

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(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-009-007-

執行期間：92年08月01日至93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：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 1 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 (2/3)

計畫編號：NSC 91-2212-E-009-007

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 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。在研究中，第一年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。第二年則利用第一年製作完成之超音波實驗設備，進行超音波輔助壓縮試驗；研究材料於超音波振動下、材料變形應力降低之現象 (Blaha effect) 及可能之機制，並建立加熱裝置，探討超音波振動成形與工作溫度間之關係。在本年度計畫中已建立超音波振動成形設備之加熱裝置設計，並製作完成超音波振動成形之加熱實驗裝置。

並以此裝置針對不同的應變速率與溫度對鋁合金進行壓縮試驗。研究結果顯示，常溫下，附加超音波振動會降低鋁合金之壓縮變形負荷；在以不同應變速率進行壓縮試驗時，在變形量大時，超音波振動之效果會隨應變速率減小而降低。在高溫下，附加超音波振動則對降低負荷有疊加的效果。

**關鍵詞：**超音波振動成形，超音波壓縮試驗。

### Abstract

The ultrasonic-imposed metal formation processes use ultrasonic energy to act on die then using die to act on workpiece for formation.

This project is scheduled to carry on the research of ultrasonic assisted forming for three years. For the first year, the unit of

generating ultrasonic vibration had been incorporated with a customer designed press to form a ultrasonic forming test apparatus. For the second year (this year), a heating device has been designed and manufactured to extend the high-temperature capacity of the above test apparatus. A series of experiments have been conducted with this test apparatus to explore the stress reduce effect (Blaha effect) of Aluminum alloy (Al6061) under ultrasonic assisted forming process. During experiments, different heating temperature and forming speed (loading strain-rate) were taken as controlled parameters and results were analyzed and discussed.

### 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、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。接著利用開發完成之實驗設備進行相關研究，由於超音波振動成形時，摩擦力會減少且材料變形應力降低 (Blaha effect) 之現象，本計畫中將建立金屬在超音波振動下材料之塑性特性研究，及進行可能機制的探討，並建立加熱裝置，探討超音波振動成形與溫度間之影響。

### 三、超音波振動壓縮實驗裝置

研究中之實驗設備乃利用本實驗室自行設計製作之微電腦控制熱壓機進行改良設計，其最大負荷 2000 Kg，力量精解度 1/20000，位移精度 0.005mm，上下壓板可加熱至 500°C，如圖一所示。由於壓縮試驗欲於高溫下進行實驗，需將上下壓板與壓縮試片置於高溫環境下，因此本研究設計一高溫真空爐，如圖二所示，使其爐內空間可容納上下壓板與試片，且可於進行壓縮試驗時，同時施加超音波振動於上壓板。但在初步實驗中發現，進行高溫壓縮

試驗時，試片之頂部變形較底部之變形量大，經推論此為非均溫環境造成。因為高溫壓縮試驗時，需對爐內壓縮環境加熱，而且上下壓板均與機器連結，在長時間加熱下，必會將熱傳至機器，為避免造成感測元件損壞，上下壓板均設計有冷卻裝置將熱帶離系統，但爐內傳熱方式乃靠熱輻射傳導，加熱速度慢，所以造成爐內非均溫環境，上壓板溫度高於下壓板溫度且與爐內環境溫度相差很大，以致試片呈不對稱變形，實驗誤差量相當大，為求實驗之精確度，必須克服解決此問題。經多次變更設計，並進行溫度控制測試，最後利用上下壓板設計輔助加熱裝置，成功克服溫度差此問題，並可控制上壓板溫度、下壓板溫度與爐內溫度三者間溫度差於  $\pm 1^\circ\text{C}$  內。

超音波振動壓縮試驗時，超音波共振器就是上壓板，由於將這些輔助加熱裝置設計於共振器上會影響其諧振頻率，因此這將造成超音波振動系統設計困難。而且共振器於長時間加熱環境下，會造成整個超音波振動系統溫度上升，造成對超音波壓電陶瓷振動子的破壞，所以又設計了隔熱裝置與冷卻系統來克服此問題。

研究中超音波振動裝置之超音波頻率產生器，乃採用 King Ultrasonic Co.，型號為 KWS2020 頻率產生器。其功率為 2000W，而產生之振動頻率為 20 kHz，其共振器為自行設計製作。本研究選用不銹鋼材進行有限元素模擬設計，其振動特性以第一振動模態，共振頻率在 20 kHz，振幅放大率 (M) 則以  $M=1$  設計製作。首先設計於中心位置鑽孔加裝加熱裝置之共振器，如圖三所示。經實驗測試，加熱需相當久時間。

由於前面所設計之輔助加熱裝置功率，無法有效提升加熱速度，採用之螺旋管輔助加熱裝置之共振器，如圖四所示，經實驗測試，確實有效提升加熱速度，可以達到設定溫度，但因其加熱方式為非接觸式加熱，雖可達到設定溫度，但加熱時間需一段時間。

最後為獲得有效加熱效率，本研究採用多孔共振器設計，如圖五所示。可加裝

之輔助加熱裝置，其加熱功率達 800W，且加熱方式為接觸式加熱，經實驗測試，加熱溫度可達 500°C。所以本年度計畫執行中，已確實完成超音波振動壓縮試驗裝置之設計製作，並建立完成超音波振動加熱裝置與冷卻系統。

#### 四、超音波振動壓縮實驗

在超音波振動壓縮試驗中，首先利用前面所設計製作完成之超音波振動與加熱裝置，將這些裝置架設於微電腦控制熱壓機平台上後，即可進行一系列壓縮試驗，如圖六所示。

本研究中，將先以鋁合金 AL6061 為壓縮試片材料，試片尺寸為  $\phi 6 \times 6$  之圓柱體，壓縮測試條件，如表一所示。傳統壓縮試驗與附加超音波振動壓縮試驗，壓縮速度則以 0.003 1/sec 與 0.03 1/sec 之真應變速率進行測試，測試環境溫度則先以室溫與 100°C 進行試驗。

超音波振動之實驗條件，其共振頻率為 20 kHz，而振幅大小為 5.6  $\mu m$ 。

#### 五、結果與討論

圖七為環境溫度在室溫 20°C 下進行壓縮測試之壓力位移圖，由圖中可知在此環境溫度，在無超音波振動作用時，在兩種不同真應變速率，所得之壓縮力幾乎無影響。但當附加超音波振動時，均能有效降低壓縮力。其中真應變速率為 0.003 1/sec 與 0.03 1/sec 時之壓縮力分別降低了 130kg 與 215kg，由此實驗證實在超音波振動作用下，可有效降低材料塑性變形應力。初步推論造成塑性應力降低原因，可能由超音波作用產生應力疊加效果與超音波振動作用下，使增加材料內部差排移動，以致材料塑性應力降低。

圖八為環境溫度在 100°C 下進行壓縮測試之壓力位移圖，由圖中可知在此環境溫度，在無超音波振動作用時，兩種不同真應變速率對所得之壓縮力影響不大。但當有超音波振動作用時，均能有效降低壓縮力。其中真應變速率 0.003 1/sec 與

0.03 1/sec 之壓縮力分別降低 75kg 與 160kg。由此實驗證實，在高溫環境附加超音波振動作用下，同樣會降低材料塑性變形應力，但可發現如同圖七，在真應變速率為 0.003 1/sec 時，當壓縮位移量超過 3mm，壓縮力則開始提高，初步推論造成塑性應力升高原因，可能在真應變速率為 0.003 1/sec 時，由於超音波作用時間增加，使材料內部差排堆積，以致材料塑性應力升高，如加工硬化。

圖九為傳統壓縮試驗，沒附加超音波振動，進行壓縮測試之壓力位移圖。在此條件下，應變速率之變動，幾乎不影響試驗結果，但在不同環境溫度下，壓縮力隨溫度上升而降低，在真應變速率 0.003 1/sec 與 0.03 1/sec，20°C 與 100°C 其壓縮力降低分別為 156kg 與 175kg。

圖十為超音波振動輔助壓縮試驗之壓力位移圖，在兩種不同真應變速率，均能有效降低壓縮力，高溫環境附加超音波振動作用下能更有效降低壓縮力，真應變速率 0.03 1/sec 之壓縮力，在 100°C 附加超音波振動其壓縮力降低可達 331kg。

#### 六、目前進行中工作

本年度之研究計畫執行，預定於七月底完成，目前已達成本年度中之預期目標，而針對實驗之初步結果，本研究增列了下列正在進行的實驗規劃。

- 1、增加不同超音波振幅實驗，探討振幅對壓縮試驗產生影響。
- 2、增加不同溫度的實驗，使溫度對超音波振動間關係能有更完整的討論。
- 3、增加不同應變速率實驗，以探討不同應變速率下，超音波振動與材料塑性應力之增加與降低之關係。

#### 七、計劃成果自評

本研究已達成本年度中之預期目標，完成超音波振動壓縮試驗裝置之設計

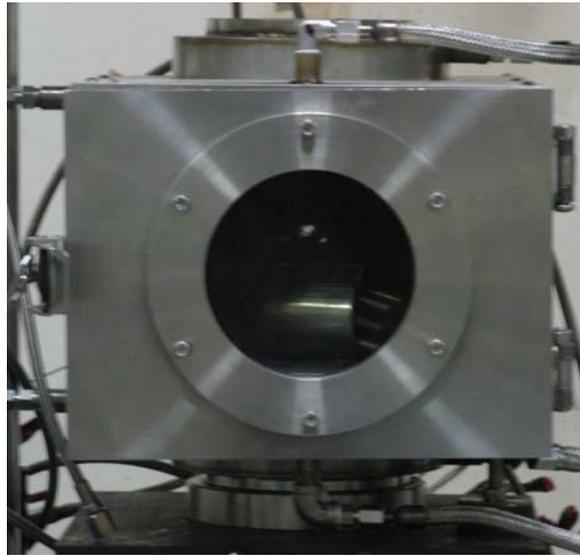
製作，並建立完成超音波振動加熱裝置與冷卻系統。同時已進行相關實驗，由初步實驗結果，獲得證實附加超音波振動成形所產生的一些現象，目前正進行一系列增加的實驗，本年度計畫完成時，將會有更多的結果。並對第三年的超音波輔助成形應用計畫建立更完整的材料行為基礎

## 八、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 Reibungsvorgänge 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. Tsujion, "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.



圖一 微電腦控制熱壓機



圖二 高溫真空爐



圖三 中心加裝加熱器之共振器



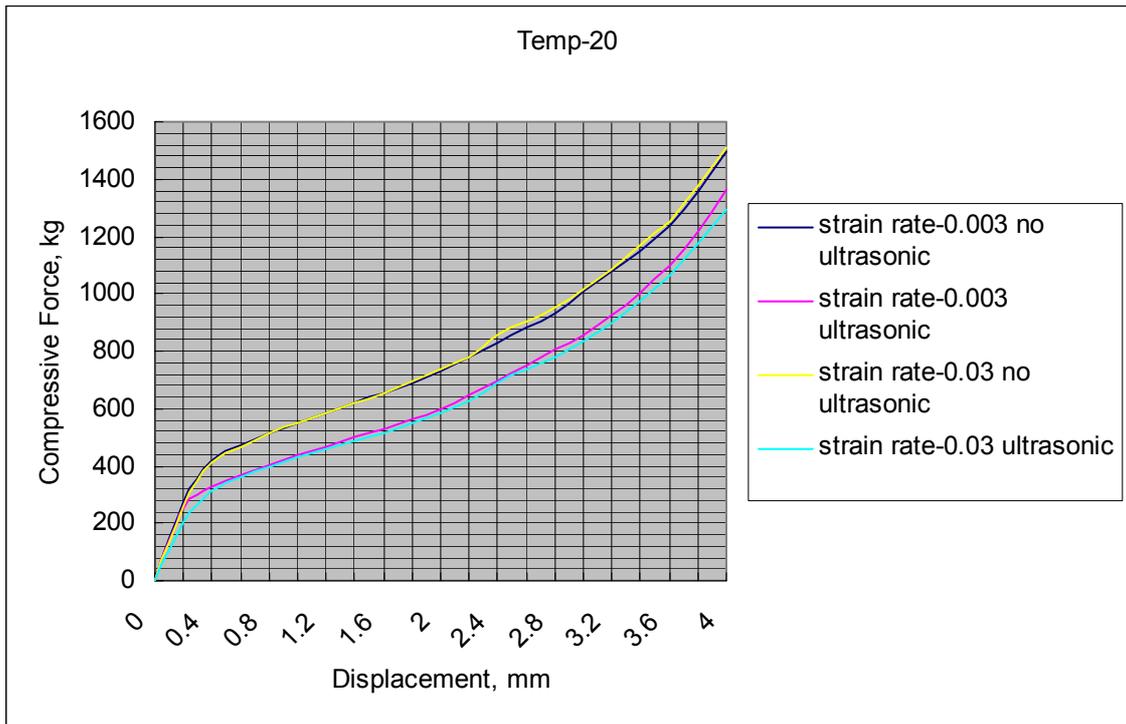
圖四 螺旋管輔助加熱裝置之共振器



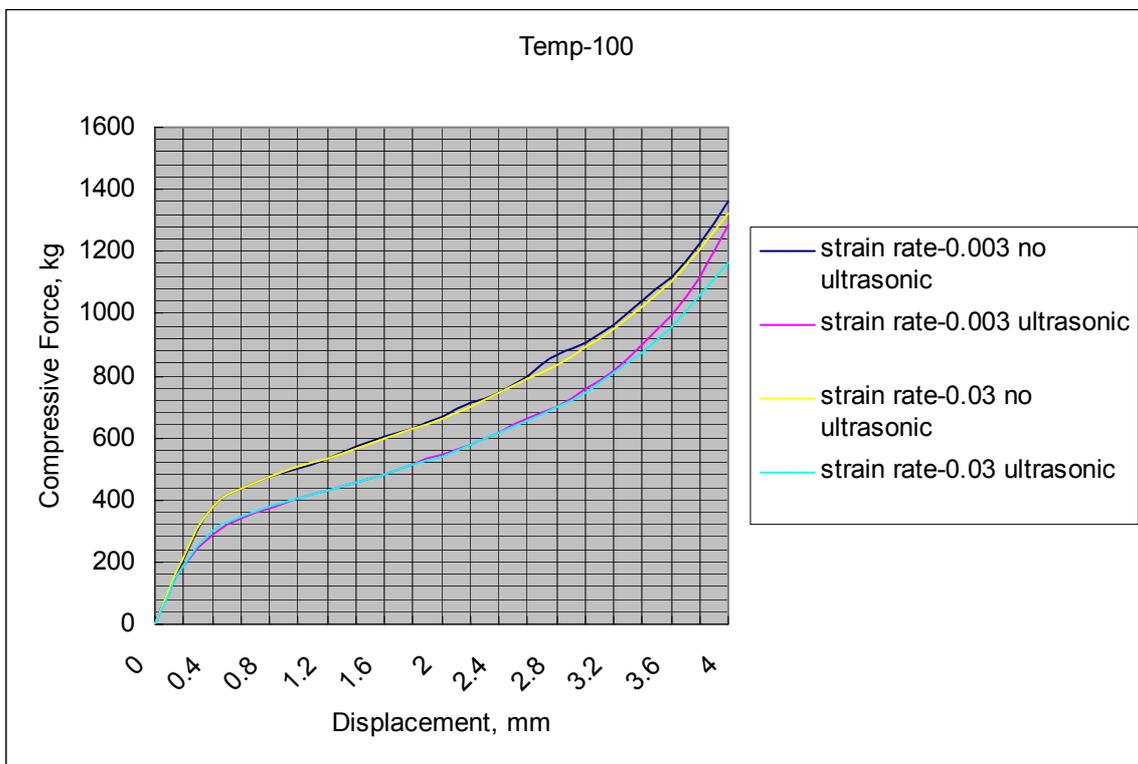
圖五 多孔式共振器設計



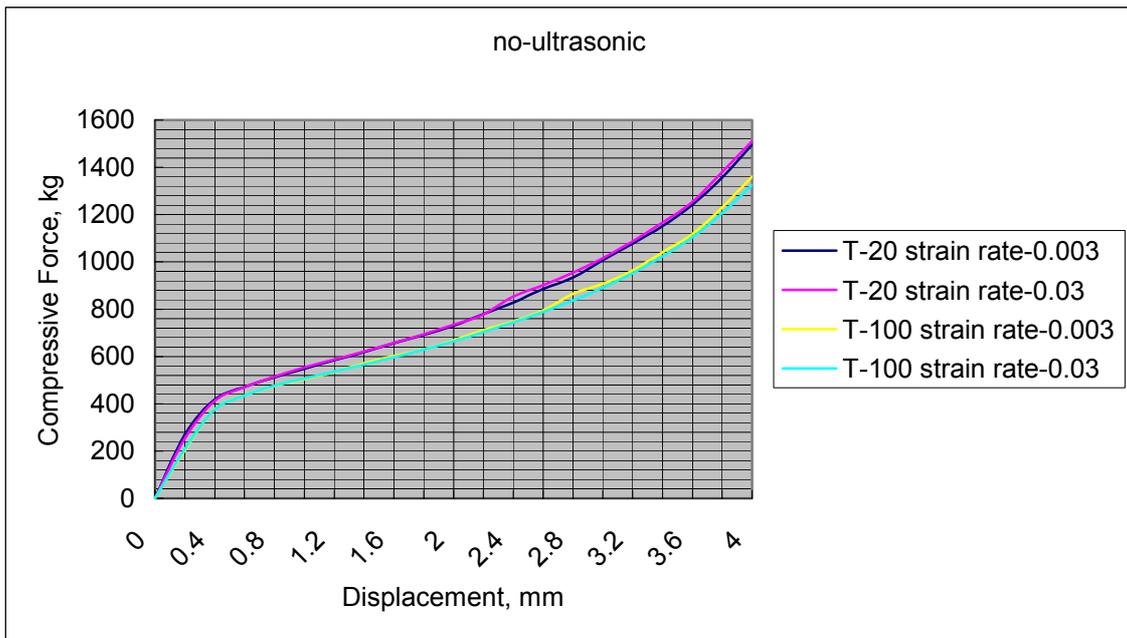
圖六 超音波輔助之壓縮試驗實驗裝置



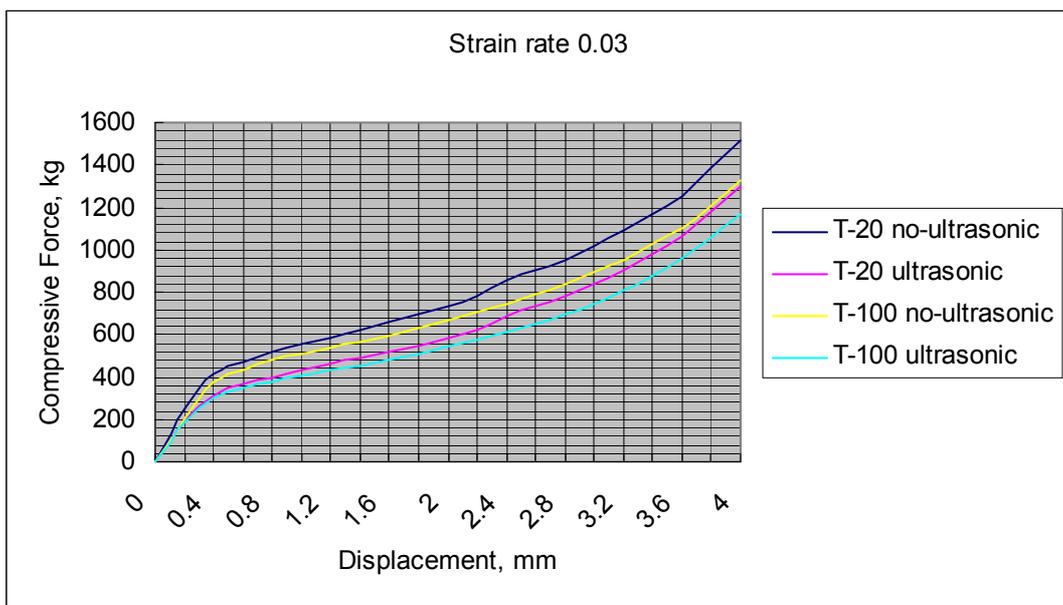
圖七 溫度  $20^{\circ}\text{C}$ ，傳統與超音波振動壓縮之壓力位移圖



圖八 溫度  $100^{\circ}\text{C}$ ，傳統與超音波振動壓縮之壓力位移圖



圖九 傳統壓縮試驗溫度與應變速率之壓力位移圖



圖十 傳統壓縮試驗溫度與應變速率之壓力位移圖

表一 壓縮測試條件

超音波振動	無	有
溫度	20	100
真應變率	0.03 1/sec	0.003 1/sec