

工具機導軌結合面剛性提升暨結合面鏟花參數檢測技術

黃韋倫、卓家軒、蔡沛原、蘇春榮、林冠廷

財團法人精密機械研究發展中心

導軌結合面剛性提升技術發展

工具機是由結構與零組件透過組裝鑄配完成的機器，其中結構或零組件間互相連接的接觸面，稱為結合面，如：導軌與底座鎖固接觸面、底座與立柱結合面等。這些結合面多以螺栓鎖固連接，結合面一般是機台剛性較薄弱部位，對機台精度與穩定度影響很大，組配時結合面的接觸率或鎖緊力矩不足，不適當的組配參數，造成結合面剛性與阻尼的下降，在切削過程會導致機台動態特性不佳而使振動與切削顛振發生，不僅工件品質不佳，也易造成結合面螺栓夾緊力的下降，影響機台精度保持與加快精度衰退過程。由於剛性是負載除以變形而得，因此，若能加大結合面剛性，以增加儲備剛性與精度概念，不僅減少變形改善導軌精度，並可增加穩定性與延長精度壽命。

因此精機中心藉由發展高穩定整機組配基礎技術計畫，提出可行解決方案，年度成果說明如圖 1：

- (1) 提出以結合面上最大應力錐面積優化螺栓鎖固參數的方法，以螺栓結合剛性理論為基礎，當螺栓鎖固應力錐最大截面積處在結合面位置時，具有較佳結合面剛性特性，依此設計螺栓鎖固參數。目前業界螺栓鎖固參數多數採用經驗公式（鎖緊深度約為螺栓螺

牙外徑 $\times 2$ ），並無學理性設計方法依循，最大應力錐面積往往並非位於結合面上。本計畫設計模擬導軌與床身結合面的實驗載具，分別採用本文提出的最大應力錐面積方法與業界經驗公式設計螺栓尺寸（也可設計螺孔尺寸），使結合面上的應力錐面積較經驗公式提高 3 倍以上，以實驗載具進行結合面剛性鑑別實驗，結果顯示以結合面最大應力錐面積鎖固方式，相較於經驗公式，在相同的鎖緊力矩下，實驗載具單一螺栓結合面剛性提升 20% 以上。

- (2) 發展一種螺栓結合面剛性鑑別方法，為了求取不同加工方式（研磨、銑削）與螺栓鎖固應力錐面積等參數對導軌結合面剛性影響，本計畫整合實驗載具設計、結構動態響應試驗與

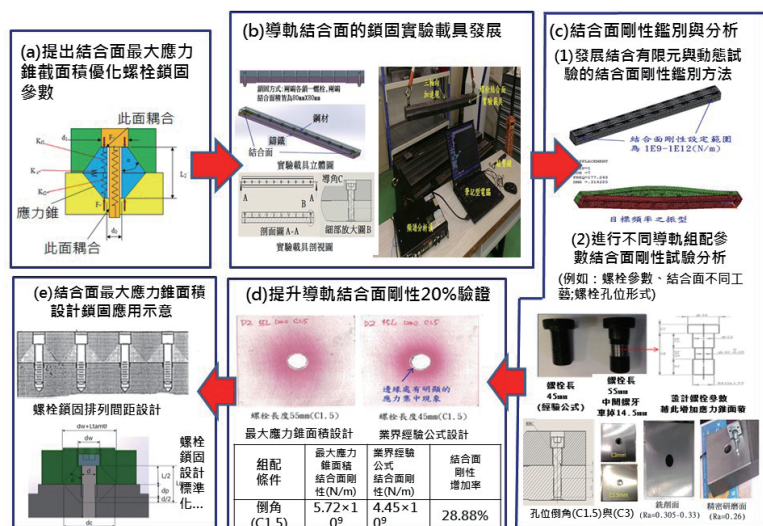


圖 1 導軌結合面剛性提升技術發展成果示意

實施案例：以結合面最大應力錐面積設計螺栓鎖固參數，進行結合面剛性鑑別試驗，驗證透過改變螺栓長度、孔位型式等參數，使導軌結合面剛性較業界現行方式提升 20% 以上。

有限元素 (FEA) 分析，發展一種鎖固結合面剛性鑑別方法，此方法特點為：藉由比對實驗所得自然頻率與鎖緊力矩關係圖，與 FEA 分析自然頻率隨結合面剛性變化關係圖，透過內插法計算可很快得到不同鎖緊力矩下結合面等效剛性值。

- (3) 探討導軌組配參數對結合面剛性變化影響，進行銑削、精密研磨等工藝條件 (不同表面粗糙度)，以及常用倒角孔 (C1.5mm、C3mm)，沉頭孔 (Ø18mm、Ø24mm) 等螺孔形式等組配參數對結合面剛性影響，實驗結果顯示，上述參數中表面粗糙度對結合面剛性影響較顯著，研磨結合面具有較佳表面粗糙度，可獲得較高結合面剛性。

本計畫提出優化螺栓鎖固參數的方法，提升導軌結合面剛性外，使螺栓鎖固設計組配具有學理性依據，並可延伸應用讓螺栓鎖固排列間距、鑄件肋厚尺寸等設計有所依據。此外，技術成果對於提升導軌組裝後的性能應有所助益。

導軌結合面剛性提升技術發展

鑄花為提升工具機精度性能的重要技術，強化鑄花參數檢測能量有助於提升鑄花品質。目前國內機台結合面大多數都經過人工修整組配精度，再由鑄配或品管人員以標準規進行檢測判定好壞，但此種方式對於組裝現場較大面積結合面的接觸率或接觸面積分布均勻的檢測效能與準確性仍顯不足。為此，本中心與國立彰化師範大學合作，在前期計畫基礎上，進行鑄花檢測 APP 性能提升，以影像處理演算法結合智慧型手機影像擷取及高運算能力，發展結合面鑄花參數檢測模組。年度成果說明如下圖 2：

- (1) Android 6.0 以上版本的檢測模組發展，便於升級維護。Android Studio 為 Google 針對 Android

系統所推出之整合開發環境，本計畫藉由 Android Studio 將原系統與新系統進行整合及更新，除使系統能適用於 Android 6.0 以上之版本外，更利於未來系統之升級與開發。

- (2) 鑄配影像標準化，自動影像裁切提升檢測便利性。由於現今影像檢測技術還尚未能解決在未知距離下影像之尺寸判別，本計畫將標準規 (內框尺寸 1 英寸乘 1 英寸) 放置於欲拍攝之鑄花面上後拍攝影像，藉由影像形態學、邊緣檢測等演算法，自動擷取標準規框內鑄花影像，藉此定義受檢測影像尺寸規格，提升檢測應用便利性，作為後續發展基礎。
- (3) 鑄配影像縫合與檢測，應用於較大面積之檢測。因應廠家對於大面積鑄花品質檢測之需求，本研究導入影像縫合技術於鑄花品質檢測系統，於智慧型行動裝置中還原大面積鑄花面之影像並進行大面積鑄花面品質之檢測分析。

本計畫所發展之鑄花品質檢測系統已於工具機廠進行鑄花品質檢測使用，藉由廠家使用後之回饋做為未來系統開發升級之基礎，進而提升國產工具機鑄花檢測能量與鑄配品質。

鑄花APP檢測工具研發成果

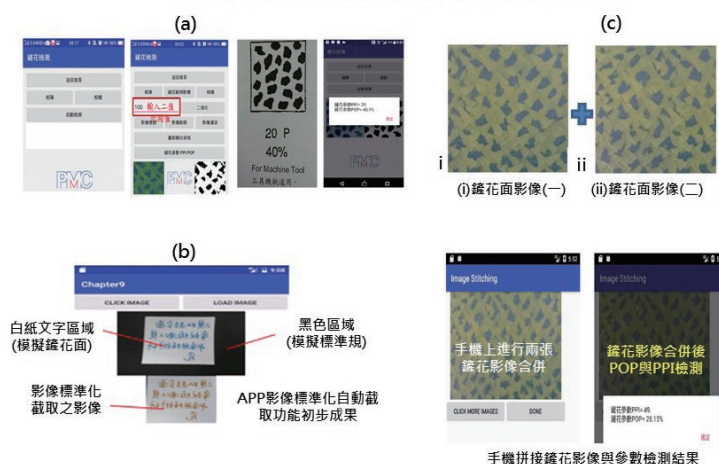


圖 2 結合面鑄花品質檢測技術發展成果

- (a) Android 6.0 的檢測模組發展，便於升級維護 (利用 Google Studio 開發平台，開發 Android 6.0 之鑄花面參數檢測系統)
 (b) 鑄配影像標準化，自動影像裁切提升檢測便利性 (標準規影像自動尺寸裁減)
 (c) 鑄配影像縫合與檢測分析，應用於較大面積的檢測 (可拍攝產 2 張相鄰鑄花照片，透過影像處理與縫合計算，得到鑄花面 POP 與 PPI 值，做為較大結合面鑄配參數的檢測工具。)