

板金模具最佳化設計(III)

The Optimization of Design for Stamping Dies(III)

計畫編號：NSC-86-2212-E002-028

執行期間：85年8月1日至86年7月31日

主持人：陳復國 台灣大學機械系副教授

一、中文摘要：(關鍵詞: 蝟曲回彈，板金沖壓，虛功原理，有限元素法。)

本計劃為整合型計劃“模具設計與製作整合研究”之子計劃。全程計劃分三年探討板金模具最佳化設計，而本(86)年度為計劃執行之第三年。

本年度之研究主題為板金沖壓蝟曲回彈(side-wall curve)分析。蝟曲回彈係一般所謂回彈的一種，其物理現象為：當沖壓成形後，成品之側邊不僅向內或向外彈回，同時，原為直線之側邊因受不均勻之殘留應力影響而變成弧形之造型。通常此類現象均發生於引伸/彎曲之成形模式。由於回彈現象係沖壓成形中較困難解決的問題，雖然研究一般直線回彈之文獻甚多，但對於蝟曲回彈的研究則不常見，而且並無理論模式之建立。

本研究利用虛功原理，針對蝟曲回彈提出了理論分析模式。在此模式中將通過母模肩部之板材分為三個變形曲線，亦即彎曲，滑行與反彎曲。在各區域中均已推導出適用之理論模式，對於摩擦之影響亦考慮於各模式中。根據此模式，本研究成功的推導之簡易之解析解。同時，為考慮彎曲變形中容許中性軸位置的改變與材料加工硬化的特性，本研究特別發展出一套數值分析法，解決此項複雜但較

實用之問題。本研究成果亦成功的延伸至引伸扣環之分析，同時推導出解析解與數值分析解。無論是蝟曲回彈理論分析模式或引伸扣環模式均得到有限元素法分析之驗證，其成果對於板金沖壓模具之設計有莫大的助益。

英文摘要：

Keywords : stamping, side-wall curl, virtual work principle, finite element method.

A theoretical model based on the virtual work principle was proposed to calculate the side-wall curl resulting from a stamping process. In the theoretical model the deformation of the sheet metal drawn over the groove shoulder or bead is assumed to be subjected to bending, sliding and unbending processes, and only the sliding process is responsible for the frictional force. The governing equations derived from the theoretical model were solved by a numerical procedure. In order to validate the proposed model, the

finite element simulations were also performed to calculate the side-wall curl for various steels. The good agreement between the simulated results, experimental data and calculated values justifies the proposed theoretical model.

二、計畫緣由與目的：

板金沖壓模具是國內製造業之主要產業之一，其相關產品從精密之電子零件組件到汽車外殼之大板金件，種類可為相當繁多。目前業者對於模具設計仍依賴經驗之判斷，缺乏科學化，系統化之分析，以致在模具試作期間往往耗時甚久，不僅增加模具之製作成本更可能延誤交期。尤其是國內汽車業面臨強烈競爭壓力，必須不斷推出新車型，造成板金模具之納期縮短，因此為協助提昇國內業者之模具設計能力，本計劃分三年進行板金沖壓模具最佳化設計之研究。

模具設計之主要關鍵在於對板金成形分析的能力，對於學術研究而言，分析的能力即建立在理論基礎上。板金成形之理論分析雖自 1950 年初期即有學者開始研究，然迄今其理論分析仍無法完全應用於模具設計上面。對板金界而言，常遇到的困難有皺摺、破裂，回彈與側壁蜷曲等。其中側壁蜷曲(side-wall curl)除了影響外觀外，對於板金件的組裝與焊接會造成很大的困擾。尤其是車身中關係安全最重要的部位—大樑，常常因為其幾何形狀上的關係，而特別易於發生此類的缺陷。

而一般工廠師父及日本技師在試模時，對於回彈及蜷曲等現象的改善，多靠經驗修整模具的角度，或是憑試誤的方式來調整製程參數，如模具圓角，壓料板壓力等，來改善成品的形狀，以得到較滿意的結果。但是這種經驗式的改善措失，一方面往往無法承傳，另一方面每個人所看到的東西都不同，他們所持的觀點也各異。因此急需要較具科學性，全盤性的探討，藉以了解其發生的機構，影響其發生的種種因素，進而謀求改善之道，或是在設計之初及早避勉一些跟本無法成形的形狀。

本研究之主要目的，是針對側壁蜷曲之現象從事分析，並與角度回彈作比較，細究其成因及應力應變過程之差異。而在製程參數上也作了全面性的探索，以量化的方法來討論下參數對蜷曲的影響，以利工廠試模修改，增加效率。

此外，對於理論上也作了一番探討，分析彎曲過程中的應力應變，並從而估計外力釋放前那力矩，計算出外力釋放後的蜷曲形狀。導出之公式，一方面可使工程人員預估蜷曲大小，而能早作預防(如採用 overbead 來補償)，另一方面可增加試模人員之效率，使其能從計算中，快速地找到所要的製程參數(如模具圓角 R_d)，而減少試模的時間。

三、研究方法

(一) 研究方法

彎曲成形(bending)之方法可大致分為引伸-彎曲成形(drawbeading)

及純彎曲成形(pure bending)兩種。顧名思義引伸-彎曲成形是一種引伸過程,而純彎曲則只是對所需彎邊的地方施以彎曲變形,過程中沒有引伸的情形,兩種不同的成形方式具有其不同的塑性加工型態,材料也有其不同的應力應變過程,引伸-彎曲成形是一種引伸(drawing)的過程,如圖一所示,壓料板壓住板材後,沖頭在往下移動。因而板件會在沖頭圓角處端彎曲變形外,也會在母模圓角 R_d 處彎曲變形。而且因為沖頭不斷繼續向下的緣故,母模圓角處受彎曲的材料會跟著移動,而在被拉成直線狀(反彎曲)。因而所經過母模圓角處的材料,都會受過彎曲及反彎曲的過程,受加工的部位較純彎曲成形來的多,過程也較為複雜。在沖壓過程中,沖頭會把材料帶入模穴之中,而隨著沖頭下移距離的增加至某一程度後,其夾角增加的程度即非常小,整個彎曲反彎曲的過程,可以視為如圖 2 所示的等效模型。其中的過程可分為三個區域,壓料板壓制區,母模圓角區與引伸避區,如圖 3 所示。

本研究係利用能量法來求得彎曲與反彎曲過程中,任一截面上的合力與合力矩之關係,藉由這個關係以求得這一區域中物體受力的歷程 如圖 4 所示,母模圓角處之板材上的某一小段,長度為 dL , 假設這一小段的物體有一虛位移(virtual displacement)。

根據能量守恆 $W=Q+E$ 可得知

$$dF + kdM + Mdk = \int_0^{v+dv} TdVdt + -ndL = \int_0^v TdVdt + -ndL$$

其中的變數有 $F(dF)$ 、 $M(dM)$ 、 k 、 n 及 dL , 共有五個變數,而再加上下兩個

關係式,也只有三個關係式,因此必需作一些合理的推演與假設。其中如圖 5 所示,假設整個彎曲反彎曲的過程,可大致區分成參個區域:彎曲、滑行、反彎曲。其中彎曲區域,曲率由零變至 $\frac{1}{R_d + t/2}$, 在反彎曲區域,曲率由 $\frac{1}{R_d + t/2}$ 變至零,而在滑行的區域裡,曲率維持一定,材料僅僅滑過母模圓角。

通常彎曲與反彎曲的距離都很短,因此在這兩個區域中,磨擦力的項就可以忽略(因為距離短,對 dL 積分的量值很小),如此則這兩個區域剛好可以求解。而滑行階段則因為材料不變形,僅僅受磨擦力作用,因此由力平衡可以求得下列的式子,也可以求解。

$$F_2 = F_1 e^{-\mu}$$

由受力過程與應力應變的關係式,可以解得退模前的合力矩,接著退模後因為外力的釋放,合力矩會變成零,因而形狀會再度改變。

合力矩與形狀的變化量關係如下所示;

$$\dots = \frac{EI}{M}$$

由此即可求得蜷曲之量值。

(二)、研究成果

本研究於製程參數對蜷曲回彈影響的分析,獲得下列成果:

1. 沖頭圓角影響蜷曲的程度很小,幾乎不會使蜷曲的大小變動,這和引伸的過程有關,沖頭所接觸的材料,在引伸的過程中幾乎不會流動,故沖頭圓

角影響的部份僅僅為沖頭圓角處的材料，因而僅影響側壁回彈的角度。

2. 母模圓角因為直接影響彎曲與反彎曲量值的大小，因此對蜷曲的影響較大，母模的圓角愈小，彎曲變形的程度也愈大。
3. 厚度增加，轉動慣量以三次方增加，而又因為厚度增加力矩也會增加，故蜷曲量的大小由這兩個效應所決定。因而力矩增加的速度不若轉動慣量的增加速度，所以雖然分母增加了，最後的結果卻是蜷曲較不嚴重。
4. 磨擦係數愈高， F_0 越大，最後截面合力因此也越大。而由於截面合力增加，合力矩會較小，故蜷曲的量變小。

四、結論與討論

由以上的結果可知，增加板厚，增大母模圓角，加大壓料板的壓力，減小潤滑的狀態，可以使蜷曲的量值減小，得到較佳之情形。理論與模擬相比較，在母模圓角，板厚方面有不錯的準確度，至於在壓料板壓力與摩

擦係數上，由於系統的複雜度，在理論中作了一些假設，因此有限元素模擬的結果與理論計算的值難免有差異存在，但在平常的使用範圍裏誤差不會很大，除了少數一些極端的例子外，大部份誤差都在 5% 之內。其中簡化的模型中簡化掉沖頭的部份，而從模擬的結果可以看出這是合理的，沖頭圓角對於蜷曲影響不大，改變沖頭圓角的大小，其蜷曲半徑只變動了一點點。

母模圓角處的摩擦方面作了一個大膽的假設，模擬的結果跟理論值相比，在高摩擦係數時誤差偏大。但事實上一般的沖壓條件，摩擦係數都在 0.1~0.2 之間，而在這一範圍中的誤差不是很大，在始用上還是有其價值。

壓料板壓力較大時誤差也較大，這是因為壓料板壓力大，相對的截面的受力 F 也增大，因而垂直板面的力也變大，原來假設厚度方向為平面應力的假設，已經不再適用，故誤差較大。

五、參考文獻

- [1] R.G. Davies, "Side-Wall Curl in High Strength Steels", Journal of Applied Metalworking, Vol. 3, No. 2, January 1984, pp. 120-126.
- [2] N.E. Thompson and C.H. Ellen, "A Simple Theory for Side-Wall Curl", Journal of Applied Metalworking, Vol. 4, No. 1, July 1985, pp. 39-42.
- [3] Y.M. Takage, "Control of Side Wall Curl in Deep-Bending of High Strength Steel Sheets", Advanced Technology of Plasticity, 1984, Vol. 1, pp. 735-740.
- [4] R.A. Ayres, "SHAPESET: A Process to Reduce Sidewall Curl

Springback in High-Strength Steel Rails”, Journal of Applied Metalworking, Vol. 3. No. 2, January 1984.

[5] L. Taylor, J. Cao, A. P. Karafillis and M. C. Boyce, “Numerical simulations of sheet-metal forming”, Journal of Material Processing Technology 50 (1995), pp168-179.

[6] F. Pourboghrat and E. Chu, “Prediction of spring-back and Side-wall curl in 2-D draw bending”, Journal of materials Processing Technology 50 (1995), pp361-374.

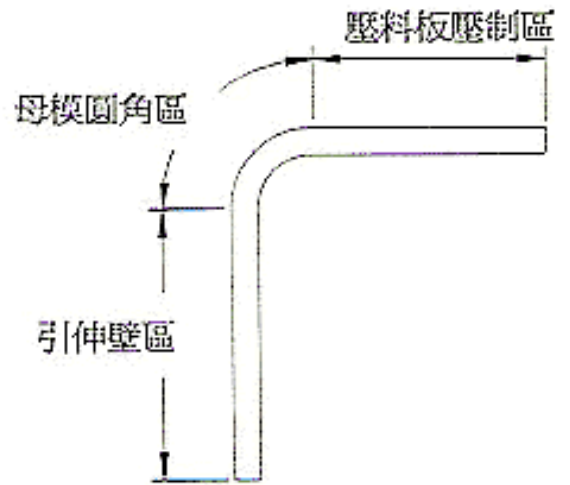


圖 3 受力階段示意圖

六、圖表

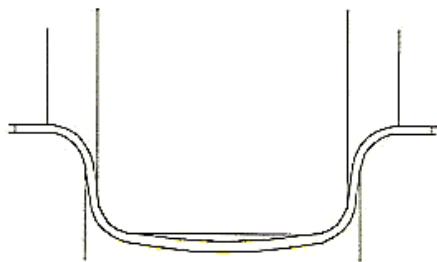


圖 1 引伸彎邊成形

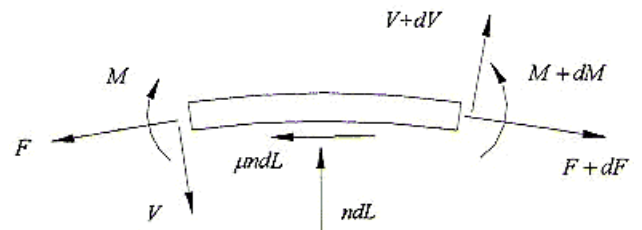


圖 4 受力示意圖

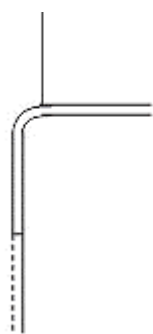


圖 2 簡化的模型

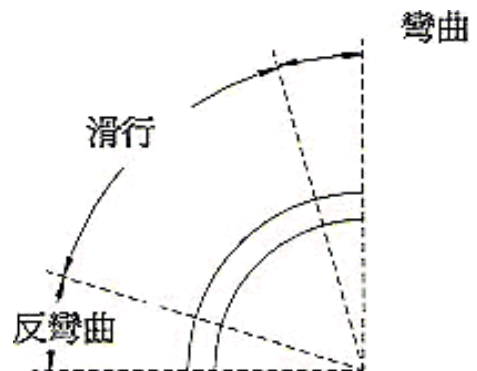


圖 5 變形假設示意圖