝裝上設備;
- 5) 手動操作調零點:將攪拌針、攪拌套、壓緊套接觸焊件 並保持在同一水平線上,確定後在設備上設置「零點」;
- 6) 確認配方參數後進行焊接;
- 7) 焊接完成,取下試樣(注意焊後樣件溫度較高,須佩戴 手套才可觸碰);
- 8) 焊接完畢,將攪拌工具取下進行保養,取下工裝,關閉設備。

3.13.2 攪拌工具的保養

將更換下來的攪拌針、攪拌頭、壓緊套放進 20%濃度的氫氧 化鈉(NaOH)水溶液中浸泡 5 至 6 小時後,用清水清洗乾 淨,擦乾後塗上防鏽油,將攪拌針、攪拌頭、壓緊套收起, 等待下次使用。

3.14 維修及養護

3.14.1 常見故障錯誤和說明

- 在設備的故障界面中,可以顯示出設備當前出現的警報。 有些警報信息的字體是黑色的,屬於提示信息;有些警 報信息字體是紅色的,屬於故障性警報。
- 2) 點擊大部分警報信息的幫助鍵,可以顯示警報文本,請 根據詳細警報信息執行故障排除。

3.14.2 保養和維護

- 一定要將設備的強電斷開,再進行保養和維護,嚴禁帶 電操作。
- 2)控制系統單元內積累的灰塵會阻止內部電路散熱,將導致系統過熱,可能進一步導致系統內部電路損壞;另一方面,積累的灰塵有時會成為導體,使內部電路短路,特別是在高濕度的情況下。經常利用高壓氣體吹走控制模塊的灰塵,保持清潔衛生。
- 3) 經常檢查並保持操作檯面、按鈕、系統顯示屏幕及儀表、 監視器等完好整潔。用潔淨乾燥的氣體吹走內部灰塵, 用柔軟無腐蝕的材質擦拭表面,使之經常保持清潔。

4) 經常檢查設備的運行狀況,有無異常聲音。有關伺服電機驅動部分的簡單維護及保養,請根據使用情況、使用環境進行判斷,決定最恰當的維護時期。

注意事項:

- 設備第一次通電前,應對設備的接地電阻和絕緣電阻進 行檢查測量。
- 機床的接地線一定要可靠牢固,必須要保證足夠的截面積。
- 在利用通訊口進行數據傳輸時,外部設備的電源要和系統電源共地。在連接通訊接口傳輸電纜時,必須將數控系統和計算機的電源都斷開,嚴禁帶電插拔電纜。帶電插拔電纜將會導致通訊接口燒壞。
- 不允許在設備上使用高頻、高壓等干擾電源。即使在設備斷電的情況下,也不准許在設備上進行例如電焊機等設備操作。
- ▶ 應為設備的保養和日常檢查做好相應的記錄。

4.回填式攪拌摩擦工藝與焊點性能

回填式攪拌摩擦點焊(Refill Friction Stir Spot Welding,RFSSW) 利用攪拌頭和工件摩擦生熱,使材料達到熱塑性狀態,然後通 過精確控制軸套和攪拌針的軸向運動,使熱塑性的材料在機械 力的作用下發生劇烈的塑性變形,將原始的搭接界面打碎並充 分混合,並在攪拌頭回撤的同時填充攪拌頭在焊接過程中形成 的退出孔,從而形成無匙孔的焊點。可應用於鋁、鋼等金屬材 料的焊接作業。

我們通過該技術已經成功製備出鋁/鋁、鋁/鋼等複合材料。本實驗板材為純鋁、純鋼板材。實驗步驟如下:

- 軋製前用酒精清洗板材表面以去除油脂,用角磨機進行打磨處理,詳見圖 4.1;
- 將板材打磨過的表面接觸疊合堆放,為防止焊接過程中發生滑動,用夾緊器夾緊板材兩端;
- 3) 進行焊接實驗並記錄實驗數據,相關實驗數據詳見以下章 節。

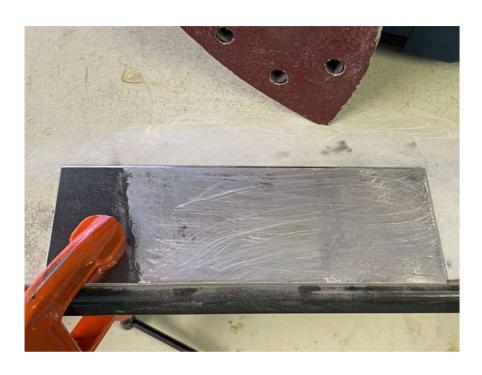


圖 4.1 打磨處理

4.1 回填式攪拌摩擦工藝

4.1.1 鋁/鋁同種材料

鋁/鋁同種材料 RFSSW 實驗參數如下表所示:

表 4.1.1.1 鋁/鋁同種材料 RFSSW 實驗參數

上層	厚度	下層	厚度	攪拌頭扎入	攪拌頭轉	攪拌頭下壓的運
材料	(mm)	材料	(mm)	深度(mm)	速(rpm)	動速率(mm/s)
鋁	1	鋁	2	1.2	2000	1
鋁	1	鋁	2	3	2000	0.5
鋁	2	鋁	2	2.3	2000	1
鋁	2	鋁	2	2.4	2000	1

鋁/鋁同種材料 RFSSW 樣品宏觀圖片如下圖所示:

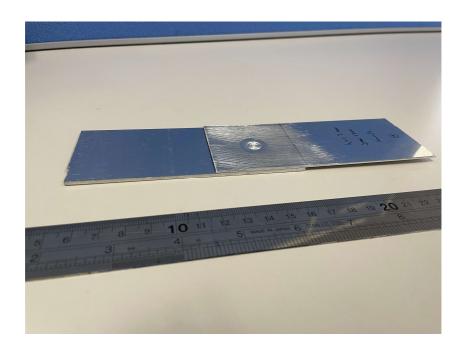


圖 4.1.1.1 鋁 (上層 1mm)/鋁 (下層 2mm) RFSSW 樣品

工藝參數: 攪拌頭扎入深度 1.2mm, 攪拌頭轉速 2000rpm, 攪拌 頭下壓的運動速率 1mm/s



圖 4.1.1.2 鋁 (上層 2mm)/鋁 (下層 2mm) RFSSW 樣品

工藝參數: 攪拌頭扎入深度 2.4mm, 攪拌頭轉速 2000rpm, 攪拌 頭下壓的運動速率 1mm/s

鋁/鋁同種材料含匙孔的攪拌摩擦點焊(Friction Stir Spot Welding,FSSW)宏觀樣品圖片,詳見圖 4.1.1.3,與 RFSSW 焊點圖片對比,可以看出 RFSSW 焊點尺寸更小,更平整及 美觀。



圖 4.1.1.3 鋁 (上層 1mm)/鋁 (下層 2mm) 含匙孔的 FSSW 樣品

4.1.2 鋁/鋼異種材料

鋁/鋼異種材料 RFSSW 實驗參數如下表所示:

表 4.1.2.1 鋁/鋼異種材料 RFSSW 實驗參數

上層	厚度	下層	厚度	攪拌頭扎入	攪拌頭轉	攪拌頭下壓的運
材料	(mm)	材料	(mm)	深度(mm)	速(rpm)	動速率(mm/s)
鋁	1	鋼	2	0.9	2000	1
鋁	1	鋼	2	1.5	1200	0.13
鋁	2	鋼	2	1.85	2000	1

鋁/鋼異種材料 RFSSW 樣品宏觀及體式顯微鏡拍攝的圖片詳 見圖 4.1.2.1 所示:

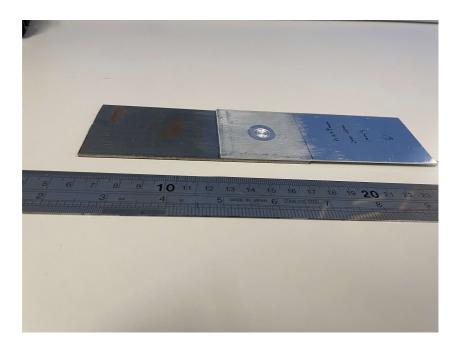


圖 4.1.2.1 鋁 (上層 1mm)/鋼 (下層 2mm) RFSSW 樣品

工藝參數: 攪拌頭扎入深度 0.9mm, 攪拌頭轉速 2000rpm, 攪拌 頭下壓的運動速率 1mm/s



圖 4.1.2.2 鋁(上層 2mm)/鋼(下層 2mm) RFSSW 樣品

工藝參數: 攪拌頭扎入深度 1.85mm, 攪拌頭轉速 2000rpm, 攪拌頭下壓的運動速率 1mm/s

鋁/鋼異種材料含匙孔的 FSSW 樣品圖片,詳見圖 4.1.2.3,與 上圖對比可以看出 RFSSW 焊點尺寸更小,更平整及美觀。

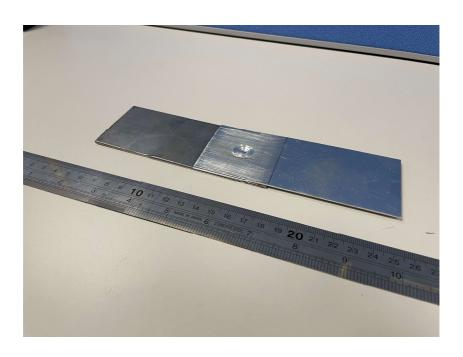
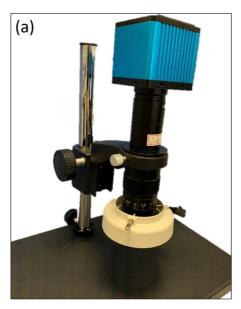


圖 4.1.2.3 鋁 (上層 1mm)/鋁 (下層 2mm) 含匙孔的 FSSW 樣品

4.2 回填式攪拌摩擦焊點性能

鋁/鋁、鋁/鋼材料攪拌摩擦焊後,需對其進行物理及化學測試 檢查。測試包括三個主要方面:

1) 界面觀察:界面是決定複合材料性能的關鍵因素,本章對 鋁/鋁、鋁/鋼材料的 RFSSW 焊點界面微觀結構及界面行為分章進行詳細闡述。用光學顯微鏡觀察複合板材界面,以驗 證 RFSSW 效果,測試儀器如圖 4.2.1 所示。



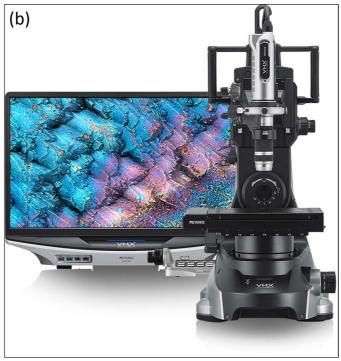


圖 4.2.1 測試儀器: (a) 體視顯微鏡(b) 數碼光學顯微鏡

2) 機械性能:

a) 硬度是在壓頭和試驗力作用下所反映出的彈性、塑性、 強度、韌性及磨損抗力等多種物理量的綜合性能。硬度 的測定主要決定於壓痕的深度、壓痕投影面積或壓痕凹 印面積的大小。本章硬度測試方案為測試點沿厚度方向 分為三排,分別位於中心線和中心線上下各1mm處,每 排測試點水平方向間距為 0.5mm,示意圖詳見圖 4.2.2。 利用硬度性能測試確定樣品 RFSSW 焊點截面的硬度值, 測試儀器詳見圖 4.2.3 (a)。

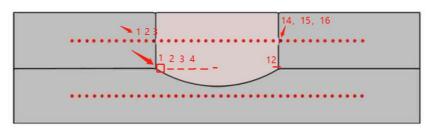


圖 4.2.2 硬度測試示意圖

b) 表面粗糙度(Surface Roughness)是指加工表面具有的較小間距和微小峰谷的不平度。表面粗糙度越小,則表面越光滑。表面粗糙度與機械零件的配合性質、耐磨性、疲勞強度、接觸剛度、振動和噪聲等有密切關係,對機械產品的使用壽命和可靠性有重要影響。利用粗糙度性能測試確定樣品 RFSSW 焊點的粗糙度值,測試儀器詳見圖4.2.3(b)。

- c) 耐腐蝕性是金屬材料抵抗周圍介質腐蝕破壞作用的能力, 是由材料的成分、化學性能、組織形態等決定的。鹽霧 測試是一種環境試驗,主要利用鹽霧試驗設備所創造的 人工模擬鹽霧環境,來考核產品或金屬材料耐腐蝕能力。 利用鹽霧測試確定樣品 RFSSW 焊點的耐腐蝕性能,測試 儀器詳見圖 4.2.3 (c)。
- d) 拉伸試驗是指在承受軸向載荷拉伸下測定材料特性的試驗方法。利用拉伸測試確定 RFSSW 樣品的拉伸強度、屈服點、屈服強度和其它拉伸性能指標,測試儀器詳見圖4.2.3(d)。
- e) 材料疲勞測試是利用金屬試樣在各種環境下,通過交變 載荷循環作用而測定其疲勞性能,並研究其斷裂過程、 評定材料、零部件的疲勞強度及疲勞壽命。利用疲勞測 試確定 RFSSW 樣品的拉伸負荷的疲勞性能,測試儀器詳 見圖 4.2.3 (e)。
- f) 利用噴漆測試,確定 RFSSW 樣品焊點的噴漆性能。











圖 4.2.3 測試儀器: (a)維氏硬度測試儀(b)探針式輪廓儀(c)鹽霧測試儀(d)拉力試驗機(e)疲勞試驗機

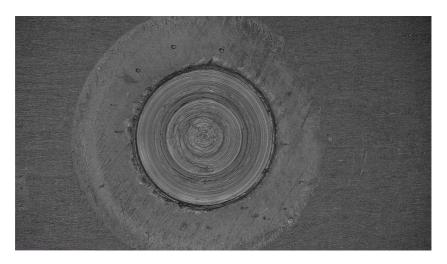
3) 斷裂機理分析:斷裂機理分析需要收集斷裂面樣品,並通過光學顯微鏡作精密分析。由於 RFSSW 樣品的斷裂是不規則的,因此採用光學顯微鏡以測量斷裂表面較為合適,測試儀器如圖 4.2.1 所示。

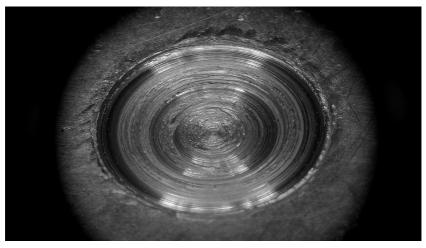
4.2.1 鋁-鋁同種材料焊點性能

4.2.1.1 界面觀察

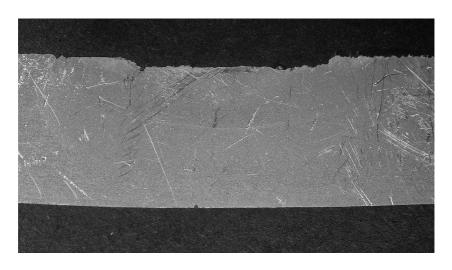
焊點形貌需要用到光學顯微鏡以協助觀察界面的狀態並找 出潛在的損傷。以下為不同厚度組合的 RFSSW 與含匙孔的 FSSW 焊點界面形貌的觀察與分析:

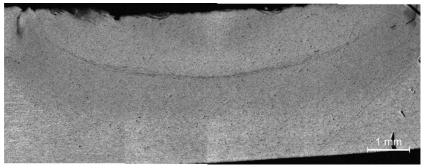
(1) RFSSW: 鋁(上層 1mm)+鋁(下層 2mm)





> 焊點表面光滑平整



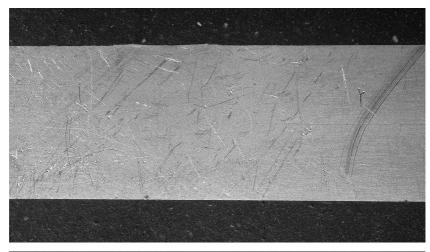


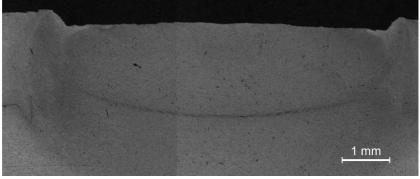
- ▶ 材料界面緊密,無裂紋
- ▶ 焊點內部無裂紋,成型良好
- (2) RFSSW: 鋁(上層 2mm)+鋁(下層 2mm)





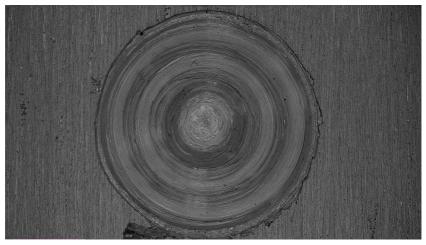
▶ 焊點表面光滑平整





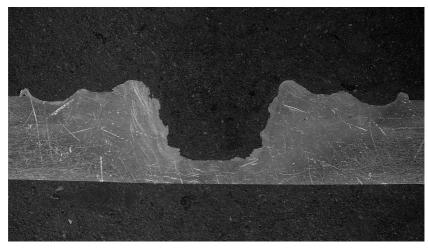
▶ 材料界面緊密,無裂紋

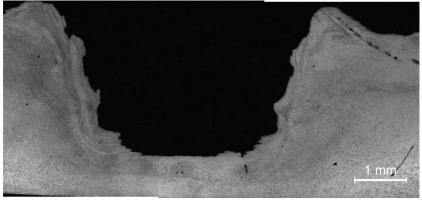
- ▶ 焊點內部無裂紋,成型良好
- (3) FSSW (含匙孔): 鋁(上層 1mm)+鋁(下層 2mm)





▶ 焊點表面有明顯凹坑





▶ 材料界面緊密,無裂紋

▶ 焊點內部無裂紋,成型良好

4.2.1.2 硬度測試

我們就鋁-鋁樣品做了詳細的表面硬度測試,相關測試結果 詳見圖 4.2.1.2.1-4.2.1.2.3,以下為測試條件。

測試條件:

1) 壓力 25gf

2) 保壓時間 10 秒

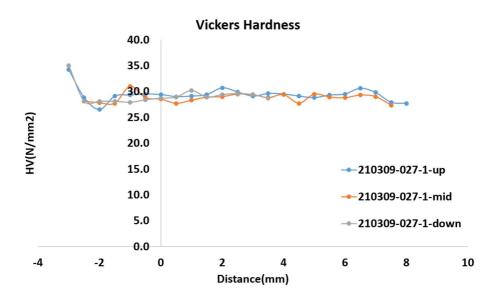
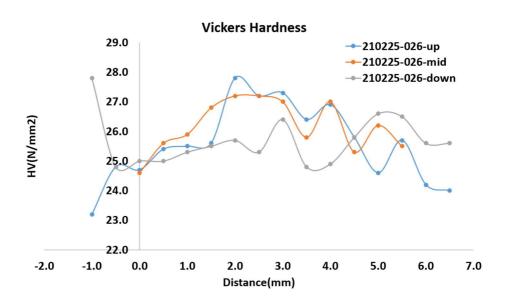


圖 4.2.1.2.1 鋁 (上層 1mm) + 鋁 (下層 2mm) RFSSW 樣品



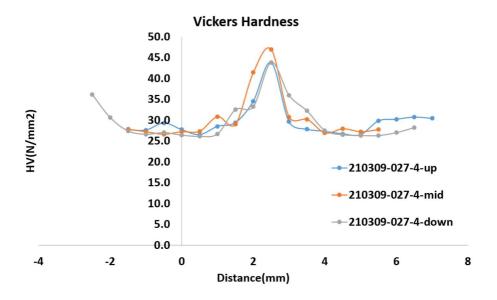


圖 4.2.1.2.3 鋁 (上層 1mm) + 鋁 (下層 2mm) FSSW (含匙孔) 樣品

以上可以看出 RFSSW 焊點硬度分佈均匀,含匙孔的 FSSW 焊點硬度分佈較為離散。

4.2.1.3 粗糙度測試

我們對鋁-鋁樣品焊點做了詳細的表面粗糙度測試,相關測 試結果詳見圖 4.2.1.3.1 中,可以看出金屬 RFSSW 焊點表面 粗糙度遠小於金屬 FSSW (含匙孔) 焊點表面粗糙度。

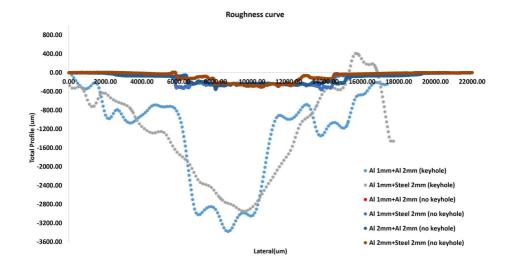


圖 4.2.1.3.1 RFSSW 及 FSSW (含匙孔) 樣品焊點表面粗糙度

4.2.1.4 鹽霧測試

通過鹽霧測試對鋁-鋁樣品的耐鹽霧腐蝕性能進行考核。

測試條件:

- 1) 測試溫度 35℃
- 2) 氯化鈉溶液腐蝕 50g,溶液 PH 值 6.8
- 3) 樣品擺放角度 20℃
- 4) 時間 24 小時

圖 4.2.1.4.1-4.2.1.4.3 為鋁-鋁樣品鹽霧測試後圖片。可以看出 鋁表面有輕微的變色。



圖 4.2.1.4.1 鋁 (上層 1mm) + 鋁 (下層 2mm) RFSSW 宏觀照片

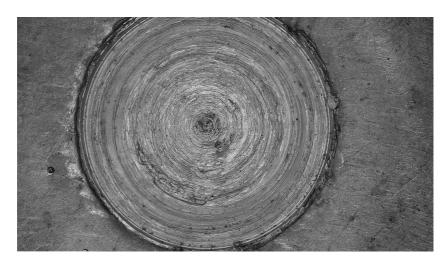


圖 4.2.1.4.2 鋁(上層 2mm)+鋁(下層 2mm) RFSSW 宏觀照片



圖 4.2.1.4.3 鋁(上層 1mm) + 鋁(下層 2mm) FSSW(含匙孔) 宏觀照片

圖 4.2.1.4.4-4.2.1.4.6 為鋁-鋁樣品經鹽霧測試後由光學顯微鏡 拍攝的微觀圖片。可以看出鋁表面有輕微的變色,腐蝕影 響不明顯。



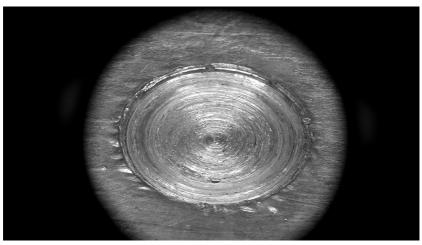
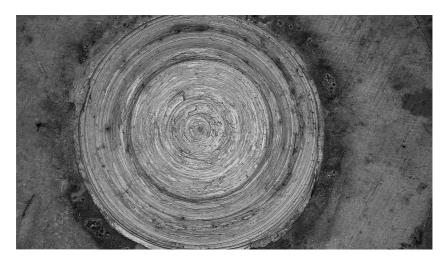


圖 4.2.1.4.4 鋁 (上層 1mm) + 鋁 (下層 2mm) RFSSW 微觀照片



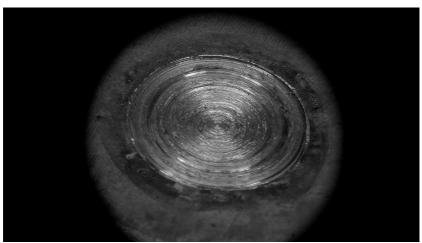
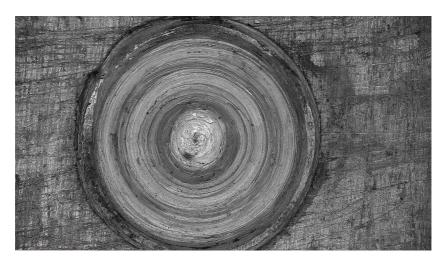


圖 4.2.1.4.5 鋁 (上層 2mm) + 鋁 (下層 2mm) RFSSW 微觀照片



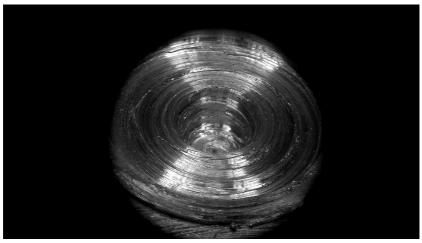


圖 4.2.1.4.6 鋁 (上層 1mm) + 鋁 (下層 2mm) FSSW (含匙孔) 微觀照片

4.2.1.5 拉伸測試

鋁-鋁樣品的抗拉強度總結詳見下表 4.2.1.5.1。

表 4.2.1.5.1 鋁-鋁樣品抗拉強度

	厚度 (mm)	焊點 強度 (N)	焊點 直徑 (mm)	焊點面積 (mm²)	焊點剪切 強度 (MPa)
RFSSW	鋁(1)+鋁(2)	1330	9	63.62	20.94
	鋁(2)+鋁(2)	4688	9	63.62	73.69
FSSW	鋁(1)+鋁(2)	2554	15	176.72	14.45

從表中可以看出鋁(1mm)-鋁(2mm)樣品的 RFSSW 樣品 焊點面積為 63.62mm²,約為 FSSW(含匙孔)焊點面積的 36%,剪切強度為 20.94MPa,約為 FSSW 焊點剪切強度的 150%。因此,RFSSW 焊點抗拉度較強,能有效延遲斷裂。

4.2.1.6 疲勞測試

我們對鋁-鋁樣品焊點做了詳細的疲勞測試,相關測試結果 詳見圖 4.2.1.6.1-4.2.1.6.2。

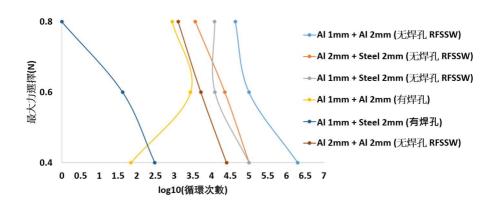


圖 4.2.1.6.1 RFSSW 及 FSSW 樣品疲勞最大力選擇

從圖 4.2.1.6.1 中可以看出,若最大力選擇為 0.4N,鋁(1mm)-鋁(2mm)樣品的 RFSSW 循環次數約為 10^{6.3},約 2,000,000 次,FSSW 循環次數約為 10^{1.8},約 70 次,是次 RFSSW 疲勞壽命約為 FSSW 的 28,571 倍。最大力選擇為 0.6N, RFSSW 循環次數約為 10⁵,即 100,000 次,FSSW 循環次數約為 10^{3.4},約 2,500 次,是次 RFSSW 疲勞壽命約為 FSSW 的 40 倍。最大力選擇為 0.8N,RFSSW 循環次數約為 10^{4.6},約 40,000 次,FSSW 循環次數約為 10^{4.6},約 40,000 次,FSSW 循環次數約為 10^{2.9},約 880 次,是次 RFSSW 疲勞壽命約為 FSSW 的 45 倍。

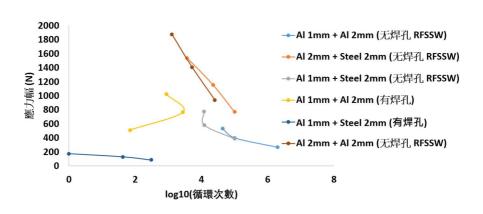


圖 4.2.1.6.2 RFSSW 及 FSSW 樣品疲勞應力幅

從圖 4.2.1.6.2 中可以看出,與 FSSW 焊點相比,在相同應力幅下, RFSSW 焊點的壽命要高於傳統攪拌摩擦焊的焊點。

4.2.1.7 噴漆測試

我們對鋁-鋁樣品焊點做了噴漆測試,宏觀及光學顯微鏡拍攝的照片詳見圖 4.2.1.7.1-4.2.1.7.4。可以看出因為 RFSSW 焊點較平整,因此噴漆更為均匀,基本無死角,具有更好的噴漆質量。



圖 4.2.1.7.1 RFSSW 樣品噴漆宏觀照片

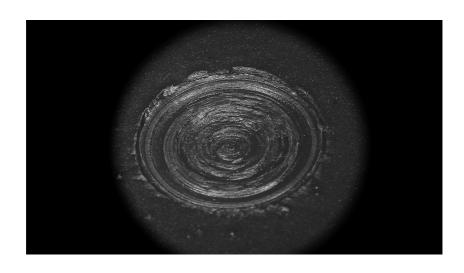


圖 4.2.1.7.2 RFSSW 樣品噴漆微觀照片



圖 4.2.1.7.3 FSSW (含匙孔) 樣品噴漆宏觀照片

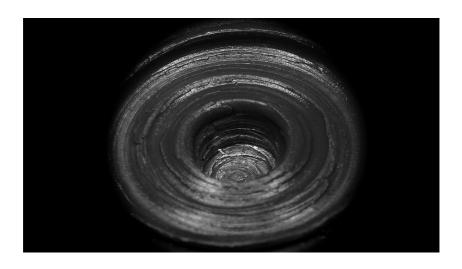


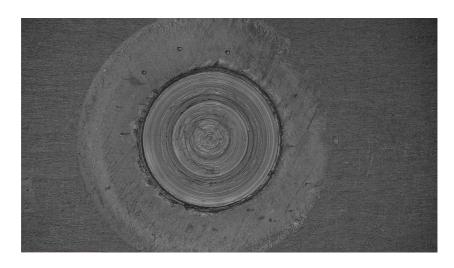
圖 4.2.1.7.4 FSSW (含匙孔) 樣品噴漆微觀照片

4.2.2 鋁-鋼異種材料焊點性能

4.2.2.1 界面觀察

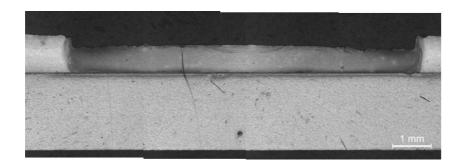
焊點形貌需要用到光學顯微鏡以協助觀察界面的狀態並找 出潛在的損傷。以下為不同厚度組合的 RFSSW 與含匙孔的 FSSW 焊點界面形貌的觀察與分析:

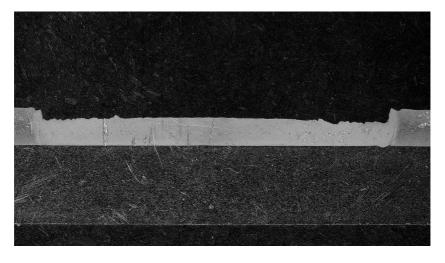
(1) RFSSW: 鋁(上層 1mm)+鋼(下層 2mm)





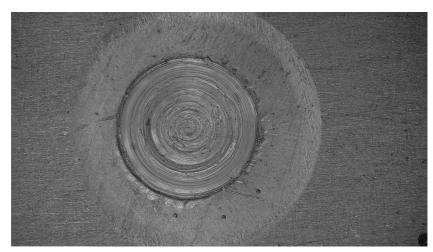
▶ 焊點表面光滑平整





▶ 材料界面緊密,無裂紋

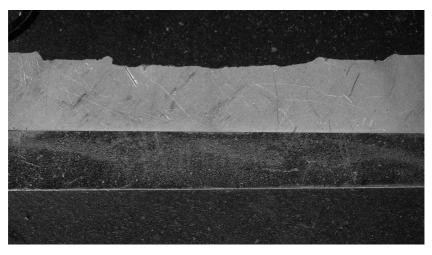
- ▶ 焊點內部無裂紋,成型良好
- (2) RFSSW: 鋁(上層 2mm)+鋼(下層 2mm)





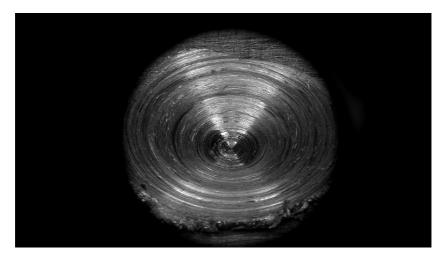
▶ 焊點表面光滑平整





- ▶ 材料界面緊密,無裂紋
- ▶ 焊點內部無裂紋,成型良好
- (3) FSSW (含匙孔):鋁(上層 1mm)+鋼(下層 2mm)





▶ 焊點表面有明顯凹坑



▶ 材料界面緊密,無裂紋

▶ 焊點內部無裂紋,成型良好

4.2.2.2 硬度測試

我們就鋁-鋼樣品做了詳細的表面硬度測試,相關測試結果 詳見圖 4.2.2.2.1-4.2.2.3,以下為測試條件。

測試條件:

- 1) 壓力 25gf
- 2) 保壓時間 10 秒

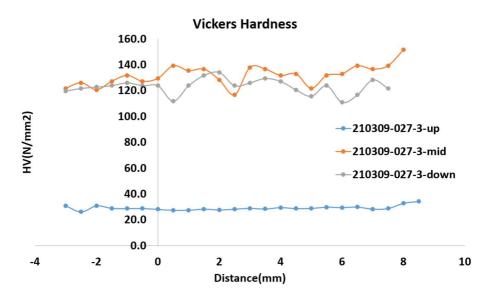


圖 4.2.2.2.1 鋁 (上層 1mm) + 鋼 (下層 2mm) RFSSW 樣品

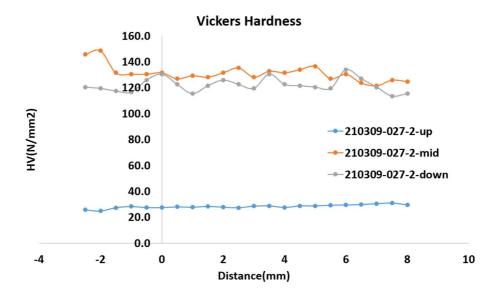


圖 4.2.2.2.2 鋁 (上層 2mm) + 鋼 (下層 2mm) RFSSW 樣品

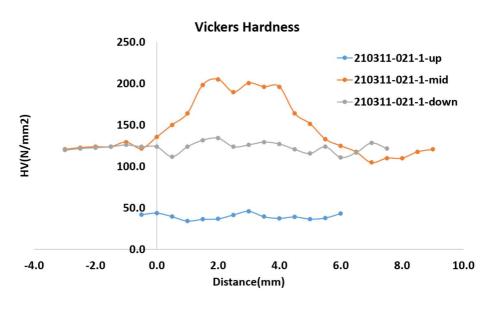


圖 4.2.2.2.3 鋁(上層 1mm)+鋼(下層 2mm) FSSW(含匙孔) 樣品

以上可以看出 RFSSW 焊點硬度分佈均匀, FSSW 焊點硬度分佈較為離散。

4.2.2.3 粗糙度測試

我們對鋁-鋼材料的焊點做了詳細的表面粗糙度測試,相關 測試結果詳見圖 4.2.2.3.1,可以看出金屬 RFSSW 焊點表面粗 糙度遠小於金屬 FSSW (含匙孔) 焊點表面粗糙度。

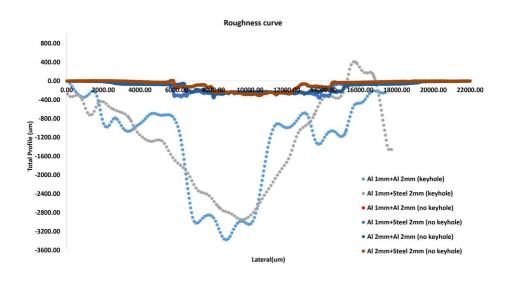


圖 4.2.2.3.1 RFSSW 及 FSSW (含匙孔) 樣品焊點表面粗糙度

4.2.2.4 鹽霧測試

通過鹽霧測試對鋁-鋁樣品的耐鹽霧腐蝕性能進行考核。

測試條件:

1) 測試溫度 35℃

- 2) 氯化鈉溶液腐蝕 50g,溶液 PH 值 6.8
- 3) 樣品擺放角度 20℃
- 4) 時間 24 小時

圖 4.2.2.4.1-4.2.2.4.3 為鋁-鋼樣品經鹽霧測試後圖片。可以看 出鋁表面有輕微的變色,鋼表面有嚴重的變色。



圖 4.2.2.4.1 鋁 (上層 1mm)+鋼 (下層 2mm) RFSSW 宏觀照片

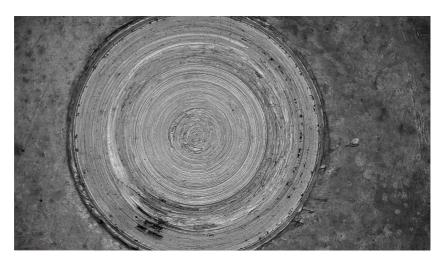


圖 4.2.2.4.2 鋁 (上層 2mm) +鋼 (下層 2mm) RFSSW 宏觀照片



圖 4.2.2.4.3 鋁(上層 1mm)+鋼(下層 2mm) FSSW(含匙孔) 宏觀照片

圖 4.2.2.4.4-4.2.2.4.6 為鋁-鋼樣品經鹽霧測試後由光學顯微鏡 拍攝的微觀圖片。可以看出 RFSSW 樣品鋁表面有輕微的變 色,FSSW 樣品已經出現明顯腐蝕形貌。



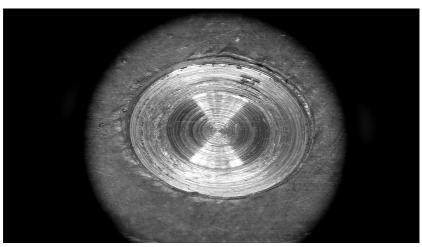
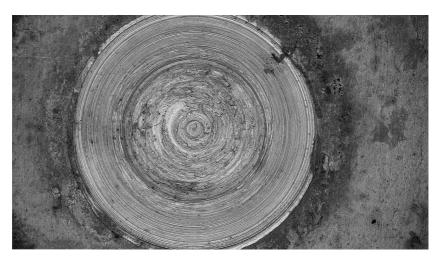


圖 4.2.2.4.1 鋁 (上層 1mm)+鋼 (下層 2mm) RFSSW 微觀照片



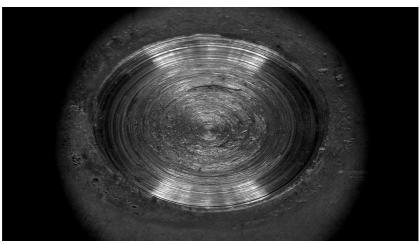


圖 4.2.2.4.2 鋁(上層 2mm)+鋼(下層 2mm) RFSSW 微觀照片

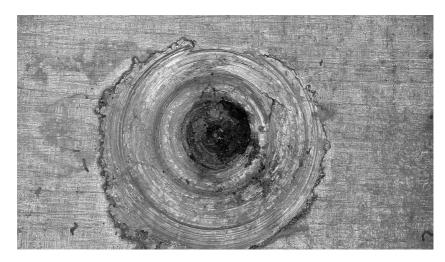




圖 4.2.2.4.3 鋁 (上層 1mm) + 鋼 (下層 2mm) FSSW (含匙孔) 微觀照片

4.2.2.5 拉伸測試

鋁-鋼樣品的抗拉強度總結詳見下表 4.2.2.5.1。

表 4.2.2.5.1 鋁-鋼樣品抗拉強度

		焊點	焊點	焊點	焊點剪
	厚度(mm)	強度	直徑	面積	切強度
		(N)	(mm)	(mm²)	(MPa)
DECCIM	Al(1)+Steel(2)	1935	9	63.62	30.42
RFSSW	Al(2)+ Steel(2)	3846	9	63.62	60.46
FSSW	Al(1)+ Steel(2)	431	15	176.71	2.44

從表中可以看出鋁(1mm)-鋼(2mm)樣品的 RFSSW 樣品焊點面積為 63.62mm²,約為 FSSW (含匙孔) 焊點面積的 36%,剪切強度為 30.42MPa,約為 FSSW 焊點剪切強度的 1500%。 因此,RFSSW 焊點抗拉度較強,能有效延遲斷裂。

4.2.2.6 疲勞測試

我們對鋁-鋼樣品焊點做了詳細的疲勞測試,相關測試結果 詳見圖 4.2.2.6.1-4.2.2.6.2。

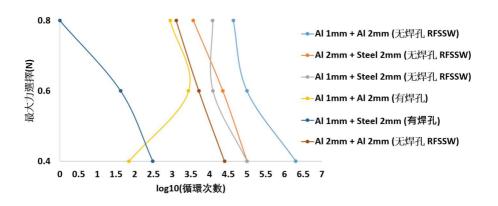


圖 4.2.2.6.1 RFSSW 及 FSSW 樣品疲勞最大力選擇

從圖 4.2.2.6.1 中可以看出,若最大力選擇為 0.4N,鋁(1mm)-鋼(2mm)樣品的 RFSSW 循環次數約為 10⁵,約 100,000 次,FSSW 循環次數約為 10^{2.5},約 300 次,是次 RFSSW 疲勞壽命約為 FSSW 的 333 倍。若最大力選擇為 0.6N, RFSSW 循環次數約為 10^{4.3},約 20,000 次,FSSW 循環次數約為 10^{1.6},約 40次,是次 RFSSW 疲勞壽命約為 FSSW 的 500 倍。若最大力選擇為 0.8N,RFSSW 循環次數約為 10^{3.6},約 4,000 次,FSSW 循環次數約為 0次,即樣品斷裂。

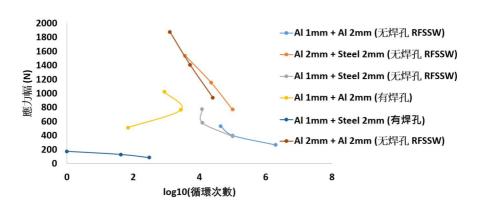


圖 4.2.2.6.2 RFSSW 及 FSSW 樣品疲勞應力幅

從圖 4.2.2.6.2 中可以看出,與 FSSW 焊點相比,在相同應力幅下, RFSSW 焊點的壽命要高於傳統攪拌摩擦焊的焊點。

5.案例分析

隨著汽車車身材料逐漸由鋼鐵材料向輕量化的鋁合金材料邁進,鋁製車 身與鋼制或鋁製懸掛件之間的連接成為一大問題與挑戰。

本項目贊助企業之一初出日(香港)有限公司的現有做法是採用如圖 5.1 右側方案,即在鋁製車身骨架和鋼製/鋁製懸掛件上鑽孔,隨後用鉚接的 方法進行連接和加固。但是如贊助企業反映,以現有工藝製作的產品需 要在車身鋁製骨架上大量鑽孔,破壞了鋁製骨架的完整性和剛度。其次, 長時間使用後,鉚接處會出現鬆脫,導致懸掛件脫落。

為了提高連接的可靠性,本項目採用了回填式攪拌摩擦焊接技術,直接 將鋼製/鋁製懸掛件焊接在鋁製骨架上。整個工藝過程無需對鋁製車身骨 架進行打孔處理,避免焊接成品不完整。另外整個工藝過程無須消耗額 外的鉚釘等耗材,且連接點從4個降低到2個,進而提升了加工效率。

經過前期疲勞測試, 鋁-鋁以及鋁-鋼的回填式攪拌摩擦焊點的疲勞壽命遠高於傳統電阻焊和鉚接製備的連接點壽命。因此, 我們研究和開發的回填式攪拌摩擦點焊工藝可以替代現有的鉚接工藝,以保障車身安全並極大提升加工效率。



圖 5.1 鋁製車身與鋼製/鋁製懸掛件的連接樣品。左側連接方式為回填式 攪拌摩擦點焊工藝,右側為鉚接工藝。

6.成本分析

設備成本、原材料成本按照附件的採購單價格來計算,以實用案例(汽車連接件與車身骨架組裝)為成本分析案例,將鋼製和鋁製連接件組裝在鋁車身骨架上。傳統鉚接方式的生產週期為8秒/點,回填式攪拌摩擦焊接技術的生產週期為5秒/點,假設每天生產16小時來計算,成本分析如下:

6.1 設備成本

至 2020 年,一台回填式攪拌摩擦焊接設備為 65 萬港幣, 同等數控鉚接設備的加工為 25 萬港幣;其他耗材為一般機 加工或焊接常用物品。

6.2 行機成本

以生產實用案例(汽車連接件與車身骨架組裝)為例,鉚 接的每小時運作成本如下:

- 1. 耗電量(192度/小時)x(1.20港幣/度)=3,687港幣/天
- 鉚接設備損耗(設備價格 250,000 港幣)÷(總壽命約 3 千萬次)x(每天加工 7,200 個)=960 港幣/天
- 3. 鉚釘損耗(單個價格 0.1 港幣) x (每天加工 7,200 個) = 720 港幣/天
 - 總計每天成本 5,367 港幣

以生產實用案例(汽車連接件與車身骨架組裝)為例,回填 焊的每天運作成本如下:

- 4. 耗電量(673度/天)x(1.20港幣/度)=807.6港幣/天
- 5. 焊接設備損耗(設備價格 650,000 港幣)÷(總壽命約 1 千萬次)x(每天加工 11,520 個)=748.8 港幣/天
- 6. 攪拌針損耗(單個價格800港幣)÷(總壽命約10萬次)x(每天加工11,520個)=92.2港幣/天
 - 總計每天成本 1,648.6 港幣

6.5 總成本計算

按照如上計算可得,實用案例(汽車傳動部件)的每天成本可降低 3.3 倍左右。

在本刊物/活動內(或由項目小組成員)表達的任何意見、研究成果、結論或建議,並不代表香港特別行政區政府、創新科技署或創新及科技基金一般支援計劃評審委員會的觀點。 Any opinions, findings, conclusions or recommendations expressed in this material/event (or by members of the project team) do not reflect the views of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, the Innovation and Technology Commission or the Vetting Committee of the General Support Programme of the Innovation and Technology Fund.