

汽車葉子板沖壓成形的破裂預測

簡孟樹

黎明技術學院機械工程學系

Email: gian@mail.lit.edu.tw

摘要

汽車製造業的整車生產流程中，金屬板材沖壓零件在汽車零件中佔比超過四成以上，結構零件中更是佔有八成以上，因此沖壓工藝在汽車生產工業的技術中更顯其舉足輕重的地位，加上車身輕量化趨勢要求，更多高張力鋼板的使用變得平凡且廣泛，但由於高張力鋼板相較一般低強度鋼板其成形性較低，故在一些深抽引伸板件上，破裂情況更容易發生，因此汽車沖壓工廠的高張力鋼板沖壓模具設計上，不能再以往低強度鋼板模具設計法則來套用，否則會發生很多失敗問題，而近年來有限元素分析 (FEM) 技術已經相當成熟，因此基於有限元素法的 CAE 軟體引進，並於 CAE 中高張力鋼板的材料模型參數正確設定來有效提升汽車板金沖壓模具的設計分析 CAE 能力，使 CAE 工程人員能預估可能的皺摺或破裂區域，並與實際模具製造及最後沖壓成型比對，再經由模具的改善而降低不必要的人力、物力、時間及金錢的浪費，以提升公司整體模具開發效率及提升產品良率，進而建立自己公司的 CAE 經驗值，最後使公司能達到虛擬模具工廠的境界，使 CAE 工程人員能於模具生產前，就可預估虛擬模具可能的皺摺或破裂區域，而改善於未真正開模之先。本研究計畫即是針對高張力鋼板葉子板模具的設計分析並與實際開模試模成品比對得知 CAE 結果是可信賴的，且變薄率凡大於 0.25 以上區域均極易發生破裂。

關鍵字： 有限元素分析、CAE

1. 前言

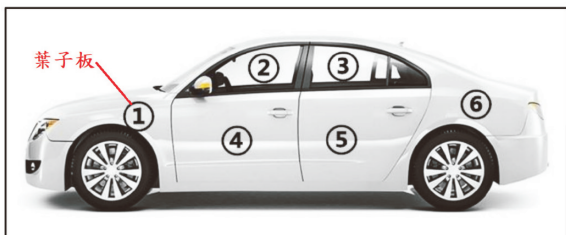
沖壓是一種冷沖壓加工方式，係藉助於沖壓設備

(衝床) 將動力藉由沖壓模具沖擊薄板金屬材料，將其裁切、折彎或塑造成模具所規範的成品形狀與尺寸中。沖壓加工大致可區分成剪切、彎曲、成型及引伸等幾種不同的加工型式，製成各種工業用及家庭用板金零件與製品。金屬沖床加工與其他工法相較，無論在技術上或是在經濟效益上，具有下列優勢：

- 金屬沖壓生產效率高，適用於大量生產的工件。
- 金屬沖壓加工成本、加工費用較低。
- 金屬沖壓件產品精度高，如設計良好大多數產品無須經過二次加工。
- 金屬沖壓加工製程時間較短，可使交貨時間更快速且穩定。
- 金屬沖壓件剛性與尺寸好且穩定，因此能提高產品穩定性與良率。

其運用範圍有精密機械、飛機、汽車、機車、輪船、軍火、鐘錶、電機、電子、家電和家俱...等諸多產品零件。近來有許多機械加工品、鑄件、壓鑄品及鍛造品已逐漸被沖壓品取代。本研究計畫合作廠商為國內一家專門製造汽車板金沖壓模具的公司，其由汽車板金沖壓模具的開發、翻砂保麗龍模設計製造、汽車板金沖壓模具的設計、加工製造及少量汽車板金件生產，一條鞭式對汽車板金模具整體服務，於業界具相當知名度，甚至為美國福特廠所認可，近年來由於高張力鋼板的使用變得平凡且廣泛，由於高張力鋼板相較一般低強度鋼板，其成形性較低，故模具設計能力必須提高，因此引進 ESI 集團所提供的 PAM-STAMP CAE 軟體，而該軟體提供了獨一無二的沖壓模擬整合環境。將模具設計可行性、快速模面生成與修改，沖壓過程模擬與最佳化整合成一體。對以往由於無適當工具因素以及相似的模具開發均沿用過往模式來開模，採用深

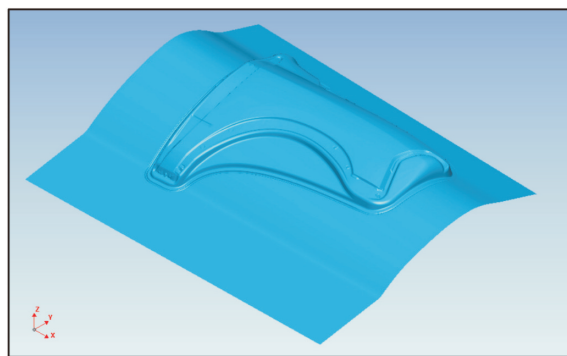
抽成形而使生產過程不良率的提高，今有 CAE 輔助可於電腦模擬中看出不同沖壓角度所造成深淺抽的優缺點及其趨勢，而讓模具設計工程人員敢於採用較以往不同的沖壓角度來設計所要的模具，並讓 CAE 工程人員能於模具生產前就可預估可能的皺摺或破裂區域並做改善。本研究計畫即是針對高張力鋼板葉子板（如圖一所示）模具的設計分析，輔以 PAM-STAMP CAE 軟體導入於沖壓模具設計之初，由於沖壓過程中的各種問題，像開裂、起皺以及滑移線等，一直是沖壓模具必須一一去克服難題，以往多借助經驗豐富的設計工程師去解決，決定分模面的建立及拉延筋（drawbead）位置寬深等尺寸，甚至模具製造完成後的試模往往有些問題會再次顯現未能百分之百解決，此時就必須仰賴模具現場試模師傅以手工解決，有時工程過大還必須回 CNC 機台再次加工或電、氣焊補料再由 CNC 機台加工，因此浪費很多人力、物力、時間與金錢，如此以傳統經驗知能進行反覆嘗試作業模式希望成為歷史，取而代之的是如 PAM-STAMP 這樣的 CAE 模擬軟體，而 PAM-STAMP 的核心技術特點，所有常用的實際生產加工像：拉延筋、墊塊、潤滑條件、氣墊彈簧以及各種襯墊力，都囊括在軟體中，如同試模工程師在現實中調試和最佳化加工一樣。改善的等效拉延筋功能不僅可以模擬等截面的拉延筋，而且可以輕鬆模擬變截面的拉延筋，甚至考慮到了它對壓料板的上舉力以及板料流過拉延筋時的厚度變化及應變的增加，而能夠更準確地判斷實際所需的壓料力，得到更為精確的模擬結果，使 PAM-STAMP 能夠對鈹金沖壓工藝作非常精確的模擬分析，完成精確的虛擬測試空間，以節省傳統方法的人力、物力、時間與金錢浪費，最後會建立一驗證程序及實際量測系統方法來確認分析結果變薄率數值上的正確性及提高其信賴度，以建立破裂的經驗值。



圖一 汽車葉子板

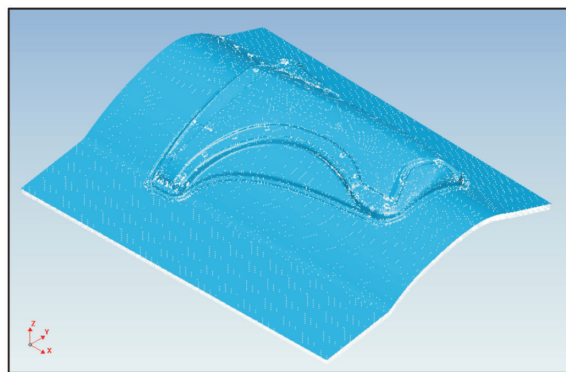
2. 研究內容

本論文以國內一家專門製造汽車板金沖壓模具的公司所接單的葉子板沖壓模具設計需求，作為 CAE 軟體分析實例，以成形葉子板板金的變薄率作為判斷基準來預測破裂處的發生位置，最後與實際試模完成實際沖壓出來的葉子板汽車板金成品比對，來回饋至 CAE 工程人員，以建立將來虛擬模具判定破裂發生的經驗值。其分析流程大致如下：首先建立葉子板幾何曲面之後，再由 CAE 工程人員建構出整組模具的分模面（Die surface）及一些結構幾何（如圖二所示）。



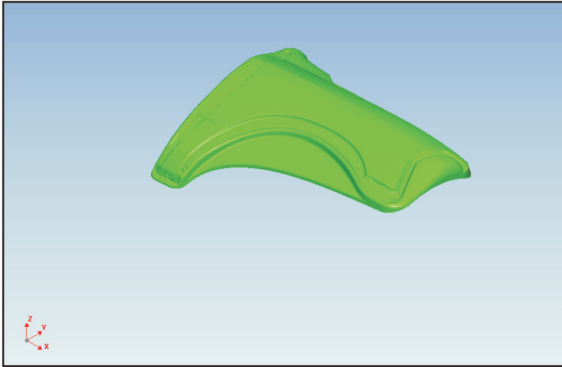
圖二 葉子板沖壓模具分模面

接著對分模面做適度有限元素網格分割，尤其對幾何變化較大處其分割要較細緻，記得切割分離前其分模面的有限元素（FEM Mesh）要調整為法線一致朝下（如圖三所示，圖中白色細線即是法線方向），將來分析計算重力影響才不至出問題，確認法線一致朝下後即可由軟體功能由原始分模面切割分離出沖壓模具的 Punch surface 與 Blank Holder surface（如圖四、五、六所示）。

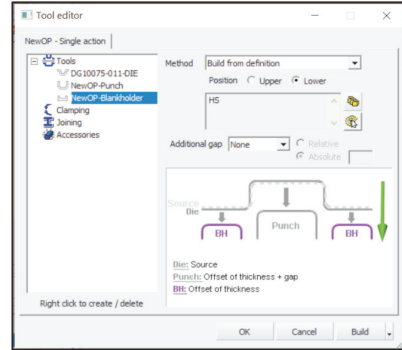


圖三 元素網格法線朝向一致朝下

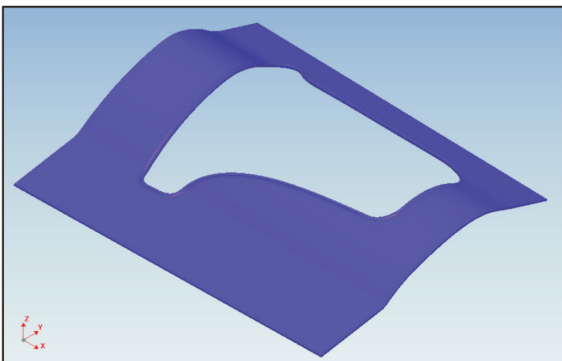




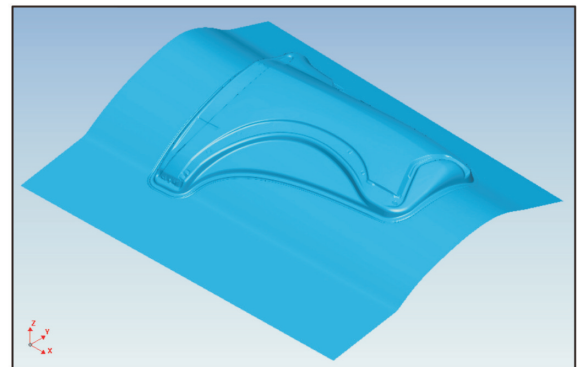
圖四 Punch surface



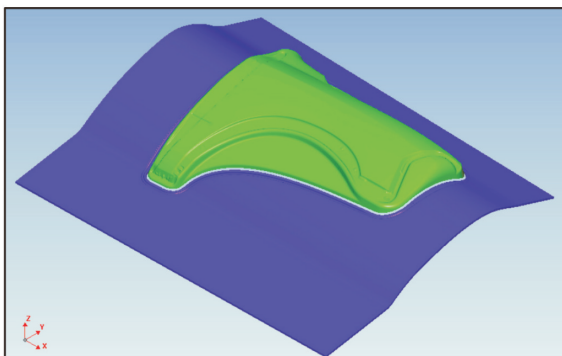
圖七 Tool Editor



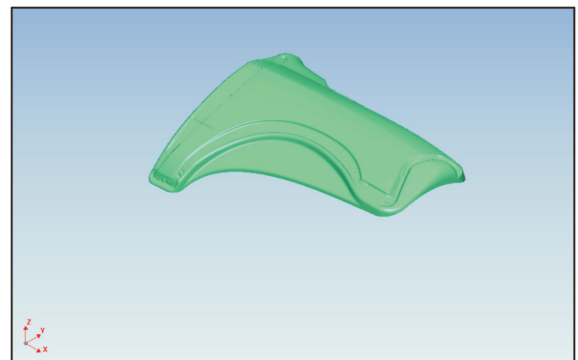
圖五 Blank Holder surface



圖八 葉子板沖壓模具模具的 Die

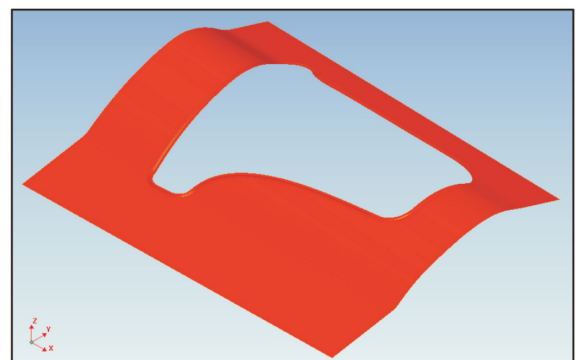


圖六 Punch & Blank Holder 曲面

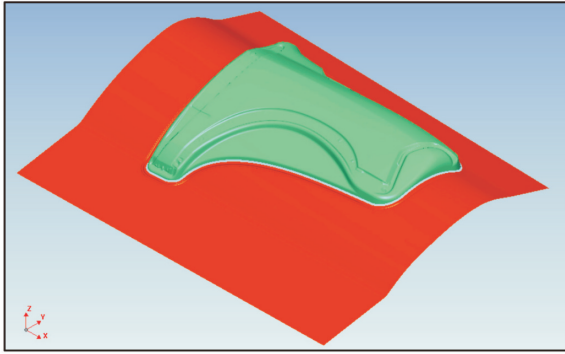


圖九 葉子板沖壓模具模具的 Punch

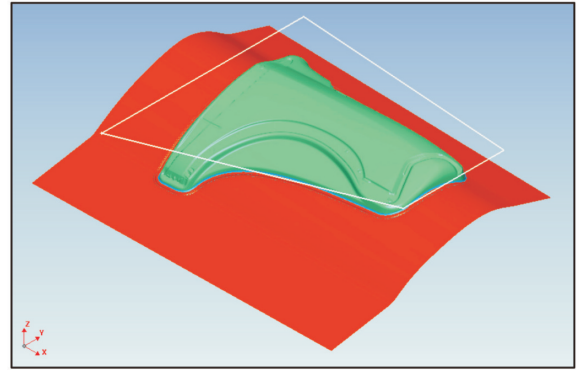
接著定義一個 Single action operation 工站以及設定定義沖壓方向，接著再由 Tools building 進入如圖七所示的 Tool Editor 輸入沖壓素板材厚度，建立沖壓模具的 Die (即母模)、Punch 及 Blank Holder，(如圖八、九、十、十一所示)。



圖十 葉子板沖壓模具模具的 Blank Holder

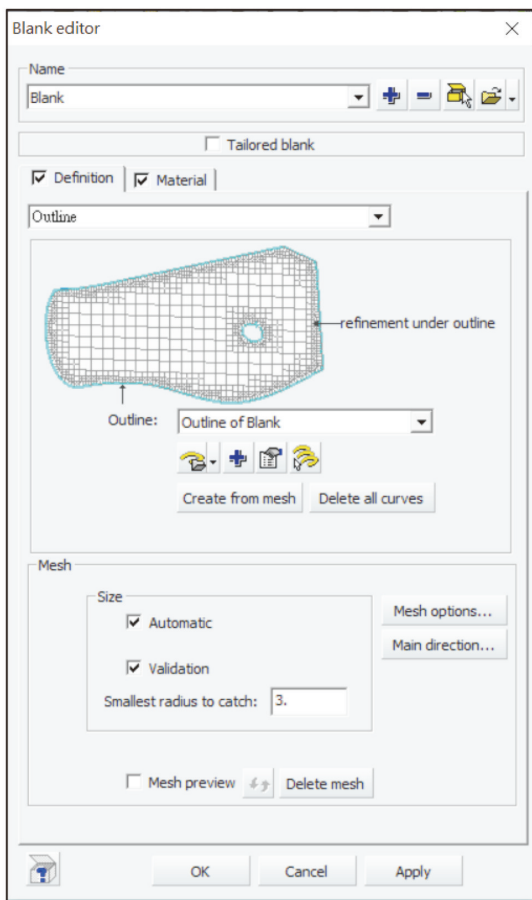


圖十一 Punch & Blank Holder



圖十三 板料幾何尺寸

一旦模具的 Die、Punch 及 Blank Holder 均正確建立後，接著進入 Blank Editor（如圖十二所示）去定義板材的素材板料大小（如圖十三所示，白色 Blank outline 所示大小即為沖壓板材素材尺寸）及其網格分割資料，對一些幾何變化不大區域採較大網格分割，對幾何變化劇烈處其分割要較細緻，即網格再細分等級成較小網格分割。



圖十二 Blank Editor

沖壓加工是屬塑性加工之一，早期對材料的降伏準則，如最大剪應力準則的 Tresca 降伏準則或是應變能準則的 Von-Mises 降伏準則，均是應用在等向性材料 (isotropic material)；對板件而言其材料晶體結構因受生產過程由金屬經滾軋製程中的影響，使板材不再具等向性性質而是異向性材料，因此須加入異向性參數的降伏準則來描述其材料行為，Hill 於 1948 年提出的 Hill-48 降伏準則描述材料異向性質，其方程式如下：

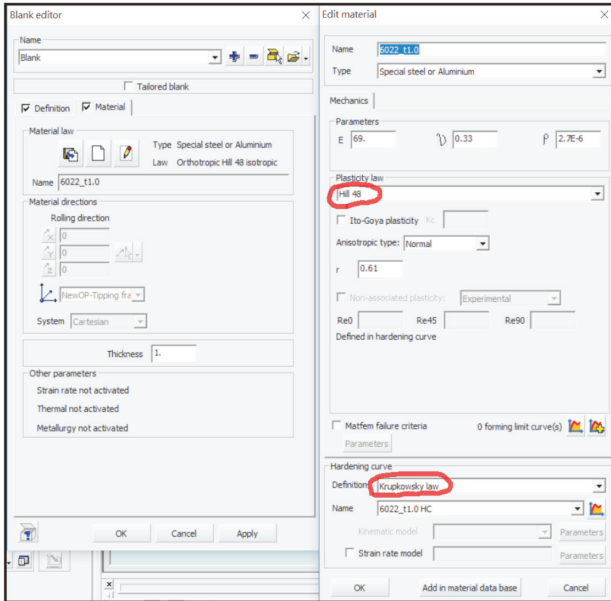
$$2f(\sigma_{ij}) = F(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + G(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + H(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2L\sigma_{23}^2 + 2M\sigma_{31}^2 + 2N\sigma_{12}^2 = 1 \quad (1)$$

其中 F、G、H、L、M 與 N 是異向性的材料系數，而可引申出材料滾軋製程後不同角度的塑性應變比值：

$$r_0 = \frac{F}{G} \quad ; \quad r_{90} = \frac{H}{F} \quad ; \quad r_{45} = \frac{N}{F+G} - \frac{1}{2} \quad (2)$$

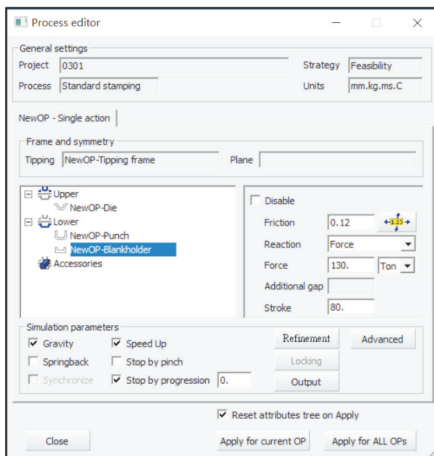
因此在 Blank Editor 的 Material 頁面進入材料的定義或由材料 Database 選取所用鋼廠的材料，亦可由生產的壓延方向自行設定相關材料試驗所獲得的材料參數[1]：如楊氏係數 (Young's modulus)、蒲松氏比 (Poisson's ratio) 及密度，而定義 Plasticity law 則選用：Hill 48 降伏準則[2]，最後硬化曲線 (Hardening Curve) 則選擇，眾多 FEM 軟體常用的 Krupkovsky law[3] (如圖十四所示)。





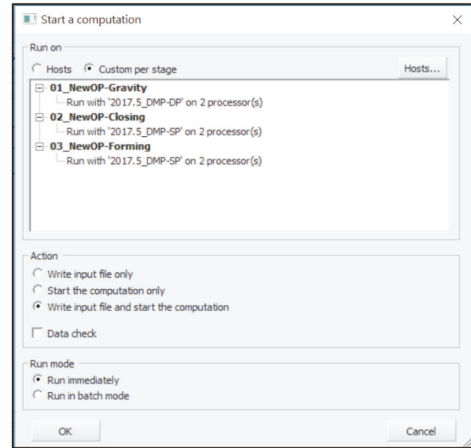
圖十四 板料材料性質輸入或選取

接著即可由 Process Editor 輸入沖壓噸數及沖壓行程，如新手不知數值可參考過去類似模具的實際沖壓噸數及沖壓行程及相關模擬參數（如圖十五所示）。



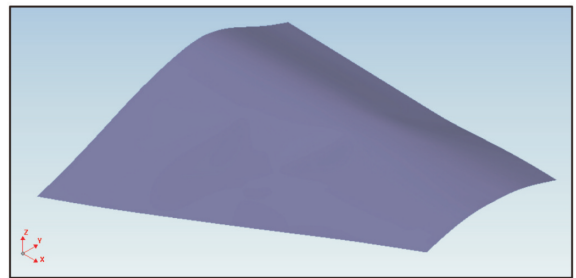
圖十五 Process Editor 模擬參數輸入

一旦上述所有模具部件幾何定義都已經完成，素材板料尺寸、網格分割、選擇了能正確描述材料非等向性性質的降伏法則 Hill-48 及應變硬化曲線模型與參數設定及沖壓噸數及沖壓行程，即可選擇 Computation icon 進入 Start a computation 開始 PAM-STAMP 的模擬計算（如圖十六所示）。

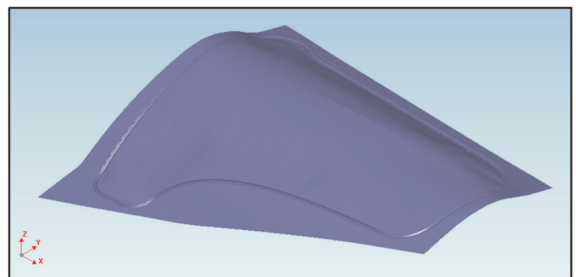


圖十六 Start a computation 視窗

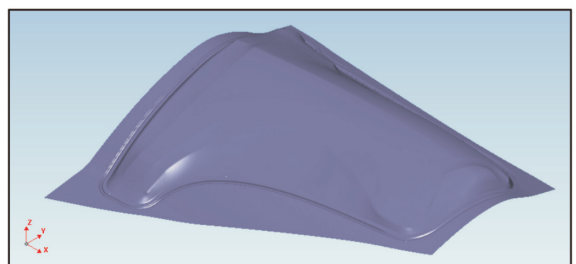
最後 PAM-STAMP 的分析出來結果可由不同的行程位置顯示沖壓過程中不同階段板材在模具內的變形情況（如圖十七、十八、十九、二十、二十一所示）。



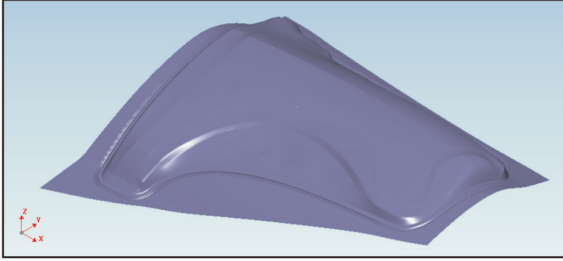
圖十七 剛合模時板件形狀



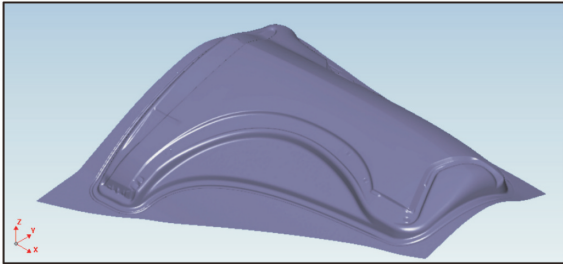
圖十八 合模完成時板件形狀



圖十九 成形在 27mm 位置時板件形狀

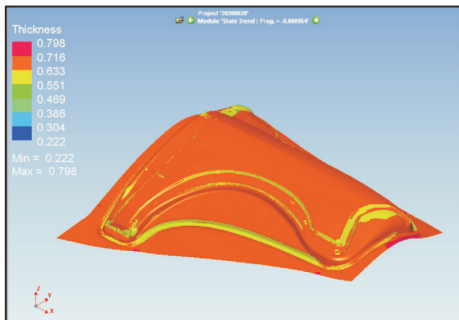


圖二十 成形在 18mm 位置時板件形狀

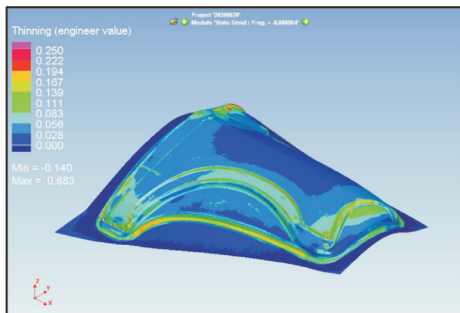


圖二十一 成形完成時板件形狀

分析至最後成形完成，便可對成形版件作厚度分析與變薄率分析（如圖二十二、二十三所示），以了解如此開模沖壓成品板件的厚度分布情形，甚至如果此葉子板是外銷美國 AM 零組件，更必須符合美國保險業者所設立的 CAPA 組織認證所要求的板厚規範以符合安全需求，由此即可判斷出品是否合乎規範要求。



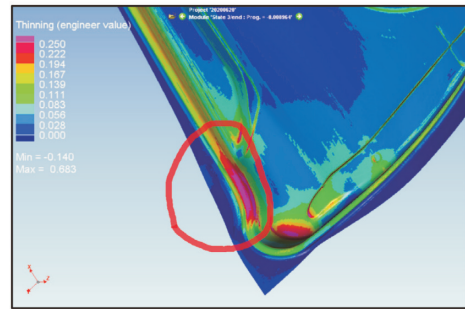
圖二十二 成形完成時板件厚度分佈



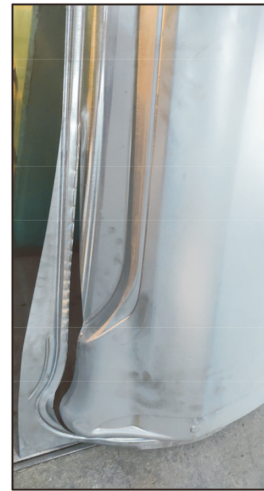
圖二十三 成形完成時板件變薄率分佈

3. 結果與討論

此葉子板的 CAE 沖壓分析，因材料受模具沖壓結果造成塑性變形導致材料於模內流動而引起成型與材料厚度的變薄，經檢查整個板件變薄率分布可發現出如圖二十四中紅色框圈處發生最嚴重變薄情形，而為了建立模擬軟體與實際開模沖壓結果的信賴度，比對實際模具完成後的第一次試模成品，該處亦確實如 PAM-STAMP 模擬預測結果發生破裂（如圖二十五所示），可驗證此 CAE 模擬分析的結果是可信賴的。



圖二十四 最嚴重變薄發生處



圖二十五 第一次試模結果破裂處

4. 結論

本研究計畫協助國內一家專門製造汽車板金沖壓模具的公司引進法國沖壓模具板金成形 CAE 模擬軟體 PAM-STAMP，協助人員訓練軟體的使用以及模擬出來的結果進行判讀與分析，並對模擬結果的破裂、皺褶及拉深不足問題不斷修正改進並再模擬，以減少傳統全部依賴老師傅經驗及產品出現問



題時的重工與試模次數，進而提升該公司 CAE 模擬的經驗以降低模具開發的試模次數並提高整題模具製造的效率縮短模具生產由接單至模具完成的時間，而依本次分析得知變薄率凡大於 0.25 以上區域是極易發生破裂，須盡量修正避免發生，而此值正可作為 CAE 工程師對往後類似參數的模具分析作為判定破裂的基準。

5. 參考文獻

1. Lemaitre J and Chaboche JL, “Mechanics of solid materials”, Cambridge University Press, 1990.
2. Cleveland RM and Ghosh AK, “Inelastic effects on springback in metals”, International Journal of Plasticity, 2002.
3. Yoshida F, Uemori T and Fujiwara K, “Elastic-plastic behavior of sheel sheets under in-plane cyclic tension-compression at large strain”, International Journal of Plasticity 18, 2002.

Splits Prediction in Sheet Metal Stamping of Automotive Fender

Robert Gian

Department of Mechanical Engineering,
Lee-Ming Institute of Technolog

Email: gian@mail.lit.edu.tw

Abstract

In the production process of the automobile manufacturing industry, the sheet metal stamping parts account for more than forty percent of the auto parts, and the structural parts even higher than eighty percent, so the stamping process plays a pivotal technology of the automobile production industry. In order to reduce the unnecessary waste of manpower, material resources, time and money through the improvement of the mold, therefore, the CAE software based on the finite element method is introduced and the material model parameters of the trended high-tensile steel plate in the CAE is correctly set and effectively improve the design and analysis accuracy. With the help of CAE ability of the automotive sheet metal stamping analysis, so that CAE engineers can estimate the possible wrinkle or splits area. This research plan is to analyze the design of high-tensile steel plate fender molds and compare them with the actual make mold and trial runs, and it is shown that the CAE is reliable and areas are very prone to split if the thinning rate is greater than 0.25 by the results.

Keywords : FEM 、 CAE