

【54】名稱：內嚙合式球面齒輪裝置及其製造方法

INTERNAL ENGAGING SPHERICAL GEARS AND METHOD OF MAKING THE SAME

【21】申請案號：096100598

【22】申請日：中華民國96(2007)年1月5日

【11】公開編號：200829397

【43】公開日：中華民國97(2008)年7月16日

【72】發明人：楊學成 YANG, SHYUECHENG

【71】申請人：國立彰化師範大學 NATIONAL CHANGHUA UNIVERSITY OF EDUCATION
彰化縣彰化市進德路1號

【74】代理人：黃于真；李國光

【56】參考文獻：

TW I254658

US 5129275

WO 2006/018665A1

1

2

[57]申請專利範圍：

1.一種內嚙合式球面齒輪裝置，至少包含：

一凹球面齒輪，具有一凹球面，該凹球面上設有複數第一輪齒，該些第一輪齒並由一中央輪齒複製而來；以及

一凸球面齒輪，嚙合於該凹球面齒輪，並具有一與該凹球面對應的凸球面，該凸球面上設有複數第二輪齒，該些第二輪齒並由一中央輪

齒複製而來，該些凹球面及凸球面輪齒係分別相互嚙合；

藉此，經由該凸球面齒輪與該凹球面齒輪間以內嚙合方式結合，以減小該內嚙合式球面齒輪裝置的整體組裝尺寸。

2.如申請專利範圍第1項所述之內嚙合式球面齒輪裝置，其中各該第一輪齒係為一凹輪齒，各該第二輪齒係為一凸輪齒，該凹輪齒以及該凸輪

齒係由一刀具曲面形成。

3.如申請專利範圍第2項所述之內嚙合式球面齒輪裝置，其中該刀具曲面係由一 \overline{ab} 線段、一 \overline{bc} 線段、一 \overline{cd} 線段以及一 \overline{de} 線段，繞一軸心轉一圈形成，其中， \overline{ab} 線段係用於產生該凹輪齒的齒冠， \overline{bc} 線段則用於產生該凹輪齒的工作區域， \overline{cd} 線段則是該凹輪齒的齒根圓弧，而 \overline{de} 線段係用於產生該凹輪齒的齒底面。

4.如申請專利範圍第3項所述之內嚙合式球面齒輪裝置，其中 \overline{ab} 線段所定義的區域之方程式以座標系統 S_c 表示，可以下式表示：

$$\mathbf{R}_c^{ab} = \begin{bmatrix} x_c^{ab} \\ y_c^{ab} \\ z_c^{ab} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ((r+r_{c1})\sin(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\cos(\theta_i+\alpha))\cos r_\theta + ((r+r_{c1})\cos(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\sin(\theta_i+\alpha))\sin r_\theta \\ -((r+r_{c1})\sin(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\cos(\theta_i+\alpha))\sin r_\theta + ((r+r_{c1})\cos(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\sin(\theta_i+\alpha))\cos r_\theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \theta_i < (\theta_{c3} + \theta_{c2})$$

其中，

$$\theta_{c3} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{xx}}{r_{c1}}\right),$$

$$h_{xx} = h_{xp} + \left(\frac{r-r\cos\theta_x}{\cos\phi_{pp}}\right),$$

$$h_{xp} = (r-r\cos\theta_x)\tan\phi_{pp} + r\sin\theta_x,$$

$$\phi_{pp} = \phi_p + \theta_p + \alpha,$$

$$\phi_p = \tan^{-1}\left(\frac{r\tan\theta_x - r\sin\theta_x}{r-r\cos\theta_x}\right),$$

$$\theta_x = \frac{10\pi}{180\eta},$$

$$\theta_p = \left(\frac{2\pi}{2n_1} - \theta_x\right)/\eta,$$

$$\theta_{c2} = \tan^{-1}\left(\frac{r\sin\theta_x}{r+r_{c1}-r\cos\theta_x}\right),$$

其中，參數 r 、 r_{c1} 、 n_1 、 θ_x 、 θ_p 和 η 為給定的值，而其他的參數係為

數學上的幾何關係決定， η 是輪齒的修正係數， r 是刀具的基圓半徑， r_{c1} 為刀具輪齒的根圓半徑。

5.如申請專利範圍第4項所述之內嚙合式球面齒輪裝置， \overline{bc} 線段所定義的區域之方程式以座標系統 S_c 表示，可以下式表示：

$$\mathbf{R}_c^{bc} = \begin{bmatrix} x_c^{bc} \\ y_c^{bc} \\ z_c^{bc} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r\sin\theta_p - (h_p - \beta)\sin\alpha)\cos r_\theta + (r\cos\theta_p + (h_p - \beta)\cos\alpha)\sin r_\theta \\ -(r\sin\theta_p - (h_p - \beta)\sin\alpha)\sin r_\theta + (r\cos\theta_p + (h_p - \beta)\cos\alpha)\cos r_\theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \beta < h_p - h_{xx}$$

其中，

$$h_p = h - r_c \cos\alpha + y_c,$$

$$y_c = \frac{r_c(\cos\alpha - 1 + \sin\alpha)(\cos\alpha + 1 - \sin\alpha)}{2\cos\alpha},$$

β 代表刀具之設計參數。

6.如申請專利範圍第5項所述之內嚙合式球面齒輪裝置，其中 \overline{cd} 線段所定義之區域之方程式以座標系統 S_c 表示，可以下式表示：

$$\mathbf{R}_c^{cd} = \begin{bmatrix} x_c^{cd} \\ y_c^{cd} \\ z_c^{cd} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_c \sin\theta_c + w)\cos r_\theta + (r\cos\theta_p + h\cos\alpha - r_c(1 - \cos\theta_c))\sin r_\theta \\ -(r_c \sin\theta_c + w)\sin r_\theta + (r\cos\theta_p + h\cos\alpha - r_c(1 - \cos\theta_c))\cos r_\theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \theta_c < \theta_{c1}$$

其中，

$$w = r\sin\theta_p - h\sin\alpha - r_c\cos\alpha + y_c,$$

$$\theta_{c1} = \frac{\pi}{2} - \alpha,$$

ℓ_h 代表刀具曲線之設計參數。

7.如申請專利範圍第6項所述之內嚙合式球面齒輪裝置， \overline{de} 所定義的區域區域之方程式以座標系統 S_c 表示，可以下式表示：

$$\mathbf{R}_c^{de} = \begin{bmatrix} x_c^{de} \\ y_c^{de} \\ z_c^{de} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ell_h \cos r_\theta + (h\cos\alpha + r\cos\theta_p)\sin r_\theta \\ -\ell_h \sin r_\theta + (h\cos\alpha + r\cos\theta_p)\cos r_\theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \ell_h < w.$$

8.一種內嚙合式球面齒輪的製造方法，包含：

(a)提供一固定座標系統 $S_r(O_r, x_r, y_r,$

z_1);

(b)提供一固定在刀具上之座標系統 $S_c(O_c, x_c, y_c, z_c)$;

(c)提供兩個參考座標系統 $S_1(O_1, x_1, y_1, z_1)$ 和 $S_3(O_3, x_3, y_3, z_3)$, 固定於一凸球面齒輪的座標系, 隨著凸球面齒輪轉動;

(d)提供兩個參考座標系 $S_5(O_5, x_5, y_5, z_5)$ 和 $S_6(O_6, x_6, y_6, z_6)$, 固定於一凹球面齒輪的座標系, 隨著凹球面齒輪轉動;

(d)將凸球面齒輪繞著 x_1 軸轉動 ϕ_1 角, 使凹球面齒輪轉動 ϕ_5 角度, ϕ_1 和 ϕ_5 的關係為 $N_1 \phi_1 = N_5 \phi_5$, 其中, N_1 和 N_5 分別為凸球面齒輪及凹球面齒輪之輪齒數;

(e)將凸球面齒輪上的座標系 $S_3(O_3, x_3, y_3, z_3)$ 繞 z_3 軸轉動 ϕ_3 角, 凹球面齒輪則轉動 ϕ_6 角度, ϕ_3 和 ϕ_6 的關係為 $N_1 \phi_3 = N_5 \phi_6$;

(f)將凸球面齒輪繞 x_1 和 z_3 軸, 分別轉動 ϕ_1 和 ϕ_3 , 使凹球面齒輪分別轉動了 ϕ_5 和 ϕ_6 角度;

(g)利用齊次座標轉換矩陣, 產生刀具曲面之雙參數曲面族方程式; 以及
(h)利用雙參數包絡嚙合理論, 由雙參數曲面族方程式產生刀具曲面之參數曲面族群之包絡面。

9.如申請專利範圍第8項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法, 其中該刀具曲面係由一 \overline{ab} 線段、一 \overline{bc} 線段、一 \overline{cd} 線以及一 \overline{de} 線段, 繞一軸心轉一圈形成, 其中, \overline{ab} 線段所定義的區域之方程式以座標系統 S_c 表示, 可以下式表示:

$$R_c^{cb} = \begin{bmatrix} x_c^{cb} \\ y_c^{cb} \\ z_c^{cb} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ((r+r_{c1})\sin(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\cos(\theta_p+\alpha))\cos r_\theta + ((r+r_{c1})\cos(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\sin(\theta_p+\alpha))\sin r_\theta \\ ((r+r_{c1})\sin(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\cos(\theta_p+\alpha))\sin r_\theta + ((r+r_{c1})\cos(\theta_p+\theta_x)-r_{c1}\sin(\theta_p+\alpha))\cos r_\theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \theta_x < (\theta_{c3} + \theta_{c2})$$

其中,

$$\theta_{c3} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{xx}}{r_{c1}}\right),$$

5.

$$h_{xx} = h_{xp} + \left(\frac{r-r\cos\theta_x}{\cos\phi_{pp}}\right),$$

$$h_{xp} = (r-r\cos\theta_x)\tan\phi_{pp} + r\sin\theta_x,$$

$$\phi_{pp} = \phi_p + \theta_p + \alpha,$$

10.

$$\phi_p = \tan^{-1}\left(\frac{r\tan\theta_x - r\sin\theta_x}{r-r\cos\theta_x}\right),$$

$$\theta_x = \frac{10\pi}{180\eta},$$

15.

$$\theta_p = \left(\frac{2\pi}{2n_1} - \theta_x\right)/\eta,$$

$$\theta_{c2} = \tan^{-1}\left(\frac{r\sin\theta_x}{r+r_{c1}-r\cos\theta_x}\right),$$

20.

其中, 參數 r 、 r_{c1} 、 n_1 、 θ_x 、 θ_p 和 η 為給定的值, 而其他的參數係為數學上的幾何關係決定, η 是輪齒的修正係數, r 是刀具的基圓半徑, r_{c1} 為刀具輪齒的根圓半徑。

25.

10.如申請專利範圍第9項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法, 其中 \overline{bc} 線段所定義的區域之方程式以座標系統 S_c 表示, 可以下式表示:

30.

$$R_c^{cb} = \begin{bmatrix} x_c^{cb} \\ y_c^{cb} \\ z_c^{cb} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r\sin\theta_p - (h_p - \beta)\sin\alpha)\cos r_\theta + (r\cos\theta_p + (h_p - \beta)\cos\alpha)\sin r_\theta \\ -(r\sin\theta_p - (h_p - \beta)\sin\alpha)\sin r_\theta + (r\cos\theta_p + (h_p - \beta)\cos\alpha)\cos r_\theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \beta < h_p - h_{xx}$$

其中,

$$h_p = h - r_c \cos\alpha + y_e,$$

35.

$$y_e = \frac{r_c(\cos\alpha - 1 + \sin\alpha)(\cos\alpha + 1 - \sin\alpha)}{2\cos\alpha},$$

β 代表刀具之設計參數。

40.

11.如申請專利範圍第10項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法, 其中, \overline{cd} 線段所定義的區域之方程式以座標系統 S_c 表示, 可以下式表示:

$$R_c^{cd} = \begin{bmatrix} x_c^{cd} \\ y_c^{cd} \\ z_c^{cd} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_c \sin \theta_c + w) \cos r_c + (r_c \cos \theta_c + h \cos \alpha - r_c (1 - \cos \theta_c)) \sin r_c \\ -(r_c \sin \theta_c + w) \sin r_c + (r_c \cos \theta_c + h \cos \alpha - r_c (1 - \cos \theta_c)) \cos r_c \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \theta_c < \theta_{c1}$$

其中，

$$w = r_p \sin \theta_p - h \sin \alpha - r_c \cos \alpha + y_c,$$

$$\theta_{c1} = \frac{\pi}{2} - \alpha,$$

ℓ_h 代表刀具曲線之設計參數。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法， \overline{ae} 所定義的區域區域之方程式以座標系統 S_c 表示，可以下式表示：

$$R_c^{de} = \begin{bmatrix} x_c^{de} \\ y_c^{de} \\ z_c^{de} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ell_h \cos r_g + (h \cos \alpha + r \cos \theta_p) \sin r_g \\ -\ell_h \sin r_g + (h \cos \alpha + r \cos \theta_p) \cos r_g \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 < \ell_h < w.$$

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法，其中步驟(g)係包含

利用從座標系統 S_1 到座標系統 S_5 之齊次座標轉換矩陣 M_{51} 以及座標系統 S_3 到座標系統 S_6 之齊次座標轉換矩陣 M_{63} ，其中

$$M_{51}(\phi_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi_2 - \phi_1) & \sin(\phi_2 - \phi_1) & a \cos \phi_2 \\ 0 & -\sin(\phi_2 - \phi_1) & \cos(\phi_2 - \phi_1) & -a \sin \phi_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{63}(\phi_3) = \begin{bmatrix} \cos(\phi_6 - \phi_3) & \sin(\phi_6 - \phi_3) & 0 & a \sin \phi_6 \\ -\sin(\phi_6 - \phi_3) & \cos(\phi_6 - \phi_3) & 0 & -a \cos \phi_6 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

當刀曲面在座標系 S_1 和 S_3 轉動時，根據齊次座標轉換矩陣方法，獲得從座標系 S_3 到座標系到座標系 S_6 的齊次座標轉換矩陣，其中：

$$M_{63} = \begin{bmatrix} c\phi_3 c\phi_1 + s\phi_3 s\phi_1 c(\phi_2 - \phi_1) & -c\phi_3 s\phi_1 + s\phi_3 c\phi_1 c(\phi_2 - \phi_1) & s\phi_3 s(\phi_2 - \phi_1) & a\phi_3 c\phi_1 \\ -s\phi_3 c\phi_1 + c\phi_3 s\phi_1 c(\phi_2 - \phi_1) & s\phi_3 s\phi_1 + c\phi_3 c\phi_1 c(\phi_2 - \phi_1) & c\phi_3 s(\phi_2 - \phi_1) & a\phi_3 s\phi_1 \\ -s\phi_3 s(\phi_2 - \phi_1) & -c\phi_3 c(\phi_2 - \phi_1) & c(\phi_2 - \phi_1) & a\phi_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

；以及

經由齊次座標轉換理論，得到刀具曲面的雙參數曲面族方程式，記為

$$R^s(\ell_j, \alpha, \phi_1, \phi_3) = M_{63} R_3^s$$

其中，變數 ℓ_j 是設計參數，向量 $R^s(\ell_j, \alpha, \phi_1, \phi_3)$ 是刀具曲面族方程式，上標文字 g 是表示 \overline{ab} 線段、 \overline{bc} 線段、 \overline{cd} 線段和 \overline{de} 線段。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法，其中步驟(h)係包含

令 ϕ_3 為零，以獲得凸齒輪與凹齒輪相嚙合的第一個包絡條件，記為

$$N_j^i \cdot V_j^{j2} = m \sin \phi_1 + n \cos \phi_1 + (1 + N_2 / N_1)(mz_1 - ny_1) / a = 0$$

其中

$$V_j^{j2} = -(\phi_1 - \phi_2)[-(y_1 \sin \phi_1 + z_1 \cos \phi_1)j + (y_1 \cos \phi_1 + z_1 \sin \phi_1)k] - a\phi_1 k$$

$$N_j^i = \ell_i + (m \cos \phi_1 - n \sin \phi_1)j + (m \sin \phi_1 + n \cos \phi_1)k ; \text{ 以及}$$

令 ϕ_1 為零，可獲得凸齒輪與凹齒輪相嚙合的第二個包絡條件，記為

$$N_j^i \cdot V_j^{j2} = m \sin \phi_3 - \ell \cos \phi_3 + (1 + N_2 / N_1)(\ell y_1 - m x_1) / a = 0$$

其中

$$V_j^{j2} = (\phi_3 - \phi_4)[-(x_1 \sin \phi_3 + y_1 \cos \phi_3)i + (x_1 \cos \phi_3 - y_1 \sin \phi_3)j] + a\phi_3 k$$

$$N_j^i = (\ell \cos \phi_3 - m \sin \phi_3)i + (\ell \sin \phi_3 + m \cos \phi_3)j + nk .$$

15. 如申請專利範圍第 14 項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法，更包含於凸球面齒輪和凹球面齒輪上分別形成單一個中央輪齒；

再由該中央輪齒在凸球面齒輪和凹球面齒輪上分別形成一第一個環形輪齒，輪齒之分布角度是 $2\pi / N_1$ ，其中下標文字 $i=1$ 表示凸球面齒輪之輪齒數，下標文字 $i=2$ 表示凹球面齒輪之輪齒數。

16. 如申請專利範圍第 15 項所述之內嚙合式球面齒輪的製造方法，更進一步包含

於各該第一個環形複製六個輪齒；在凸球面齒輪和凹球面齒輪上分別形成一第二個環形輪齒；以及

於各該第二個環形由中央輪齒複製十二個輪齒。

圖式簡單說明：

第1圖是Trallfa公司所設計之外嚙合式球面齒輪裝置的立體示意圖。

第2圖係繪示依照本發明一較佳實施例之一凸球面齒輪立體圖。

第3圖係繪示依照本發明較佳實施例之一凹球面齒輪立體圖。

第4圖係為依照本發明較佳實施例之一圓弧形錐形刀具設計的示意圖。

第5圖係為第4圖中圓弧形錐形刀具的立體模擬示意圖。

第6圖係依照本發明較佳實施例的座標系 S_1 和 S_5 之空間關係示意圖。

第7圖係依照本發明較佳實施例的座標系 S_3 和 S_6 之空間關係示意圖。

第8圖係依照本發明較佳實施例加工凹輪齒之球面齒輪座標系設定示意圖。

第9圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，具有兩個自由度轉動的示意圖，用以說明當動畫座標為零時位置。

第10圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為3時位置時，將旋轉軸 y 軸固定，並沿 x 軸轉動的示意圖。

第11圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為6時位置時，將旋轉軸 y 軸固定，並沿 x 軸轉動的示意圖。

第12圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為9時位置時，將旋轉軸 y 軸固定，並沿 x 軸轉動的示意圖。

5. 第13圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為11時位置時，將旋轉軸 y 軸固定，並沿 x 軸轉動的示意圖。

10. 第14圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為3時位置時，將旋轉軸 x 軸固定，並沿 y 軸轉動的示意圖。

15. 第15圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為6時位置時，將旋轉軸 x 軸固定，並沿 y 軸轉動的示意圖。

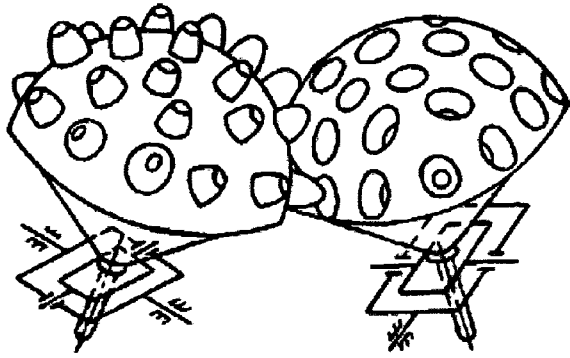
20. 第16圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為9時位置時，將旋轉軸 x 軸固定，並沿 y 軸轉動的示意圖。

第17圖係依照本發明較佳實施例之內嚙合式球面齒輪裝置，當動畫座標為11時位置時，將旋轉軸 x 軸固定，並沿 y 軸轉動的示意圖。

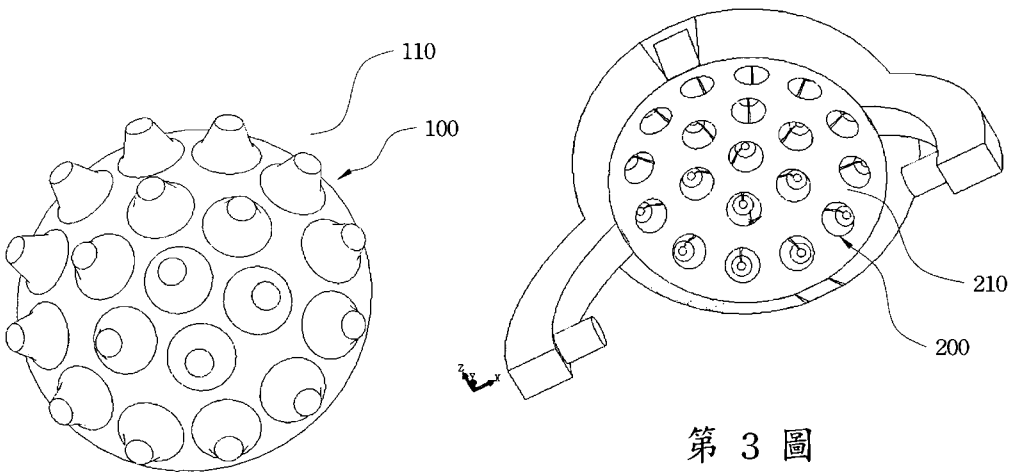
25. 第18圖係依照本發明較佳實施例之凹球面齒輪的網格切割應力分析的示意圖。

第19圖係依照本發明較佳實施例之凸球面齒輪的應力分布的示意圖。

30. 第20圖係依照本發明較佳實施例之凹球面齒輪的應力分布的示意圖。

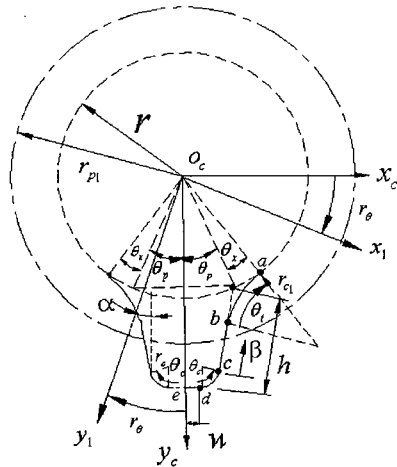


第 1 圖



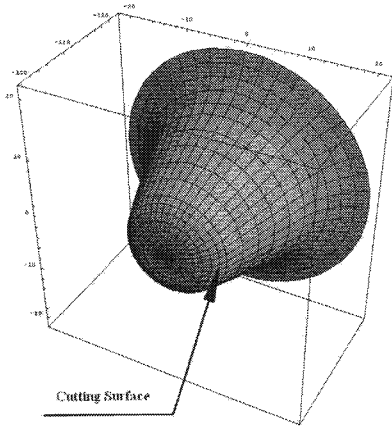
第 2 圖

第 3 圖

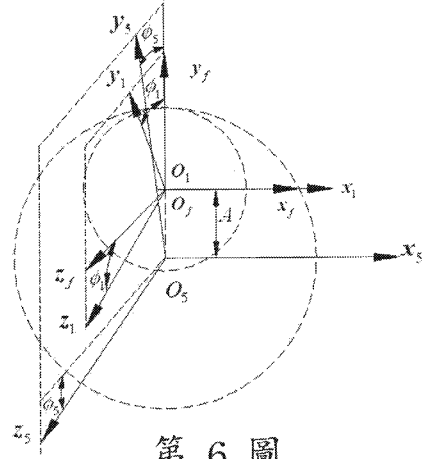


第 4 圖

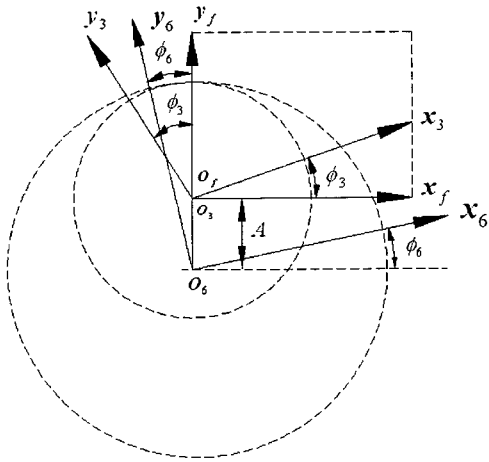
(7)



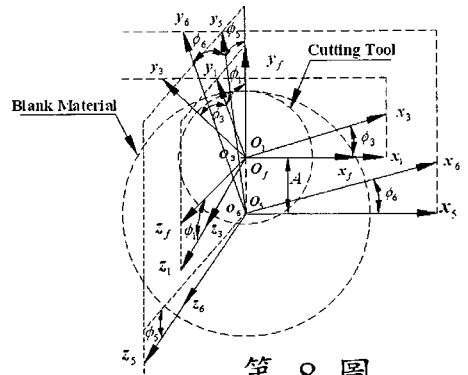
第 5 圖



第 6 圖

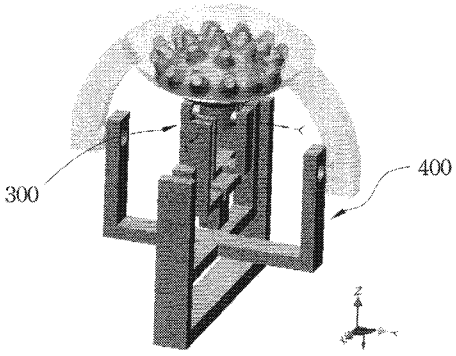


第 7 圖

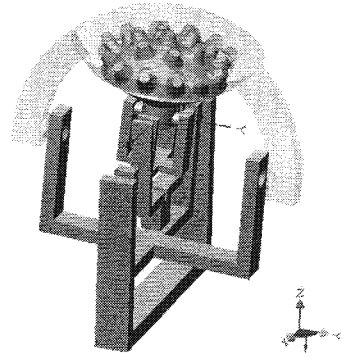


第 8 圖

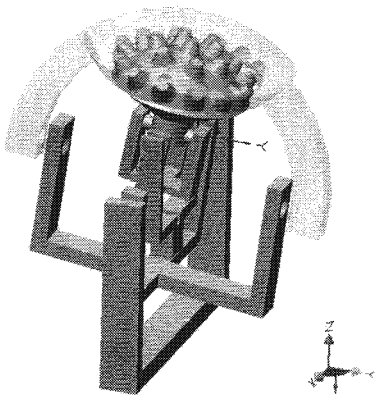
(8)



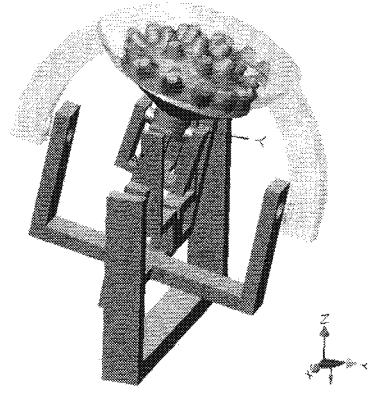
第 9 圖



第 10 圖

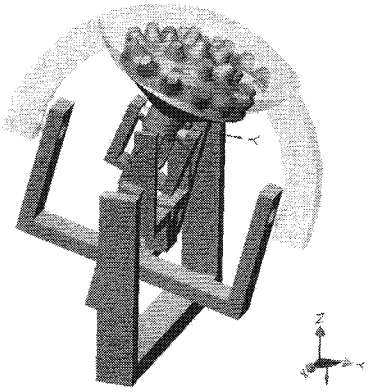


第 11 圖

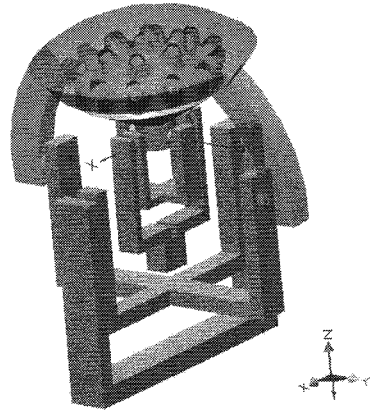


第 12 圖

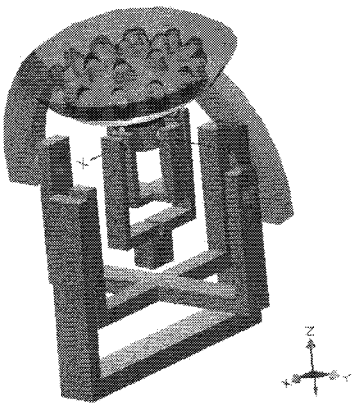
(9)



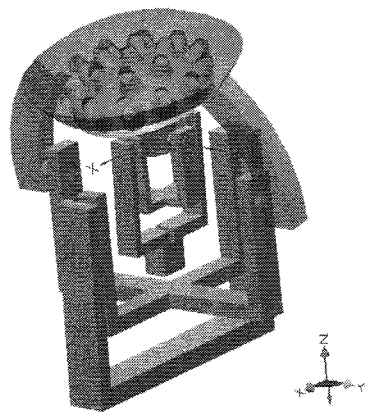
第 13 圖



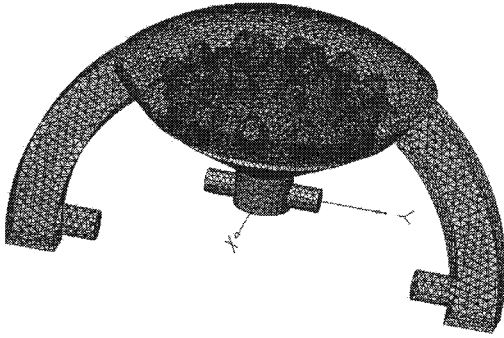
第 14 圖



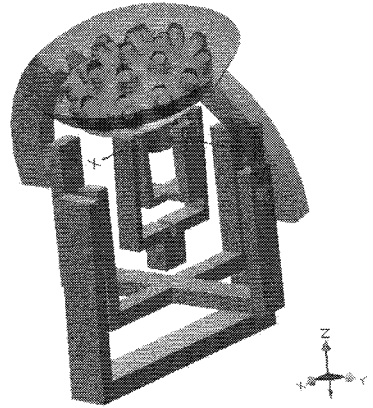
第 15 圖



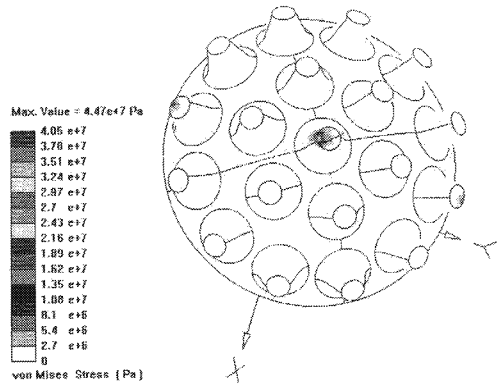
第 16 圖



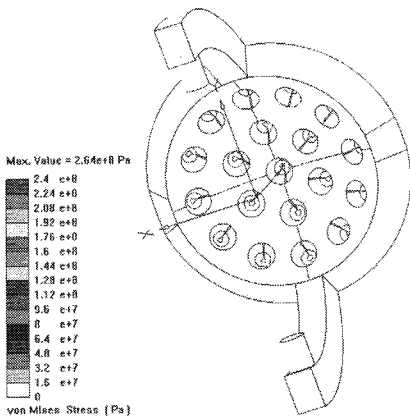
第 18 圖



第 17 圖



第 19 圖



第 20 圖