



正齒輪齒形彈性補償 冷鍛分流成形模擬分析

A Study on Tooth shape Compensation Utilizing Divided
Flow Cold Precision Forging Process of Spur Gear

蘇賢修

金屬工業研究發展中心
精微成形研發處
金屬成形組 工程師

張燦勳

金屬工業研究發展中心
精微成形研發處
金屬成形組 工程師

蔡盛祺

金屬工業研究發展中心
精微成形研發處
金屬成形組 工程師

關鍵詞(Keywords)

- 分流成形 Spur gear
- 齒形補償 Divided flow method
- DEFORM-3D Tooth Compensation, DEFORM-3D

摘要(Abstract)

本研究提出一道次冷間鍛造分流成形來製作正齒輪。與傳統機械加工法中銑削、刨削、輪磨等製作程序相比，由於鍛造齒輪於齒形部位不需要作進一步的切割，因此可降低製造成本。採以上下沖頭複動化鍛造降低成形負荷，且利於齒形充填成形。在冷間鍛造變形模式中，材料受模具

擠壓變形時，模具與材料接觸的表面受壓應力影響，輪廓產生彈性變形，齒輪鍛件成形後脫模，因應力釋放效應，促使齒形產生回彈變形，以上兩項彈性變形量將對鍛造齒輪的齒形精度及尺寸造成影響。針對冷間鍛造正齒輪提出齒形補償設計方法，考量預先設計之模穴齒形彈性變形量及鍛件齒形回彈量，以非標準漸開線修正齒形輪廓補償齒形彈性變形量，使鍛件脫模後能自動回復至標準漸開線輪廓。應用有限元素分析軟體 DEFORM 3D 來評估所提出的模具外形設計及模擬分流成形製程。由成形模擬分析結果可知本文所提出的齒形彈性補償法能成功預測成形過程所造成的彈性變形量，並完成齒形輪廓修整。再者，期望本文在產業及理論研究上，均能協助提升正齒輪的冷鍛近淨形技術。

A one-step divided flow cold forging process is



proposed to manufacture the spur gear. Compared to milling, routing and grinding wheel related to machining process, the manufacturing cost can be reduced in forging process without further material cutting on gear tooth shape. And multi-action forging method can virtually reduce the forming force results in better tooth forming. During the cold forging process, the elastic deformation of the die cavity and the elastic recovery of gear after unloading have a remarkable influence on the dimension of gear tooth. A compensational methodology of spur gear is developed to design the tooth-shape with considerations of elastic deformation and the non-standard involute curve modification. Therefore, the modified tooth shape is going to deform to the standard involute curve with a predicted elastic recovery and die elastic deformation. The variation of gear tooth curve of the spur gear is respectively plotted for the radial elastic expansion not only for tool but the gear shape. Three-dimensional FEM simulations in DEFORM-3D were carried out to evaluate the proposed die profile designs and validate the divided flow forging process. The theoretical predicted results of tooth profile and the finite element simulations show that the proposed tooth compensation method is capable of predicting the forming process and gear shape modifications. Furthermore, hope to improve near-net shape cold forging technology of spur gear not only industrial but theoretical.

1. 前言

以鍛造成形預成形件，再以機器加工出最終齒輪產品，是目前製作高精度正齒輪最普遍的製造程序。但由於其較長的加工製作時間及較低的得料率，因此材料成本高且須投資大量的加工設備的需求，使得整體製作成本無法符合經濟效益，進而降低市場競爭力。近年來發展溫、熱鍛造，搭配冷精整製作齒輪，已成為業界生產齒輪的主要之製程，目前國際以日本為例，齒輪鍛造精度已可達到 \leq JIS3 級齒輪。然而以溫、熱鍛造技術，將使鍛件表面形成氧化層及脫碳層，而造成表面的品質不良，精度下降，造成齒輪後續運作嚙合時產生噪音。傳統的正齒輪冷鍛法是以實心圓柱形金屬進行鍛造，然而齒形充填不易，將造成過高的成形負荷，及齒形充填不均勻。此外，齒輪的品質及精度不易控制，且材料步留率相對較低。為了克服上述問題，研究主軸聚焦於發展正齒輪的冷鍛近淨形技術。國內外學者及廠商更積極投入發展分流成形製程開發，來改善不均勻的齒形充填，並延長模具工作壽命。

冷間鍛造齒輪齒形尺寸精度仍控制不易，非標準齒形輪廓修整設計工法及齒形回彈研究值得深入探討。模具設計牽涉到使用壽命，徐祥龍等人[1]分析標準齒形模具的齒輪成形，模齒頂處的磨損，大於齒面和齒根處，因此對齒形作修正，可使模具獲得均勻磨損的效果。K. Kondo 等人[2]探討影響齒輪冷精鍛齒形精度之原因，只要受模具及鍛件脫模後之彈性變形所改變，冷鍛時模具及胚料皆受到很大的壓力且因面壓不均勻，則產生彈性變形，使齒形精度下降。王培郁等人[3]針

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】356期・101年12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