

# 雷射切割碳纖維複合材料之技術探討

## An Overview of Laser Cutting Carbon Fiber Reinforced Plastics

郭靜男<sup>1\*</sup>、李采鏞<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工研院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 工程師

<sup>2</sup> 工研院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 副工程師

**摘要：**對於複合材料而言，現今多使用機械切割與銑削等方式加工，雷射切割是一種相對快速且潔淨的加工方式，雷射切割可避免傳統加工製程上面臨刀具損耗及作業粉塵等問題。而雷射切割複合材料的過程中會釋放出刺鼻及毒害氣體，為符合現行法規要求並確保操作人員安全及兼顧操作環境保護需求，針對有害性氣體衍生狀況，建置三重安全防護系統，確保加工過程安全。相較於傳統機械加工製程，雷射加工具備更低加工成本、更高加工效率與更低粉塵污染之特性，本文將針對複合材料雷射切割製程技術進行介紹。

**Abstract :** Nowadays, mechanical cutting and milling are often used for composite materials. Laser cutting is a relatively fast and a clean way of processing. Laser cutting can avoid tool wear and tear problems and can reduce dust in conventional processing. However, the laser cutting process of composite materials will release pungent and toxic gases. In order to comply with current regulations, a three-fold safety protection system is established for these harmful gases to ensure the safety of the process. Compared to the conventional machining process, laser processing has superiority in lower processing cost, higher processing efficiency and less dust contamination. This article will introduce the above described composite materials with laser cutting technology in detail.

**關鍵詞：**雷射切割、碳纖維複合材料、熱影響區

**Keywords :** Laser cutting, Carbon fiber reinforced plastics, Heat affected zone

### 前言

複合材料具有高比模數 (Specific modulus)、高比強度 (Specific strength)、高設計自由度、耐腐蝕、耐疲勞性佳等特性，也因為許多優點集於一身，使其有效取代傳統的金屬材料。碳纖維在複合材料中是一個重要的補強材料，因為碳纖維的高強度、高剛性、耐熱性且材料本身較輕之性質，可改善材料的性能，適合應用於汽車工業、航太工業、建築、自行車、運動器材、風力發電機之葉片等結構件上，使碳纖維發展成為高性能材料界的新星。

如圖 1 所示，根據 IEK 近年來於全球碳纖維

與複合材料技術發展趨勢指出，2017 年全球碳纖維複合材料 (Carbon fiber reinforced plastics, CFRP) 需求量 126.7 千噸，主要應用於航太國防占 30%，車輛占 22%，風電占 13%；其中 2018 的年產能為 149.3 千噸，與 2017 年相比，總產能增加了 12.8 千噸，增長約 9.4%；營業額為 193.1 億美元，預估未來車用 CFRP 的需求及用量皆成長，因此，開發更低加工成本、更高加工效率的複合材料切割製程相當重要 [1]。

隨著複合材料技術發展，各產業對其需求相對增加，如航太產業複合材料使用總量由 1% 提升至 50%，汽機車產業亦逐漸將許多組件改為複合材料製品，如車架、座椅結構、隔音板、保桿等。

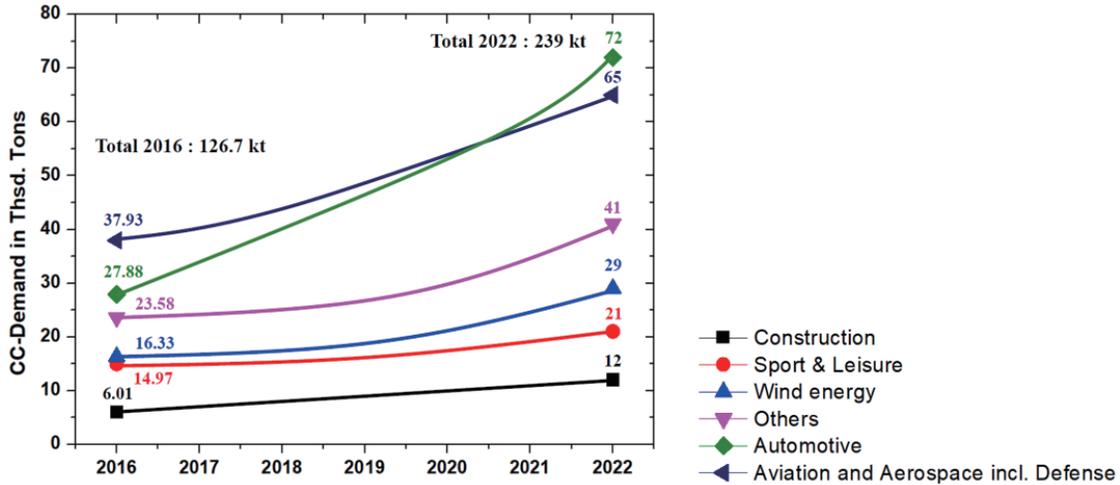


圖 1 近年來 CFRP 於各產業領域用量分佈與未來預測趨勢 [1]

然而，航太複合材料零件組裝，大多使用扣件型式，需要大量鑽削加工，而複合材料鑽削時，若鑽削力過大易造成層與層的脫離，稱為脫層現象，如圖 2 所示，使機械性質下降，對安全造成疑慮，同時傳統工法乾式銑削，容易造成大量粉塵，且有刀具磨耗高等問題 [2]。

針對碳纖維複合材料 (CFRP) 的高硬度特性，目前切削 / 鑽孔等加工仰賴粗加工刀具先進行粗切 / 鑽製程，再透過精密刀具細加工修整邊緣與外型，使 CFRP 材料得以符合需求之尺寸與機械特徵；然而，機械刀具粗加工易有高粉塵汙染、刀具成本損耗高、切削效果不彰等問題。雷射具有高加工速度、高效率、低粉塵、無刀具磨耗等特性，能有效取代機械刀具成為高效率粗加工工法，雷射切割過程中將嚴謹控制熱影響區 (Heat affected zone, HAZ) 範圍，除了降低刀具成本外，

能有效提高加工效率。

### 複合材料切割場域環境建置

雷射加工 CFRP 的過程中會釋放出刺鼻及毒害氣體，有毒氣體種類如 HCN、NO<sub>x</sub> 與 CO 及可呼吸性粉塵 (<10 μm)，根據醫學研究指出，小於 10 微米的懸浮微粒，可直接通過人體支氣管與肺部器官，造成人體健康影響。由碳纖維原物料所交織組成的 CFRP 複合材料，經特定的銑削條件與參數設定，如鑽刀具研磨加工或雷射加工，有極高的機率產生小於 10 μm 的纖維物質，倘若無即時的环境監測系統，與有效的防護措施，容易造成操作員的工安問題與週邊設備損耗。為符合現行法規要求並確保操作人員安全及兼顧操作環境保護要求，工研院雷射中心針對有害性氣體衍生狀況，訂定具體改善計畫，避免不當使用情形

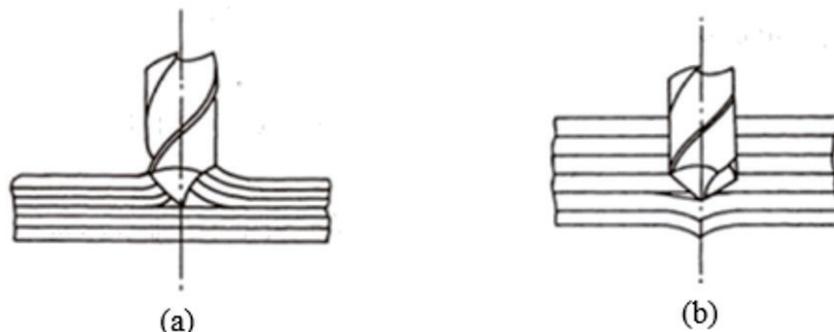


圖 2 複合材料鑽孔過程中，脫層之破壞機構：(a) 戳入脫層、(b) 退出或壓出脫層 [2]

## 更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | • 443 期 • 109 年 2 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 **12** 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

### 付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562  
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)  
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將 繳款收執 或 信用卡刷卡單 傳真至 (03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌·官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw) 機械工業雜誌·信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)

# 機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

**\$ 2200** / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

**A** 史欽泰墨寶帆布袋

**B** 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

**\$ 3000** 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

**A** 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

**\$ 4000** / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

**A** 史欽泰墨寶帆布袋

**B** 工研院機械所無人車USB (8G)

**C** 工具機叢書任一本

**D** 智慧機械人叢書任一本

## 限量專屬精品送給您



**A**



**B**



**C**



**D**