

避免凹陷產生之模內彎管模具設計方式

Tube Bending Die Design Method to Avoid Depression

陳冠呈¹、王承緯²、陳復國^{3*}

^{1,2,3} 國立台灣大學機械工程學系

*E-mail: fkchen@ntu.edu.tw

摘要

汽車產業近年發展趨勢為輕量化以及高強度，汽車業界已廣泛使用管件液壓成形技術取代傳統沖壓技術，通常管件液壓成形道次包含彎管、預成形、液壓成形。本論文針對後副車架橫樑進行管件液壓成形製程之研究，使用模內彎管技術取代彎管機彎管。模內彎管為一種使用模具直接將管材彎曲之技術，相較於彎管機彎管有減薄率較低、製程速度較快、芯線限制較小...等優勢，然此製程卻有易產生凹陷、截面變成橢圓狀以及截面周長減少之缺陷。

本論文利用有限元素法軟體建立一基礎載具以討論缺陷之發生機制。接著探討模具設計方面，如下托塊(Holder)與管材接觸前後管材應力分布之變化，並分析下模 Holder 設置高度對凹陷量之影響。最後，本論文優化設計出一套模內彎管模具，成功改善模內彎管管材凹陷程度，並藉由實際生產之後副車架橫樑驗證模擬模型準確性。

藉由上述研究成果，本論文建立了模內彎管製程之模具設計方法以及提供模內彎管缺陷改善之方式，可作為業界於模內彎管設計時之參考。

關鍵詞：後副車架、管件液壓成形、彎管成形、模內彎管成形、有限元素法

Abstract

In recent years, the lightweight and high strength have become the development trends in the automotive industry. To achieve these goals, tube-hydroforming technology has been applied to replace the traditional stamping-welding process in manufacturing automotive structural parts. Usually, a tube-hydroforming process includes tube bending, pre-forming and hydroforming operations. In the present study, the research on the tube-hydroforming of a rear sub-frame beam was carried out, and the tube was bent in die instead of by a bending machine. The die bending is a technique in which the straight tube is bent with both the upper die and lower die which produces a lower rate of thinning with less restriction of the center line than that in draw bending. But this process is prone to producing depression, cross-section oval and reduced cross-section on tube.

In this paper, finite element analysis was employed to establish a basic model to examine the reason why defects occur. Next, the paper discusses the die design, including the stress distribution of the tube before and after the contact between the lower holder and the pipe, and analyzes the influence of the height of the lower holder on the amount of the depression. Finally, this paper optimizes design of a set of bending die, successfully improved the degree of depression of the die bending tube. And verify the accuracy of the simulation model by the actual rear sub-frame beam.

Based on the above research, this paper has established a die design method that offer a way to improve the defect of die bending process.

Keywords: rear sub-frame, tube-hydroforming, tube bending, bending with die, finite element analysis

1. 前言

管件液壓製程道次通常包含：彎管、預成形以及液壓成形。在管件液壓成形製程中，第一道次先將適當厚度之管材依成品芯線彎曲所需之曲率，然後再將彎管置於預成形模穴中，經過預成形道次沖壓後之管材才可以放入液壓模穴中成形。液壓成形道次係利用上模以及下模合模將管材固定，並將管材兩端口使用油封封閉，封閉後在管材內部灌入高壓液體，並逐漸加壓液體使管材成形成液壓模穴造形。彎管製程道次之相關文獻包含Xu等人[1]使用ABAQUS軟體進行彎管分析，探討旋轉角度、摩擦力等參數，對彎管內外側厚度之影響。Hasanpour等人[2] 探討非等向性下不同 r 值對於彎管皺摺之影響。Chen等人[3]探討彎管模具作動參數以及摩擦係數對於彎管內側皺摺缺陷之影響。Lei等人[4]利用有限元素法軟體對汽車結構件液壓成形進行完整模擬分析，包括彎管後的厚度分佈，以及預成形模面設計方式對產品成形性之影響。本研究著重於彎管道次使用模內彎管之成形研究，並且探討彎管缺陷對液壓成形之影響。彎管道次使用彎管機彎管，此種彎管方式容易產生較高的減薄率且成形大多係必須為有彎曲曲率的彎管設備。而使用模內彎管製程可降低減薄率並且彎管彎角可以為任意曲線，因此模內彎管於芯線設計方面自由度較高。有時模內彎管的設計甚至可以將彎管與預成形合為一個道次，如此一來則會大幅度地降低模具開發的成本以及成品的製作時間。本研究成功透過有限元素分析模形改善模內彎管凹陷之缺陷，因此可以對於模內彎管製程提供設計及參考流程。

2. 模具設計對於凹陷改善之探討

2.1 管材材料參數

管材材料使用SAPH440，其管材降伏強度為457MPa，抗拉強度為511MPa，楊氏係數為210GPa，延伸率(uniform elongation)為19.5%。使用材料SAPH440管材單軸拉伸試驗之應力應變曲線輸入有限元素分析軟體進行模內彎管模擬。

2.2 凹陷產生機制

凹陷產生原因為，管材於彎管過程中管材料流持續流入受彎區域。起初，流入的管料會先以兩側擴張方式吸收，當無法靠兩側擴張吸收時管材會向下塌陷而造成凹陷，如圖1所示。凹陷過大會導致液壓脹形後之成品仍然有凹陷存在，或是需要增加液壓脹形時之液壓壓力將凹陷脹出，因此，此種缺陷對液壓脹形影響最甚。本研究以觀察管材次應力分佈的方式判斷凹陷是否發生，模內彎管凹陷尚未產生時，管材受彎區域壓應力(次應力)隨著下壓深度越深而增加，一旦凹陷發生時凹陷區域中央壓應力仍隨著下壓深度而上升，但是凹陷兩側壓應力隨著凹陷加深而減少，如圖2所示。

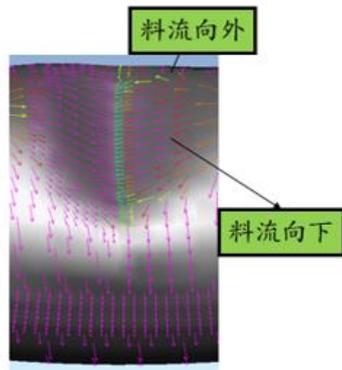


圖1 凹陷產生機制

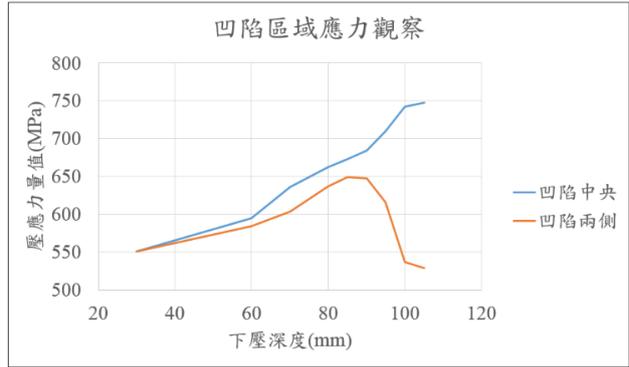


圖2 凹陷區域應力觀察

2.2 下Holder行程設計對於彎管凹陷之影響

下Holder行程設計需在管材凹陷先接觸管材，才能防止凹陷的發生，因此針對下Holder討論不同行程高度對於凹陷轉移的影響。基礎載具之下料管徑為2.5mm、管材外徑為71mm，摩擦係數為0.12，使用不同下Holder行程高度進行有限元素分析模擬。

在分析凹陷轉移前須先解決初次凹陷之問題，載具上模總行程為220mm，由模擬結果得知上模沖壓深度到達110mm時發生初次凹陷，因此下Holder行程設計需高於110mm才能防止初次凹陷發生。而下Holder行程195、170、145以及120mm對於凹陷轉移之影響性分析模擬結果如圖3所示，下Holder行程195mm凹陷轉移最早發生，於沖壓深度達到110mm時凹陷轉移至兩側；下Holder行程120mm凹陷轉移最晚發，沖壓深度達200mm時凹陷轉移至兩側。由討論結果可知下Holder行程越低則越不容易造成凹陷轉移。

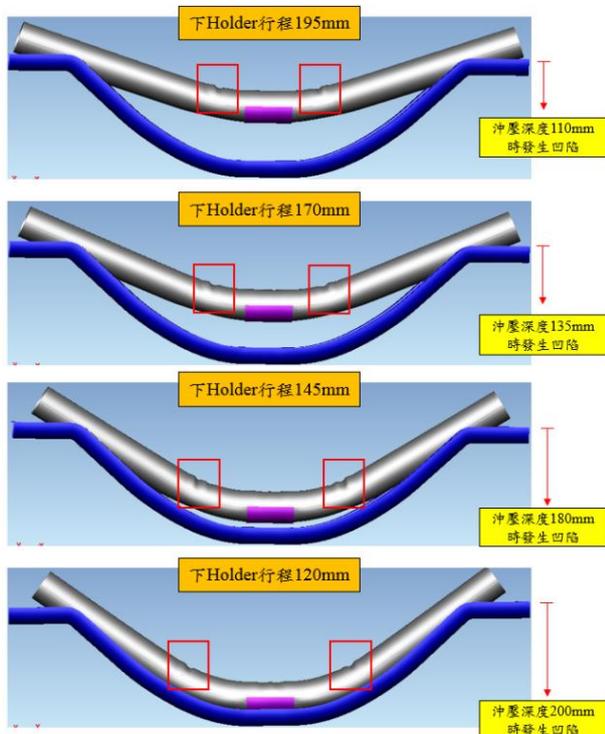


圖3 Holder行程對於凹陷轉移之影響



圖4 實際開發之模內彎管模具

3. 實體載具驗證

為了確認有限元素法模擬分析之準確性，使用實體載具後副車架橫梁之彎管道次分析結果與實際開發模具(圖4)生產成品進行驗證，驗證有限元素分析模型之準確性，並且應用前一章節之下Holder行程優化方法，分別驗證行程改善前以及行程改善後之模內彎管凹陷外觀，如圖5所示。

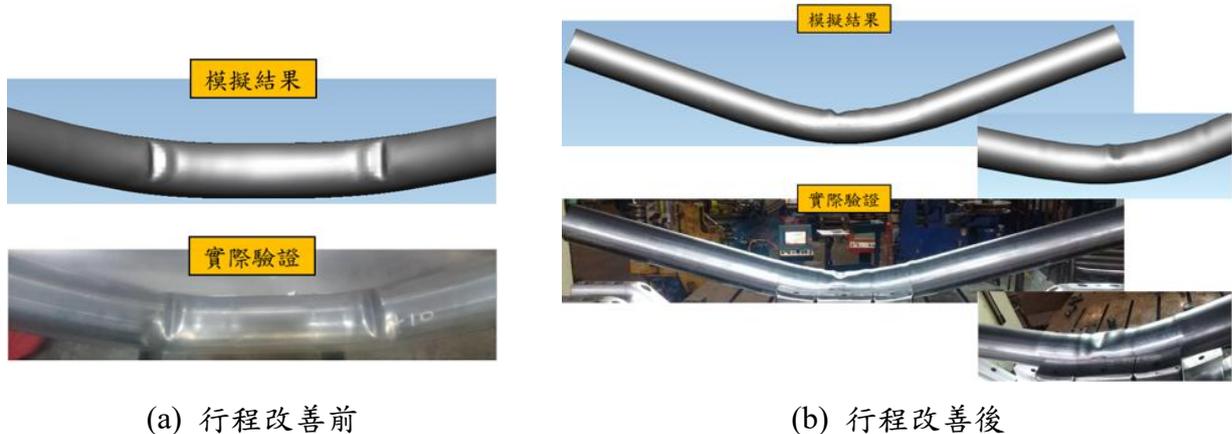


圖5 模擬結果與實際生產對照圖

4. 結論

本研究首先取得管材材料性質，再利用有限元素軟體觀察管材次應力分佈的方式定義缺陷，接著探討不同下Holder行程高度對於凹陷轉移的影響，下Holder行程設計需在管材凹陷先接觸管材，才能防止凹陷的發生，且下Holder行程越低越不容易造成凹陷轉移。最後，本研究為了確認有限元素法模擬分析之準確性，使用優化模具設計前後之後副車架橫梁彎管道次成品，比對分析結果與實際開發模具生產成品之凹陷程度，驗證模擬之準確性。

5. 誌謝

本論文為科技部計畫編號MOST105-2221-E002-030-MY3之計畫，由於科技部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. T. Kuboki, K. Takahashi, K. Ono and K. Yano, 2013. A new schedule-free mandrel-less bending method for straight/pre-shaped long tubes. CIRP Annals – Manufacturing Technology. vol.66, pp.303–306.
2. H. Li, H. Yang, Z.Y. Zhang, G.J. Li, N. Liu and T. Welo, 2014. Multiple instability-constrained tube bending limits, Journal of Materials Processing Technology, vol.214, pp.445-455.
3. B.G. Teng, L. Hu, G. Liu and S.J. Yuan, 2012. Wrinkling behavior of hydro bending of carbon steel/AL-alloy bi-layered tubes, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, vol.22, pp.560-565.
4. Y. Choi, B.Y. Kang, J.H. Park, H.T. Yeo, J.H. Kim and S.W. Park, 2013. Design of forming process for control arm using extruded aluminum tube, International Conference on Tube Hydroforming.