

# 鎳基合金加工訊號變異與刀具磨耗偵測系統強健性分析

## Analysis of Sensor Signal Variations and Robustness of Tool Wear Monitoring System in the Machining of Nickel-based Alloys

盧銘詮<sup>\*</sup>、王崇穎、梁宸瑜

國立中興大學機械工程學系

**摘要：**鎳基合金加工在航太產業佔有重要的角色，但加工過程刀具之變異與高磨耗率驅使加工產業採用保守的刀具管理策略，造成加工效率無法提升，也常對品質控管造成影響。有效的刀具磨耗偵測系統可以延長刀具使用的時間，減少系統換刀的頻率，進而提升設備使用效率與維持品質的穩定。刀具磨耗偵測系統在學術界之發展已經有近 40 年的歷史，但由於其與製程及設備系統息息相關之特性，各項變異均會影響所發展系統之性能，造成在實驗室發展的系統很難直接移轉到生產線上，因此了解系統之變異與提升偵測系統之強健性可以加速實驗室開發之系統應用於生產線之機會。本文章分析鎳基合金加工過程感應器特性與虎鉗夾持力對訊號系統之影響，同時也探討不同辨識器設計與感應器融合對系統變異之抵抗能力。結果顯示感應器特性將產生不同的訊號特徵，虎鉗夾持力對加速度訊號特徵也會產生重要的影響，而適當的辨識器設計與感應器融合將可以降低訊號變異對偵測系統的影響。

**Abstract :** Nickel-based alloys play an important role on the aircraft development in the aerospace industry. However, the high tool wear rate in the machining of such alloys and the high variation of tool life between cutting tools always lead to more conservative tool change policy, thus reducing the machining efficiency. The tool wear monitoring system will provide a solution to improve the machining efficiency by reducing the tool exchange frequency and the downtime of the system operation. The studies of the tool wear monitoring system have been reported in the past forty years. However, due to the fact that performance of a tool wear monitoring system is significantly affected by variation of process and machine system, it is always a challenge to implement a system developed and evaluated in the laboratory into production line successfully. Therefore, the understanding of the system variation and the improvement of the robustness of the monitoring system will increase the chance and reduce the ramp up time to develop a tool wear monitoring system implemented in the production line. In this report, the vibration and acoustic emission (AE) signal variation caused by the clamping force on vise are reported. At the same time, the performance of the monitoring system with the classifier designed based on different model will be analyzed as well. The results show that the clamping force on vise affects the vibration signal significantly, and the classifier selected properly based on the characteristics of tool wear, as well as the sensor fusion methods, could improve the robustness of the system.

**關鍵詞：**刀具磨耗偵測、鎳基合金、振動訊號、聲射訊號

**Keywords :** Tool wear monitoring, Nickel based alloys, Vibration, Acoustic emission

### 背景介紹

鎳基合金屬於難削材料之一種，優秀的高溫強度，使其成為航太產業發動機重要的材料，但

其本身的材料特性，也造成加工過程嚴重的刀具磨耗；另一方面，刀具之壽命一般有相當大的變異，造成現今產業均採用較保守的刀具使用策略，在航太產業大移除量與長時間加工時間的特性，

更易造成加工效率與品質之降低。因此，智能化刀具狀態監測系統的開發與應用，將可提升切削效率、加工品質與台灣航太加工產業競爭力。

刀具偵測系統之發展，可以追溯到 1980s 年代學術的研究，過去 30 多年來，學術界的研究一直蓬勃發展，1990s 代開始，提供刀具狀態系統服務的小型公司也開始發展，提供汽車廠量產線自動刀具斷裂的系統開發服務 [1]。刀具狀態偵測系統之感應器選擇，依量測方式做區分，可分為直接式量測和間接性量測，而一般多以間接式訊號量測為主，以獲得刀具於切削時所產生之物理量，並經由各種統計法及訊號轉換不同層面的解析，以了解切削時之刀具狀態 [2-3]。而間接量測的感測訊號，一般包含切削力、振動、電流、聲射 (Acoustic Emission, AE)、聲音等，在切削過程中，不同之訊號將對應不同之物理特徵，提供不同之偵測資訊，因此如何找到適當之感應器是系統開發重要的步驟。

振動訊號是切削過程中發生異常時一個重要的偵測訊號，過去的研究顯示使用振動分析可以找出切削中問題發生的原因，亦可以用來預測設備或刀具損壞時間 [4]。AE 感測器為可偵測高頻率固體波之感測器，其訊號來源為材料受外力或內力作用時發生變形、斷裂、相轉變或晶界移動，並以彈性波形式釋放之能量，其較不易受到一般低頻雜訊的影響，但因龐大的數據處理量，過去主要以時域訊號平均能量 (Root Mean Square, RMS) 為主要聲射訊號應用採用的特徵，自 1980 年代起，可以發現許多應用聲射訊號於刀具磨耗與斷裂之研究 [5-7]。

在切削過程中藉由感測器取得訊號後，則需將訊號作處理以建立訊號特徵與刀具狀態之關係模型，並藉此模型來對訊號特徵作分類，包含線性與非線性分類器，常見的非線性分類器則包含各類類神經網路 (Neural Network)[8-9] 與隱藏式馬可夫模型 (Hidden Markov Models, HMMs)[10-13] 等。隱藏式馬可夫模型 (Hidden Markov Models, HMMs) 為一考慮到多重觀測值之機率統計模型，

已廣泛應用於聲音訊號之辨識中，若有突發變異之訊號摻入，HMMs 擁有一定之抗干擾能力。除了選擇適當之特徵與辨識分類器，感應器融合 [13-16] 是另一個提升系統強健性的方法，尤其在微機電感應器成本大幅下降與系統計算能力大量提升的狀況下，過去高成本的阻礙因素也將有機會迎刃而解。

雖然學術界在刀具磨耗偵測系統之發展持續，但學術界持續開發驗證的訊號處理方法，在過去並無法有效的轉移到產業界使用，產業的應用還是侷限在較單純的製程與採用相對單一的辨識法則 [1]。這其中最重要的因素包含了刀具狀態偵測所採用的訊號均為非直接量測之訊號，除了刀具磨耗之變化會改變訊號特徵外，刀具幾何、工件材料、加工參數之變化也均會引起相關訊號特徵的變化，另外感測系統與加工系統隨著生產時間造成的變異，也將造成訊號特徵的改變。當開發之系統要由所擷取的訊號特徵判斷刀具狀態時，其他因素造成的訊號變異就會引起系統之誤判發生，因此，如何提升實驗室所開發系統強健性，並於生產線上進行驗證，將是實驗室開發之刀具磨耗偵測系統應用於生產線上非常重要的發展方向；另外，機台結構與在刀具磨耗偵測系統之整合上也扮演的重要角色，刀具與切削型態的差異，常造成感應器型式與安裝方式不少的限制，因此，在雛型系統之開發過程中，也需考慮實際加工系統與感應器之整合，例如現今車床加工過程動力刀塔與工件主軸均為旋轉件，感應器的安裝除了須考慮與切削點之距離外，也需考慮訊號線之安排或採用無線通訊技術。

為考慮實用性，過去已有少數學者也將感測器以附加於機台之方式裝設，如 Yao 與 Li 等人 [17] 將聲射感測器裝設於傳統銑削主軸上，Hsu [18] 利用夾持器將加速規與聲射感應器裝置微銑削主軸旁。Yan 與 Lee [19] 嘗試於傳統鑽床主軸加裝加速規；本研究室過去則利用夾持器將加速規與聲射感應器裝置微銑削主軸旁，進行相關之訊號分析與辨識器開發之研究，以提升將系統導入生產線

## 更完整的內容

詳見 ■ 機械工業雜誌 ■ · 428 期 · 107 年 11 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

匯款帳號：兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)，帳號/ 203-07-02288-0

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)