

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫執行報告

## 計畫名稱：鋰電池方型外殼沖壓成形製程設計之研究(1/2)

### Process Design for the Deep Drawing of Rectangular Cups Used for Lithium Battery Cases ( 1/2 )

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-020

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：陳復國 台灣大學機械系教授

#### 一、中文摘要

在多道次板金沖壓製程中，改善板金成形極限，可以減少成形製程的工程道次、省略製程退火，降低製品的成本。板金成形通常採用冷間成形的形式，所以複雜變形量大的成形製程常須要很多的工程才能完成。本計畫第一年由不銹鋼材 SUS304 來探討各製程參數對其多道次常溫引伸成形極限之影響，就這些重要製程參數進行系統化的分析，進而建立多道次不銹鋼方筒常溫引伸模具設計之準則。由於必須探討的製程參數甚多，如採用實驗方法分析則須製作大量的模具，不僅昂貴而且耗時，因此本計畫以有限元素法電腦模擬分析為基礎，並以成形極限曲線，預估不銹鋼方筒件引伸成形極限，以節省實驗所須之時間及成本。

**關鍵詞：**鋰電池方型外殼，不銹鋼，多道次引伸，有限元素法

#### Abstract

The processes of multi-step stamping can be reduced by improving the formability of sheet metal. And the production cost will also be lowered.

In the first year of the present study, the process design for multi-step deep drawing of SUS304 stainless steel rectangular cup is examined. The most critical process parameters in the multi-step deep drawing process are analyzed systematically. And the design guides for multi-step deep drawing processes are also constructed. It will take a lot of time and costly if the research was performed by experiments, because there are many process parameters should be

analyzed in the study. 3-D finite element analysis is performed to determine the most critical process parameters in the multi-step deep drawing processes, and the results will be verified by the actual cup drawing processes in the second-year study.

**Keywords:** lithium battery case, stainless steel, multi-step deep drawing, finite element method.

#### 二、緣由與目的

近年來高科技產業蓬勃發展，尤其電子與通訊業更是經濟發展之重要指標。目前各種高科技產品之發展方向均有一共同特色，即是朝向短，小，輕，薄。而在電子與通訊產品中扮演重要角色之鋰電池亦不例外。鋰電池之應用極廣，例如迷你型隨身聽，行動電話，超薄筆記型電腦等，均是以鋰電池提供電力，因此每年之量產需求甚鉅。在鋰電池之零組件中，其外殼多係方型之金屬沖壓件(或稱方筒)，而所使用之材料則是以不銹鋼 SUS304 為主。由於產品設計之要求，其方筒外殼之筒高與其截面長寬之比值通常均不小。因此其製程屬於方筒深引伸之沖壓成形，且必須經由多道次引伸方能成形，再加上不銹鋼之成形性遠較一般碳鋼為差，故其沖壓製程設計甚為困難。目前國內在這方面之技術欠缺，所需之鋰電池外殼大多仰賴進口。由於鋰電池在市場之重要性以及該沖壓製程設計所具有之學術研究價值，因此本計畫選定該製程設計為研究主體。

如何提高板金成形的成形極限，是板金成形技術開發的重要課題之一。改善板金成形極限，可以減少成形製程的工程道次(減少使用模具數目)、省略製程退火程序(節省能源)，

降低製品的成本，可算是一種節約能源的綠色生產策略。

在方筒引伸製程中影響成形極限之因素有(1)素材本身之材料性質，(2)素材胚料形狀，(3)素材厚度，(4)方筒幾何形狀(亦即截面長，寬及筒高)，(5)沖頭圓角半徑，(6)母模圓角半徑，(7)方筒角隅半徑，(8)壓料板壓力，與(9)摩擦力等(10)成形溫度，而除了第(1)項為材料參數外，其餘均可定義為製程參數。本計畫選取常用之不銹鋼材 SUS304，來探討各製程參數對其冷間及溫間引伸成形極限之影響，進而建立不銹鋼方筒引伸件模具設計之準則。欲建立一設計準則，必須從事系統化之分析，篩選出影響較大的因素進行探討。由於必須探討的製程參數甚多，如採用實驗方法分析則須製作大量的模具，不僅昂貴而且耗時，因此本計畫將以有限元素法電腦模擬分析為基礎，就這些重要製程參數進行系統化的分析，尋求具有代表性之指標來探討不銹鋼方筒件引伸之成形極限。而無論是探討不銹鋼之成形性或是提供有限元素模擬所需之輸入值，均需從事不銹鋼之材料測試。本計畫將針對 SUS304 不銹鋼進行常溫及高溫拉伸試驗，以獲得常溫及高溫應力-應變曲線， $r$  值及  $n$  值。除此之外，本計畫亦以實驗方法建立 SUS304 不銹鋼在常溫與溫間引伸溫度(常溫-120 )之成形極限曲線(FLD)，此成形極限曲線不僅可代表不銹鋼之成形性，亦可做為有限元素模擬判斷破裂之準則。雖然有限元素法模擬之正確性已漸漸受到普遍的認同，但任何模擬方法仍須先經過實驗驗證方可做為設計之工具，因此本計畫將根據模擬結果，找尋出關鍵之製程參數，依這些參數製作試驗用模具，並進行實際之方筒件冷間與溫間引伸實驗，以驗證電腦模擬之正確性。

本年度為本計劃執行之第一年度，已經按計劃之預定進度完成常溫方筒引伸製程參數分析，及溫間引伸成形所需之高溫機械性質及成形極限曲線試驗。下一年度將繼續完成方筒引伸塑性變形理論模式、溫間方筒引伸製程參數分析與多道次方筒引伸成形極限之探討。

### 三、研究方法與成果

#### 1. 研究方法

本計畫將以兩年的時間，利用理論分析，3D 有限元素法模擬與實驗分析來探討鋰電池

外殼沖壓成形之製程設計。第一年之研究以方筒引伸理論模式之建立，影響方筒引伸成形極限之製程參數分析，以及 SUS304 不銹鋼之常溫機械性質測試為主。

#### (1) 塑性變形理論模式之建立：

以上界限法分析方筒引伸製程。由上界限定理假設一滿足速度邊界條件與體積不變條件的動可容速度場，把消耗總功率最小化，可以算出未知參數，得到接近實際材料流動的速度場，獲得引伸製程中材料的流動，及成形過程中沖頭所須力量。

#### (2) 常溫與高溫 SUS304 材料機械性質之建立：

以拉伸試驗，取材料與軋延方向成 0 度、45 度及 90 度分別進行實驗，測試 SUS304 不銹鋼由常溫至 200 的應力-應變曲線與異向性指數，提供有限元素法模擬分析之用。

#### (3) 3-D 有限元素法模擬分析常溫方筒引伸製程參數：

採用 3-D 有限元素法模擬以確保分析之正確性。同時為了考慮模擬速度，將使用 Dynamic/Explicit 有限元素法進行模擬。

配合實驗所提供之材料機械性質以及成形極限曲線，有限元素法模擬可以預測方筒成形可能產生之破裂與綳褶之問題，是沖壓成形製程設計之重要輔助工具。依據模擬結果分析常溫方筒引伸製程參數對其引伸成形極限之影響。

#### (4) 建立方筒引伸重要製程參數之指標：

影響方筒引伸成形極限之因素甚多，且彼此間又有交互影響，故欲建立一設計準則，必須從事系統化之分析，以篩選出影響較大之因素進行探討。因此，本計畫採用實驗設計方法尋找具有代表性之成形指標。使用 Design-ease 2.0.11 軟體進行分析，可將實驗所得的數據經由統計與計算整理得到一代表成形極限的線性方程式

#### (5) 多道次方筒引伸成形之製程分析：

由於鋰電池外殼之引伸比甚大，無法以一次引伸成形，因此必須探討多道次引伸成形之成形極限，以決定引伸道次。以有限元素分析預估方筒件再引伸成形極限，根據模擬結果，探討各關鍵之製程參數，對方筒件再引伸成形極限之影響。

#### 2. 研究成果

#### (1) 塑性變形理論模式之建立，與方筒引伸：

由上界限定理假設一滿足速度邊界條件與

體積不變條件的動可容速度場如下式

$$\begin{aligned}v_r &= -f(r)(1 - S \sin^2 2\alpha) \\v_z &= -cf(r) S \sin 2\alpha \cos 2\alpha \\f(r) &= \frac{r}{b} \left(1 - r \ln \frac{b}{r}\right)^{-3}\end{aligned}$$

代入

$$\int_{S_V} T_i v_i dS_V \leq \int_V \tau_{ij}^* \delta_{ij} dV + \int_{S_D} k |\Delta v| dS_D - \int_{S_F} T_i u_i^* dS_F$$

把消耗總功率最小化，可以算出未知參數  $c$  與  $f(r)$ ，得到接近實際材料流動的速度場，因為必須以數值積分方式計算，因此以 Visual BASIC 撰寫電腦程式計算。程式將把得到的速度場乘以小的時間增量，得到下一個階段材料的形狀，依序計算後將可模擬引伸製程材料的流動，及成形過程中沖頭所須力量。目前已初步完成程式撰寫，第二年度將繼續動可容速度場的修改，以得到更佳的分析結果。

(2) 建立常溫與高溫 SUS304 材料機械性質與成形極限曲線之資料庫：

建立 SUS304 不銹鋼由常溫至 200 的應力-應變曲線與異向性指數，如圖一及表一所示。除可提供本計劃有限元素法模擬分析之用，本研究之資料亦可供其他相關研究之參考。

(3) 常溫方筒引伸製程參數分析：

以板金成形有限元素分軟體 PAM-STAMP 模擬分析沖頭圓角半徑、母模圓角半徑、方筒角隅半徑(如圖二所示)等因素對成形極限之影響並以實驗驗證模擬結果之準確性。

(4) 建立方筒引伸成形性指標

由前述之研究與模擬結果及統計分析法，本研究得到方筒引伸之成形性指標如下式，成形性指標(K)介於 1~2 之間。

$$K = \sqrt[4]{\frac{t}{R_p} \frac{H^2}{R_c B}}$$

(5) 多道次方筒引伸成形之製程分析：

以 PAM-STAMP 模擬分析沖頭圓角、母模斜角與壓料板壓力對直接再引伸製程之影響，並分析沖頭圓角、母模圓角與壓料板形式對間接再引伸製程之影響，如圖三所示。

#### 四、結論

板金成形模具的設計的好壞對生產成本有決定性的影響，一套設計良好的模具，可以在最少的成本及最少的工程數下生產出最好的成品，而且不良率很低，而一套設計不良的模具，反而會造成許多的不良品，導致生產成

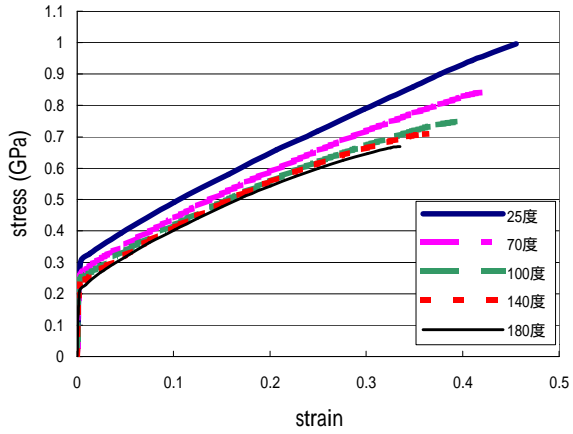
本增加。因此模具設計對工業界的重要性不言而喻。一些較複雜的板金成形製程及模具設計，工業界往往只能依靠現場師傅觀察板件變形的結果，經由經驗判斷及試誤法慢慢的找出較佳的製程及模具設計。此種方法缺乏一套科學化與系統化的評估方法，導致許多製造模具業者在成本與時間上的浪費，這種來自經驗累積的結果，通常無法有效的傳承給下一代的師傅，而人才的流動性，很容易造成技術的斷層，導致產品品質無法提昇。而以本計劃之研究成果，可以準確的評估各參數對方筒多道次引伸之影響，可以供相關模具設計技術人員之參考，縮短模具設計的時程，節省開發模具時期人力物力的浪費。

下一年度本計劃將繼續按照計劃時程，完成理論模式之建立、方筒溫間引伸成形之研究，並依據所有研究成果，完成多道次方筒引伸製程模具設計準則。

#### 五、參考文獻

1. M.H. Parsa, K. Yamaguchi, N. Takakura, S. Imatani, "Consideration of the Re-Drawing of Sheet Metals Based on Finite-Element Simulation", J. Mater. Proc. Technol. 47(1994) pp.87-101
2. Jenq-Song Chang and Sheh-Shon Chou, "Effect of Temperature Gradient in a Blank on the Microstructure of Type 304Stainless Steel in Square-Shaped Deep Drawing", Metallurgical Transaction Vol.37, No4 (1996) pp586-594
3. Mohammad Habibi Parsa, Katsuhiko Yamaguchi, "Consideration of Direct and Reverse Redrawing of Copper Sheet by Rigid-Plastic Finite Element", J. Mater. Proc. Technol. 63(1997) pp.661-665
4. George E. Dieter, "Workability Testing Techniques", ASM, pp. 149-157

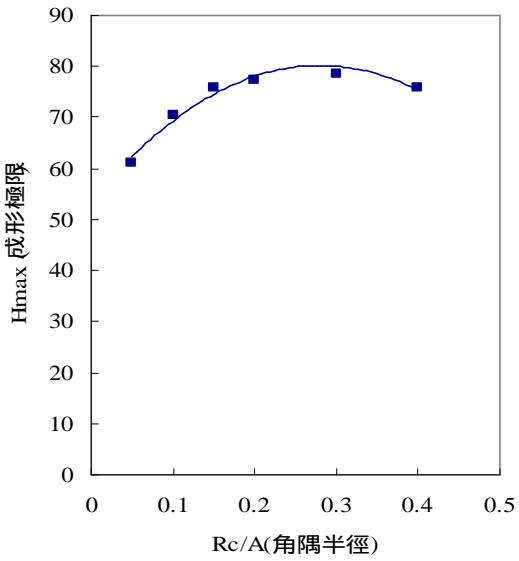
## 六、圖表



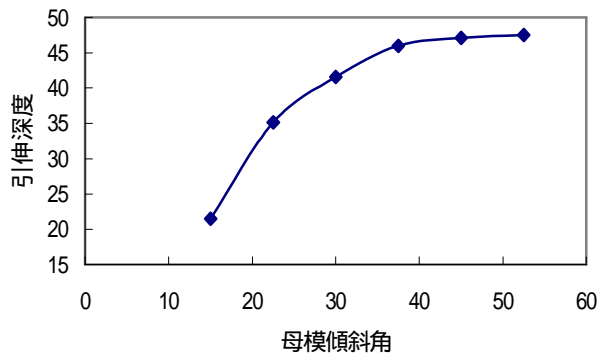
圖一 各溫度之加權平均真應力-真應變曲線圖

表一 不銹鋼由常溫至 200 的異向性指數

方向 \ 溫度	0 °	45 °	90 °
常溫(25 °)	0.968	1.14	0.795
70	0.863	1.177	0.744
100	0.911	1.236	0.752
140	0.906	1.243	0.716
180	0.818	1.215	0.734



圖二 方筒角隅半徑對成形極限之影



圖三 母模斜角與引伸深度的關係