http://mme.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

شهریور ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۶ ص‌ص ۹۶-۱۰۲

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۱/۷/۲۳
تاریخ پذیرش ۹۱/۱۲/۸
ارائه در سایت ۹۲/۳/۳۰

شبیه‌سازی عددی فرایندهای برش و برش دقیق به کمک مدل آسیب نرم لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ

فرهاد حاجی ابوطالبی

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان
اصفهان، صندوق پستی ۸۱۷۴۶-۷۳۴۴۱، F.Hajiaboutalebi@eng.ui.ac.ir

چکیده- آسیب فلزات، فرایند فیزیکی پیشرونده‌ای است که در نهایت منجر به شکست آنها می‌شود. دراین تحقیق ابتدا، مدل کوپله الاستیک-پلاستیک- آسیب نرم لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ توسعه داده شده و به صورت یک زیربرنامه در کد آباکوس صریح پیاده‌سازی می‌شود. سپس با انجام آزمایش‌های کشش استاندارد و ریزسختی سنجی ویکرز، خواص مکانیکی و آسیب برای فولاد St۱۴ تعیین می‌شود. برای ارزیابی مدل آسیب و هم چنین خواص تعیین شده، فرایندهای برش و برش دقیق توسط مدل در دو حالت تئوری تغییر شکل‌های بزرگ و کوچک شبیه‌سازی می‌شوند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌های عددی و گزارش‌های تجربی نشان می‌دهد که مدل آسیب نرم لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ می‌تواند به دقت رشد آسیب، شروع، گسترش ترک و شکست نرم را در فرایندهای شکل‌دهی فلز با تغییر شکل‌های بزرگ پیش‌بینی نماید.

کلیدواژگان: مدل آسیب نرم لمتر، تئوری تغییر شکل‌های بزرگ، فرایندهای برش و برش دقیق، شکست نرم.

Numerical simulation of cutting and fine cutting processes by lemaitre's ductile damage model in conjunction with large deformation theory

F. Haji Aboutalebi

Assis. Prof., Mech. Eng. Dept., Isfahan Univ., Isfahan, Iran.
P. O. B. 81746-73441 Isfahan, Iran. F.Hajiaboutalebi@eng.ui.ac.ir

Abstract- Damage of metals is a progressive physical process which finally leads to the failure of them. In this study, first, a coupled elastic- plastic- Lemaitre's ductile damage model combined with large deformations theory is developed and implemented as a subroutine into ABAQUS/EXPLICIT code. Then, by performing standard tensile and Vickers micro-hardness tests, mechanical and damage properties for St14 steel are determined. For validation of the damage model and also identified properties, cutting and fine cutting processes are simulated by the model in two cases of large and small deformation theories. Comparison of the numerical simulation results and experimental reports show that Lemaitre's ductile damage model combined with large deformation theory can accurately predict damage evolution, crack initiation, propagation, and ductile fracture in the metal forming processes with large deformations.

Keywords: Lemaitre's Ductile Damage Model, Large Deformations Theory, Cutting and Fine Cutting Processes, Ductile Fracture.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر تئوری‌های زیادی با هدف پیش‌بینی استحکام مواد به وجود آمده که از میان آنها پلاستیسیته پیوسته و مکانیک شکست معروف تر هستند. مکانیک آسیب پیوسته،

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]

ابزار جدیدی در مهندسی مکانیک به شمار می‌آید. اساس تئوری معمولاً به کاچانوف (۱۹۵۸) نسبت داده می‌شود [۱]. امروزه مکانیک آسیب به عنوان عضو مهمی‌از خانواده تئوری مکانیک پیوسته که متمم تئوری پلاستیسیته و مکانیک شکست است، محسوب می‌شود.

در مواد نرم معمولاً پراکندگی ناحیه پلاستیک در مقایسه با ابعاد جسم قابل توجه است. بنابراین روش‌های سنتی مکانیک شکست که برای مدل کردن رشد ترک به کار گرفته می‌شوند، برای‌این مواد قابل استفاده نیست. آسیب فلزات، فرایند فیزیکی پیشرونده‌ای است که در نهایت باعث شکست آنها می‌شود. مکانیک آسیب، مطالعه‌ای است که کاهش تدریجی یا زوال ناگهانی مقاومت مکانیکی به واسطه بارگذاری، اثرات حرارتی یا شیمیایی را شامل می‌شود. آسیب ماده در حالت کلی تمام پدیده‌هایی که از ابتدا وجود داشته یا عیوبی نظیر ترک‌های جزیی که متعاقباً به وجود می‌آید را در نظر می‌گیرد. در مقیاس میکروسکوپی، آسیب تجمع ریزتنش‌ها در همسایگی عیوب یا ریزحفره‌ها و شکستن پیوندها می‌باشد. در مقیاس میانی، آسیب رشد، انعقاد ریزترک‌ها و بالاخره در مقیاس ماکروسکوپی، آسیب رشد ترک‌ها در نظر گرفته می‌شود.

آسیب به انواع نرم، ترد یا شبه ترد، خزشی و خستگی در سیکل‌های بارگذاری کم یا زیاد تقسیم بندی می‌شود. هرگاه آسیب همراه با تغییرشکل پلاستیک قابل توجه‌ای به وجود آمده باشد، آسیب نرم نامیده می‌شود.این پدیده به واسطه رشد و به هم پیوستن حفره‌ها در اثر تغییرشکل پلاستیک‌ایجاد می‌شود. رشد بیشتر تغییرشکل‌های پلاستیک باعث انعقاد حفره‌ها و در نتیجه شکست نرم می‌شود.

تاکنون برای مدل‌سازی آسیب نرم در مسائل الاستیک- پلاستیک مدل‌های مختلفی ارائه شده است. مفاهیم‌این مدل‌ها بر مبنای یک فرایند برگشت‌ناپذیر ترمودینامیکی بر حسب یک متغیر داخلی بنا شده است. یکی از متداول‌ترین مدل‌ها توسط لمتر (۱۹۸۵) پیشنهاد شده و در ادامه توسط وی و دیگر محققان توسعه یافته است [۲].این مدل، ابتدا برای رفتار ماده پلاستیک صلب ارائه گردید و سپس برای ماده با کارسختی همسان نیز تعمیم داده شد [۳]. این حالت برای پیش‌بینی رشد آسیب نرم در غیاب بارگذاری معکوس شونده (نظیر بسیاری از کاربردهای مهندسی) قابل استفاده است [۴]. با گسترش روش‌های تجربی و مدل‌های اجزای محدود، زمینه برای کاربرد مکانیک آسیب پیوسته در شبیه‌سازی فرایندهای شکل‌دهی فلزات فراهم شده است. از سال ۱۹۹۸ تاکنون، مکانیک آسیب برای تعیین مناطق آسیب دیده، پیش‌بینی نقاط شکست و تخمین نیروهای مورد نیاز در فرایندها، مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است.

به عنوان نمونه می‌توان به پیش‌بینی آسیب در فرایند کشش نمونه استوانه‌ای شیاردار توسط پرالو همکاران [۵]، تخمین مناطق آسیب دیده در فرایند اکستروژن توسط همبلی و بدی-لوت [۷،۶]، کنترل آسیب در فرایند هیدروفرمینگ توسط لابرگر و همکاران [۸] و بالاخره پیش‌بینی نقاط شکست در فرایند کشش عمیق ظروف گرد و مربعی توسط خلیفا و همکاران [۱۰،۹] اشاره کرد. در پژوهش‌های فوق، محققان از تئوری تغییر شکل‌های کوچک استفاده نموده، در صورتی که به علت تغییر شکل‌های شدید ماده در برخی از فرایندها،این تئوری نمی‌تواند به صورت دقیق رفتار تغییر شکل و آسیب ماده را دنبال کند.

دراین تحقیق ابتدا، مدل کوپله الاستیک- پلاستیک- آسیب لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ توسعه داده شده و به صورت یک زیربرنامه در کد آباکوس صریح پیاده‌سازی می‌شود. مدل توانایی پیش‌بینی رشد آسیب، شروع ترک، گسترش آن و شکست نرم در فرایندهای شکل‌دهی همراه با تغییر شکل‌های بزرگ را دارد. سپس، با انجام آزمایش‌های تجربی، خواص مکانیکی و آسیب مورد نیاز ماده جهت انجام شبیه‌سازی‌های عددی، تعیین می‌شود. برای ارزیابی مدل آسیب و خواص ماده، فرایندهای برش و برش دقیق در دو حالت استفاده از تئوری تغییر شکل‌های بزرگ و کوچک شبیه‌سازی شده، شروع ترک و گسترش آن در فرایندهای فوق مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌های عددی و گزارش‌های تجربی آشکار می‌کند که مدل آسیب نرم لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ قادر است با دقت مناسب رشد آسیب، شروع، گسترش ترک و شکست نرم را در فرایندهای شکل‌دهی با تغییر شکل‌های بزرگ پیش‌بینی کند.

۲- مدل آسیب نرم لمتر

مطابق مدل آسیب نرم لمتر و اصل کرنش معادل[1]، معادلات

1. Strain Equivalence Principle

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]

ساختاری برای مواد آسیب دیده و بدون آسیب دقیقاً یکسان بوده و تنها کافی است تنش کوشی با تنش مؤثر[1] جایگزین شود [۲]. رابطه بین تنش کوشی σ و تنش مؤثر $\tilde{\sigma}$ به صورت (۱) تعریف می‌شود:

$$\tilde{\sigma} = \frac{\sigma}{1-D} \qquad (۱)$$

در معادله فوق، D متغیر آسیب ماده است که بین صفر(ماده بدون آسیب) و یک(ماده کاملاً گسیخته شده) تغییر می‌کند. در مدل آسیب نرم لمتر، قانون رشد برای متغیر آسیب به شکل معادله (۲) بیان می‌شود:

$$\dot{D} = \dot{\gamma}\frac{1}{1-D}\left(\frac{-Y}{r}\right)^{s} \qquad (۲)$$

$\dot{\gamma}$ و Y به ترتیب، ضریب سازگاری پلاستیک[2] [۱۱] و نرخ رهایی انرژی آسیب[3] [۱۲] ماده بوده و به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شوند.

$$\dot{\gamma} \geq 0, \Phi \leq 0, \dot{\gamma}\Phi = 0 \qquad \Phi = \frac{\sigma_{eq}}{1-D} - (\sigma_{y0} + R(\varepsilon_{eq}^{P}))$$
$$-Y = \frac{\sigma_{eq}^{2}}{2E(1-D)^{2}}\left[\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu)\left(\frac{\sigma_{H}}{\sigma_{eq}}\right)^{2}\right] \qquad (۳)$$

Φ، σ_{eq}، σ_{y0}، σ_{H}، ε_{eq}^{P} و R به ترتیب، تابع تسلیم، تنش معادل، تنش تسلیم اولیه، تنش هیدرواستاتیک، کرنش پلاستیک معادل و تابع کارسختی همسان ماده می‌باشند. همچنین E، ν ضرایب یانگ، پواسون و r، s پارامترهای آسیب نرم ماده هستند که از آزمایش‌های تجربی حاصل می‌شوند. مطابق نتایج تجربی گزارش شده توسط لمتر و دیگر محققان، پارامتر s برای مواد نرم یک در نظر گرفته شده و پارامتر r می‌تواند از رابطه (۴) استخراج شود [۱۲].

$$r = \frac{\sigma^{2}}{2E(1-D)^{2}\left(\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}\varepsilon_{P}}\right)} \qquad (۴)$$

همچنین با استفاده از قانون جریان، قانون رشد برای کرنش‌های پلاستیک و کرنش پلاستیک معادل بر حسب تانسور تنش انحرافی S قابل بیان است:

$$\dot{\varepsilon}_{eq}^{P} = \dot{\gamma} \qquad \dot{\varepsilon}^{P} = \dot{\gamma}\frac{3}{2}\frac{S}{\sigma_{eq}} \qquad (۵)$$

1. Effective Stress
2. Plastic Consistency Coefficient
3. Strain Energy Release Rate

با انتگرال‌گیری صریح از معادلات کوپله فوق، الگوریتم مدل الاستیک- پلاستیک- آسیب لمتر در حالت تغییر شکل‌های کوچک به‌دست می‌آید. الگوریتم فوق بر پایه دو قسمت مجزای پیش‌بینی کننده الاستیک، تصحیح کننده پلاستیک که در پلاستیسیته محاسباتی کاربرد زیادی دارد، بنا شده است. با استفاده از الگوریتم فوق به همراه الگوریتم پلاستیک کرنش‌های محدود گرین- نقدی، الگوریتم مدل الاستیک- پلاستیک- آسیب لمتر در حالت تغییر شکل‌های بزرگ به‌دست می‌آید. جزئیات الگوریتم فوق اخیراً توسط نویسنده‌این مقاله و همکاران منتشر شده است [۱۳]. این الگوریتم توانایی پیش‌بینی رشد آسیب، شروع ترک، گسترش آن و شکست نرم در فرایندهای شکل‌دهی با تغییر شکل‌های بزرگ را دارد.

۳- آزمایش‌های تجربی

دراین تحقیق فولاد St۱۴، به دلیل شکل‌پذیری مناسب و کاربرد وسیع در صنایع شکل‌دهی ورق انتخاب شد. با انجام آزمون کشش استاندارد و با نرخ جابجایی یک میلی‌متر بر دقیقه، خواص مکانیکی ماده از قبیل ضریب یانگ، تنش تسلیم اولیه و تابع کارسختی همسان تعیین شد. همچنین با انجام آزمایش ریزسختی سنجی ویکرز تحت بار نفوذ ۰/۲ نیوتن، پارامتر آسیب r برابر با ۲/۵۳۲ مگا پاسکال و پارامتر آسیب بحرانی ماده، D_{cr} به میزان ۰/۴۳۴ استخراج گردید. پارامتر آسیب بحرانی ماده، بیشترین مقدار آسیبی است که ماده تحمل نموده تا دچارشکست نرم گردد. جزئیات انجام آزمایش‌های تجربی و روش تعیین پارامترهای فوق توسط نویسنده‌این مقاله و همکاران منتشر شده است [۱۴]. جدول ۱، خواص مکانیکی و آسیب به‌دست آمده از آزمایش‌های تجربی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ خواص مکانیکی و آسیب برای فولاد St۱۴

ضریب یانگ (GPa)	تنش تسلیم اولیه (MPa)	تنش نهایی (MPa)	پارامتر آسیب (MPa)	کارسختی (MPa)	آسیب بحرانی
۱۸۰	۱۵۹	۲۸۳	۲/۵۳۲	$۶۳۰(\varepsilon_{eq}^{P})^{۰/۴۶}$	۰/۴۳۴

۴- شبیه‌سازی اجزاء محدود

الگوریتم مدل کوپله الاستیک- پلاستیک- آسیب نرم لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ به صورت یک زیربرنامه در

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]

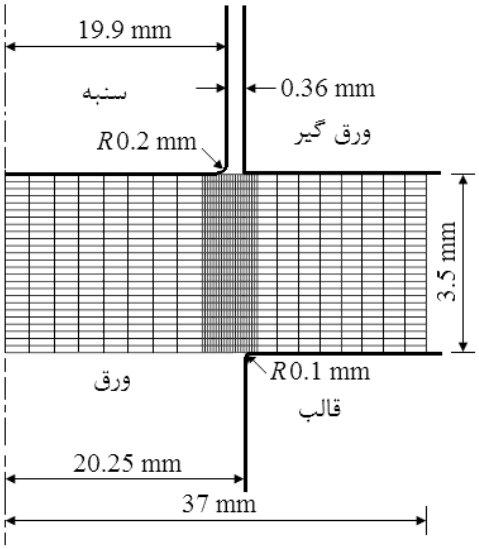
کد آباکوس صریح پیاده‌سازی شد. برای ارزیابی مدل و خواص ماده، فرایندهای برش و برش دقیق در دو حالت استفاده از تئوری تغییر شکل‌های بزرگ و کوچک شبیه‌سازی شده و با نتایج گزارش‌های تجربی مقایسه می‌شود. علت انتخاب فرایندهای فوق، به وجود آمدن تغییر شکل‌های بزرگ ورق در نواحی برش است.

۴-۱- شبیه‌سازی فرایند برش

فرایند برش ورق به طور وسیع در ساخت قطعات الکترونیکی و اجزای مکانیکی استفاده می‌شود. در خلال انجام‌این فرایند، ورق فلزی تحت تأثیر عوامل پیچیده‌ای مانند تغییر شکل، کارسختی، شروع ترک و گسترش آن قرار می‌گیرد. مدل‌سازی تئوری چنین فرایندی به علت پیچیدگی توصیف مراحل مختلف فرایند برش که از مرحله الاستیک شروع و به جدایی کامل ورق منجر می‌شود، بسیار مشکل است [۱۵]. رفتار ورق در خلال فرایند را می‌توان به پنج مرحله تقسیم کرد. در شروع فرایند ورق به داخل قالب هل داده شده و به صورت الاستیک شکل می‌گیرد. فرایند ادامه پیدا کرده تا ابتدا لایه‌های خارجی ورق و سپس همه لایه‌های ناحیه بین سنبه و قالب به استحکام تسلیم برسند. تغییر شکل پلاستیک باعث گرد شدن لبه ورق شده و دراین مرحله آسیب با جوانه‌زنی و رشد ترک‌ها شروع می‌شود. در بیشتر فرایندهای برش ورق، شکست نرم پس از تغییر شکل‌های برشی رخ داده که باعث زبر و ناهموار شدن سطح ورق بریده شده می‌شود [۱۶]. هم چنین آزمایش‌های عملی صورت گرفته بر روی فرایند، مکانیزم شکست ورق که شامل مراحل جوانه زنی، رشد و انعقاد ریزحفره‌ها است را تأیید می‌نماید [۱۷].

برای شبیه‌سازی فرایند برش ورق، هندسه فرایند مطابق با مراجع [۱۸-۲۰] انتخاب می‌شود. شکل ۱، هندسه و مدل اجزای محدود فرایند را نشان می‌دهد. مطابق شکل، ابتدا ورق‌گیر، ورق را ثابت نگه داشته، سپس با حرکت سنبه به سمت پایین، ورق بریده می‌شود.

به منظور حصول نتایج بهتر، در ناحیه بین سنبه و قالب (ناحیه ترک ورق)، از المان های ریزتر (به طول ۰/۱ میلی‌متر) در مقایسه با سایر نواحی استفاده می‌شود. همچنین ضریب اصطکاک بین ورق و سایر اجزاء (سنبه، قالب و ورق گیر) برابر با ۰/۱۵ و نیروی ورق‌گیر ۱۰ کیلو نیوتن اعمال می‌شود.



شکل ۱ هندسه و مدل اجزاء محدود فرایند برش ورق

شبیه‌سازی‌ها تا آن جا ادامه پیدا می‌کند که مقدار متغیر آسیب در المان ها به پارامتر آسیب بحرانی برسد. دراین صورت المان های بحرانی از تنش آزاد شده و قادر به تحمل تنش نخواهند بود. با استفاده از روش حذف المان های بحرانی، ترک‌ها قابل دیدن خواهند بود.

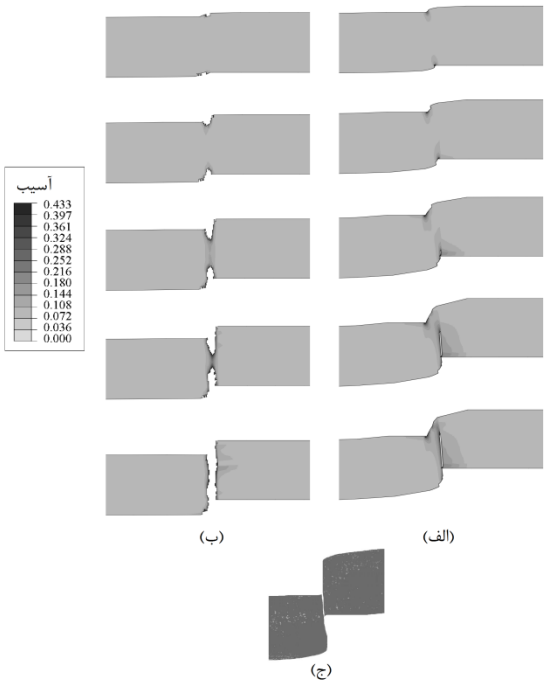
فرایند برش توسط دو زیربرنامه الاستیک- پلاستیک- آسیب همراه با تغییر شکل‌های کوچک و بزرگ شبیه‌سازی شده، نتایج عددی پیش‌بینی آسیب و شکست حاصل می‌شود.این نتایج به همراه نتایج تجربی مرجع [۲۰] در شکل ۲ آورده شده است. شکل، مراحل پیش‌بینی شروع ترک،گسترش آن و وقوع شکست نرم توسط دو زیربرنامه فوق را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج عددی و تجربی آشکار می‌کند که زیر برنامه تغییر شکل‌های کوچک نتوانسته به خوبی ایجاد ترک و برش ورق را در ناحیه بین سنبه و قالب دنبال نماید و تنها وقوع ترک‌های افقی در نواحی بالا، پایین و هم چنین ترک عمودی در ناحیه میانی را پیش‌بینی می‌کند. علت‌این امر، ایجاد تغییر شکل‌های الاستیک- پلاستیک بزرگ در ورق است که منجر به رشد آسیب، گسترش ترک و در نهایت وقوع شکست نرم می‌شود.

برخلاف زیربرنامه تغییر شکل‌های کوچک، زیر برنامه الاستیک- پلاستیک- آسیب همراه با تغییر شکل‌های بزرگ،ایجاد هم‌زمان ترک در نواحی بالا و پایین ورق، رشد آن در جهت عمودی (ضخامت ورق)، به هم پیوستن ترک‌ها و در

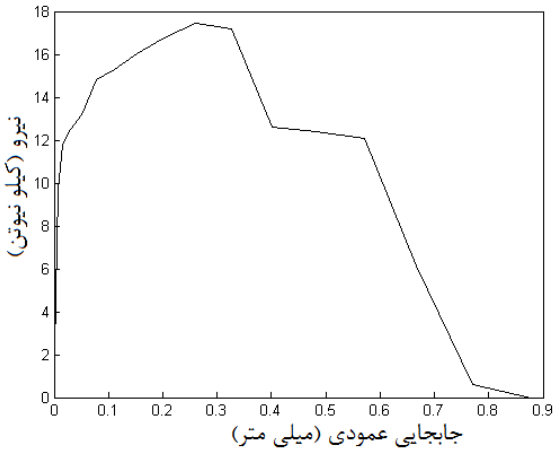
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]

نهایت برش ورق را به خوبی پیش‌بینی می‌نماید. لذا استفاده از الگوریتم تغییرشکل‌های بزرگ در شبیه‌سازی فرایندهای شکل‌دهی ورق که در معرض تغییرشکل‌های بزرگ قرار دارند، ضروری به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که علت اختلاف اندک بین نتایج عددی حاصله و نتایج تجربی مرجع [۲۰]، متفاوت بودن جنس ورق در دو حالت است.

همچنین شکل ۳ نمودار نیرو- تغییر مکان عمودی سنبه حاصل از زیر برنامه تغییر شکل‌های بزرگ را نشان می‌دهد. همان گونه که شکل بیان می‌کند، در ابتدای فرایند نیروی سنبه لازم برای برش ورق سریعاً رشد کرده و در آستانه برش ورق به مقدار بیشینه خود یعنی ۱۷/۴۱ کیلو نیوتن می‌رسد. با حرکت سنبه وایجاد ترک‌های اولیه در نواحی بالا و پایین ورق، از مقدار نیرو کاسته می‌شود. هم‌زمان با رشد ترک، نیرو باز هم افت کرده و پس از برش کامل ورق، مقدار آن به صفر می‌رسد. روند تغییرات نمودار نیرو- تغییر مکان عمودی سنبه به‌دست آمده کاملاً با نحوه تغییرات نیروی حاصل از نتایج شبیه‌سازی و عملی ارائه شده توسط مراجع [۱۸-۲۰] مطابقت و هم‌خوانی دارد.



شکل ۲ شروع ترک و شکست در فرایند برش ورق، الف- نتایج عددی زیربرنامه تغییرشکل‌های کوچک، ب- نتایج عددی زیربرنامه تغییرشکل‌های بزرگ و ج- نتایج تجربی مرجع [۲۰]



شکل ۳ نمودار نیرو- تغییرمکان عمودی سنبه

در روابط تئوری، مقدار نیروی بیشینه لازم برای برش ورق از رابطه (۶) قابل تخمین است [۲۱]:

$$F_{\max} = K_s l t \qquad (۶)$$

که در آن، K_s استحکام برشی[1]، l طول برش یافته و t ضخامت ورق می‌باشد. هم‌چنین برای مواد نرم، استحکام برشی حدوداً ۰/۸ استحکام کششی در نظر گرفته می‌شود. با جایگزینی مقادیر مربوطه در رابطه فوق، مقدار نیروی بیشینه لازم برای برش ورق ۱۵/۷۷ کیلو نیوتن تخمین زده می‌شود:

$$F_{\max} = 0.8 \times 283 \times 19.9 \times 3.5 = 15.77\text{kN} \qquad (۷)$$

بنابراین نیروی بیشینه حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی نسبت به مقدار تخمین زده شده از روابط تئوری در حدود ۱۰ درصد خطا دارد که با توجه به تقریبی بودن رابطه ۶، این میزان خطا قابل قبول است.

۴-۲- شبیه‌سازی فرایند برش دقیق

همان طور که ملاحظه شد، کیفیت لبه‌های بریده شده ورق در فرایند برش چندان مناسب نبوده و این لبه‌ها از صافی سطح بالایی برخوردار نمی‌باشند. برای به‌دست آوردن لبه‌های برش هموار، معمولاً فرایندهای ثانویه نظیر ماشین‌کاری مورد نیاز است که خود باعث افزایش زمان و هزینه‌های تولید می‌شود. فرایند برش دقیق، معمولاً در تولید قطعات ماشین‌های دقیق، هواپیماها و اتوموبیل که نیاز به محصولات بسیار دقیق و قابل اطمینان دارند استفاده می‌شود [۲۲].

دراین فرایند برای برش دقیق‌تر ورق، علاوه بر سنبه معمولی از

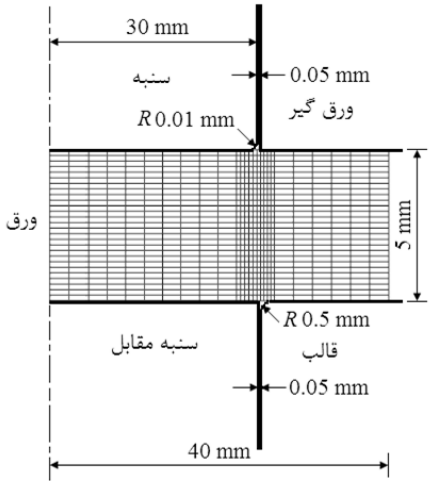
1. Shear Strength

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]

سنبه مقابل[1] نیز استفاده می‌شود. مشخصه‌های ویژه فرایند برش دقیق نسبت به فرایند برش معمولی، لقی اندک بین اجزا، اعمال فشار زیاد بر روی ورق توسط ورق گیر و وجود سنبه مقابل است. ویژگی‌های فوق باعث می‌شود که ترک در جهت ضخامت ورق و در یک مسیر نسبتاً صاف گسترش یابد. لذا، سطح برش هموار تقریباً تمام ضخامت ماده را در بر گرفته و دقت ابعادی زیادی حاصل می‌شود [۲۳].

برای شبیه‌سازی فرایند برش دقیق، هندسه فرایند مطابق با مرجع [۲۴] انتخاب می‌شود. شکل ۴، هندسه و مدل اجزای محدود فرایند را نشان می‌دهد. همان گونه که شکل بیان می‌کند، در مقایسه با فرایند برش معمولی شعاع نوک سنبه و قالب بسیار کوچک‌تر انتخاب می‌شود. ابتدا ورق‌گیر و سنبه مقابل، ورق را محکم فشرده کرده، سپس با حرکت سنبه به سمت پایین به دلیل وجود لقی بسیار کم بین سنبه و قالب، ورق به صورت کاملاً هموار بریده می‌شود. سنبه مقابل هم چنین وظیفه کنترل و هدایت بهتر ورق به داخل قالب را نیز به عهده دارد.

برای حصول نتایج بهتر، در ناحیه بین سنبه و قالب (ناحیه ترک ورق)، از المان‌های ریزتر (به طول ۰/۱ میلی‌متر) در مقایسه با سایر نواحی استفاده می‌شود. همچنین ضریب اصطکاک بین ورق و سایر اجزاء (سنبه، قالب، ورق‌گیر و سنبه مقابل) برابر با ۰/۱در نظر گرفته می‌شود.

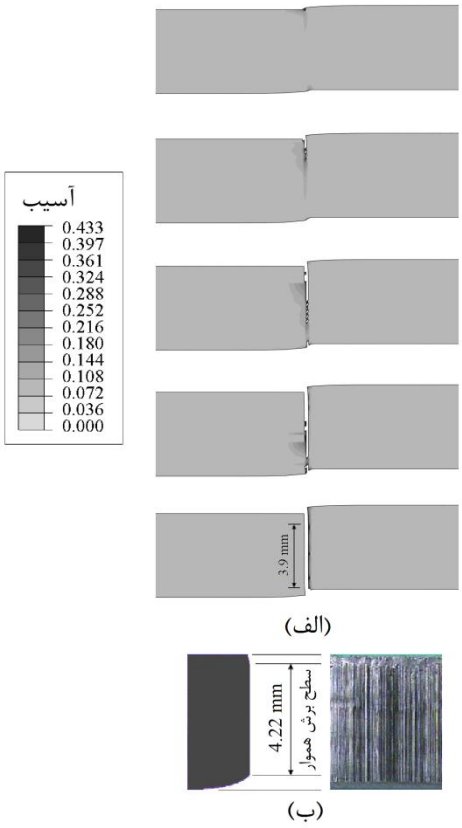


شکل ۴ هندسه و مدل اجزاء محدود فرایند برش دقیق

1. Counter Punch

نیروی ورق‌گیر و سنبه مقابل نیز به ترتیب برابر با۱۰۰ و ۳۰ کیلو نیوتن اعمال می‌شود. نیروی سنبه مقابل معمولاً در حدود یک سوم نیروی ورق‌گیر انتخاب می‌شود. فرایند برش دقیق توسط زیر برنامه الاستیک- پلاستیک- آسیب همراه با تغییر شکل‌های بزرگ شبیه‌سازی شده، نتایج عددی پیش‌بینی آسیب و شکست به‌دست می‌آید.این نتایج به همراه نتایج عددی و تجربی مرجع [۲۴] در شکل ۵ آورده شده است.

شکل ۵، مراحل پیش‌بینی شروع ترک، گسترش آن و وقوع شکست نرم توسط زیر برنامه فوق را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج عددی و تجربی آشکار می‌کند که به دلیل مقدار لقی کم بین اجزا، فشار بالای ورق‌گیر و وجود سنبه مقابل، پهنای برشی کمتر شده و ورق به صورت بسیار هموارتری در مقایسه با فرایند برش معمولی بریده می‌شود. مطابق شکل، طول ناحیه صاف و هموار ورق ۳/۹ میلی‌متر به‌دست آمده که تقریباً ۸۰٪ ضخامت ورق را شامل می‌شود.



شکل ۵ شروع ترک و شکست در فرایند برش دقیق، الف- نتایج عددی زیر برنامه تغییر شکل‌های بزرگ ب- نتایج عددی و تجربی مرجع [۲۴]

این طول، در نتایج عددی مرجع [۲۴]، ۴/۲۲ میلی‌متر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]

است که علت آن متفاوت بودن جنس ورق در دو حالت می‌باشد. بنابراین نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی از تطابق مناسبی با نتایج مرجع مذکور برخوردار است. در نتیجه، مدل آسیب نرم لمتر به همراه تغییر شکل‌های بزرگ مانند فرایند برش معمولی، در فرایند برش دقیق نیز با موفقیت رشد ترک و وقوع شکست نرم را دنبال نموده و صافی سطح قابل توجه ورق را پیش‌بینی می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری

دراین تحقیق ابتدا، مدل کوپله الاستیک- پلاستیک- آسیب نرم لمتر به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ توسعه داده شده و به صورت یک زیربرنامه در کد آباکوس صریح پیاده‌سازی گردید. سپس با انجام آزمایش‌های تجربی، خواص مکانیکی و آسیب ماده مورد نظر تعیین شد. برای ارزیابی مدل و خواص به‌دست آمده، فرایندهای برش و برش دقیق توسط مدل در دو حالت استفاده از تئوری تغییر شکل‌های بزرگ و کوچک شبیه‌سازی شد. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌های عددی و گزارش‌های تجربی نشان داد که مدل آسیب نرم به همراه تئوری تغییر شکل‌های بزرگ قادر است با دقت مناسب رشد آسیب، شروع، گسترش ترک و شکست نرم را در فرایندهای شکل‌دهی همراه با تغییر شکل‌های بزرگ پیش‌بینی نماید.

۶- مراجع

[1] Kachanov L., "Time of the Rupture Process underCreep Conditions", *Izv.Akad.Nauk.SSR.*, Vol. 8, No. 1, 1958, pp. 26-31.

[2] Lemaitre J., "A continuous Damage Mechanics Model for Ductile Fracture", *J. Eng. Mat. Tech.*, Vol. 107, No. 1, 1985, pp. 83-89.

[3] Lemaitre J., "Coupled Elasto-Plasticity and Damage Constitutive Equations", *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol. 51, No. 3, 1985, pp. 31-49.

[4] Andrade F.M., Cesar J.M.A., Costa Sousa L., Natal Jorge R.M., "Numerical Modeling of Ductile Plastic Damage in Bulk Metal Forming", *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 45, No. 2, 2003, pp. 273-294.

[5] Prahl U., Aboutayeb M., Weichert D., Achenbach U., Wang X., "Damage Evolution in Experiments and Simulation in a Construction Steel", *Comp. Mat. Sci.*, Vol. 16, No. 1-4, 1999, pp. 206-212.

[6] Hambli R., Badie-Levet D., "Damage and Fracture Simulation During the Extrusion Processes", *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol. 186, No. 1, 2000, pp. 109-120.

[7] Hambli R., Badie-Levet D., "Damage and Fracture Simulation During the Extrusion Processes", *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol. 86, No. 1, 2000, pp. 109-120.

[8] Labergere C., Lejeune A., Gelin J.C., "Control of Damage in Flanges Hydroforming", *Europ. Cong. Comp. Meth. Appl. Sci. Eng.*, 2004, pp. 24-28.

[9] Khelifa M., Oudjene M., Khennane A., "Fracture in Sheet Metal Forming: Effect of Ductile Damage Evolution", *Comp. Struc.*, Vol. 85, No. 3-4, 2007, pp. 205-212.

[10] Khelifa M., Oudjene M., "Numerical Damage Prediction in Deep-Drawing of Sheet Metals", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 200, No. 1, 2008, pp. 71-76.

[11] Simo J.C., Hughes T.J.R., *Computational Inelasticity*, Springer, 1991.

[12] Lemaitre J., *A Course on Damage Mechanics*, Springer Verlag, Berlin, 1992.

[13] Haji Aboutalebi F., Farzin M., Mashayekhi M., "Numerical Predictions and Experimental Validations of Ductile Damage Evolutionin Sheet Metal Forming Processes", *ActaMech. SolidaSinica*, Vol. 25, No. 6, 2012, pp. 638-650.

[14] Haji Aboutalebi F., Farzin M., Poursina M., "Numerical Simulation and Experimental Validation of a Ductile Damage Model for DIN 1623 St14 Steel", *Int. J. Adv. Manu. Tech.*, Vol. 53, No. 1, 2011, pp. 157-165.

[15] Taupin E., Breitling J., Wu W.T., Altan T., "Material Fracture and Burr Formation in Blanking Results of FEM Simulations and Comparison with Experiments", *J. Mater. Proc. Tech.*, Vol. 59, No. 1, 1996, pp. 68-78.

[16] Quazi T.Z., ShaikhR.S., "An Overview of Clearance Optimization in Sheet Metal Blanking Process", *Int. J. Mod. Eng. Res.*, Vol. 2, No. 6, 2012, pp. 4547-4558.

[17] Atkins A.G., "Possible Explanation for UnexpectedDepartures in Hydrostatic Tension Fracture Strain Relations", *Metal Sci.*, Vol. 15, No. 1, 1981, pp. 81-83.

[18] Cesar J.M.A., Areias P.M.A., Zheng C., "Damage Modeling in Metal Forming Problems Using an Implicit Non-Local Gradient Model", *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol. 195, No. 1, 2006, pp. 6646-6660.

[19] Hambli R., "Finite Element Model Fracture Prediction During Sheet-Metal Blanking Processes", *Enf. Fract. Mech.*, Vol. 68, No. 1, 2001, pp. 365-378.

[20] Hambli R., "Comparison Between Lemaitre and Gurson Damage Models in Crack Growth Simulation During Blanking Process", *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 43, No. 1, 2001, pp. 2769-2790.

[21] Wilson F.W., Harvey P.D., Gump C.B., *Die Design Handbook*, McGraw Hill, 1997.

[22] Kwak T.S., Kim Y.J., Seo M.K., Bae W. B., "The Effect of V-Ring Indenter on the Sheared Surface in the Fine-Blanking of Pawl", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 143-144, No. 1, 2003, pp. 656-661.

[23] Klocke F., Sweeney K., Raedt H.W., "Improved Tool Design for Fine-Blanking through the Application of Numerical Modeling Techniques", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 115, No. 1, 2001, pp. 70-75.

[24] Thipprakmas S., "Finite Element Analysis of V-ring Indenter Mechanism in Fine Blanking Process", *Mat. Des.*, Vol. 30, No. 1, 2009, pp. 526-531.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.6.12.4]