

行政院國家科學委員會專題研究計畫期末報告

計畫名稱：高解析度映像管螢幕光罩之成形分析(1/2)

Formability Analysis of Shadow Mask in a High Resolution Monitor(1/2)

計畫編號：NSC 88-2212-E-002-012

執行日期：87年8月1日至88年7月30日

主持人：國立台灣大學機械工程學系 陳復國教授

一. 中文摘要：(關鍵詞：螢幕網罩、等效降伏準則、多孔洞平板、CAE 電腦模擬。)

本計畫主要研究六角形對稱排列之多孔洞平板的塑性行為，推導出適當的降伏準則，應用於有限元素法進行六角形對稱排列之多孔洞平板之成形分析；而等效降伏準則的推導，可以將多孔材料視為一種等效的方向性材料，避免直接使用多孔板料建網格而產生龐大的元素與節點，浪費模擬時間成本。本計畫採用螢幕網罩作為應用例，將本計畫所推導的降伏準則，經過驗證後，透過撰寫 CAE 軟體之副程式，進行螢幕網罩之三維有限元素法模擬，進行成形缺陷的預測與改良之依據。

二. 英文摘要

Keywords: shadow mask, equivalent yield criterion, perforated sheets, CAE.

A yield criterion of sheets with circular perforations in a hexagonal pattern was investigated. The new yield criterion was compared with published

literature, and was confirmed by the finite element analysis results in the whole range of ligament efficiency of the perforated sheets. The developed yield criterion can also be applied to analyze stretching of dot – type shadow mask. The goal of this project was to establish a computer simulation model for the deformation of the perforated sheets, so that the deformation analysis of perforated sheets could be performed by the finite element simulations.

This is a two-year project and the research results obtained in the first year (1998,8 ~ 1999,7) is reported.

三、研究方法與成果

1. 研究方法

高解析彩色映像管之螢幕網罩所使用的 Fe-36Ni Invar 板材為六角形對稱排列的多孔洞板材(圖 1)，而其孔洞大小並非圓直洞，乃隨板厚而變(圖 2)，且其數量之多，亦無法對每個洞逐一分析。本研究採用等效模式(equivalent model)探討其塑性變形特性，以等效模式觀念考慮，則材料具備方向性與可壓縮性。另外，Fe-36Ni Invar 材料機械性質亦與溫度有關，且實際製程溫度亦有不同，故

本研究亦將針對幾個成形溫度進行實驗，以得到模擬所需之材料性質。

Fe-36Ni Invar 孔洞板材其孔洞呈六角形對稱分佈，同時孔洞大小隨板件厚度而改變，然而此類多孔洞板材其板材因孔洞分佈的關係在材料變形時具有異向性，另外孔洞在材料變形時造成孔洞形狀變化而導致整體體積改變，因此多孔洞板材視為可壓縮性與一般均質板材之等向性與不可壓縮性、異向性板材之方向性與不可壓縮性及多孔材料之等向性與可壓縮性皆不同。因此多孔洞板材之塑性變形特性將異於一般板材，所以對於多孔洞板材的成形特性必須重新探討與研究，以提供多孔洞板材製品適當的設計與製程。

本計畫利用等效觀念與 Hill 異向性降伏準則為主決定適用方向性與可壓縮性材料的等效異向性降伏準則，以描述相對應的多孔洞板材之塑性變形行為。詳細研究步驟如下：

1. 材料之常溫與高溫機械性質

本研究之應用對象 - 螢幕網罩 - 其材料是一種 36%Ni 與 64%Fe 低膨脹係數的鐵鎳合金，一般常溫下的材料降伏強度約在 200MPa 左右，一般螢幕網罩的成形溫度主要也就是在攝氏 200 度左右，本實驗之試片是根據 ASTM 標準而定，而考慮各種不同方向的材料性質下，整片板材之試片亦經特別規劃。其常溫，攝氏 100 度、

200 度的實驗結果如下：

- (1) 常溫實驗結果顯示未蝕刻的無孔 Invar 板材，降伏強度約在 190 ~ 170 MPa 之間，而蝕刻後之有孔洞材料降伏強度約在 55 ~ 40 MPa 之間。
- (2) 100 實驗結果顯示未蝕刻的無孔 Invar 板材，降伏強度約在 117 ~ 105 MPa 之間，而蝕刻後之有孔洞材料降伏強度約在 32 ~ 27 MPa 之間。
- (3) 200 實驗結果顯示未蝕刻的無孔 Invar 板材，降伏強度約在 82 ~ 73 MPa 之間，而蝕刻後之有孔洞材料降伏強度約在 21 ~ 18 MPa 之間。其 Invar 孔材料降伏強度大約為【0 度方向】大於【45 度方向】與【90 度方向】。

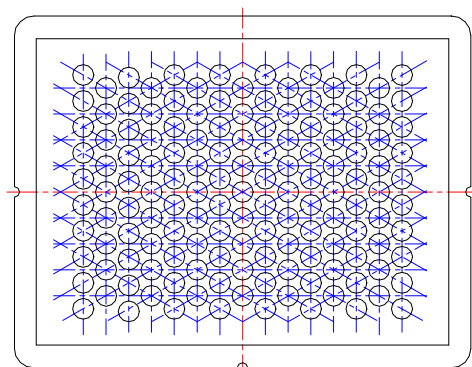


圖 1 螢幕網罩之孔洞排列方式

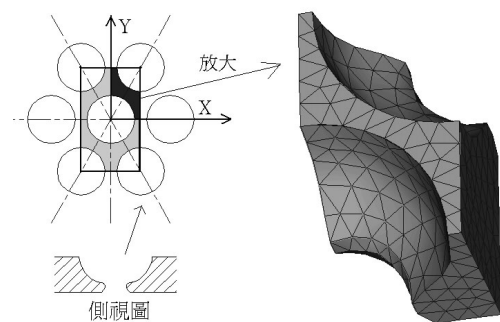


圖 2 螢幕網罩孔洞剖面圖

2. 多孔洞平板等效模式之建立

2.1 分析單元 (unit cell)

利用幾個不同孔徑之多孔洞平板 (進行 2D 平面應力拉伸之模擬, 以期觀察出變形的規律性, 找出較適當的分析單元 (unit cell))。

綜合拉伸模擬的結果, 發現整個平板的變形行為有一定的規則, 可以找到一個最小的重複單元, 如圖 2 所示, 其變行為可代表整片多孔平板變形行為。

2.2 等效直孔孔洞

$$P = t \times (P_y - \bar{a}) t_s,$$

考慮二者相同, 可得到等效直孔直徑 \bar{a} ,

$$\bar{a} = \frac{1}{t} \int_0^t a(z) dz$$

以本研究而言, 曲孔最大的直徑為 0.246mm, 最小的直徑為 0.120mm, 其等效直孔直徑 \bar{a} 大約為 0.20mm, 並經有限元素法與實驗驗證, 其中實驗驗證結果如圖 4 所示

以等效直孔來簡化曲孔之分析, 如圖 3 所示 本研究藉考慮曲孔與等效直孔其塑性變形時, 所需塑性荷重相同, 如下式所示:

曲孔塑性變形時, 所需塑性荷重,

$$P = \int_0^t [P_y - a(z)] t_s dz$$

直孔塑性變形時, 所需塑性荷重,

曲孔

等效直孔



圖 3 等效直孔模式

2.3 降伏準則

在適當的邊界條件下, 基本分析單元的變形行為可以代表整個多孔洞平板的變形行為。因此利用基本分析單元在各種邊界條件下, 模擬出等效應力 (von Mises stress) 分佈圖, 可找出降伏的起始處。藉此分析本研究之降伏的起始處大致發生在 A0, 如圖 5 所示 降伏準則如下

$$\left(\frac{1}{4r_{xy}}\right)^2[(k^2 - 3k + 18)S_x^2 + (6k^2 - 10k - 12)S_xS_y + (9k^2 - 3k + 10)S_y^2] = Y_b^2$$

$$\text{ratio) } r_x = r_c = W_y / P_y$$

其中 k 與 r_{xy} 之關係如圖 6 所示

符號說明：

f_x 、 f_y : x、y 方向的平均真實應力
(mean true stress)

S_x 、 S_y : x、y 方向的平均應力
(apparent stress)

r_x 、 r_c : x 方向的線段比(ligament ratio)
 $r_x = r_c = W_x / P_x$

r_y 、 r_y : y 方向的線段比(ligament ratio)

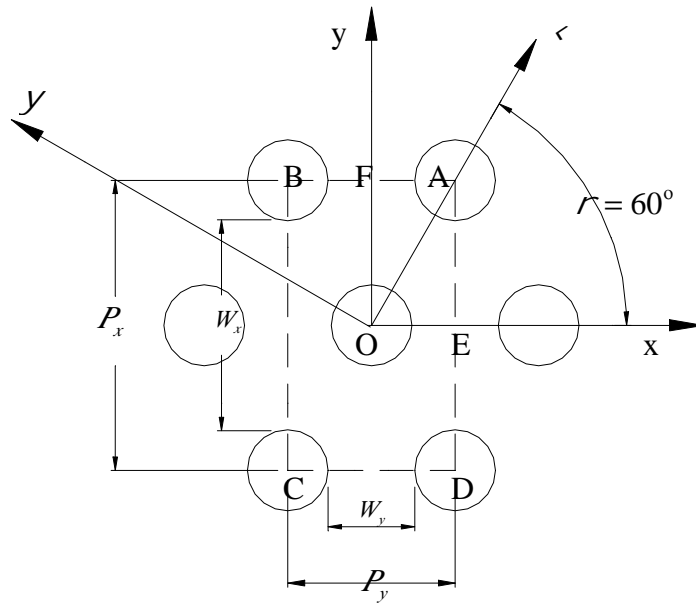


圖 4 孔洞分布位置

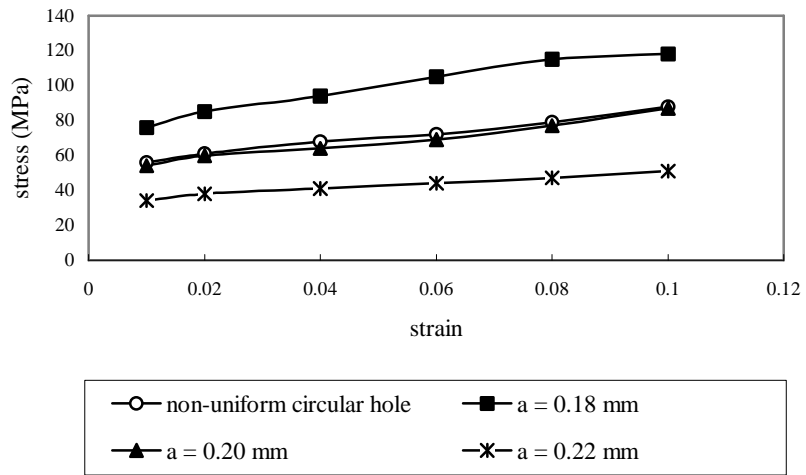


圖 5 等效直孔實驗驗證

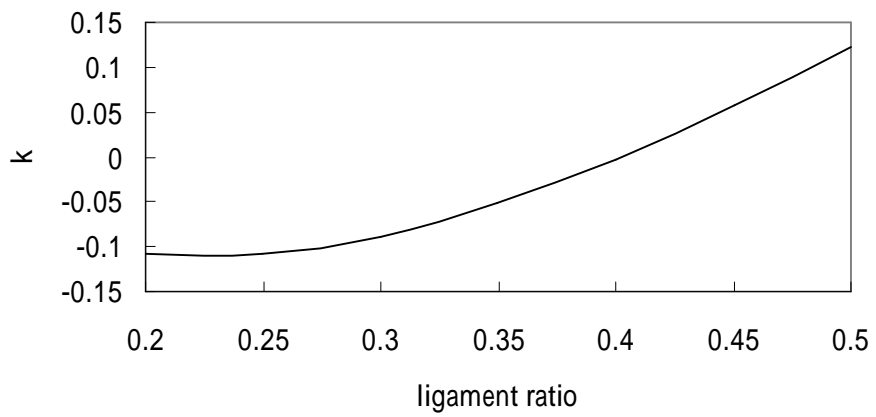


圖 6 k 與 \dots_y 之關係圖

四. 結論與討論

第一年度(87年8月1日至88年7月31日)已對於完成 Fe-36Ni Invar 板材與其孔洞板材在不同方向與不同溫度條件下的材料行為之探討，對於 Fe-36Ni Invar 板材與其孔洞板材之材料行為與材料成形溫度的關係已獲得了解，可作為 Fe-36Ni Invar 板材與其孔洞板材選擇成形溫度時的參考，並且可比較 Fe-36Ni Invar 板材與其孔洞板材其材料行為之差異性。另外，對於孔洞板材其材料行為分析方面，其基本分析單元已被選取以簡化分析過程，並且建立有限元素法分析模式，對於孔洞板材其材料行為可提供有限元素法之模擬分析與驗證，同時可進一步掌握孔洞板材發生降伏之變形模式，藉等效觀念建立描寫孔洞板材其材料行為之等效降伏準則等，皆逐一完成，對於孔洞板材之材料行為分析已有具體結果，並且有限元素法之模擬模式也已完整建立，由第一年度研究成果，將使得下年度計畫得以順利進行。

五、參考文獻

1. F.K. Chen, "Analysis of plastic deformation for sheet metals with circular perforations", J.Mater.Proc.Tech., 37(1993) 175-188.
2. S. C. Baik, H. N. Han, S.H. Lee, K. H. Oh and D. N. Lee, Plastic behaviour of perforated sheets under biaxial stress state, Int. J. Mech. Sei. Vol. 39, No.7, pp.781-793,1997
3. S. C. Baik, K. H. Oh and D. N. Lee, "Analysis of the deformation of a perforated sheet under uniaxial tension", J. Mater. Proc. Tech.58(1996)p139-144.
4. W. J. O'Donnell and J. Porowski, "Yield surface for perforated materials", J.Appl.Mechanics,1973,40,263.
5. M. Kleiber and C. Wozniak." "Nonlinear Mechanics of structures", Kluwer Academic, 1991, p.375.