

鋰離子電池模組雷射掃描式銲接技術

工研院雷射中心 陳坤坐、蔡宗穎、李采鋢、簡志維、石慧萱

前言

銲接是一種將兩種或兩種以上的材質，通過加熱或加壓的方式，使原子間重新結合而形成永久連接的技術。常見的銲接方法如氣銲、電阻銲、電弧銲、雷射銲接(laser welding)及電子束(e-beam)銲接等；其中，雷射銲接為非接觸式銲接技術，且因其具有熱輸入量低、銲道寬度小、殘留應力及銲接變形量小且不受電磁場影響等優點，而被廣泛應用於醫療、電子、汽車、船舶與航太等領域，其中又以汽車產業應用最為廣泛。

高能銲接設備主要是應用在需要高速、銲深厚度超過 1mm 以上的金屬銲接，其主要供應鏈體系分為高能雷射源、機械手臂、多軸加工平台、高能雷射銲接頭等廠商。根據美國市場調研機構 Research and Markets 發布的報告，全球雷射銲接機市場 2017~2021 年的年均複合增長率 CAGR(Compound annual growth rate)將達到 5.37%。現階段高能銲接所使用的雷射源以光纖雷射及直接出光二極體雷射(Direct Diode Laser, DDL)為主，一般應用功率都在 2 kW 以上，目前常用的雷射源功率為 4 kW 及 8 kW，而主要的雷射源供應廠商有德國 IPG、德國 Trumpf、德國 Laserline、美國 Coherent-Rofin、日本藤倉(Fujikura)、日本 Panasonic、中國瑞科(Raycus)等，雷射功率大多在 2 kW~8 kW。

在全球車輛產業發展方面，電動車因近年來能源危機及環境污染問題日趨嚴重，因此在全球引發銷售熱潮，如美國的特斯拉(Tesla)電動車，中國的比亞迪(BYD)等，另外，歐洲先進國家已紛紛制定 2040 年前禁售燃油汽車，臺灣也跟進訂定 2035 年禁售燃油機車，2040 年禁售燃油汽車，汽機車電動化已是未來交通產業重點發展目標，在全球車輛電動化已成主流趨勢情況下，國內已具備整車發展製造能力，但電動車相關關鍵核心技術的掌握已是刻不容緩。電動汽車主要有三個核心零件：動力電池、電機及電控，其中，動力電池在車輛成本中佔比最高，以日產 Leaf 為例，其所使用的鋰離子電池佔整車成本的 60%，為其主要成本之所在，而動力電池模組的大小也直接決定整車的性能。

目前動力電池主要為鋰離子電池，全球鋰離子電池供應廠商集中在亞洲地區，以韓、日、中廠商為首，最大電池組供應商為 Panasonic/SANYO，其銷售量約占全球 30%之多，其他的大型供應商有韓國 SDI, LGC, 日本 SONY, Maxell, AESC(NEC), SGS 及 ATL，中國的比亞迪, BAK, Lishen 等，而在中游的電芯產業部分，國際主要供應商有 Sanyo, LG Chemical, Panasonic, SONY, SDI, BAK 等，而在上游的正負極材料部分有 Nichia, Umicore Korea, Toda Kogyo, BYD, AGC, Seimi Chemical 等廠商。

臺灣在鋰電池產業鏈內有多家廠商分別投入研發與生產，在車用鋰離子電池產業鏈主要集中在上游正負極、隔離膜及電解液材料及中游電芯零件材料製造供應，此部分的產品在國際上尚具備競爭力，下游電池模組廠商面臨國外大廠的強力競爭，因此臺灣鋰電池產業發展策略不在於進行規模及價格競爭，而是凸顯產品開發的技術能力及應用端的整合能力。

對電池模組而言，電極連接是整個電池模組總成的關鍵，電極接合可以分為兩大類，一種是扣件鎖合，技術簡單，但模組重量較重，長期使用會有鬆脫的風險；另一種是電阻銲工法，製造速度慢，僅適用於較薄之金屬片，但是連結效果佳。對於電阻銲工法而言，與傳統的電阻銲接相比，雷射掃描銲接具有速度快、熱輸入量小、可圖案變動及銲道窄等優勢，而與電子束銲接相比，雷射銲接不需大型設備空間與能耗，更可滿足動力電池量產需求，並可以規劃應用擴展至深具潛力市場產值的電動車相關零組件加工製造，帶動電動車生產高效率。

工研院雷射中心開發高功率掃描式雷射銲接製程技術，如圖 1(b)，傳統雷射銲接通常採用直寫式銲接加工方式，如圖 1(a)的直寫式。掃描式銲接與直寫式銲接兩者最大差異在於加工的速度以及是否外加保護氣體。掃描式雷射銲接藉由一組振鏡控制系統就可以進行一掃描區間內任意路徑的加工；而傳統直寫式銲接路徑則需掛載於平台或是機械手臂上進行加工，透過平台或手臂移動進行路徑加工，且在加減速表現上不如掃描式來得迅速，故在銲接加工速度以及銲接路徑的自由度亦相對較低。而在保護氣體供給上，掃描式銲接速度較快(數百至數千毫米每秒)，保護氣體供給較難搭配上如此的速度，且在掃描式銲接的加工速度下，熱累積相對於直寫式加工頭來小許多，此時工件持溫時間較短，所生成的氧化物數量不足以或稍微影響銲接品質，因此掃描式銲接系統通常會省略保護氣體。



圖 1、銲接加工頭，(a)直寫式銲接頭；(b)掃描式銲接頭

鋰電池模組雷射掃描銲接設備

目前工研院已經完成雷射掃描銲接技術應用於鋰電池模組的雷射銲接，並提供國內首條鋰電池掃描式雷射銲接量產設備，如圖 2 所示，包含高功率雷射源、掃描式振鏡光學模組、冷卻系統、電控設備以及掃描銲接加工平台。

此設備是以分區加工概念進行設計，同時考量電池模組產品走向少量多樣化設計，為了使產線可以快速更換進行不同產品銲接，因此在產線設備上並未規劃自動上下料。設備同時整合工研院自主開發之人機介面操作軟體，同步控制雷射加工系統、振鏡掃描光學系統以及移動平台，達到簡易操作、快速生產之目標，意即當人工進料操作完成後，因軟體整合且前端設定完成後，僅需一個按鍵即可完成整個模組銲接動作，若單純計算雷射銲接作用時間，每個 1S20P 之方形鋰電池模組僅需 50s 的作用時間，搭配雷射銲接專用之量產型治具，包含上下料時間下，每小時可完成 15 組 1S20P 之方形鋰電池模組，如圖 3。此設備每年至少可生產 30 台電動巴士用鋰電池模組，目前已正式導入廠商進行量產，期望未來可對台灣電池模組產業之國際競爭力有所助益。



圖 2、掃描式雷射鐳接設備



圖 3、1S20P 方形鋰電池模組

雷射掃描式鐳接為面加工，具有加工速度快的優勢，環形路徑鐳接時間僅需 0.2 s，且因其局部升降溫速度快而可減少高溫氧化反應，加工過程中不需要外加保護氣體，節省製程成本。在製程方面，目前已完成實際鐳接測試，完成品經過拉伸強度之測試，結果均可符合電池產業需求；目前亦完成國內首條鋰電池掃描式雷射鐳接產線，搭配客製化專用治具以及工研院自主開發之整合軟體，達到生產快速且操作簡便之效果，未來每年至少可生產 30 台電動巴士用電池模組，並可配合不同電池模組設計快速進行產線設計修改調整，對於未來台灣電池模組產業甚有助益。