



雷射長距切割技術探討與應用

Discussion and Application of Laser Remote Cutting Technology

¹黃光瑤 / ¹陳坤坐 / ¹李炫璋

¹雷射與積層製造科技中心 雷射應用技術組 雷射製造創新部

摘要：雷射製造具備效率高、品質優良、加工範圍廣、加工細緻、高度自動化等優點，可解決傳統加工製程無法解決的難題，甚至改變製程工序促使產業製程的改變。應用於薄鈹金屬加工方面，因應許多產業往輕薄短小方向發展而日顯重要，薄化金屬的用量也隨之大幅上升，在追求產能最大化及產品品質最佳化的前提下，薄鈹金屬的加工與應用成為近年熱門議題。本文將針對雷射長距切割技術進行介紹，說明長距切割技術原理、切割理論分析、製程模擬研究成果，並針對長距切割製程優勢及其應用作說明。

Abstract : Laser machining technology has many advantages, such as high efficiency, good quality, widely machining area, precise machining, and highly automation. It has a potential for solving difficult problems in traditional machining process, even to change the process procedure of traditional machining. The demand for machining thin metal sheet is growing and the machining technology is getting more important for many industrial applications. In the premises of raising the manufacturing capacity to maximum and optimizing product quality, the machining and application of thin metal sheet has become a popular researching topic. This paper introduces the remote laser cutting technology, including the remote cutting mechanism, theory analysis, process simulation, and descriptions of advantages and applications.

關鍵詞：長距切割、雷射、薄鋼鈹

Keywords : Remote Cutting, Laser, Thin Steel Sheet

前言

台灣是工具機出口大國，但對於近年來國際上蓬勃發展的雷射工具機卻仍處於探索入門階段，主要歸因於雷射關鍵模組昂貴、技術門檻高、雷射人才缺乏等因素，衍生出關鍵模組自製率低和製程技術不成熟等問題，影響國內設備商不易整合設計出適合產業應用的精良設備。近期透過法人努力，已逐漸引導國內工具機廠商投入開發雷射工具機，如國內首台雷射 3D 列印工具機和雷射數位咬花工具機等，並提高關鍵模組自主比例，但與國外比較，在

功能性、性能穩定度及機種多樣化，仍有一段差距，應加緊腳步積極拓展與提升軟硬體實力和自動化整合技術，以提升工業出口競爭力。

因應許多產業往輕薄短小方向發展而日顯重要，薄化金屬的用量也隨之大幅上升，在追求產能最大化及產品品質最佳化的前提下，薄鈹金屬的加工與應用成為近年熱門議題。以鋰電池為例，其應用以 3C 消費性電子產品、筆電、電動車產業為大宗，上游原材料掌握在日韓等大廠手中，台灣鋰電池產業集中在中下游的電池芯和電池模組



開發，電池發展趨向微型化、高容量化、更高續航力等方向發展，而電池組外觀與體積亦隨此趨勢向微小化發展。在厚度強調薄型化的設計趨勢下，電池芯的製造良率攸關產品競爭力，國內在傳統製程上使用沖床加工，屬於低階製造工法。而傳統雷射切割方式之生產成本與製造速度仍與國際領導廠商（德國）有明顯的差距。國內雷射金屬鈹件加工產業產值大，初估雷射鈹金加工機達千台以上，然而隨著薄鈹金應用高值化發展（如：薄金屬鈹、鋰電池電極板、燃料電池電極板、高效馬達矽鋼片、光電半導體散熱板等），大面積、高速加工、多樣客製化的金屬鈹金產品已成為趨勢，國內鈹金產業亟需雷射長距大面積高速掃描加工製造技術，以提升產業競爭力。國際間已有相關研究單位，如 Trumpf 及 Fraunhofer 等，相繼投入相關技術研發且具初步成果。以鋰電池中高品質鈹金件之切割製程為例，需求非接觸式高速加工、無毛邊製程、可圖樣化切割（任意形狀）及成本降低，因應上述需求，以先進雷射切割技術達成大面積、高速、客製化金屬鈹金件與結構件加工，搭配相關設備開發與數位製造軟體系統發展，已為顯著趨勢。

傳統金屬加工傳統工法（如沖床、雷射直切等工法），遭遇切割毛邊、切速限制、製程成本昂貴等問題，雷射數位長距加工系統技術，以無吹氣反衝壓排屑方式，搭配深層熱熔傳導分析，提供長距、快速之切割技術，無需高壓氣體，可降低加工成本，本技術使用掃描振鏡，可以利用機器手臂取代移載平台以達到大面積加工的目的，並配合掃描式校正技術可提升切割品質與精度。

雷射長距切割技術原理與模擬分析

雷射長距切割技術 (remote laser cutting, RLC) 是利用高能量密度的雷射光斑，入射材料表面，使在極短的時間內熔融氣化材料，氣化的材料在熔區表面劇烈膨脹，形成一往外推擠的壓力，即為反衝壓力 (recoil pressure)[1]，在無高壓輔助氣體情況下，劇烈的反衝壓力可在高速掃描條件下（大於 10 m/min），直接推擠噴濺熔區的材料，達到移除

材料的目的。要短時間形成氣化反衝壓力需要雷射能量密度大於 10^6 W/cm^2 [2]，其作用機制類似雷射鑰匙孔銲接 (keyhole welding)，加工區域會形成一斜角切割道，反衝壓力會推擠材料，使材料順著斜角切割道排出，由於是加熱材料熔融推擠排屑，因此又稱此技術為雷射長距熔融切割 (remote fusion cutting, RFC) 技術，可加工厚度約為 $100 \mu\text{m}$ 。然而隨著鈹件厚度增加，RFC 在高速掃描條件下，無法貫穿鈹件形成鑰匙孔 (keyhole) 排屑，需要分層移除材料，因此衍生需要提高雷射光斑的能量密度至 10^8 W/cm^2 ，材料在如此高能量密度的雷射照射之下，部分的材料會直接由固體直接氣化為氣體，形成比 RFC 更大的反衝壓力以噴濺剝除材料，根據其固態轉換的機制特性，稱此技術為雷射長距剝除切割 (remote ablation cutting, RAC) 技術。RAC 技術相較於 RFC 技術可以增加切割鈹厚，目前國際研究單位使用 RAC 技術已可切割 1 mm 厚度以上的不鏽鋼鈹 [3]，然而 RAC 製程會因多層切割噴濺造成切割道上緣熔渣沾黏，切割品質相對於 RFC 較差，目前國際水準 RFC 可達到無毛邊品質，RAC 則可降低切割毛邊 (burr) 高度與鈹厚比例至 15 % 以下，未來若能進一步改善毛邊品質，以其相較於直寫式切割技術之切割速度可以高出約 100 倍，對於薄板切割應用將非常有競爭力。RLC 技術因作用時間短，無須輔助氣體等特性，適合搭配掃描振鏡光學模組，可達到高速大範圍的加工特性，極適合薄板、高速、多樣化的使用情境。

1. 長距切割技術理論與機制說明：

雷射長距切割金屬製程由於牽涉到固、液、氣態三相變化，需考量多重耦合分析，以分析系統在不同狀況下使用不同能量輸出模式，不同的作用時間，不同光源距離等產生的不同結果的影響。藉由設定不同參數條件所模擬的結果來觀察其對應的各種雷射長距切割材料的變化關係，用來分析各種條件下所產生的優缺點，以達到改善雷射長距切割品質和設定參數最佳化的可能性。建構以模擬雷射長距切割的模型為主，使用熱消融變形網格方法觀察材料外形變化情況和確認各項參數與實驗數據的差

更完整的内容

詳見【機械工業雜誌】419期・107年2月號

機械工業雜誌・每期 220 元・一年 12 期 2200 元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9339

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw