



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

12-10 اسفند ماه 1388

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



انجمن مهندسی
ساخت و تولید ایران

مقاله کامل شفاهی

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی
نوشیروانی بابل

به دست آوردن پاسخی صریح برای چروکیدگی لبه صفحات گرد به کمک ورق گیر در طی فرآیند کشش عمیق با استفاده از تئوری تغییر شکل کوچک

فرزاد مویدیان^{۱*}، مهران کدخدایان^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد،

farzad_moayyedian@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مطالعه بر اساس مدل دو بعدی تنش صفحه‌ای و فانکشنال دو شاخه‌ای بر مبنای تئوری عمومی یکتایی هیل در مختصات قطبی، شرایط بحرانی چروکیدگی پلاستیک ورق گرد (تعداد موج‌های تشکیل شده و همچنین محدوده چروکیدگی لبه ورق) به کمک ورق گیر، طی فرآیند کشش عمیق به طور تحلیلی و به منظور بهبود نتایج قبلی که اغلب به طور عددی یا عددی-تحلیلی بوده‌اند، به دست آورده شده است. برای این منظور از روش‌های تحلیلی الاستوپلاستیک و انرژی استفاده شده است. در این تحلیل جهت به دست آوردن پاسخ صریح برای محدوده چروکیدگی، از تئوری تغییر شکل کوچک و همچنین تئوری تغییر شکل در پلاستیسیته استفاده شده است. به همین منظور ماده پلاستیک کامل در نظر گرفته شده و معیار تسلیم ترسکا در نظر گرفته شده است. در این تحقیق اثر ورق گیر نیز روی محدوده چروکیدگی ورق‌های آلومینیومی و فولادی با هم مقایسه شده است. نتایج تحلیلی به دست آمده با در نظر گرفتن اثر ورق گیر روی محدوده چروکیدگی به طور صریح می‌باشند و با این روش، محدوده دقیق‌تری برای شکل‌دهی ورق تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: چروکیدگی پلاستیک - فانکشنال دوشاخه‌ای - ورق گیر - تئوری تغییر شکل کوچک - فرآیند کشش عمیق



به دست آوردن پاسخی صریح برای چروکیدگی لبه صفحات گرد به کمک ورق گیر در طی فرآیند کشش عمیق با استفاده از تئوری تغییر شکل کوچک

فرزاد مویدیان^{1*}، مهران کدخدایان²

1- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، farzad_moayyedyan@yahoo.com

2- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مطالعه بر اساس مدل دو بعدی تنش صفحه ای و فانکشنال دو شاخه ای بر مبنای تئوری عمومی یکتایی هیل در مختصات قطبی، شرایط بحرانی چروکیدگی پلاستیک ورق گرد (تعداد موج های تشکیل شده و همچنین محدوده چروکیدگی لبه ورق) به کمک ورق گیر، طی فرآیند کشش عمیق به طور تحلیلی و به منظور بهبود نتایج قبلی که اغلب به طور عددی یا عددی-تحلیلی بوده اند، به دست آورده شده است. برای این منظور از روش های تحلیلی الاستوپلاستیک و انرژی استفاده شده است. در این تحلیل جهت به دست آوردن پاسخ صریح برای محدوده چروکیدگی، از تئوری تغییر شکل کوچک و همچنین تئوری تغییر شکل در پلاستیسیت استفاده شده است. به همین منظور ماده پلاستیک کامل در نظر گرفته شده و معیار تسلیم ترسکا در نظر گرفته شده است. در این تحقیق اثر ورق گیر نیز روی محدوده چروکیدگی ورق های آلومینیومی و فولادی با هم مقایسه شده است. نتایج تحلیلی به دست آمده با در نظر گرفتن اثر ورق گیر روی محدوده چروکیدگی به طور صریح می باشند و با این روش، محدوده دقیق تری برای شکل دهی ورق تعیین می شود.

واژه های کلیدی: چروکیدگی پلاستیک - فانکشنال دوشاخه ای - ورق گیر - تئوری تغییر شکل کوچک - فرآیند کشش عمیق

1- مقدمه

چروکیدگی از مهمترین معیارهای ساقط شدن در فرآیندهای شکل دهی ورق ها می باشد. تنش های مازاد فشاری سبب بروز پدیده چروکیدگی در فرآیندهای شکل دهی می شوند. در یک فرآیند کشش عمیق ورق گرد که به وسیله یک پانچ استوانه ای درون قالب کشیده می شود شکل (1)، لبه ورق گرد در معرض تنشهای کششی شعاعی و فشاری محیطی که در طول فرآیند ایجاد می شود، قرار می گیرد. جهت مطالعه تحلیلی، فرایند می تواند به صورت صفحه گرد با سوراخ مرکزی که لبه داخلی آن تحت تنش کششی قرار دارد مدل شود، شکل (2). برای ابعاد مشخص ضخامت و ابزار کشش، یک نسبت بحرانی ضخامت / قطر موجود می باشد، که بالاتر از آن تنش فشاری محیطی سبب بروز چروکیدگی الاستیک یا پلاستیک لبه ورق می شود. بنابراین یک مد نامطلوب تغییر شکل ایجاد می شود که خودش را به صورت موج های تولیدی در لبه ورق نشان می دهد شکل (3). جهت به دست آوردن شرایط بحرانی چروکیدگی، فانکشنال دوشاخه ای زیر توسط هاجینسون و بر اساس تئوری عمومی یکتایی هیل و دوشاخه ای شدن در مواد الاستوپلاستیک بیان شده است [1و2]:

$$F = \frac{1}{2} \iint (M_{ij} \kappa_{ij} + N_{ij} \varepsilon_{ij}^0 + N_{ij} w_{,i} w_{,j}) ds, \quad (1)$$

به قسمی که s ، نمایانگر ناحیه سطح میانی پوسته که در آن چروک ها پدیدار می شوند، می باشد. به علاوه t ، ضخامت پوسته، w ، تغییر مکان چروکیدگی عمود بر صفحه میانی و در جهت z ، u و v تغییر مکان های درون صفحه ای و در جهات r و θ ، N_{ij} ، نیروی غشایی، M_{ij} ، گشتاور (در واحد طول)، κ_{ij} ، تانسور کرنش خمشی (یا تانسور تغییر انحناء) و ε_{ij}^0 ، تانسور کرنش کشیدگی لایه میانی می باشند. این فانکشنال دو شاخه ای، انرژی کل برای وقوع چروکیدگی را نشان می دهد. اولین ترم این فانکشنال در صورت $i = j$ بیانگر انرژی خمشی و در صورت $i \neq j$ بیانگر انرژی پیچشی است. ترم دوم بیانگر



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

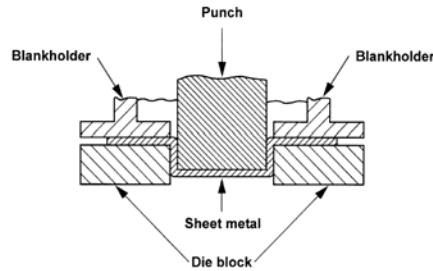
12-10 اسفند ماه 1388

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

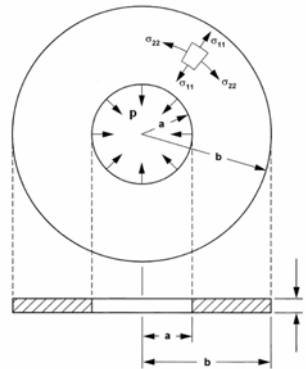


دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

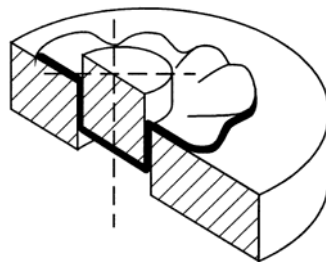
انرژی کرنشی به دلیل تنش های غشائی است و ترم سوم بیانگر کار انجام شده به وسیله تنش های اعمال شده به صفحه میانی ورق می باشد. برای تمام میدان های تغییر مکان u ، v و w ، اگر $F > 0$ باشد در این صورت جواب های تغییر شکل یکتا هستند و دوشاخه ای شدن غیر ممکن است، شرط $F = 0$ ، مطابق شرایط بحرانی برای بروز چروک ها برای برخی میدان های تغییر شکل غیر صفر می باشد [1-3].



شکل 1- فرآیند کشش عمیق با استفاده از پانچ استوانه ای



شکل 2- لبه ورق گرد به صورت صفحه گرد با سوراخ مرکزی که در لبه داخلی آن تحت تنش کششی شعاعی قرار گرفته، مدل شده است.



شکل 3- چروک های ایجاد شده در لبه ورق

2- تعاریف اولیه:



2-1- کرنش لاگرانژی با استفاده از تئوری تغییر شکل کوچک

هنگامی که سیستم مختصات بر روی سطح میانی ورق تغییر شکل نیافته (قبل از وقوع چروکیدگی) قرار گیرند، نقاط درون صفحه به وسیله دو مختصات r و θ که بر روی صفحه میانی قرار دارند و مختصات z ، عمود بر سطح میانی تغییر شکل نیافته تعیین می شوند، بنابراین K_{ij} ، کرنش خمشی (یا تغییر انحناء) در صفحه میانی در حالت سه بعدی به صورت زیر تعریف می شود،

$$K_{ij} = -W_{,ij}, \quad (2)$$

به قسمی که W ، تغییر مکان کمانش، عمود بر صفحه میانی و در جهت z ، می باشد. مولفه های K_{ij} ، برای صفحه گرد با سوراخ مرکزی و حالت تنش صفحه ای به صورت زیر می باشد،

$$\begin{cases} K_{11} = -\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}, \\ K_{22} = -\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}, \\ K_{12} = -\frac{1}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial \theta} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial \theta}. \end{cases} \quad (3)$$

ε_{ij} ، تانسور لاگرانژی کرنش با توجه به تئوری تغییر شکل کوچک برای هر نقطه درون ورق با فاصله z از سطح خنثی به صورت زیر محاسبه می شود،

$$\varepsilon_{ij} = z K_{ij}. \quad (4)$$

برآیند نیروها و گشتاورها نیز در حالت کلی برای صفحه ای به ضخامت t ، به صورت زیر تعریف می گردند،

$$\begin{cases} N_{ij} = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} \sigma_{ij} dz, \\ M_{ij} = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} \sigma_{ij} z dz. \end{cases} \quad (5)$$

2-2- معادله مشخصه در حالت الاستیک-پلاستیک کامل

چنانچه می دانیم، دو نوع تئوری تغییر شکل کلی و نموی در پلاستیسیته وجود دارد. در تئوری تغییر شکل رابطه تنش-کرنش به تاریخچه بارگذاری بستگی ندارد. در این تئوری حالت تنش، σ_{ij} ، به طور منحصر به فرد به حالت کرنش کلی و ε_{ij} مربوط می شود و کرنش پلاستیک، ε_{ij}^p ، در طول فرآیند تغییر شکل پلاستیک تعیین می گردد. به دلیل سادگی نسبی، این تئوری به طور وسیعی در مهندسی و مسائل الاستیک-پلاستیک مورد استفاده قرار می گیرد. ارزش عمومی این تئوری به بارگذاری تدریجی تحت شرایط زیر بستگی دارد،

1- مولفه های تنش در طی فرآیند بارگذاری تقریباً به طور تناسبی افزایش یابند.

2- در طی فرآیند تغییر شکل پلاستیک باربرداری وجود نداشته باشد.

در تئوری نموی، بر خلاف تئوری تغییر شکل، وابستگی رابطه تنش-کرنش به تاریخچه بارگذاری حائز اهمیت می باشد. در این تئوری، نمو کرنش پلاستیک، $d\varepsilon_{ij}^p$ ، به نمو تنش، $d\sigma_{ij}$ ، در طی فرآیند تغییر شکل پلاستیک مرتبط می شود. بارگذاری در



صفحه گرد با سوراخ مرکزی تمامی شرایط تئوری تغییر شکل را دارا می باشد. بنابراین به دلیل سادگی و دارا بودن شرایط، استفاده از تئوری تغییر شکل نسبت به تئوری نمودی ارجحیت پیدا می کند [4]. اکنون فانکشنال ذکر شده برای بررسی چروکیدگی پلاستیک صفحات گرد با سوراخ مرکزی، با استفاده از تئوری تغییر شکل کوچک به دست می آیند، برای به دست آوردن این فانکشنال به ترتیب ذیل عمل می کنیم، معادله مشخصه برای ماده الاستیک-پلاستیک و مطابق تئوری تغییر شکل در حالت سه بعدی به صورت زیر می باشد،

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl}^{ep} \varepsilon_{kl} , \quad (6)$$

به قسمی که L_{ijkl}^{ep} برای ماده کاملاً پلاستیک در حالت سه بعدی به صورت زیر است [4]،

$$L_{ijkl}^{ep} = L_{ijkl}^e - \frac{L_{ijkl}^e \frac{\partial f}{\partial \sigma_{mn}} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{pq}} L_{pqkl}^e}{\frac{\partial f}{\partial \sigma_{rs}} L_{rstu}^e \frac{\partial f}{\partial \sigma_{tu}}} . \quad (7)$$

برای به دست آوردن L_{ijkl}^{ep} به دلیل سادگی و داشتن حل تحلیلی، می توان از معیار تسلیم ترسکا $f = \sigma_r - \sigma_\theta - Y = 0$ استفاده کرد. در نتیجه می توان با بسط معادله (6) به ازای $i, j = 1, 2, 3$ و ساده کردن عبارت به دست آمده برای حالت تنش صفحه ای (یعنی قرار دادن $\sigma_{33}, \tau_{13}, \tau_{23}$ برابر با صفر) و همچنین استفاده از معادلات (7) و معیار تسلیم ترسکا L_{ijkl}^{ep} را به دست آورد. بدین شکل می توان به رابطه مشخصه الاستیک-پلاستیک ساده ای بر اساس تئوری تغییر شکل در پلاستیسیته و معیار تسلیم ترسکا در حالت تنش صفحه ای دست یافت، که به صورت زیر می باشد،

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E}{2(1-\nu)} & \frac{E}{2(1-\nu)} & 0 \\ \frac{E}{2(1-\nu)} & \frac{E}{2(1-\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} . \quad (8)$$

3- بررسی تحلیلی چروکیدگی لبه پلاستیک صفحات گرد با سوراخ مرکزی در فرآیند کشش عمیق

با جایگذاری معادله (4) در (6) و قرار دادن نتیجه آن در معادلات (5)، برآیند نیروها و گشتاورها به صورت زیر به دست می آیند،

$$\begin{cases} N_{ij} = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} \sigma_{ij} dz = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} L_{ijkl}^{ep} z \kappa_{kl} dz = 0, \\ M_{ij} = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} \sigma_{ij} z dz = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} L_{ijkl}^{ep} \kappa_{kl} z^2 dz = \frac{t^3}{12} L_{ijkl}^{ep} \kappa_{kl} . \end{cases} \quad (9)$$

در این حالت فانکشنال کلی (1) در مختصات قطبی و با شرایط ذکر شده به صورت زیر تبدیل می شود،



$$F(w) = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_a^b \left(\frac{t^3}{12} L_{ijkl}^{ep} \kappa_{ij} \kappa_{kl} + t \sigma_{ij} w_{,i} w_{,j} \right) r dr d\theta + \frac{1}{2} K w_{\max}^2 \quad (10)$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_a^b \frac{t^3}{12} L_{ijkl}^{ep} \kappa_{ij} \kappa_{kl} r dr d\theta + \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_a^b t \sigma_{ij} w_{,i} w_{,j} r dr d\theta + \frac{1}{2} K w_{\max}^2.$$

هنگامی که از ورق گیر نوع فنری استفاده شود و با فرض این که ثابت ورق گیر K باشد، نیروی کل فنر به صورت زیر تعریف می گردد [5].

$$S = K \pi (b^2 - a^2). \quad (11)$$

در حالی که حد اکثر خیز به صورت زیر می باشد،

$$w_{\max} = c(r-a)(1 + \cos n\theta) \Big|_{r=a}^{\theta=0} = 2c(b-a). \quad (12)$$

در نتیجه انرژی ذخیره شده در ورق گیر نوع فنری به صورت زیر قابل محاسبه می باشد.

$$\frac{1}{2} K w_{\max}^2 = \frac{S}{2\pi(b^2 - a^2)} 4c^2(b-a)^2 = \frac{2}{\pi} c^2 S \frac{1-m}{1+m}. \quad (13)$$

با بسط عبارت (10) به ازای $i, j = 1, 2$ و جایگذاری مقدار κ_{ij} از رابطه (3) در آن و همچنین استفاده از معادله (13)، فانکشنال به صورت رابطه زیر تبدیل می شود،

$$F = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_a^b \left\{ \frac{t^3}{12} [L_{1111}^{ep} (\frac{\partial^2 w}{\partial r^2})^2 + 2L_{1122}^{ep} (\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}) (\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}) + L_{2222}^{ep} (\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2})^2 + 4L_{1212}^{ep} (\frac{1}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial \theta} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial \theta})^2] \right\} r dr d\theta$$

$$+ \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_a^b \left\{ t [\sigma_r (\frac{\partial w}{\partial r})^2 + \sigma_\theta (\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta})^2] \right\} r dr d\theta + \frac{2}{\pi} c^2 S \frac{1-m}{1+m}.$$

برای محاسبه انتگرال های معادله (14) به تغییر مکان w (که توابعی از r و θ می باشند) و همچنین توزیع تنش نیاز است. اکنون میدان تغییر مکان لبه ورق های گرد سوراخ دار به صورت زیر فرض می شوند [5 و 6].

$$w(r, \theta) = c(r-a)(1 + \cos n\theta) \quad (15)$$

به قسمی که c ، مقداری ثابت و n تعداد موج تشکیل شده در لبه ورق می باشند. واضح است که هر مد قابل قبول، شرط مرزی، $w=0$ را در لبه داخلی $r=a$ ، و همچنین قید $w(r, \theta) \geq 0$ را برای $a \leq r \leq b$ ارضاء می نماید. برای به دست آوردن تعداد موج و بار بحرانی چروکیدگی از طریق فانکشنال به دست آمده، به توزیع تنش در صفحه میانی ورق گرد پلاستیک با سوراخ مرکزی که لبه داخلی آن تحت تنش کششی p قرار دارد، قبل از وقوع چروکیدگی (یعنی حالتی که مسئله تقارن هندسی دارد، $v=0$ و $\frac{\partial}{\partial \theta}=0$)، نیاز می باشد [5].

$$\begin{cases} \sigma_r = Y \ln(\frac{b}{r}) > 0, \\ \sigma_\theta = Y [\ln(\frac{b}{r}) - 1] < 0. \end{cases} \quad (16)$$



با جایگذاری معادلات (15) و (16) در فانکشنال (14) و انتگرال گیری از آن و قرار دادن $m = \frac{a}{b}$ و صلابت خمشی

فانکشنال (14) به صورت زیر تبدیل می شود، $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$

$$F = \frac{t^3 c^2 E \pi}{96(1-\nu^2)} G^{ep}(m, n, \nu) + \frac{t \pi b^2 c^2 Y}{8} H^{ep}(m, n) + \frac{2}{\pi} c^2 S \frac{1-m}{1+m}. \quad (17)$$

به قسمی که

$$\begin{cases} G^{ep}(m, n, \nu) = (1+\nu)[-m^2 + 4m + 2\ln(\frac{1}{m}) - 3]n^4 + 4[-(1-\nu)m^2 + (1+\nu) \\ (\ln(m) - m) + 2]n^2 + 6\ln(\frac{1}{m})(1+\nu), \\ H^{ep}(m, n) = 2\{[(\ln(\frac{1}{m}))^2 + \ln(\frac{1}{m}) + \frac{1}{2}]m^2 - \frac{1}{2}\}n^2 + 3[(2\ln(m) - 1)m^2 + 1]. \end{cases} \quad (18)$$

شرط بحرانی برای چروکیدگی بحرانی $F=0$ می باشد، لذا داریم،

$$Y = -\frac{\frac{G^{ep}}{4} + (\frac{2}{\pi})^2 \frac{S}{D} \frac{1-m}{1+m}}{3(\frac{b}{t})^2 \frac{(1-\nu^2)}{E} H^{ep}}. \quad (19)$$

برای ساده سازی می توان نوشت $\psi = \frac{S}{D}$

$$\sqrt{\frac{E}{Y} \frac{t}{b}} = \sqrt{-3(1-\nu^2) \frac{H^{ep}}{\frac{G^{ep}}{4} + (\frac{2}{\pi})^2 \psi \frac{1-m}{1+m}}}. \quad (20)$$

هنگامی که

$$\sqrt{\frac{E}{Y} \frac{t}{b}} < \sqrt{-3(1-\nu^2) \frac{H^{ep}}{\frac{G^{ep}}{4} + (\frac{2}{\pi})^2 \psi \frac{1-m}{1+m}}}. \quad (21)$$

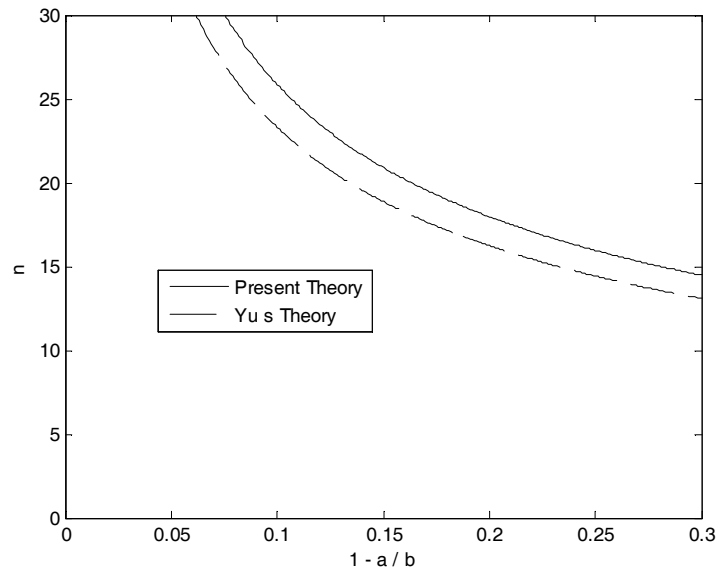
چروکیدگی رخ خواهد داد.

برای مشخص کردن تعداد موج بحرانی به شرط دیگری هم نیاز است که به دو صورت زیر قابل نمایش می باشد [6].

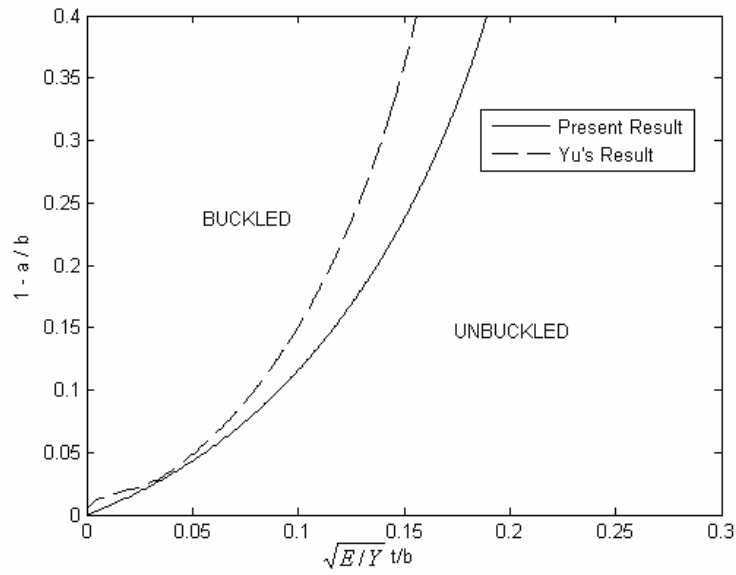
$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial n} = 0, \\ or \\ \frac{\partial Y}{\partial n} = 0. \end{cases} \quad (22)$$



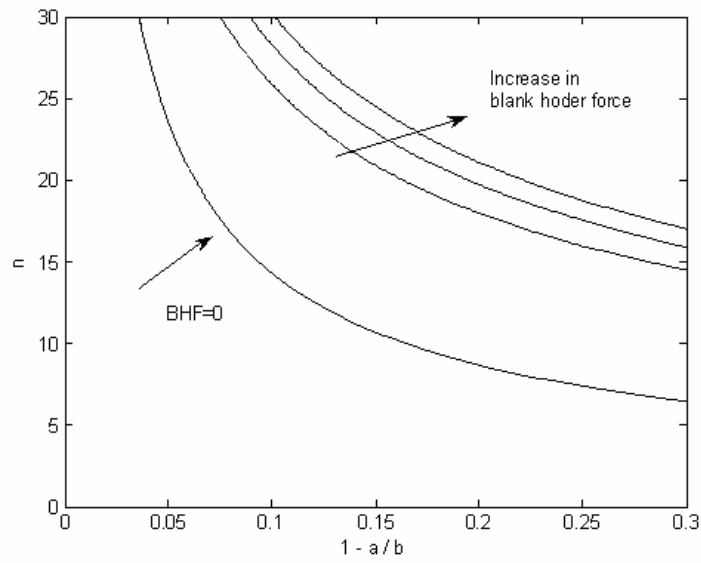
معادله (22)، دارای 5 ریشه برای n است، ولی تنها یکی از آن ها در بازه مورد نظر $1 - \frac{a}{b}$ منطقی و قابل قبول می باشد. در شکل (4) با در نظر گرفتن $v = 0.3$ و $\psi = 4000$ ، n (ریشه مورد نظر معادله (22)) بر حسب $1 - \frac{a}{b}$ رسم شده و با نتیجه یو مقایسه شده است [6]. پس از یافتن $n_{critical}$ با قرار دادن آن در معادله (20)، $Y_{critical}$ نیز به دست خواهد آمد، که در شکل 5- $\sqrt{\frac{E t}{Y b}}$ را بر حسب $1 - \frac{a}{b}$ نشان داده شده و حاصل با نتایج یو [6] مقایسه شده است. در شکل های (6) و (7) با در نظر گرفتن سه حالت مختلف، $\psi = 4000$ ، $\psi = 6000$ و $\psi = 8000$ اثر تغییر نیروی ورق گیر روی تعداد موج ها و محدوده چروکیدگی در نظر گرفته شده است. همان طور که مشاهده می شود افزایش نیروی ورق گیر سبب افزایش تعداد موج ها در یک $1 - \frac{a}{b}$ مشخص و همچنین افزایش محدوده چروکیدگی می شود.



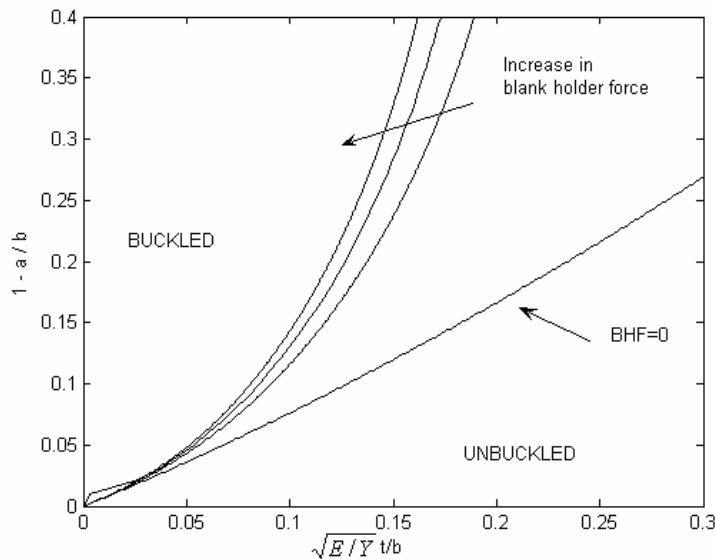
شکل 4- تعداد موج های تولید شده در چروکیدگی پلاستیک لبه ورق گرد تک لایه با ورق گیر.



شکل 5- محدوده چروکیدگی پلاستیک لبه ورق گرد تک لایه با استفاده از ورق گیر



شکل 6- اثر تغییر نیروی ورق گیر در تعداد موج ها در فرآیند کشش عمیق



شکل 7- اثر تغییر نیروی ورق گیر روی محدوده چروکیدگی

5- نتیجه گیری

در این تحقیق چروکیدگی پلاستیک لبه ورق به کمک ورق گیر بررسی شد. همان طور که مشاهده گردید، نتایج به دست آمده در این حالت نسبت به نتایج یو محدوده دقیق تری را برای شکل دهی صفحات مشخص می کند. به علاوه، یو در چروکیدگی پلاستیک فرضیات ساده شونده ای را به کار برده است که با واقعیت چندان سازگار نمی باشد. روش تحلیلی بکار گرفته شده به واقعیت نزدیک تر می باشد و نتایج دقیق تری را نسبت به تئوری های قبلی می دهد. شایان ذکر است که در این مطالعه به دست آوردن L_{ijkl}^{ep} بر اساس معیار تسلیم ترسکا سبب به وجود آمدن مولفه های ساده ای برای آن شده است. تفاوت مقادیر به دست آمده با سایر مولفین با افزایش $1 - \frac{a}{b}$ ، افزایش می یابد چرا که حل انجام شده بر خلاف حل یک بعدی برخی مولفین، دوبعدی می باشد که به واقعیت نزدیک تر است. در ضمن در مطالعه فعلی، اثر ورق گیر به کمک افزودن انرژی ورق گیر به فانکشنال اولیه در نظر گرفته شد و همچنین تغییر نیروی آن نیز بر روی محدوده چروکیدگی بررسی گردید.

مراجع

- Hill, R., "A general theory of uniqueness and stability in elastic/plastic solids", Journal of Mechanics and Physics of Solids, pp. 6-236, 1958.
- Hutchinson, J.W., "Plastic buckling. Advances in Applied Mechanics", pp. 14-67, 1974.
- Wang, C., Kinzel G., and Altan T., "Wrinkling criterion for an isotropic shell with compound curvatures in sheet forming", International Journal of Mechanical Sciences, pp. 945-960, 1994.
- Khan, A., and Hung, S., Continuum theory of plasticity, John Wiley & sons, (1995).
- Yu, T. X., and Johnson, W., "The buckling of annular plates in relation to deep-drawing process", International Journal of Mechanical Sciences, pp. 175-88, 1982.
- Chu, E., and Xu, Y., "An elastoplastic analysis of flang wrinkling in deep drawing process", Journal of Mechanics and Physics of Solids, pp. 1421-1440, 2001.



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

12-10 اسفند ماه 1388

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل