

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

厚膜光阻之 X 光深刻結構體的模造之研究 A Study on Molding of X-ray Lithographed Structures of Thick Film Resists

計畫編號：NSC 87-2216-E-009-017-

執行期限：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：陳仁浩 國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫針對厚膜光阻之 X 光深刻結構體的模造加工，設計製作四種簡單直立薄壁形狀微結構的模仁，用以進行熱壓模造的實驗模擬和分析。首先以三種不同溝寬的單縫模仁進行壓印，探討壓印溫度、壓印壓力、壓印時間等成形參數與微結構成形高度間的關係，以及保壓力對微結構收縮率的影響；接著以雙縫模仁進行實驗，調查保壓力對兩薄壁微結構間距收縮率的相關性；最後以實際的導線架模仁做實驗，探討了加工條件對缺陷生成的影響。

關鍵詞：熱壓成形，深寬比，LIGA 微結構體，成形精度，成形週期。

Abstract

We designed four types of thin wall cavity mold inserts. These are geometrically and dimensionally similar with that were made by electroplating an X-ray lithographed microstructure. There were three single cavity inserts which were different width of the gaps. We investigated the relationship between the height of embossed microstructure and embossing parameters such as temperature, pressure and time interval. The influence of holding pressure on microstructure shrinkage was studied, too.

In addition, we used a double cavity insert for the relation between space deviation and holding pressure. Finally, we used a real LIGA mold insert of lead-frame punch for investigating residual defects under different embossing conditions.

Keywords: hot embossing, aspect ratio, LIGA microstructures, embossing accuracy, cycle time

二、緣由與目的

微系統技術是未來最具發展潛力的重要科技，其對於人類的醫療、生活福祉乃至工業、經濟之發展將有很大的影響。目前世界上主要先進國家如美、日、德等國都已積極投入微系統技術的相關研發，並開發出各種的製程技術。其中 LIGA 製程由於具有能製作高深寬比微結構、加工材質不受限制、可大量生產等其他加工方法所難以得到的重要優點，因此最受各方的注目。此製程乃結合模造技術於光深刻及電鑄加工之後，使能製作各種所要材質的微系統零組件並大量生產，消除原本材質受限、成本高昂、無法實用化的缺點。而熱壓加工即為此 LIGA 製程中主要的成形方法之一。然而在 LIGA 微結構體的實際模造加工上，由於模仁無脫模角等因素，熱壓模造遭遇到脫模不易、模仁耗損及破壞、成形品形狀精度和尺寸精度不易

控制、成形週期太長、可成形深寬比受限等困難，到目前為止尚無有系統的研究可提供有用的參考。

本計畫設計製作具簡單直立薄壁形狀微結構的模仁，利用實際的微熱壓實驗進行壓印，探討 LIGA 微結構體熱壓模造時各項模造參數與成形特性之間的關係，提供將來建立 LIGA 微熱壓模造的理論模式的參考。

三、結果與討論

本研究使用德國 JENOPTIK Microtechnik GmbH 製造的 HEX O2/T 熱壓系統進行微成形實驗。實驗時將壓克力試片置於托盤內，再將托盤固定於熱壓機的下押板上，並且將模仁固定於上押板。俟真空罩降下並蓋妥形成一密閉室，熱壓系統即開始進行抽真空，使密閉室內的氣壓降低至維持小於 1 mbar。接著作動壓縮單元及加熱單元，在一微小的接觸壓下對壓克力板進行加熱，直到壓克力材料的溫度上昇至設定的壓印溫度並稍候片刻使材料的溫度分佈均一，然後才進入真正的壓製階段。在經過所設定之壓印時間後，熱壓系統隨即切換壓縮單元的壓力設定值至較低之保壓力，同時開始對成形材料及模仁等進行冷卻。待壓克力及模仁的溫度降至壓克力的熱變形溫度以下後，即可解除密閉室內的真空狀態並進行脫模，然後將成形品自熱壓系統取出。

本研究共使用三種模仁進行實驗，分別為單縫模仁(一字形模仁)、雙縫模仁(二字形模仁)、以及導線架模仁。模仁材質為鎳，而實驗用微成形材料為長度 $l \times$ 寬度 $W \times$ 厚度 $t = 66.5\text{mm} \times 37\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的壓克力塑膠。

單雙縫模仁的製作，是由一中央切割方孔之鎳塊嵌入另一小鎳塊組合而成，依嵌入小鎳塊的不同，分別可組合成模穴寬度為 $50\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ 及 $250\mu\text{m}$ 的三種單縫模仁以及兩溝寬皆為 $150\mu\text{m}$ 的雙縫模仁。

單縫模仁的實驗結果如圖一 ~ 圖四所示。圖一為壓印溫度對微結構可成形高度的影響，由圖中可看到，在同一溝寬之模仁的曲線趨勢，皆為愈高的壓印溫度會有愈大的可成形高度，這是由於溫度愈高時，高分子材料的黏度愈低，因此相同的變形負荷下可產生較大的變形速率之故。而在同一壓印溫度下，溝寬愈大的模仁會有愈大的可成形高度。

圖二為溝寬 $50\mu\text{m}$ 及 $150\mu\text{m}$ 模仁之壓印壓力對微結構可成形高度影響的比較。溝寬 $150\mu\text{m}$ 模仁所得之曲線趨勢，為愈大的壓印壓力其可成形高度愈高，然而當模仁溝寬減小至 $50\mu\text{m}$ 時，在低壓印壓力的領域會有壓印壓力愈高得到之可成形高度愈小的現象。我們假設這是在溝寬小於一定值才會產生的微細充模現象，而此現象的成因可能由於在低壓印壓力時，剪切摩擦力對材料流動的影響較壓印力為大所造成的。關於此點尚有待進一步的研究探討。

圖三為溝寬 $50\mu\text{m}$ 及 $150\mu\text{m}$ 模仁之壓印時間對微結構可成形高度影響的比較。圖中我們可以發現兩條曲線的斜率相近且幾乎為一直線，代表微結構的成形速率在實驗範圍中幾乎為一定值。而兩模仁在同一壓印時間下所得資料點的可成形高度差皆相差一截距值，此截距代表在進入壓印階段前，等待升溫過程中由預接觸力所造成的填充高度。

在圖四中，我們可以看到保壓力對微結構收縮率的影響。在此所計算之收縮率為模仁的模穴深度對成形之微結構高度的比較，因此實驗時必須達到完全充模的狀態。由圖中的曲線可以得到，愈高的保壓力製作出來的微結構高度收縮率愈小。

另外在單縫模仁的實驗中，我們所製作的微結構深寬比最高可達到 40，其壁厚為 $50\mu\text{m}$ ，然而在成形時會產生端部翹曲，以及結構基部亦容易發生收縮傾斜現象。該缺陷的生成應是由於冷卻速率過快造成收縮不均勻導致。

雙縫模仁的實驗是以溝寬 $150\mu\text{m}$ 之雙

縫模仁進行壓印，探討保壓力對兩薄壁微結構間距收縮率的影響，其結果如圖五。圖中我們可以看到二次回歸曲線的趨勢為愈大的保壓力其微結構間距收縮率愈大，但由五個資料點的分佈狀況來看，二次回歸曲線所表現的關係並不能準確反映地出實驗結果的特性。

若以材料的 P-V-T(壓力-比容-溫度)特性的觀點來看，愈大的保壓力其微結構間距收縮率應該愈小(假設材料為等方性收縮)，然此與實驗結果不符。此時，必須注意的是尚需考慮殘餘應力的影響。當保壓時，試片基板部分受到壓力就會有向左右兩側變形流動的傾向，因此試片表面與模仁的接觸面間就會產生剪切作用，使基板內形成一剪切應力場。而冷卻固化並脫模後，基板內原來的剪應力就成為殘餘應力，使基板朝中央部分縮小，且保壓力愈大，殘餘應力的影響就愈大。有關此部分的最終尺寸收縮率，有待將來進行更深入的探討。

除單、雙縫模仁外，實驗時亦借用工研院作的導線架模仁進行壓印，主要為觀察保壓力在製作實際產品時對缺陷生成的影響。實驗結果發現，保壓力除了會造成因收縮率不同而產生的最終尺寸差異外，在保壓力不足時試片在導線架結構表面與側壁之交角會有收縮缺陷，以顯微鏡觀察時會因焦距不同而在邊緣產生模糊區域。

在進行實驗時的成形週期主要由幾個階段的時間決定：升溫、降溫的時間，升壓、降壓的時間，以及壓印時間。由電腦記錄之數據作平均，得升溫速率約為 0.15 °C/s、降溫速率約 0.45 °C/s，升降壓印力速率約為 1500N/s，換算成壓印壓力約為 0.61MPa/s。以實驗中的實驗條件而言，最高壓印溫度 175°C，若由 80°C 開始進行實驗，則耗費在升溫降溫的時間約需要 844 秒；而最高壓印壓力為 14.22MPa，則升壓降壓僅需 47 秒。因此針對本實驗使用的熱壓系統，欲縮短成形週期以採用較低壓印

溫度並增加壓印壓力的方式較佳。

四、計畫成果自評

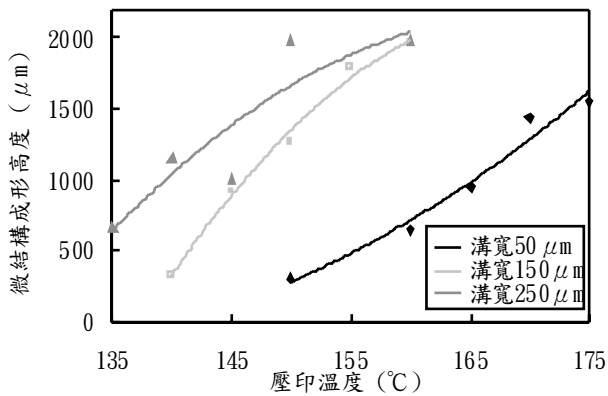
本計畫利用實際的熱壓實驗，針對厚膜光阻深刻所得微結構體的熱壓模造進行了基本的探討，得到的結果包括：

- (1)獲得各重要的熱壓參數對微熱壓模造特性影響之關係。
- (2)找出微熱壓過程中所發生的諸問題，如：高深寬比微結構之端部翹曲現象、收縮傾斜問題、壁面交角產生圓角以及尺寸精度控制等。

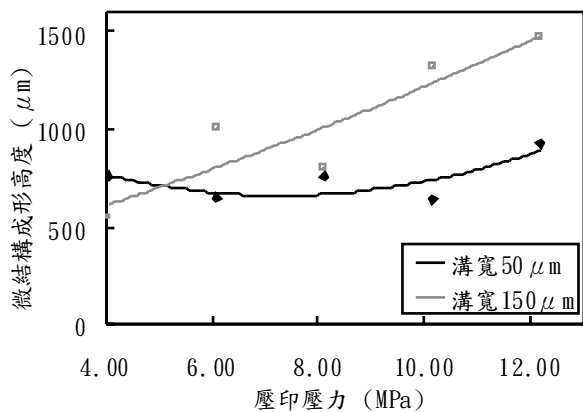
這些資料對於增進厚膜深刻微結構體的熱壓模造之瞭解有很大的助益，今後將根據前面所得的結果對 LIGA 微結構體在模造時的諸特性繼續進行更深入的探討。

五、參考文獻

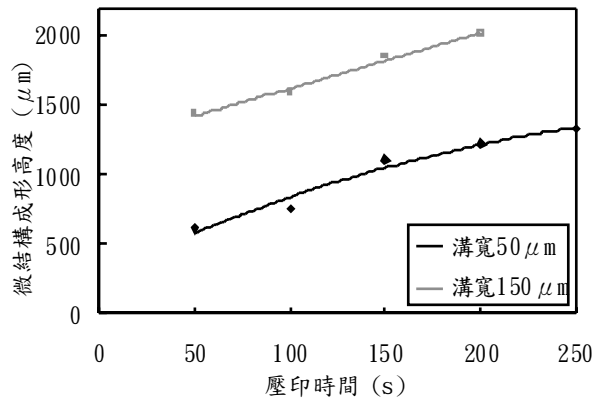
- [1] M. Marmening, W. Bacher, P. Bley, A. EL-Kholi, etc.; Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems, (1992), p.202.
- [2] E.W. Becker, W. Ehrfeld, P. Haggmann, A. Maner, D. M nchmeyer; Microelectronic Engineering, 4(1986), p.35.
- [3] W. Bacher, W. MwnZ, J. Mohr; IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.42, No.5(1995), p.431.
- [4] R. Wechsung; Sensor Rep., 1(1993), p.41.
- [5] A. Rogner, J. Eicher, D. M nchmeyer, R. P. Peters, J. Mohr; J. Micromech. Microeng, 2(1992), p.133~140.
- [6] R. Ruprecht, H. Kalb, B. Kowanz, w. Bacher; Microsystem Technologies, 2(1996), p.182.
- [7] N. Huber, Ch. Tsakmakis; Microsystem Technologies, 2(1995), p.17.
- [8] J. Fahrenberg, W. Bier, D. Maas, etc.; J. Micromech. Microeng, 5(1995), p.169.



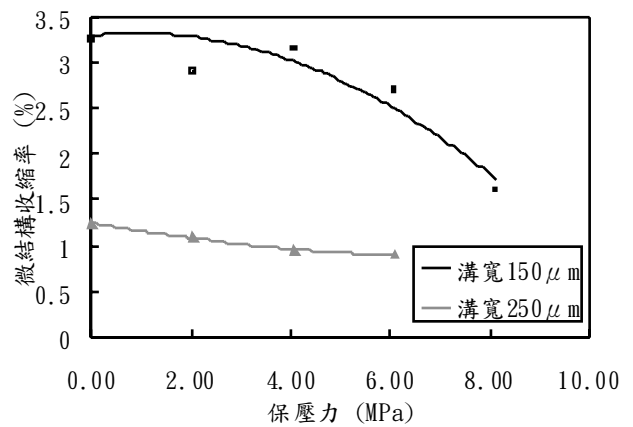
圖一 壓印溫度對微結構成形高度的影響 (壓印壓力 10.16MPa、壓印時間 50s、保壓力 4.06MPa、脫膜溫度 80°C)



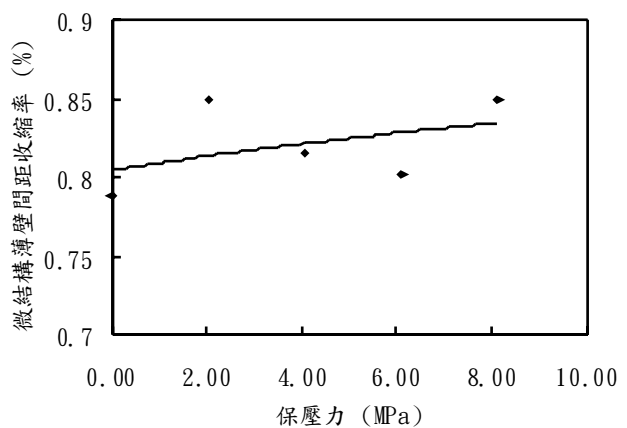
圖二 溝寬 50μm 及 150μm 模仁之壓印壓力對微結構可成形高度影響比較 (實驗條件：壓印溫度 160°C、壓印時間 50s、保壓力 4.06MPa、脫膜溫度 80°C)



圖三 溝寬 50μm 及 150μm 模仁之壓印時間對微結構可成形高度影響比較 (實驗條件：壓印壓力 10.16MPa、壓印溫度 160°C、保壓力 4.06MPa、脫膜溫度 80°C)



圖四 保壓力對微結構高度收縮率的關係 (壓印壓力 10.16MPa、壓印溫度 170°C、壓印時間 200s、脫膜溫度 80°C)



圖五 溝寬 150μm 雙縫模仁之微結構間距收縮率對保壓力關係圖 (實驗條件：壓印壓力 10.16MPa、壓印溫度 170°C、壓印時間 200s、脫膜溫度 80°C)