

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

超音波輔助複合擠製成形之研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-009-028-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程學系

計畫主持人：洪景華

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 2 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

超音波輔助複合擠製成形之研究 (1/3)

計畫編號：NSC 91-2212-E-009-028

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：洪景華 國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

超音波塑性加工乃將超音波振動能量作用於成形模具上，經由模具對工件進行成形加工。

本研究計畫預定進行全程三年之研究，第一年著重在超音波輔助成形實驗設備設計及製作建立，針對超音波振動頻率產生器、陶瓷壓電振動換能器、共振器及振動成形模具設計規劃，並利用有限元素模擬分析輔助設計，建立共振器之設計模型，開發完成一套超音波振動成形之實驗設備，研究中，首先已建立共振器之共振頻率與振幅之量測系統，並利用有限元素軟體 ABAQUS，進行 3D 的模擬分析，瞭解共振器之共振頻率、振幅放大率、振幅分佈及設計技術，其模擬結果與實驗所量測之共振頻率與振幅值相接近，證實所建模組能有效預測共振頻率與振幅分佈。本年度計畫中已初步建立超音波振動成形設備之設計，並製作完成超音波振動成形之實驗裝置。

關鍵詞：超音波振動成形，共振器，有限元素法，ABAQUS

Abstract

The ultrasonic-imposed metal formation processes use ultrasonic energy to

act on die then using die to act on workpiece for formation.

This proposal is scheduled to be completed in three years. In the first year, the focus will be on the experiment design and installation of the apparatus for ultrasonic-imposed metal formation processes. The components to be integrated and optimized include the ultrasonic frequency generator, the piezo-ceramic vibration transducer, the resonator, and the ultrasonic forming die. The design of resonator will be based on the results of finite elemental analysis. The first step of process was to build up the measuring system for measuring nature frequency and amplitude of the resonator. In this study, the 3D simulation has been performed using ABAQUS code. Base on the resonator model, the simulation results of the nature frequency, amplitude magnification and amplitude distribution. Are very close to those experiments. The result indicates that the above model can effectly predict the resonance and amplitude distribute. The design and experiment apparatus of ultrasonic-imposed metal formatting process have been completed at this stage.

Keywords: Ultrasonic-imposed metal formation, Fine element analysis, Multiple ultrasonic vibration, ABAQUS, Resonator

二、緣由與目的

超音波塑性加工乃利用超音波振盪器產生的電子振動能，經由壓電陶瓷換能器轉變為機械振動能，並將超音波振動能量作用於成形模具上，經由模具對工件進行成形加工之成形技術。由於超音波振動於塑性加工成形時會產生一些效應，如摩擦力的降低（圖一）、使材料變形應力降低的Blaha effect 等效應及板金成形回彈量的降低現象，使得材料其成形極限之界限獲得提高。目前的科技進步下，在材料方面，由於不斷研究創新，因此相繼發展出高強度、高硬度、高韌性等具有各種特殊機能的新素材，諸如超強度材料、複合材料、及陶瓷粉末、超導體粉末等材料。在製造方面，由於 3C 電子產品的小型化、輕量化與高品質要求，使得在加工製造這些新素材及 3C 電子產品時，多半必須用特殊的加工方法才能使製品品質達到預期目標。例如日本正積極開發高密度 IC 封裝用之超細銅線，其線徑可達 $15\ \mu\text{m}$ 以下，即利用超音波振動抽拉加工技術製造出來。由於超音波塑性加工時，其成形應力減少、摩擦力減少且提高材料之成形加工界限，因此，超音波塑性加工能有效達成傳統塑性加工無法達到之加工成形界限，所以超音波於塑性成形之複合加工技術已經逐漸受到重視。

概觀目前國內學術界、工業界在超音波應用均局限於超音波檢測、銲接、鑽孔等方面之研究應用，至於超音波振動塑性加工之相關技術研究則尚無相關機構進行研究開發，以致一些高科技新素材、難加工材、超精密的線材、管材之成形技術無法在國內工業界開發生產。然而欲對超音波振動於塑性加工成形領域進行研究，由於目前並無商業化的超音波振動成形實驗設備，基於解決此問題，超音波振動成形實驗設備之設計開發實有其必要性，因此本研究計畫首先將針對超音波振動頻率產生器、陶瓷壓電振動換能器、共振器及振動成形模具設計規劃，並利用有限元素模擬分析輔助設計，建立共振器之設計模

型，達成共振器之設計製作及模具之振動模式，開發完成一套超音波振動成形之實驗設備。

三、超音波振動產生裝置

由於超音波塑性加工乃利用超音波振盪器產生的電子振動能，經由壓電陶瓷換能器轉變為機械振動能，並將超音波振動能量作用於成形模具上，經由模具對工件進行成形加工之成形技術，因此其所需之超音波振動能量相當高，為了獲得較高超音波能量，必須選用高功率頻率產生器。而國內廠商所能製造之最高功率的頻率產生器，其功率為 2000W，而產生之振動頻率為 20 kHz，所以研究中之超音波頻率產生器，乃採用京華超音波公司所製造，型號為 KWS2020 頻率產生器。

對於壓電陶瓷換能器、聚能器（Booster）之選用，其共振頻率特性須與頻率產生器之頻率相配合，否則將導致振動系統特性與振動模態改變，影響超音波振動能量傳遞，造成共振頻率偏移、振幅放大率降低、偏振與扭曲模態的出現，振幅分佈不均等現象。所以壓電陶瓷換能器、聚能器與共振器之選用與設計，將決定整個振動系統之振動特性與效能。研究中對壓電陶瓷換能器、聚能器與共振器之選用與設計：

(1) 壓電陶瓷換能器

乃採用京華超音波公司所製做之換能器，利用壓電陶瓷將電能轉換為機械振動能，其振動特性為第一振動模態，共振頻率 20 kHz，幾何形狀為直徑 50mm，長度為 102 mm。

(2) 聚能器（Booster）

乃採取兩種不同振幅放大率（M）的聚能器設計，其材料均為 SUJ-2，且須經過熱處理。其幾何形狀以階梯形狀設計，將其振動特性設計在第一振動模態，共振頻率 20 kHz，而振幅放大率（M）則以 $M=1.3$ 及 $M=2.25$ 設計。在 $M=1.3$ 之聚能器，其大端直徑為 57mm，小端直徑為 50mm，長度為 133 mm 之階梯圓柱體，而 $M=2.25$

之聚能器，其大端直徑為 57mm，小端直徑為 34 mm，長度為 133 mm 之階梯圓柱體。且須在其振動節點位置設置法蘭，以便振動系統固定。

(3) 共振器

同聚能器採取兩種不同振幅放大率 (M) 的設計，材料均為 SUJ-2，其振動特性同樣以第一振動模態，共振頻率 20 kHz 設計，振幅放大率 (M) 則以 M=1 及 M=2.25 設計。在 M=1 之聚能器其幾何形狀為直徑為 30 mm，長度為 127 mm 之圓柱體，而 M=2 之聚能器則以階梯形狀設計，其幾何形狀大端直徑為 42.5 mm，小端直徑為 30 mm，長度為 131 mm 之階梯圓柱體。

將換能器、聚能器及共振器組裝完成後，再接上超音波頻率產生器輸予能量，即完成超音波振動裝置，如圖二所示，其中聚能器與共振器乃依理論推導與經驗公式計算設計，並可藉由設計，達到所需之振幅放大率及振幅量。

四、振動頻率及振幅之數值模擬與量測

在振動頻率與振幅的量測，首先設計一夾持裝置將振動系統固定後，利用 MTI1000 FOTONIC SENSOR 之光纖位移感測器與 IWATSU DS-8606C 之示波器進行振動頻率與振幅之量測，如圖三所示。

實驗中，將分別以頻率產生器之最大功率與最小功率輸入能量，進行不同放大率之聚能器產生振幅量測，進而組合不同共振器，針對其所產生振幅量進行量測。比較不同能量輸入對振幅影響及驗證所共振器設計的振幅放大率之準確性。

在數值模擬方面，則利用 ABAQUS 軟體中 FREQUENCY 配合 EIGENSOLVER 的指令來解系統特徵向量與特徵質，首先建立各量測實驗所需之模擬模型，模擬元素為 C3D4 四面體之 3D 元素，其各元件接觸部分以 Tie 限制，且接觸面元素節點，需以點對點接觸，進而模擬分析，求出共振頻率、振幅放大率及其振幅分佈情形，並將模擬結果與實驗量測值作比較，以驗證模擬分析之可靠性。

五、結果與討論

表一為量測各聚能器之共振頻率及振幅所得之實驗結果。其中聚能器為 M=1 的振幅 $9.6 \mu\text{m}$ ，共振頻率 20.14 kHz，而 M=2.25 的振幅 $21.5 \mu\text{m}$ ，共振頻率 20.04 kHz，由兩者振幅量測結果約 2.24 倍，與設計 2.25 倍相當接近，且共振頻率均與設計值相近，因此可驗證設計之準確性。

圖四為利用 ABAQUS 對 M=2.25 的聚能器模擬分析之振幅向量分佈圖，由振幅向量可知此為超音波加工所應用的縱向振動模態，且聚能器前端之振幅量最大，圖中軸向兩個位移為零的點，即為振動系統之振動節點，而振動系統固定之法蘭均設計於此位置。

圖五為 M=2.25 的聚能器模擬分析之振動應力分佈圖，由圖中可知於整個振動系統在法蘭位置其振幅應力最大，即振動節點其振幅為零，而振動應力最大，因此設計聚能器與共振器時，於振動節點位置必須避免應力集中現象發生。

圖六為 M=2.25 的聚能器模擬分析之端面軸向振幅分佈圖，由圖可知聚能器端面之軸向振幅非均勻分佈，中心位置的振幅最大，且由中心向外方向成拋物曲線遞減，最大與最小振幅相差約 3%，由於端面振幅的不均勻分佈，將對超音波振動成形其成形性造成影響，如何控制振幅分佈，實有進一步研究必要。

本研究以理論推導與經驗公式，搭配有限元素模擬分析進行聚能器與共振器之設計，與實驗結果相較，證實初步建立超音波振動成形設備之設計技術，並嘗試將超音波振動裝置架設於試驗機上，以便未來進行材料於超音波振動之試驗所需實驗裝置，如圖七所示。進而了解超音波振動成形之可能機制。

六、計劃成果自評

本研究已達成本年度中之預期目標，已初步建立超音波振動成形設備之設計，並製作完成超音波振動成形之實

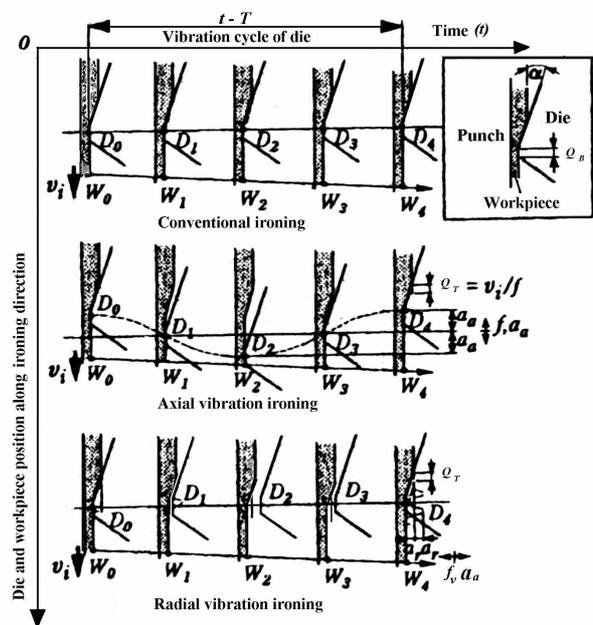
驗裝置，現可進入後續計畫之執行。

七、參考文獻

1. H. L. W. Chan, V. C. Lo, "Performance Study of an Ultrasonic Transducer used for Wire Bonding", IEEE, 1998, pp. 161-164.
2. F. Blaha, and B. Langenecker, Naturwissenschaften 42, 556 (1955).
3. B. Langenecker, "Effects of ultrasound on deformation characteristics of metals", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, 1966, v.13, pp. 1-8.
4. B. Lehfeldt, Beeinflussung metallischer Reibungsvorgange durch Schall im 20 kHz-Bereich, Diss. RWTH Aachen (1968).
5. K. Siegert, "Influencing the friction in metal forming processes by superimposing ultrasonic waves", CIRP Annals-Manufacturing Technology, v 50, n1, 2001, pp. 195-200.
6. L. Margaret, "Vibration sensitivity in the design of ultrasonic forming dies", Ultrasonics, v 34, 1996, pp. 35-41.
7. V. P. Severdenko, V. Z. Zhilkin, "Wire drawing with ultrasound", Russian Ultrasonics, v 4, n1, 1974, pp. 17-22.
8. V. P. Severdenko, V. S. Pashchenko, "Effect of die geometry on process of drawing with radial ultrasonic vibrations", Izvestiya VUZ Chernaya Metallurgiya, 1978, pp.96-97.
9. K. Siegert, "Wire drawing with ultrasonically oscillating dies", Journal of Materials Processing Technology, 1996, pp. 657-660.
10. M. Murakawa, "The utility of radially and ultrasonically vibrated dies in the wire drawing process", Journal of Materials Processing Technology, 2001, pp. 81-86.
11. J. Tsujion, "Ultrasonic vibration bending of metal plate specimens", Proc. IEEE 1989 Ultrasonic Symposium, 1990, pp. 1099-1102.
12. J. Tusjion, "Characteristics of ultrasonic bending of metal plates using a longitudinal vibration die and punch", Proc. IEEE 1992 Ultrasonic

Symposium, 1992, pp. 863-866.

13. T. Jimma, "An application of ultrasonic vibration to the deep drawing process", Journal of Materials Processing Technology, 1998, pp. 406-412.
14. M. Jin, "Utility of ultrasonic vibration applied to metal-forming processes", Advanced Technology of Plasticity, 1999, pp.19-24.
15. J. Petruzelka, "The effect of ultrasonic on tube drawing", Journal of Materials Processing Technology, 1996, pp. 661-668
16. M. Jin, "Fine-element simulation of ultrasonic wire drawing process", Simulation of Materials Processing, 2001, pp. 475-479.



$D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_3 \rightarrow D_4 \rightarrow \Lambda$ Trace of die movement

$W_0 \rightarrow W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3 \rightarrow W_4 \rightarrow \Lambda$ Trace of workpiece die movement

Q_T : Plastic deformation length each vibration period

圖一 超音波振動線材抽拉潤滑機構【4】



圖 2 超音波頻率產生器與換能器



圖 三 超音波振動頻率與振幅之量測裝置

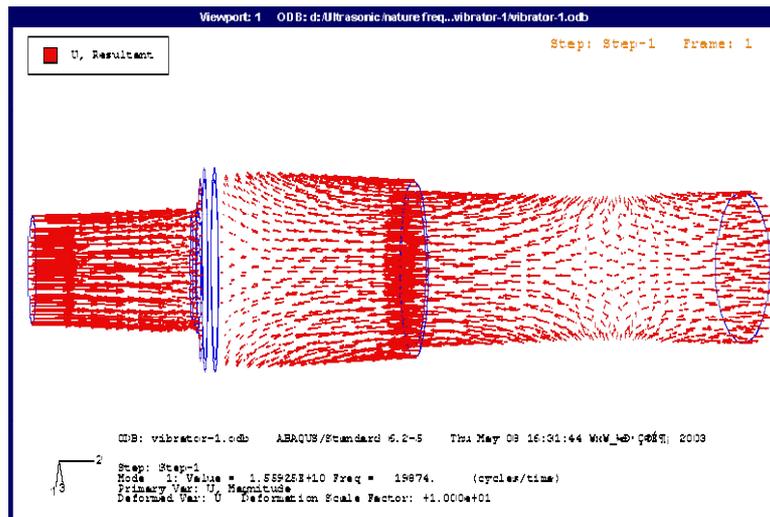
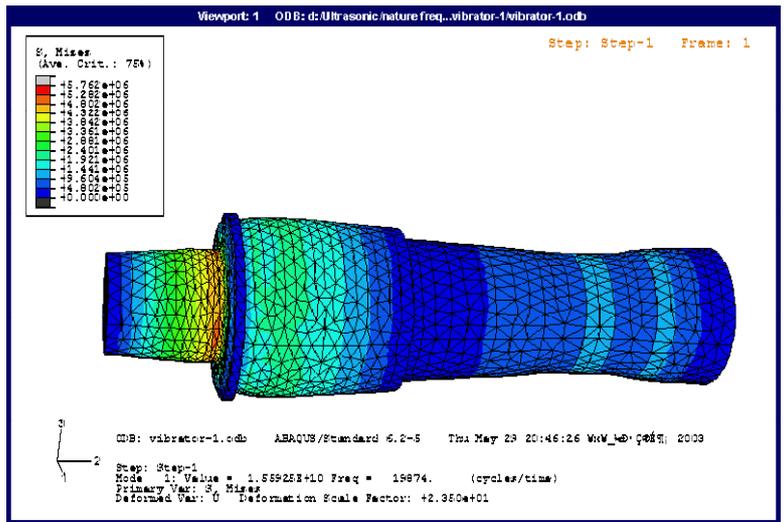


圖 四 M=2.25 聚能器模擬分析之振幅向量分佈圖



圖五 M=2.25 的聚能器模擬分析之振動應力分佈圖

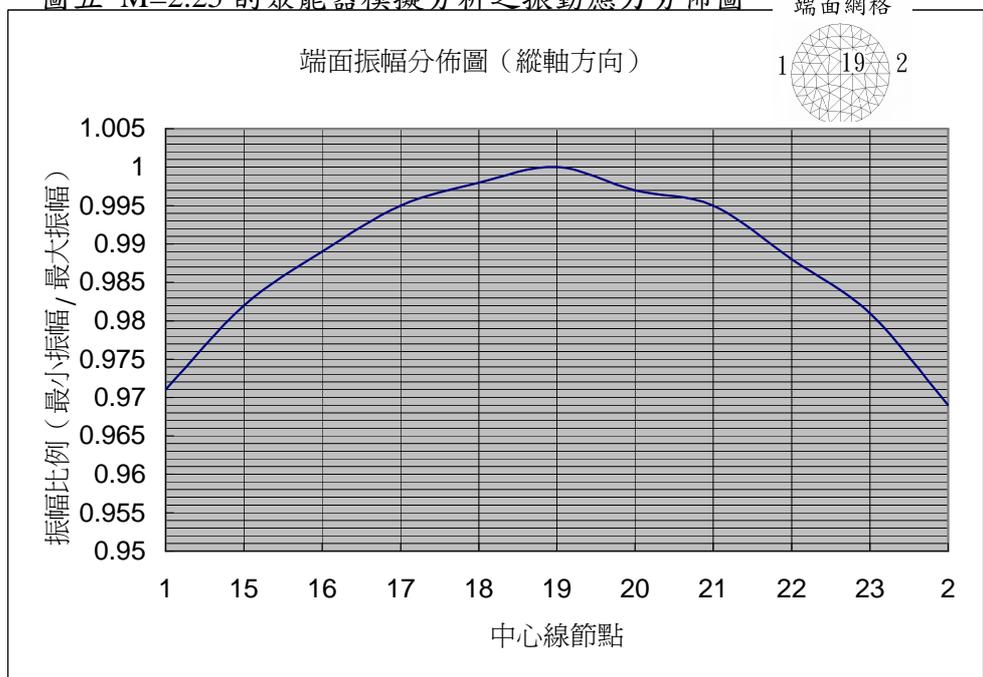


圖 6 M=2.25 的聚能器模擬分析之端面軸向振幅分佈圖



圖七 超音波振動成形之實驗裝置

表一 聚能器之共振頻率及振幅量測實驗結果

| 振幅放大率 (M) | 共振頻率 | 輸入功率 | 振幅 |
|-----------|-----------|------|--------------|
| M=1 | 20.14 kHz | 最大 | 9.6 μm |
| | | 最小 | 7.6 μm |
| M=2.25 | 20.04 kHz | 最大 | 21.5 μm |
| | | 最小 | 14.9 μm |