



汽車用戟齒輪溫間精密鍛造製程之研究

A Study of Precision Warm Forging Process of an Automobile Hypoid Gear

楊俊彬¹、謝宗儒²、趙柏勛³、劉志雄⁴、楊政諱⁵、陳柏均⁶

¹ 國立高雄科技大學 模具與鍛壓製程技術中心 主任

²⁻⁶ 國立高雄科技大學 模具與鍛壓製程技術中心 工程師

*E-mail: binbin@nkust.edu.tw

摘要

戟齒輪用於汽車之差速機構，其材質為 AISI 8620，主要製程為切齒加工，成本高，強度較差，材料使用率低。以精密鍛造製程開發，則可節省材料，減少機加工量，進而降低生產成本。此外，亦可增加抗疲勞強度和提升衝擊強度。本研究以專利之閉塞式垂直複動化鍛造模組，設計開發溫間精密鍛造製程進行戟齒輪精密鍛件之開發。首先利用 DEFORM 電腦輔助分析軟體進行 900°C 溫間鍛造製程模擬分析，確認其可行性，並以此參數進行實際鍛造實驗，最後再探討鍛件之齒形精度。結果顯示，以閉塞式垂直複動化鍛造方式進行鍛造模擬分析，顯示材料流動完全充填模穴，鍛造負荷為 400ton。在實際鍛造結果，鍛件亦完全成形，鍛造負荷為 356ton。實際鍛造結果與模擬分析相似。此外，本研究所開發之閉塞式垂直複動化鍛造模組，鍛造作業時運作順暢，可鍛製戟齒輪精密鍛件，顯示模具開發為成功。最後以鍛造齒輪與加工齒輪做拓樸圖相互比較，鍛件齒面處偏差不到 0.1mm，顯示本研究之戟齒輪精密鍛造製程為可行。

關鍵詞：戟齒輪、閉塞式複動化模組、拓樸圖

Abstract

Hypoid Gear is widely used in the differential mechanism of an automobile. The materials of the parts are of AISI 8620. The main manufacturing process is the gear cutting, which are low yielding ratio resulting into higher cost and lower fatigue strength due to flow line cut. The development of the precision forging process can just overcome the above bad situations by reducing the usage of the materials and the machining amount to make the cost lower. Besides, both the fatigue strength and impact strength will be evaluated. In this study, the patented vertical enclosed multi-action die set is developed to forge the precision hypoid gear by warm forging process. First, the DEFORM was used to simulate the warm forging process at 900 °C to confirm the feasibility and then the actual forging process was conducted. Finally, the tooth accuracy was investigated. The results showed that the forging load is around 400 ton and no forging defect in simulation. In actual forging process, the forging load was around 356 ton and there was no forging defect, which was similar to the results of the simulation. Besides, the vertical enclosed multi-action die set operated smoothly and the precision hypoid gears were made, which showed the development of the die set was successfully. Finally, the comparison of the forging and the machining parts by using the topology diagram, the difference between two kinds of parts was less than 0.1mm. So the result showed that the precision forging process of the hypoid gear in this study was feasible.

Keywords: hypoid gear, enclosed multi-action die set, topology diagram

1. 前言

戟齒輪(hypoid gear)，如圖 1 所示[1]，為空間相交軸和交錯軸的動力傳動元件，運轉時較安靜、平穩，可得較大的速比，且不易磨損，常用於汽車差速器，工具機、推高機、舷外機以及非平行軸減速機。其為各類齒輪中，齒形最為複雜，製造難度最高。其製造方法主要是以切削加工，須使用專用設備如美國 Gleason 公司與瑞士 Oerlikon 公司之齒輪加工機。切削加工費用高。

由於近年來產業之競爭，為降低生產成本，省料、省加工之精密鍛造技術被發展起來，先進國家如德國與日本已使用所謂之閉塞式複動化鍛造技術進行戟齒輪之精密鍛件開發[2]。若戟齒輪之精密鍛造技術發展成功，減少齒形切削加工量，則可大幅降低該類產品之製造成本。此外，由於齒形為鍛造成形，鍛流線完整，鍛件之耐疲勞性可獲得提升。



圖 1. 戟齒輪與差速器外觀[1]

2. 研究目的

本研究之目的為開發戟齒輪之精密鍛件。首先設計製造閉塞式複動化鍛造模組，進行戟齒輪之精密溫間鍛造製程開發，接著量測鍛件齒形，與設計值做比較，期望開發精密戟齒輪之鍛件，以達到節省下料，減少加工，使成本降低之目標。

研究載具如圖 2 所示。材料為 AISI 8620，原製程為切齒機加工方式，其加工製程時間長、成本高，加工齒形時材料移除約 40%。若開發複動化鍛造製程，則可省料、省加工，大幅降低生產成本。



圖 2. 研究開發載具實體外觀

3. 研究結果與討論

3.1 鍛造製程設計與鍛造製程模擬

本研究鍛造製程設計為顧及材料在充填模穴時能均勻流動，先將材料依照鍛件外形，車製預成形，加熱至約 900°C，再以閉塞式垂直複動化鍛造專利模組進行 Z 軸雙向鍛造，其模具運動原理如圖 3 所示。顯示在鍛造過程中，藉由左右撞桿驅動上模板中之五件楔塊機構，使上衝頭增加一往下之運動速度，相對於模具而言，就獲得一個上下衝頭對向成形

之運動方式，雙向擠壓材料於模穴中成形。經由模擬分析結果，胚料雙向成形流動過程如圖 4 為所示，顯示胚料流動是由上下同時雙向成形，側向流動充填模穴，齒頂部位先成形，最後在成形齒底。圖 5 則顯示 AISI 8620 鋼料之流動應力與經垂直雙向複動化鍛造之成形模擬之負荷，約為 200ton。

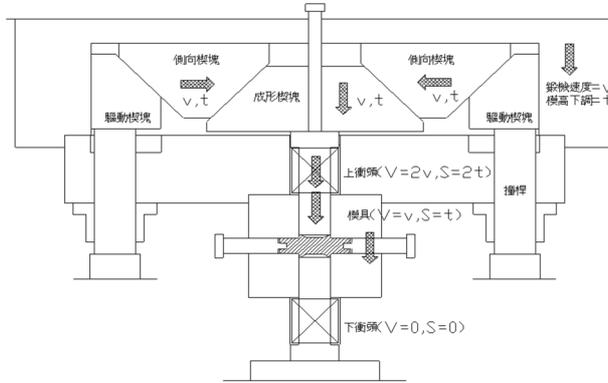


圖 3. Z 軸雙向閉塞式鍛造垂直複動化鍛造專利模組之結構與運動方式

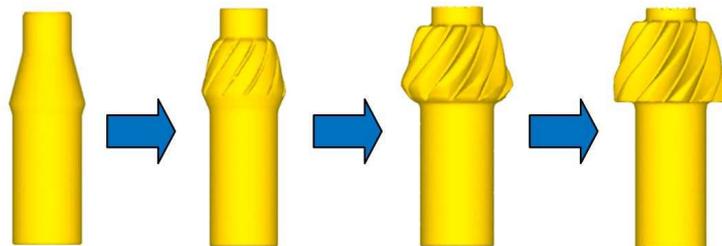


圖 4. 胚料成形模擬之流動過程

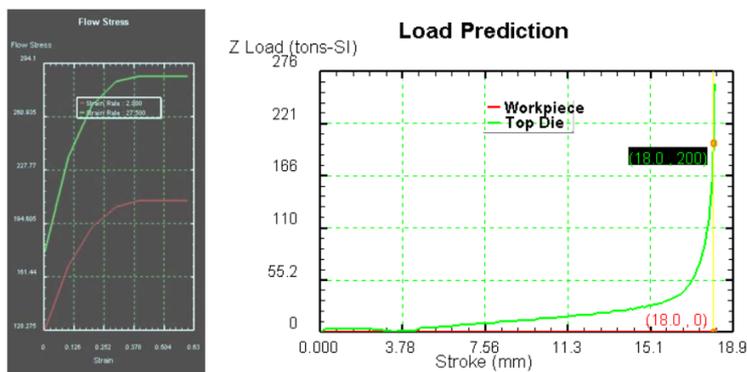


圖 5. AISI 8620 鋼料之流動應力與垂直雙向複動化模擬成形負荷

3.2 模具設計

本研究設計製作五件楔塊式閉塞垂直複動化鍛造模組，進行軋齒輪鍛造成形，其鍛造成形過程如圖 6 所示，鍛造時，胚料置入於模穴內，上模仁往下運動，與下模仁模面貼合形成合模狀態，壓迫浮動模座同步往下運動，下沖頭不動，同時撞桿與撞擊塊接觸，驅動左右側向楔塊，使中間楔塊往下帶動上沖頭向下運動，產生垂直雙向成形方式，將胚料擠壓成形，當上模運動過下死點後回升至上死點，浮動模座會跟隨往上升浮至一定高度，頂

桿頂出下沖頭，將鍛件頂出脫離模具[3][4][5][6][7][8]。

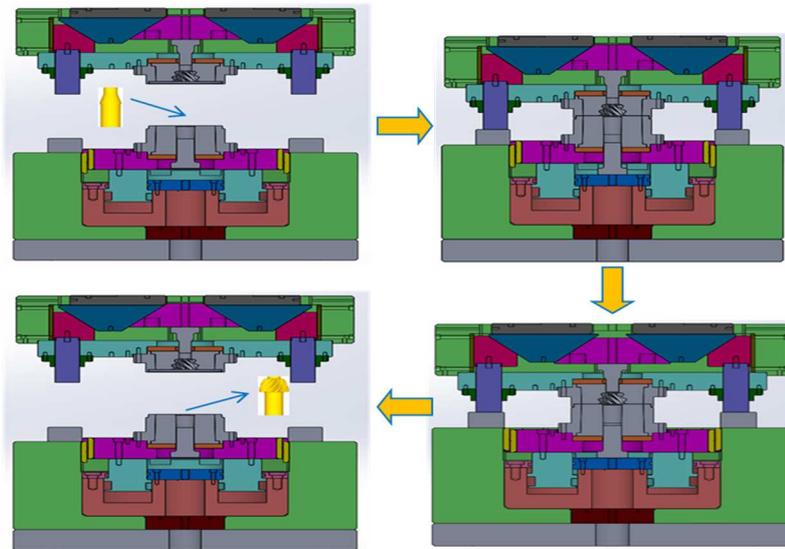


圖 6. 閉塞式複動化鍛造模組作動示意圖

因齒形模仁特徵較為複雜，以五軸加工機技術難以進行模穴雕刻加工，只能採用放電加工方式。以實體軋齒輪進行齒形逆向工程，建構其齒形，輸出 IGES 檔，進行電極加工。為確保齒面精度的正確，其電極收縮率放大 1%，以補償溫間鍛造後的收縮量。本研究放電間隙採用單邊 0.15mm 並將齒厚單邊減少 0.15mm，期望鍛造後能得到較為正確的齒形特徵。

3.3 鍛造作業

將閉塞式垂直複動化鍛造模組裝配置 400ton 鍛機上，如圖 7 所示。並將胚料置入加熱爐加熱至約 900°C，模具也須進行加熱至約 200~300 度，避免胚料接觸到模具面時，胚料的溫度被模具所吸收，使其胚料溫度降低過快，導致鍛件再塑性變形時，材料流動不佳。油壓模墊之合模力設定為 200ton。準備完畢後，開始進行鍛造實驗，同時記錄機台上的噸數，比對鍛造結果與模擬結果相互驗證。圖 8 為實際鍛造過程，顯示胚料置入，完成鍛造與鍛件頂出之情形。圖 9 為鍛件外觀，顯示隨著模具往下鍛造，材料充填模穴之過程，右圖為最終材料完全充填的外觀。表 1 為模擬之鍛造成形負荷與實際鍛造後成形負荷之比較。由於鍛造合模力設定為 200ton，其模擬之負荷值必須加上油壓模墊施予的合模力 200tons，才為模擬時胚料成形負荷。結果顯示 DEFORM 軟體所分析的成形負荷與實際鍛造之負荷趨勢相同。



圖 7. 閉塞式垂直複動化鍛造模組安裝於 KT-400 鍛機

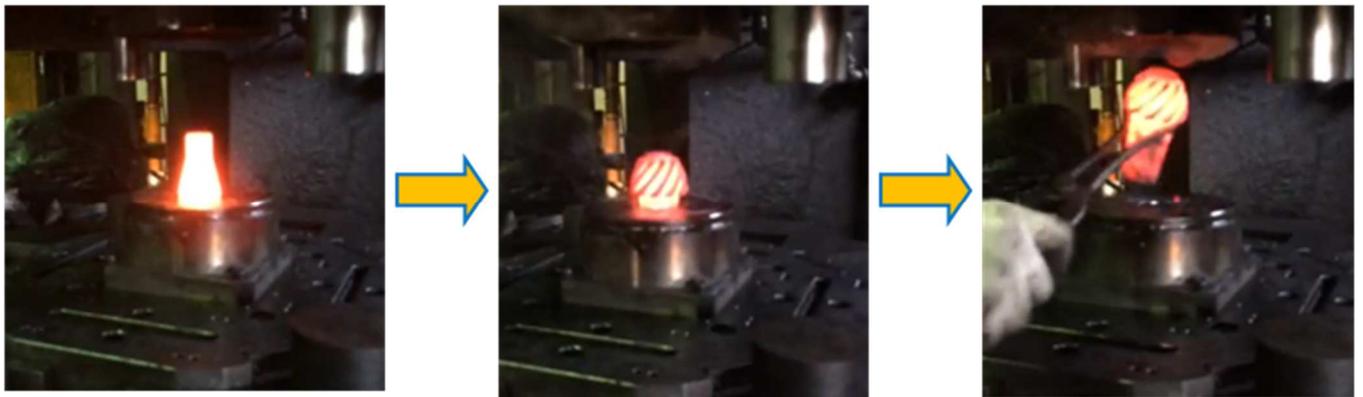


圖 8. 實際鍛造作業



圖 9. 鍛件外觀(左)，由左而右顯示鍛件逐漸成形過程與小批量試模鍛件(右)

表 1. 模擬與與實際鍛造成形負荷之比較

項目	合模力	鍛造成形負荷	總計
模擬之負荷	200ton	200tons	400tons
實際之負荷	200ton	156tons	356tons

3.4 齒形量測

將鍛造齒輪與加工齒輪做拓樸圖相互比較，比較結果如圖 10 齒輪拓樸圖所示。結果顯示偏差最大處在齒頂部位，單邊偏差最多 0.3mm，因鍛造齒輪所有直邊處需改成圓角，相對於模具而言，齒底之 R 角變大，可增加模具強度，雖齒輪鍛件之齒形頂部厚度增厚，對於齒輪的轉動則無影響。而其它齒面處偏差小於 0.1mm。顯示軋齒輪之精密鍛造為可行。

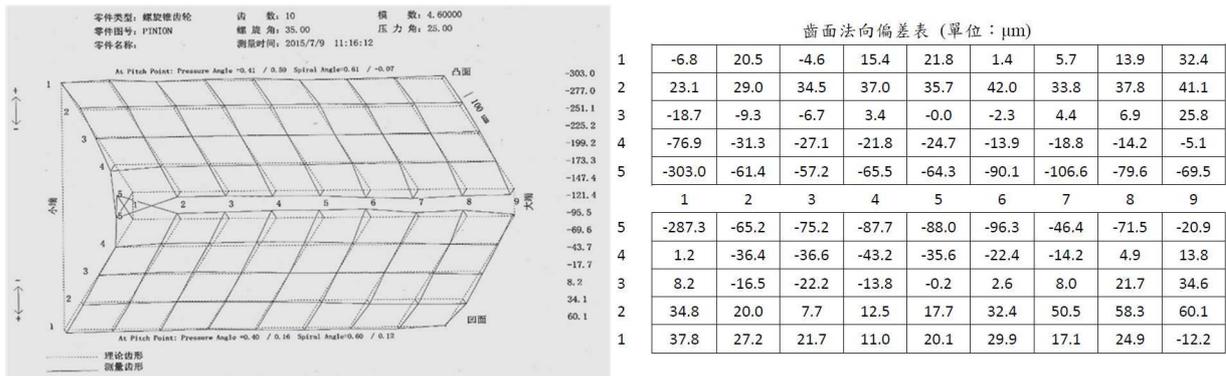


圖 10. 齒形拓樸圖比較

4. 研究結論

1. 由 Deform 模擬分析結果可得知，軋齒輪鍛造製程採用閉塞式雙向垂直複動化鍛造成形模式，胚料可完全成形，沒有缺陷產生，此與實際鍛造結果相同。另所模擬得到之鍛造成形負荷為 200ton，再加上 200ton 合模力，總計為 400ton，與實際鍛造負荷 356ton 相近似，顯示以 Deform 模擬分析作為先期之製程評估分析為可行。
2. 本研究所開發之閉塞式垂直複動化鍛造模組運作順暢，可鍛製精密鍛件，顯示模具開發為成功。
3. 將鍛造齒輪與加工齒輪做拓樸圖相互比較，結果顯示鍛造齒輪與加工齒輪齒面偏差約 0.1mm，顯示顯示軋齒輪之精密鍛造為可行。

5. 參考文獻

1. 謝宗儒，汽車用軋齒輪之溫間複動化鍛造模組之研究，國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系碩士論文，2015。
2. www.nichidai.jp/english。
3. 楊俊彬，李少濠，多軸複動化鍛造模組設計與製程研究開發，鍛造，第九卷，第四期，P15-26，中華民國鍛造協會，2000。
4. 林文樹等，鍛造技術手冊，金屬工業研究發展中心，1997。



5. 楊俊彬，溫間無毛邊鍛造技術之研究，鍛造，第三卷，第一期，P93-104，中華民國鍛造協會，1994。
6. 陳裕仁，垂直複動化鍛造模組機構設計研究與其成形製程分析，國立高雄第一科技大學，碩士論文，2002。
7. 陳明源，多軸向複動化鍛造成形分析與模組化機構設計研究—以十字萬向接頭為例，國立高雄第一科技大學，碩士論文，2003。
8. 楊俊彬，多軸雙向複動化鍛造模組專利報導。