

具物理楔面特徵之雷射鏟花油袋對磨潤性能影響之研究

The Effect of Laser Scrapped Oil Pockets with Physical Wedge Characteristics on the Tribological Performance

林原慶^{1*}、唐俊傑²、李姿儀³

¹ 國立台灣科技大學 機械工程系 教授

² 國立台灣科技大學 機械工程研究所 研究生

³ 工研院雷射與積層製造中心 關鍵模組部 副工程師

摘要：本研究目的在於探討具物理楔面特徵的油袋在缺油潤滑中對硬軌磨潤性能之影響，以奈秒雷射於低碳鋼試片表面加工具物理楔面特徵的油袋，並使用迴轉式磨耗試驗機進行磨擦試驗，並透過掃描電子式顯微鏡、能量散佈光譜儀等分析儀器觀察其磨耗機制，藉此評估不同油袋幾何特徵對於硬軌磨潤性能之影響。研究結果顯示當油袋出口端深度 h_1 為 $0\ \mu\text{m}$ 、油袋底部傾角為 0.16° 時，物理楔面之漸縮區指向滑動方向時，能產生明顯微液動壓之效應，進而降低摩擦係數，提升磨潤性能。

Abstract : This study aims to investigate effect of geometric characteristics of oil pockets scrapped by laser under starved lubrication condition on the tribological performance. Different surface patterns on low carbon steel were fabricated by nano-second pulsed laser. Friction tests were conducted using a rotating type tribometer along with scanning electron microscope, energy dispersive spectrometer and other analytical instruments to observe their wear mechanisms to evaluate the influence of different oil pocket geometric characteristics on the hard rail tribological performance. The experiment results showed that the surface pattern with physical wedge (outlet depth of $0\ \mu\text{m}$ and bottom inclination angle of 0.16°) could enhance the micro hydrodynamic effect during sliding contact, resulting in decreased friction coefficient and improved the tribological performance.

關鍵詞：雷射鏟花、表面紋理、物理楔面、磨潤性能

Keywords : Laser scrape, Surface texture, Physical wedge, Tribological performance

前言

工具機中進給系統的硬式滑軌，因良好的剛性和耐震性，廣泛應用於重負荷高精度之硬軌工具機的進給系統中。但因其為面接觸的滑動摩擦，使硬軌的磨耗現象成為其提升性能的瓶頸，為了改善此一問題，常在接觸面上施加鏟花以改善其磨潤表現，傳統鏟花是藉由人工在床軌表面移除局部區域的材料，形成較低窪的點（一般稱為油袋），使潤滑液可以儲存在油袋中，進而使滑動過程中，兩接觸表面保有一定的潤滑液，減少磨耗

行為，提高使用壽命；而未經鏟花之表面在滑動過程中，材料的邊角會將兩接觸表面間之潤滑液刮除，使存在於接觸表面間的潤滑油量逐漸減少，隨之伴隨磨耗行為的發生。現今的傳統鏟花工藝面臨品質不穩定及專業技術人員不足的挑戰，因此逐漸發展非傳統鏟花技術。其中脈衝雷射因加工品質穩定、精度高最廣為應用 [1]。

本研究以此思考為出發點，利用奈秒脈衝雷射於低碳鋼試片表面加工具有物理楔面特徵的油袋，探討具物理楔面特徵之雷射鏟花油袋對磨潤

性能之影響。

潤滑模式分類

西元 1902 年，Richard Stribeck 發表潤滑模式特徵曲線，區分不同狀態的潤滑行為，分別為邊界潤滑 (Boundary lubrication)、混合潤滑 (Mixed lubrication) 和全膜潤滑 (Fluid film lubrication) 三個區間。以下分別說明之：

1. 邊界潤滑

位於邊界潤滑零組件之摩擦係數約為 0.1~0.3，其兩摩擦表面的粗糙峰會產生干涉現象 (Interference)，此區間的負荷由直接接觸之粗糙峰承擔，故導致較高的摩擦係數。

2. 混合潤滑

混合潤滑意即混合潤滑為邊界潤滑與全膜潤滑的組合，摩擦係數約為 0.01~0.1。位於混合潤滑區間的零組件，其兩摩擦表面之粗糙峰間仍然會有局部互相干涉 (Interference)。此區間的負荷由直接接觸之粗糙峰和局部潤滑油膜共同承擔，其中局部潤滑油膜會產生局部液動壓效應 (Local hydrodynamic effect)，而摩擦力一部份來自於潤滑油的黏滯阻力，另一部份來自滑動時表面局部區域直接接觸之剪力。摩擦係數的高低取決於邊界潤滑和局部液動壓潤滑所占的比例，油膜厚度大於摩擦表面之粗糙峯愈多，摩擦係數則愈低；反之則愈高 [2]。

3. 全膜潤滑

全膜潤滑亦稱為流體膜潤滑或液動壓潤滑 (Hydrodynamic lubrication)，此區間之油膜或表面保護膜之厚度遠大於摩擦表面之表面粗糙度。而摩擦係數約為 0.001~0.01。位於全膜潤滑區間的零組件，其兩摩擦表面會被潤滑油完全分離。當零組件表面有物理楔面存在且有相對運動時，潤滑劑會產生一內部壓力場，此壓力場稱為液動壓，其可使兩摩擦表面完全分離，進而降低摩擦係數，是一種摩擦阻力極小的理想狀態。

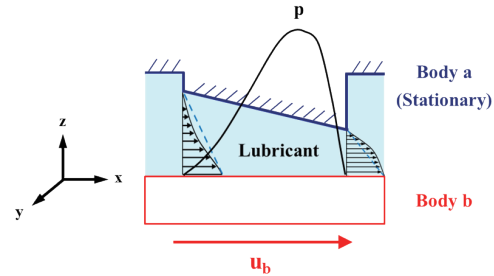


圖 1 物理楔面特徵與其流體速度分佈之示意圖

液動壓效應之研究

西元 1886 年，Osborne Reynolds 以納維爾斯托克斯方程式 (Navier-Stokes equation) 為出發點，依能量不滅、連式為全膜潤滑，此方程式包含影響潤滑表現之各項參數，如潤滑劑黏度、潤滑油密度、油膜厚度、滑動速度和零件尺寸等，並藉以求得壓力分佈。並指出當 a 物件具有物理楔面特徵，且滑動件 (b 物件) 以速度 u_b ，從間隙較大一端朝向間隙較小一端滑動時，潤滑油受剪力作用而流動，流入間隙較大一端之潤滑油量必定大於流出間隙較小一端之油量，而因設潤滑油為不可壓縮流體，此時過剩潤滑油會從入口及出口擠出，即伴隨內部產生一壓力場，此時楔形間隙出口處速度分佈成外凸曲線，入口處速度分佈成內凹曲線，並會在 Z 方向產生一內部壓力場。其示意圖如圖 1 所示。

在磨潤學中，稱此內部壓力場為液動壓，其可能使潤滑油分離兩摩擦表面，而通常伴隨液動壓效應之零組件，其潤滑區間為全膜潤滑，負載由潤滑油 (油膜) 承擔，進而提升其承載能力，降低摩擦係數。此種潤滑方式稱為液動壓潤滑。此效應通常發生於具有巨觀楔面特徵的零組件。

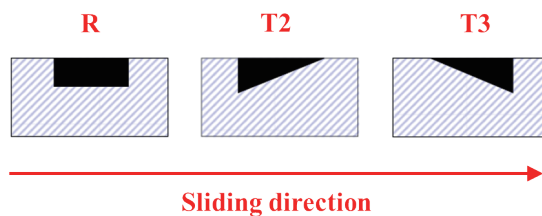


圖 2 不同幾何形狀油袋之示意圖 [5]

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 機械工業雜誌·信箱：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