

工具機熱穩定核心基礎技術

Fundamental Technology of Thermal Stability in Machine Tool

李坤穎*、魏士傑、羅世杰、廖彥欣、陳冠文

工研院智慧機械科技中心 智慧機械技術組 工作機械技術部

工具機熱穩定核心基技術研究現況

現行工具機的冷卻控制方法採用定溫定流量控制，即使溫度可控制在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，甚至更小的範圍內，卻無法依據負載的不同而改變冷卻目標，使得暖機時間拉長，熱誤差也隨著負載轉變而不斷變化。如圖 1 所示，本研究以主軸熱變位（懸伸）維持定值作為控制目標，在機器冷啟動初期或是上下料期間（主軸懸伸變短），對傳熱流體進行快速加熱，縮短機器暖機時間並維持主軸懸伸長度。

連續加工時（主軸懸伸變長），也會對傳熱流體進行快速降溫。故無論主軸轉速及負荷如何變化，系統均會以預先設定之目標懸伸進行補償，非採固定溫度的冷卻控制。除可縮短暖機時間外，亦可降低機器因負荷改變而產生的幾何變化，提高機台加工精度。

冷卻系統以預先設定之最佳加工溫度點（由實驗取得）作為追溫目標，在機器冷啟動初期或是上下料期間（低於加工溫度點），依照所設定的溫

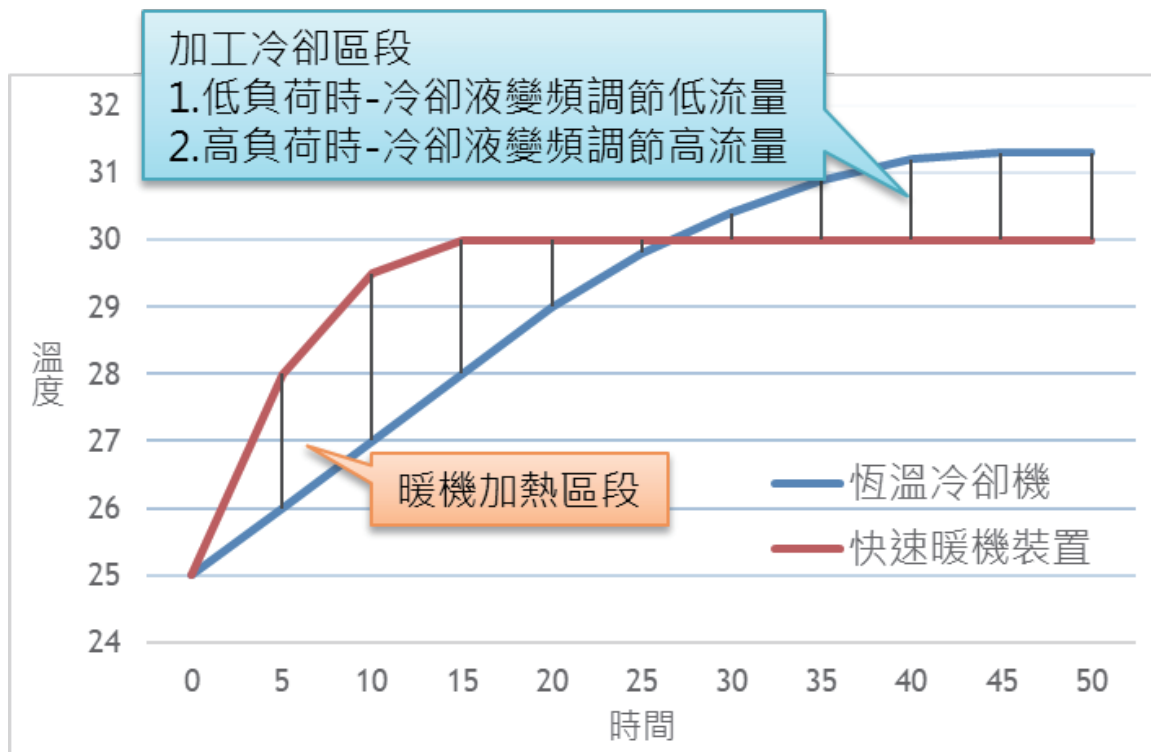


圖 1 冷卻控制系統比較圖

昇及熱變位模型曲線對冷卻介質進行加熱，縮短機器暖機時間並維持加工溫度。連續加工時（高於加工溫度點），也會依照溫昇及熱變位模型曲線進行降溫。

研究中，我們將一般現行的冷卻機加入所開發的控制核心技术進行主軸熱變位的實驗，可有效將 Y 軸熱變形量降低 53.8%、Z 軸向熱變形量降低 70.3%。再者，研究中亦針對工具機主軸長時間進行變轉速負載的實驗來進一步驗證其冷卻降低熱變形的效能。其中 Y 軸向熱變形量降低 40%、Z 軸向熱變形量降低 57.6%。另外，我們亦使用冷卻控制核心技术來針對工具機主軸進行快速暖機之實驗，時間效率可提昇 60%。由實驗結果可得知，依據工具機實際負載來控制冷卻機的流量或溫度可有效使機台快速穩定增加稼動率及維持精度。

工具機熱穩定核心基礎技術深化

工具機熱穩定技術發展確切問題，主要在熱誤差抑制與管理的觀念整合到設計環境成效有限，無法投入足夠的技術人力，將基礎研究成果轉換為實際的應用技術。藉由鏈結學界研究能量與業界開發需求，建構結構熱穩定相關基礎技術應用（主軸熱抑制技術、結構快速穩定技術），除了動態熱分析與模擬精度提昇外，其應用技術之發展更可建立結構熱平衡前端設計技術以降低動態熱誤差以提昇機台結構熱精度，追趕現有強敵（日本 YAZDA、Makino）、拉大追兵（中低品級工具機生產國家：中國大陸、印度、南韓等國）技術差距，創造差異化價值，整體提升國內工具機熱穩定技術水準。

工具機熱穩定核心基礎技術主要是針對工具機系統的內外部熱源，如馬達、主軸、軸承、螺桿、螺帽、軌道、或是周邊裝置等，均具有妥善的配置設計或抑制規劃，讓工具機本身可維持穩定且平衡的工作狀態，以保持高精度、高穩定及提昇機台稼動率的加工表現。除了將針對量產型工具機進行主軸冷卻技術開發，主要目標為降低主軸

熱變位誤差 30% 外，也將導入多重物理耦合分析技術結合高速主軸冷卻流道最佳化技術應用。

結論

台灣工具機產業現正面臨的問題與挑戰，可從產品的品質與售價來分析。精度為機器的主要價值，以機台的加工精度（速度）、可靠性、功能規格、以及使用壽命為採購時最主要的考慮因素；然而，加工精度卻與工具機熱穩定技術息息相關。工具機加工時之誤差有 40% 至 70% 是由熱變位所造成，雖然國產工具機在表面的功能規格與進口工具機已相差不多，但在精度上卻大幅落後於進口工具機，這樣的產品條件使得我工具機產業始終被定位在中低階的應用市場，產品平均單價約為德國、瑞士之 1/2、日本之 2/3。故如何提昇工具機熱穩定技術一直以來是台灣產學研所面臨的最大問題，工研院在工具機熱穩定技術研究及開發上，已著實向前跨進了一大步，未來將致力於與國內工具機業者配合將所開發的技術實際應用在工具機的加工市場，利用現有的優勢，創造差異化價值，擺脫與中、韓、義大利等國的競爭，提昇台灣工具機的國際地位。