

灰鑄鐵鑄件尺寸安定化基礎技術

¹邱松茂 / ¹吳政諺 / ¹王致鵬 / ¹康進興 / ²黃昆明

¹金屬工業研究發展中心 工程師

²金屬工業研究發展中心 正工程師及執行長室特助

前言：工具機等精密設備加工精度已達到微米級需求，因此對於設備之結構件精度穩定性更顯重要。金屬中心針對工具機進行灰鑄鐵材料尺寸安定化處理與非破壞檢測技術基礎研究。造成結構材料尺寸精度不穩定，一般是材料不安定組織及加工殘留應力所造成。本文針對相關研究成果進行介紹，未來可應用於各式精密零組件、鑄件，以提昇國內工業技術水平及精密設備附加價值。

超音波應力量測技術

許多結構或材料在加工或成形過程如擠製、滾壓、鍛造、鑄造等，均會產生殘留應力，因而影響精度並減少產品使用壽命。而在目前的檢測技術中，常見的方法有包括破壞性的切片法、半破壞性的鑽孔法及非破壞性的 x-ray、超音波檢測等等。藉由非破壞檢測方式量測材料微結構或材料殘留應力，不僅可量測材料缺陷、組織及應力，更可做為評估加工或成形製程優劣之依據。其中超音波檢測具有靈敏度高、穿透力強、成本低、檢測速度快、設備輕便、對人體無害等諸多優點，目前已被廣泛應用於量測缺陷探傷，但在結構件之應力分析尚屬應用初期階段。

利用超音波量測系統產生一單頻脈衝(tone burst)訊號，並透過縱波/橫波超音波探頭作為訊號的傳遞，計算超音波於物體中來回傳遞之時間，並量測物件之尺寸厚度，如此便可計算出材料的波速，進而得知材料微結構變化之影響。進一步進行拉伸試驗量測，將鑄件試片製成棒材，利用 MTS 材料試驗機給予試片拉伸或壓縮之預應力負載，量測在不同負載下應力與波速相對變化，模擬鑄件在殘留應力下的情況。使用超音波

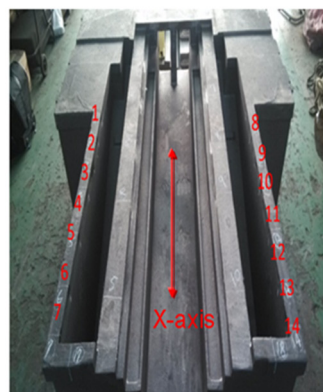
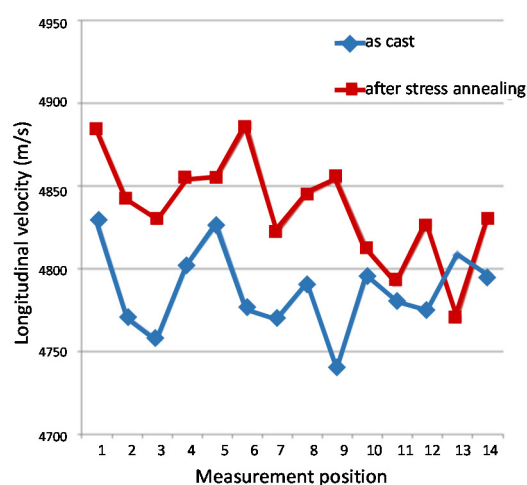
波速量測技術對灰鑄鐵規塊進行量測，分別使用縱波與橫波探頭，由實驗結果可以得知，灰鑄鐵鑄態及退火態基地組織波速接近，而肥粒體及麻田散體基地組織波速明顯降低。可以觀察到灰鑄鐵在拉伸狀態下波速在縱波與橫波波傳方式，在不同熱處理狀態下均呈現下降之趨勢。藉由實驗室所建立材料超音波特性和資料庫，即可對實際鑄件進行殘留應力分析。

超音波應力量測應用

工作母機六角換刀定位刀塔如圖 1(a)，是應用於 CNC 鑽床上轉動裝置內的重要元件，快速換刀定位刀塔與滑座精密組合，採用 Z 軸上下位移的結構，刀塔元件擔負鑽床轉動刀具裝置功能，加工後六個定位孔($\varphi 32\text{ mm}$)對應中心孔之距離(PCD)尺寸精度需符合 $\pm 0.01\text{ mm}$ 。目前廠商出口至高緯度國家產品中約有 5%，裝機時符合 $\pm 0.01\text{ mm}$ 精度，但於交機後約一年，出現精度變為 $\pm 0.02\text{ mm}$ 情況，發生無法更換刀塔問題，相當困擾業界。刀塔 FC250 鑄件在精加工前其尺寸即有隨時間而改變的現象，出口高緯度地區國家的產品，性能品質不穩定的現象益加明顯，應與



(a) CNC 鑽床刀塔 FC250 小型鑄件



(b) 工具機基座 FC300 中型鑄件

圖 1 灰鑄鐵鑄件尺寸安定化驗證實體鑄件

鑄件應力因環境溫度而變化有關。因此進行鑄件尺寸安定化處理，配合超音波應力量測及適當消除殘留應力，以提高產品精度品質。應力消除退火是消除殘留應力最有效之方法，應力消除退火升降溫速率為影響退火效果之關鍵，退火溫度設定為 525°C ，藉由探討不同升降溫速率控制，並藉由超音波應力分析及樣品之尺寸經過 90 天變化分析。結果顯示較低升降溫速率鑄件，熱處理前鑄件波速平均 4200 (m/s) ，熱處理後鑄件波速平均 4227 (m/s) ，波速增加顯示鑄件承受拉伸應力。而較高升降溫速率鑄件，熱處理前鑄件波速平均 4171 (m/s) ，熱處理後鑄件波速平均 4183 (m/s) ，波速較低且波速變化較少，顯示應力消除之效果較差。鑄件之尺寸經過 90 天以鑄態尺寸

變異量為最大 0.00076 mm ，較高升降溫速率鑄件尺寸變異量 0.00053 mm 為中等變化量，較低升降溫速率鑄件尺寸變異量 0.00023 mm 為最低變化量。

圖 1(b) 為另一較大型鑄件應用，工具機基座 FC300 鑄件尺寸為 $2000 \times 1700 \times 710\text{ mm}$ ，重量約 3980 公斤，鑄態鑄件在不同位置超音波波速範圍大約 $4740 \sim 4830\text{ (m/s)}$ ，經過退火處理後平均波速呈現上升趨勢約 $4770 \sim 4880\text{ (m/s)}$ ，可判斷鑄件在 X-方向位置為拉伸應力，退火後拉伸應力下降，導致波速上升的現象。藉由工基計畫所建立灰鑄鐵超音波特性資料庫，可建立最適應力消除製程，可有效解決產業面臨之時效變形之問題。