



基於應變感測的間接式刀具狀態監控

Tool Condition Monitoring by Using Smart Strain Sensing Bolts

¹吳鴻材 / ¹曾惠君 / ¹周永樂 / ¹謝其懋 / ²王俊傑

¹工研院機械所 工業物聯網技術組 預診決策技術部

²工研院機械所 工業物聯網技術組 研發經理

摘要：刀具狀態監控(tool condition monitoring, TCM)是機械加工領域中極為重要的一個環節，現行做法多為到達固定切削里程即換刀，或以人工判斷刀具狀態，但此類定期維護模式(time-based maintenance)並無法確保兩次換刀間刀具不會有異常情況發生。本文提出一種基於智慧應變感測螺栓的間接式刀具狀態監控方法，此螺栓經過特殊設計，可鎖附於車床刀具座，並可感測其切削時的應變訊號。實驗以軸承外環加工為例，針對其切削力感測訊號萃取出可呈現統計特性及波形特徵的五項關鍵特徵值，而後運用最近鄰分類器(nearest-neighbor classifier)執行加工中的即時崩刀檢測。實驗結果顯示，本文所呈現的方法於近一萬五千筆軸承外環加工訊號中具有 100%的崩刀檢出率(true positive rate, TPR, 又稱 hit rate)，整體準確率(accuracy)亦有 99.92%的水準，有利於協助使用者準確判斷換刀時機，降低不必要的停機與品質損失。

Abstract : Tool condition monitoring (TCM) is an important issue in almost all machining processes. Current time-based maintenance practice, i.e. changing the cutting tool regularly according to an interval specified by OEM (original equipment manufacturer) or the experience of senior staffs, however cannot timely identify problems such as tool breakage that occur between scheduled inspections. This study proposes a novel lathe cutting tool monitoring scheme which uses a specially designed bolt that is used not only to fasten the tool holder, but also capable of perceiving the strain of the tool. An experiment of the new TCM scheme is conducted in the machining of bearing outer rings. A total of five features relating to signal morphology and statistical characteristics are collected in the case. Then the simple nearest-neighbor classifier is employed for on-line tool breakage detection. The experiment shows that a hit rate (or true positive rate, TPR) of 100% and an overall accuracy of 99.92% are achieved. It therefore demonstrates the validity of the proposed strain sensing bolt and analyzing method. With the scheme described, manufacturers shall be able to monitor the status of the cutting tool continuously and precisely.

關鍵詞：刀具狀態監控、特徵萃取、崩刀檢測

Keywords : Tool Condition Monitoring, Feature Extraction, Tool Breakage Detection



前言

對於機械加工來說，刀具的狀態，或稱其磨耗程度，會直接影響到產出工件的尺寸精度、表面精度等關鍵品質因子，因此其監控與管理對加工製程的重要性不言而喻。以國內某軸承製造商為例，其現行針對刀具磨耗的檢測方法主要是透過產線人員在現場直接巡視監控，不定期抽檢工件並量測三個隨機點位的尺寸精度，而後藉以推斷刀具狀態。此類方法雖是機械加工業傳統上大量採用的模式，但其需要長時間的經驗累積方能快速且正確的判讀刀具狀態，因此不同人員之判斷結果可能不同，且隨著科技進步與少子化的時代趨勢，此種耗費人力、時間、經驗傳承不易的方法也已漸不適用。另一方面，刀具製造商雖會訂出建議的換刀頻率，但實務上最佳的換刀時機易受現場環境、製程等因素影響，且此種定期維護模式(time-based maintenance)無法偵測兩次換刀之間的異常狀況，因此當刀具提前出現崩刀現象，若未能及時檢測出來，勢必會使精度下降、嚴重影響產品品質，甚至使產線無法正常運作。

有鑑於傳統的刀具檢測方法常受限於時效性、人力等問題，國內外的產學研界近十數年來針對此議題已發展出數種不同的解決方案，包含採用探針、光學、機器視覺等直接檢測的模式[1,2]，以及以振動、聲射、切削力、溫度等感測資訊來估測刀具磨耗情形的間接估測模式[3,4]。一般而言，直接檢測模式雖然可提供較高的準確性，但其通常以離線檢測居多，亦即僅可在刀具停止運作時執行，或僅可安裝於刀庫系統；也由於這些限制，此種方法通常不適用在易於出現崩刀的機台或製程。相較之下，隨著感測技術與機器學習演算法等跨學科技術整合的蓬勃發展，以及可提供線上即時估測等優點，間接估測模式已開始廣泛受到注意。然而，因間接估測易受背景雜訊影響，其準確度一般而言仍不及直接檢測，且因常需外掛加速規、聲射感測器、

動力計等感測器，實務上須謹慎考慮安裝方式與空間以避免對機台運作造成影響，因此目前市面上仍沒有完整的產品。以此次驗證場域一軸承製造廠為例，曾有民間廠商架設基於麥克風的崩刀檢測系統，但因廠內屬噪音作業環境、背景吵雜，因此檢測效能不盡理想，並有安裝時佔用機台空間問題。

為克服雜訊影響、安裝空間等問題，本文提出一種基於智慧應變感測螺絲[5]的間接式刀具狀態監控方法。此螺絲經過特殊設計，不僅保有鎖附能力，並於表面貼有應變規，可感測鎖附位置之應變訊號。本文以一軸承外環車削單能機為初步研究對象，主要是將應變螺絲鎖附於刀具座上，再針對其切削力感測訊號執行基於統計特性及波形特徵的特徵值萃取(feature extraction)，而後運用最近鄰分類器(nearest-neighbor classifier)執行加工中的即時崩刀檢測。實驗結果顯示，此套間接式刀具狀態監控方法於近一萬五千筆軸承外環加工訊號中具有 100%的崩刀檢出率(true positive rate, TPR, 又稱 hit rate)，整體準確率(accuracy)亦有 99.92%的水準，有利於協助使用者準確判斷換刀時機，降低不必要的停機與品質損失；且未來透過感測器及特徵萃取、辨識演算法的持續改良，也可望再進一步提升本方法之效能。

智慧應變感測螺絲設計與應用

本文所運用之智慧應變感測螺絲，業已於 105 年度完成第一版硬體之開發，相關技術內容並已發表於第 401 期之機械工業雜誌[5]。實際安裝於加工機台並歷經長時間運作後，作者已於本年度針對數項缺失進一步更新設計；本章主要針對智慧螺絲之設計、改良與應用作一說明，設計部份之詳細內容可參考[5]。

1. 設計方法概述

本文所提智慧應變感測螺絲之設計流程如圖 1 所示。為利於螺絲結構的設計開發，作者於設計初

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】413期・106年8月號

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：03-591-9342

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