

應用有限元素法製程模擬技術於汽車排氣管 之液壓成形分析研究

The Application of FEM Simulation Technology for the THF Development of Exhaust Pipe

莊志宇、黃建成、李明富、鄭炳國

Chuang, Chih-Yu Huang Chien-Cheng Li, Ming-Fu Ping, Kuo Cheng

摘 要

汽車排氣管有多種不同的製造方式，其中液壓成形技術由於近年來趨於成熟且可有效改善精度及簡化工程道次等優勢[1]，也逐漸被應用在汽車排氣管之生產製造。本文則是說明如何應用有限元素法製程模擬技術於汽車排氣管液壓成形可行性分析上，包含製程之規劃、成形內壓力的決定方式以及壁厚的減薄率及成形極限分析等，作一系統性之闡述與討論，期能對相關業界往後應用液壓成形技術於汽車排氣管之設計、製造與開發上有所助益。

Abstract

There are various methods for the manufacture of exhaust pipe, And in recent years hydroforming technology is tending in maturity and can improve the accuracy and simplify engineering process effectively, etc. Also be gradually applied to the manufacture of exhaust pipe. In this paper, a FEM simulation technique is applied to the hydroforming of exhaust pipe, including forming process design, the selection of internal pressure, the thinning of wall thickness and forming limit diagram (FLD) analysis. Systematic description and discussion will be revealed. We hope the results of the present study could be used as a basis of designing and developing hydroforming of exhaust pipe and be helpful to the related industry application.

一、前 言

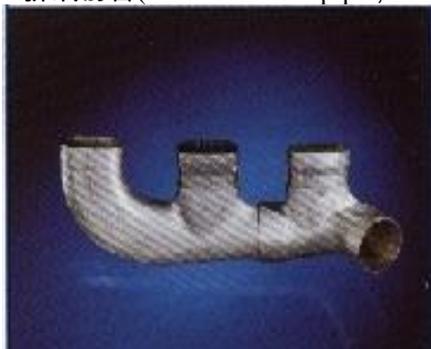
汽車排氣管在傳統上有多種不同的製造方式，如沖壓後焊接結合、彎管、旋壓、縮管等製程[2]，然而前述製程大都會有精度難以提升及工程道次難以簡化之問題。近年來由於液壓成形技術發展趨於成熟，已有越來越多車款之排氣管運用液壓成形技術開發，如圖 1[3]所示，BMW、Mercedes 等汽車大廠均已運用此技術於中高級車款中，液壓成形技術除了可改善精度及簡化工程道次外，還可提升功能性及輕量化等優勢。

管件液壓成形是屬於整合性之技術，需要理論

實務及經驗累積相互配合才能有完善的可行性評估及製程規劃，目前此技術屬於新發展領域，在這方面相關理論準則資料及實務經驗有待建立，故需借助有限元素法製程模擬技術來補足這方面之不足。本文說明如何應用有限元素法製程模擬技術(採用 Pamstamp 商用軟體作為研究)於汽車排氣管液壓成形可行性分析上，包含製程之規劃、成形內壓力之決定方式、壁厚減薄率及成形極限分析等，作一系統性之闡述與討論，期能對相關業界往後應用液壓成形技術於汽車排氣管之設計、製造與開發上有所助益。



1.排氣前管(exhaust header pipe, BMW)



2.排氣歧管(exhaust manifold, Mercedes)

圖 1 管件液壓成形技術運用於汽車排氣管之圖例
(資料來源：Schuler Hydroforming)

二、排氣管幾何造形

運用管件液壓成形技術所需排氣管之幾何形狀如圖 2 所示，由圖可看出其造形為三度空間彎曲面，圖 3 則為各處截面之幾何形狀，排氣管在中間處之截面積屬於橢圓，其它則為接近正圓，圓周長之估算最短處約 191mm，最長處約為 209mm，相差約 9.5%。

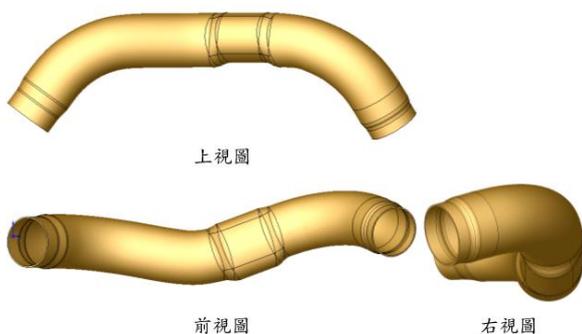


圖 2 汽車排氣管之方位視圖

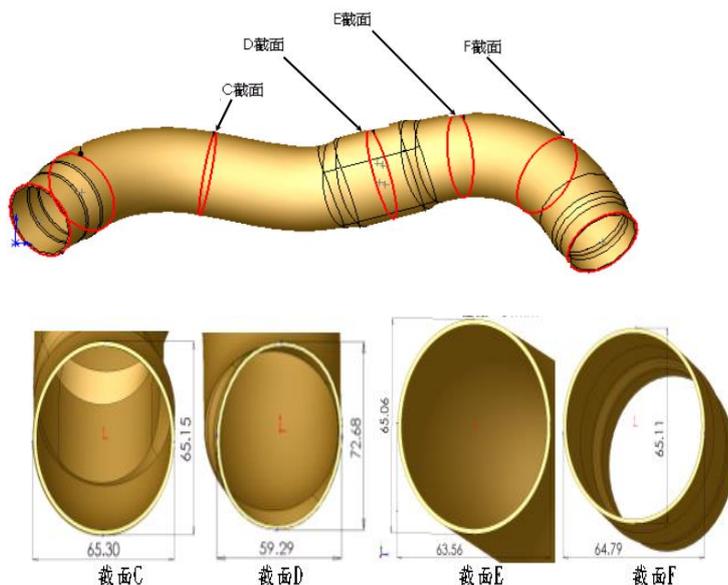


圖 3 汽車排氣管幾何分析

三、下料管材及尺寸決定

針對排氣管在下料管材選擇方面一般為碳鋼、SUS304 或 SUS409，因本排氣管為靠近引擎前段部份須耐 800~900 度以上之高溫，通常會選擇可耐高溫之 SUS409。本材料在有限元素模擬時所採用之流動應力[4]為 krupkowsky law($\sigma = K(\epsilon_0 + \epsilon)^n$)數學模式，下料管材之厚度初步設定為 1.5mm，下料直徑為 $\psi 60.5\text{mm}$ 可由幾何分析初步推之，但仍須從模擬液壓成形可行性之結果來作進一步估算。

四、製程規劃

在此排氣管成形製程規劃中，區分為三道次成形，第一道次為三度空間之彎管成形[4]，第二道次則是預成形，將其接近中間部位作預壓，以便置入液壓成形模之模穴中，第三道次則為排氣管之完成道次，即將第二道次作完預成形後之管件作最終液壓成形。

五、成形壓力之決定

排氣管液壓成形所需內壓力之決定可依公式及經驗判斷，適當的成形內壓對於