

شبیه سازی اکستروژن معکوس قطعات توخالی دایره ای با شکل خارجی چندضلعی

کارن ابری نیا*^۱ و سکینه اورنگی^۲

^۱ استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۱۲/۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۴/۱۶، تاریخ تصویب ۸۵/۷/۸)

چکیده

در این مقاله فرآیند اکستروژن معکوس برای تولید قطعات توخالی با شکل داخلی دایره ای از بیلت های با شکل خارجی چند ضلعی به صورت سه بعدی با نرم افزار ABAQUS شبیه سازی شده است. هدف از این کار بررسی تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل اصطکاک، درصد کاهش سطح مقطع، پیچیدگی شکل بر فرآیند و بدست آوردن الگوی تغییر شکل برای پیش بینی جریان مواد در فرآیند است. شبیه سازی اکستروژن معکوس بیلت های با مقاطع مربع، مستطیل، شش ضلعی منتظم و هشت ضلعی منتظم توسط پانچ های مدور صورت گرفته و نتایج به دست آمده به صورت نمودارهای بار اکستروژن و فشار نسبی بر حسب تغییرات درصد کاهش سطح مقطع و تغییرات ضریب اصطکاک ارائه شده اند. همچنین الگوی تغییر شکل شبکه در حین فرآیند، توزیع کانتورهای تنش و کرنش برای اکستروژن مقاطع مختلف ارائه شده اند. نتایج بدست آمده از این پژوهش با نتایج تجربی و تئوری دیگر پژوهشگران مقایسه شده و توافق خوبی مشاهده شده است.

واژه های کلیدی: شبیه سازی سه بعدی - اکستروژن معکوس - بیلت با شکل خارجی چندضلعی - سنبه مدور

مقدمه

[۵] برای قطعات توخالی با شکل داخلی بیضی از بیلت های دایروی روش تحلیلی با استفاده از توابع Dual stream ارائه داد. یانگ و هان [۶] با استفاده از conformal transformation، اکستروژن سه بعدی را تحلیل نمودند. اما فرمولهای حاصله نسبتاً پیچیده بوده و زمان بیشتری لازم بود. برای رفع این مشکل بائه و یانگ [۷] روش تحلیلی حد بالا را ارائه نمودند. بائه و یانگ [۸ و ۹] برای اکستروژن معکوس قطعات توخالی با شکل داخلی دلخواه از بیلت های دایروی و سپس برای تولید قطعات با شکل داخلی دایره از بیلت های با شکل خارجی دلخواه روش تحلیلی ارائه دادند. شیان و تارن فرآیند اخیر را با روش المانی حد بالا آنالیز نمودند [۱]. مشکسار و ابراهیمی [۱۰] این تحلیل را برای فرآیند اکستروژن معکوس قطعات توخالی با شکل داخلی و خارجی چند ضلعی منتظم ارائه دادند. ابری نیا و علمایی [۱۱] این فرآیند را برای تولید قطعات با شکل داخلی دایره به همراه انجام آزمایشهایی تحلیل کردند. در سالهای اخیر روش اجزا محدود بسیار مورد استفاده قرار گرفته است و گو و همکارانش [۱۲]، لی و همکارانش [۱۳] و چو و همکارانش [۱۴] در تحقیقات جداگانه با استفاده از این روش، فرآیند اکستروژن معکوس را تحلیل کردند.

فرآیند اکستروژن معکوس برای تولید قطعات توخالی با شکل داخلی دایره ای از بیلت های با شکل خارجی دلخواه در سالهای اخیر کاربرد زیادی یافته است. از جمله می توان به ساخت قطعات اتومبیلها و هواپیماها اشاره نمود. مزایای این فرآیند خواص مکانیکی، صافی سطح، دقت ابعادی بهتر، نرخ تولید بالا و هزینه کم محصول در مقایسه با سایر فرآیندهاست [۱]. در حین انجام فرآیند اکستروژن معکوس جریان ماده هم در سطح مقطع بیلت و هم در جهت طولی غیر یکنواخت است و این بدان معنی است که اکستروژن معکوس یک تغییر شکل سه بعدی است. به منظور آنالیز سه بعدی فرآیند اکستروژن معکوس در طی سه دهه گذشته محققین روشهای تحلیلی مختلفی ارائه داده اند. در سال ۱۹۶۱، کودو [۲] مطالعاتی بر روی فرآیند اکستروژن معکوس برای تولید قطعات با تقارن محوری انجام داد و می توان گفت که این بررسی اولین کار تحقیقی جدی بر روی این فرآیند بوده است. بعدها آویتزر و همکارانش [۳] و لو و آویتزر [۴] فعالیت های زیادی بر روی این فرآیند انجام دادند. نگپال

$$\begin{aligned} \rho &= 2780(\text{kg} / \text{m}^3) \\ E &= 73.1(\text{Gpa}) \\ \nu &= 0.33 \\ \sigma_y &= 78.5(\text{Mpa})[15] \end{aligned}$$

برای AA1100-O در حالت صلب- پلاستیک رابطه تنش- کرنش و خواص ماده به صورت زیر بیان می شود [۱]:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} &= 136 * \bar{\epsilon}^{0.254} (\text{Mpa}) \\ \rho &= 2715(\text{kg} / \text{m}^3) \\ E &= 68.9(\text{Gpa}) \\ \nu &= 0.33 \\ \sigma_y &= 34.5(\text{Mpa})[15] \end{aligned}$$

(۲)

بیلت مفروض چند ضلعی منتظم (n=4,8) و مستطیل شکل از ماده AA2024-O بوده که قطر دایره محیطی چندضلعی های منتظم 25 میلیمتر و ارتفاع 25 میلیمتر در نظر گرفته شده است. شبیه سازی با ماده AA1100-O برای بیلت شش ضلعی منتظم به ابعاد قطر دایره محیطی 20mm و ارتفاع 20mm در نظر گرفته شد. این تحلیل به صورت تحلیل دینامیکی صورت نیمه سه بعدی مدل شده، شرایط تماسی از نوع Tangential behavior-penalty، شرایط مرزی: Velocity/Angular Velocity، نوع المانها نیز المان پیوسته جامد هشت گرهی C3D8R فرض شده اند چون نسبت به سایر المانها در برابر اعوجاج حساسیت بیشتری دارند در نتیجه الگوی تغییر فرم دقیقتری نشان دادند. تعداد مشها در بیلت برای مقاطع مختلف از ۸۰۰۰-۱۰۰۰۰ متغیر می باشد. در کانتینر و قالب نوع المان R3D4 و تعداد مشها از ۵۰۰-۸۰۰ می باشد. شرایط مرزی برای بیلت، کانتینر و سنبه به این صورت است:

$$V_x = V_y = V_z = 0$$

- بیلت: صفحه پایینی در تماس با کانتینر
- کانتینر: ساکن
- سنبه: درجات آزادی جز در راستای قائم گرفته شده است.
- ضریب اصطکاک در تمام سطوح تماس بین سنبه - بیلت و بیلت - کانتینر برای بیلتهای مربعی، هشت ضلعی منتظم و مستطیل شکل m=0.1، و برای بیلت شش ضلعی منتظم m=0.2 فرض شد. راکورد بیلت در لبه های قطعه و لبه سنبه 0.5 میلیمتر و سنبه در فاصله 0.5 میلیمتر از سطح بیلت در آغاز فرآیند قرار گرفته است. فاصله بین بیلت و کانتینر نیز 0.2 میلیمتر فرض شده است. نتایج حاصل از این شبیه سازی برای درصد کاهش سطح مقطعهای مختلف در شکلهای (۱) تا (۱۵) آمده است.

در این مقاله فرآیند اکستروژن معکوس قطعه با شکل خارجی چند ضلعی و شکل داخلی دایره برای مواد AA1100-O و AA2024-O با خاصیت الاستیک- پلاستیک با نرم افزار ABAQUS شبیه سازی شده است. نتایج حاصله به صورت نمودار بار اکستروژن و فشارنسی در برابر تغییرات درصد کاهش سطح مقطع، الگوی تغییر فرم شبکه، توزیع کرنش موثر و کانتور تنش در چندضلعی های منتظم منتظم و مستطیل شکل به دست آمده و با نتایج عملی و تئوری سایر پژوهشگران مقایسه شده است.

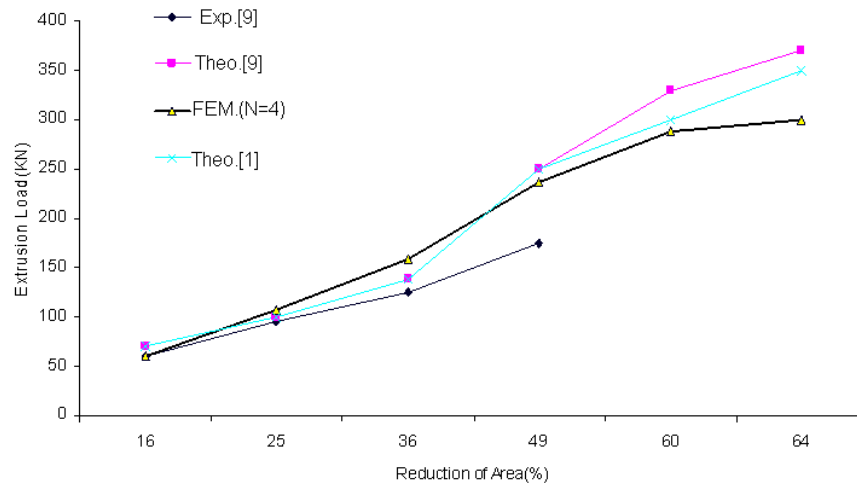
شبیه سازی المان محدود

به دلیل محدودیت روشهای تحلیلی تئوریکی اکستروژن معکوس مانند روش حد بالا که در آن نمی - توان میدان تنش را به دست آورد، روشهای تحلیل عددی به صورت گسترده ای توسعه یافته اند. با توجه به پیچیدگی جریان مواد در طول فرآیند شکل دهی فلزات، روش شبیه سازی FEM برای تحلیل این فرآیندها مناسب می باشد. روشهای FEM برای تحلیل تغییر شکل فلزات به دو روش الاستیک- پلاستیک و صلب- ویسکوپلاستیک تقسیم می شوند. انتخاب هرکدام از این روشها، بستگی به فرضیاتی دارند که با توجه به رفتار جریان مواد در نظر گرفته می شوند. انجام فرآیند به این صورت است که وقتی سنبه دایروی با سرعت ثابت در حالیکه کانتینر ساکن بوده به سمت بیلت با شکل دلخواه حرکت می کند، یک جسم توخالی و با شکل داخلی مقطع سنبه بر خلاف جهت حرکت سنبه به طرف بالا حرکت می کند. در این شبیه سازی، سنبه و محفظه قالب(کانتینر) به صورت جسم صلب در نظر گرفته شده و ماده بیلت نیز ایزوتروپیک، غیر قابل تراکم، و دارای رفتار الاستیک- پلاستیک فرض شده است. مواد مورد استفاده آلومینیوم AA1100-O و AA2024-O می باشند که برای حالت صلب - پلاستیک رابطه تنش- کرنش برای AA2024-O به صورت زیر بیان می شود [۹]:

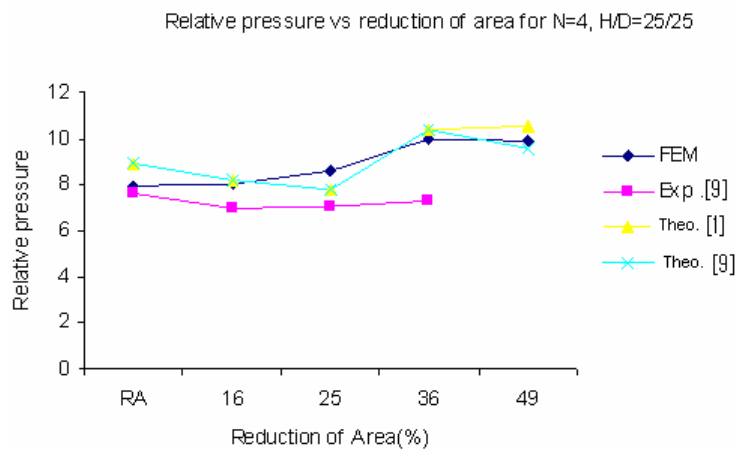
$$\bar{\sigma} = 292.77 * \bar{\epsilon}^{0.15} (\text{Mpa})$$

(۱)

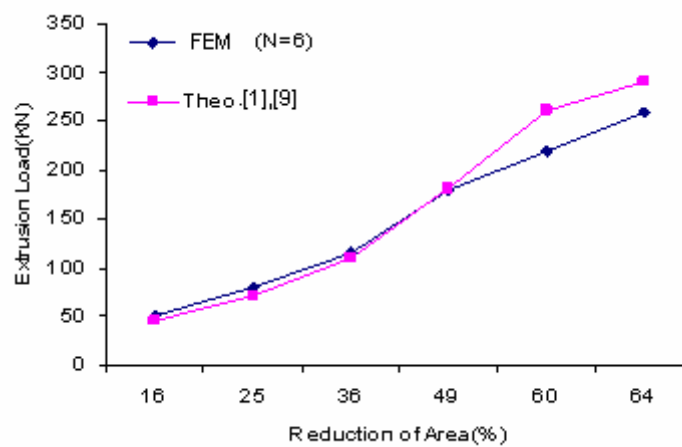
که در رابطه فوق $\bar{\sigma}$ و $\bar{\epsilon}$ به ترتیب تنش و کرنش موثر می باشند. خواص ماده به صورت زیر است:



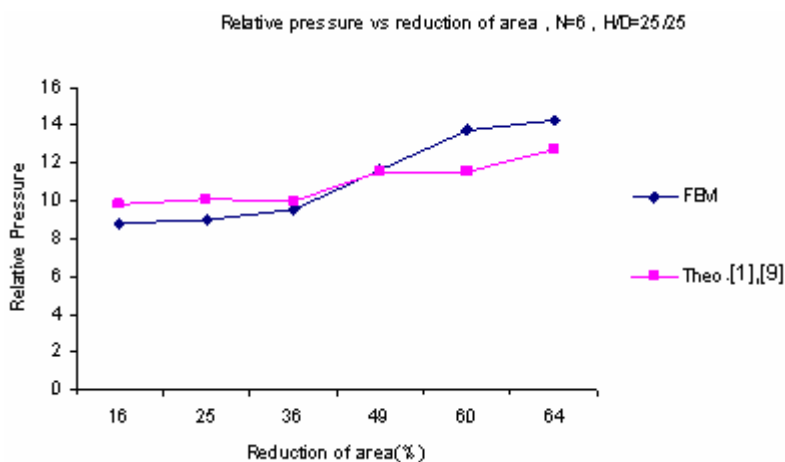
شکل ۱: تاثیر درصد کاهش سطح مقطع بر بار اکستروژن برای بیلت مربعی، سنجه دایروی و $m=0.1$.



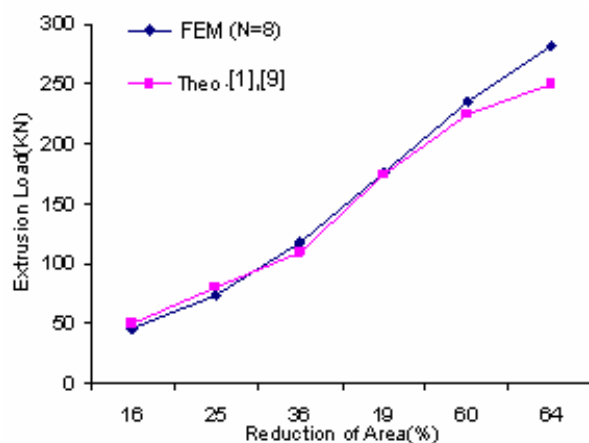
شکل ۲: تاثیر درصد کاهش سطح مقطع بر فشار نسبی برای بیلت مربعی، سنجه دایروی و $m=0.1$.



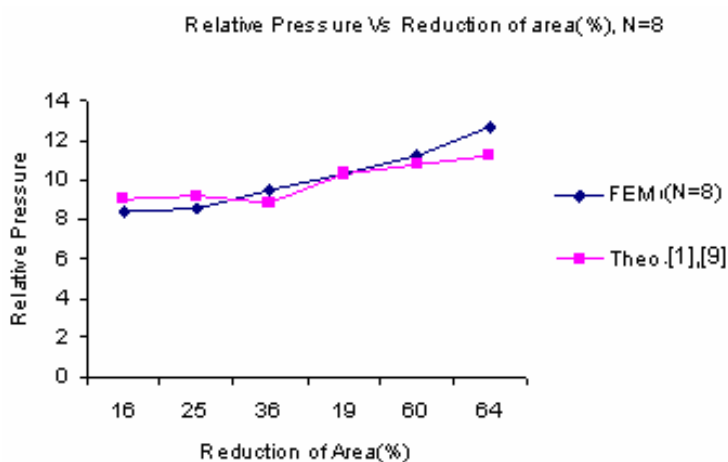
شکل ۳: تاثیر درصد کاهش سطح مقطع بر بار اکستروژن برای بیلت شش ضلعی منظم، سنجه دایروی و $m=0.1$.



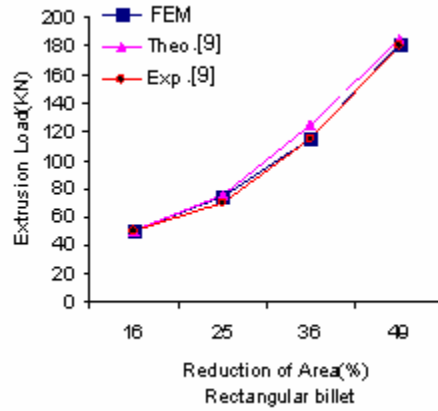
شکل ۴: تاثیر درصد کاهش سطح مقطع در برابر فشار نسبی برای بیلت شش ضلعی منتظم، سنبه دایروی و $m=0.1$.



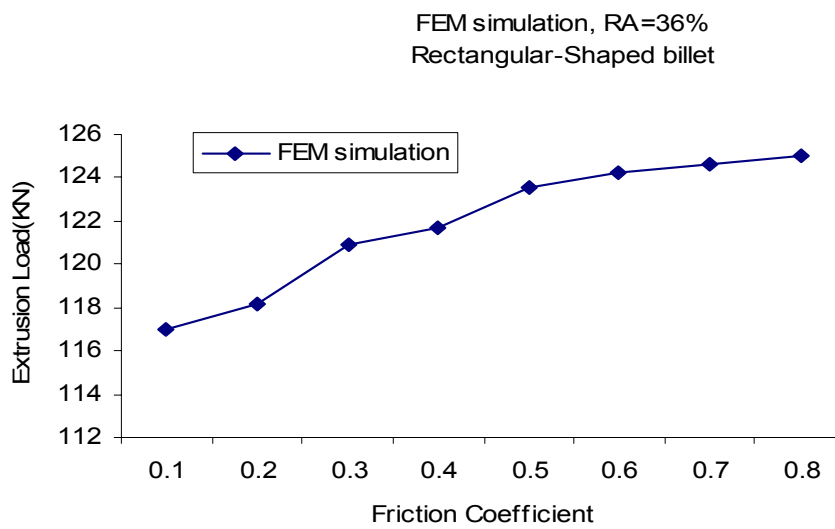
شکل ۵: تاثیر درصد کاهش سطح مقطع بر بار اکستروژن را برای بیلت هشت ضلعی منتظم، سنبه دایروی و $m=0.1$.



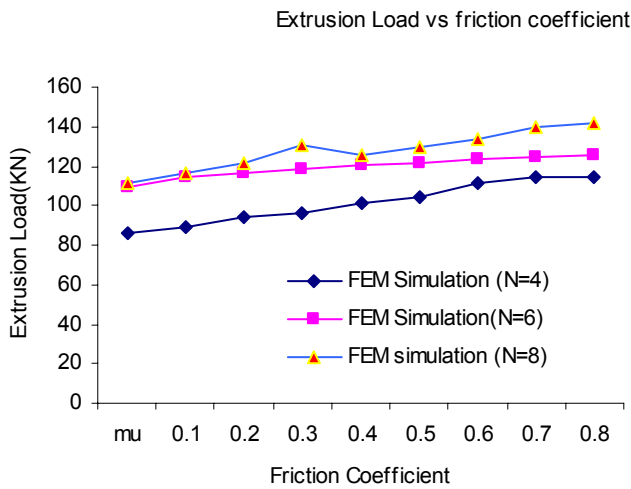
شکل ۶: تاثیر درصد کاهش سطح مقطع در برابر فشار نسبی برای بیلت هشت ضلعی منتظم، سنبه دایروی و $m=0.1$.



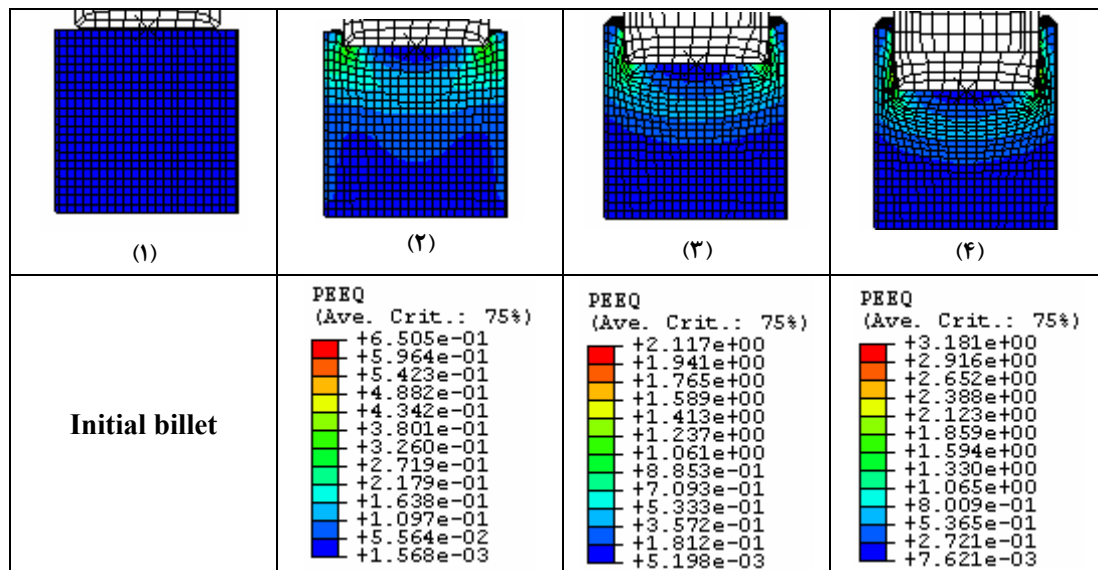
شکل ۷: افزایش نیرو در برابر افزایش درصد کاهش سطح مقطع برای قطعات توخالی با شکل خارجی مستطیل و شکل داخلی دایره.



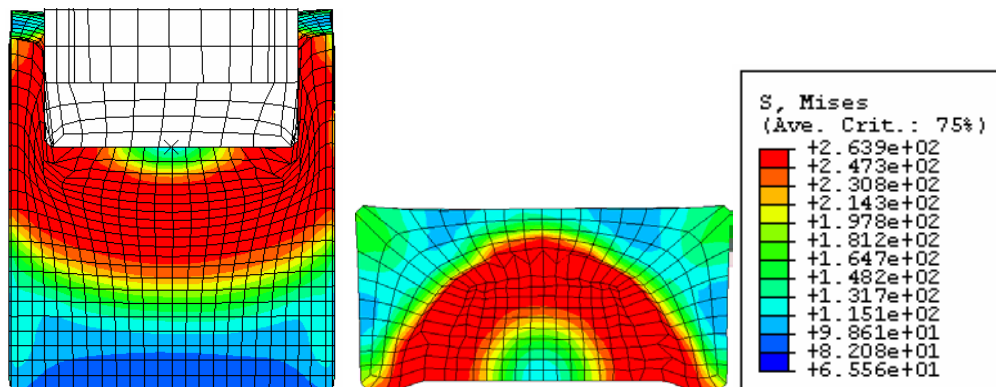
شکل ۸: تاثیر افزایش ضریب اصطکاک بر بار اکستروژن در بیلت مستطیلی.



شکل ۹: تاثیر افزایش ضریب اصطکاک بر بار اکستروژن برای چند ضلعی های منتظم با سنبه دایروی برای AA2024-O و RA=36%.



شکل ۱۰: توزیع کاننورهای کرنش پلاستیک معادل برای قطعه با شکل خارجی مربع و شکل داخلی دایره، $RA=49\%$ در چهار مرحله.



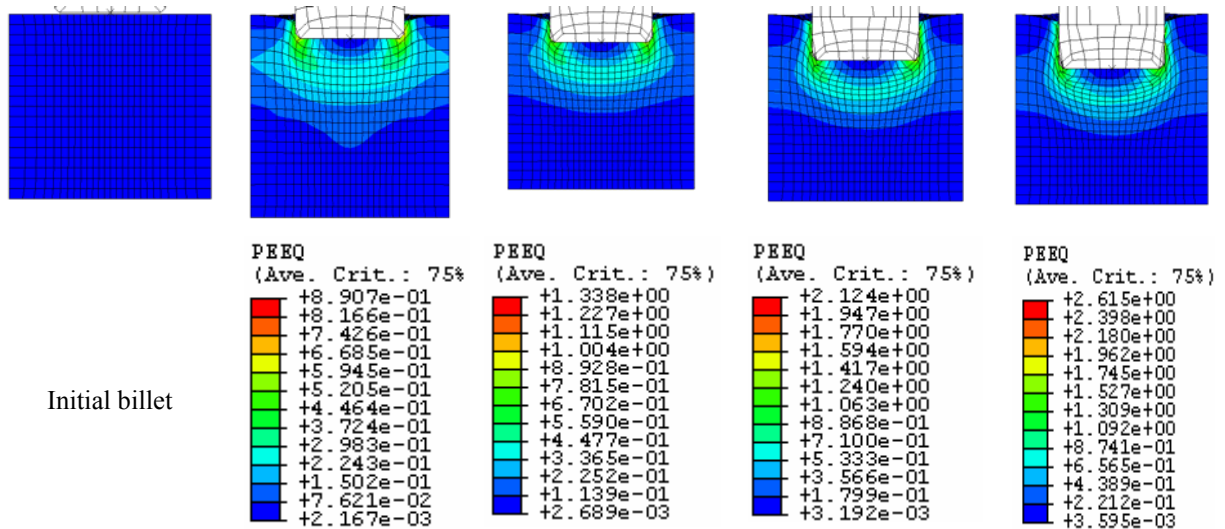
شکل ۱۱: توزیع تنش و تغییر فرم دانه ها را برای قطعه با شکل خارجی مربع و سنبه دایروی برای درصد کاهش سطح مقطع ۴۹٪ و AA2024-O.

نتایج و بحث و بررسی

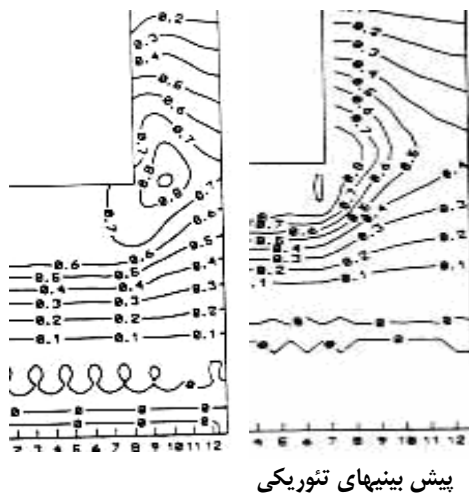
شبهه سازی اکستروژن معکوس بیلت های مربع، مستطیل، شش ضلعی و هشت ضلعی منتظم صورت پذیرفت و نتایج بدست آمده بشرح ذیل می باشند:

منحنی تاثیر درصد کاهش سطح مقطع بر فشار اکستروژن در شکل (۱) برای اکستروژن معکوس بیلت مربعی با سنبه یا پانچ مدور نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش درصد کاهش سطح مقطع فشار اکستروژن افزایش می یابد. در این نمودار برای نشان دادن صحت نتایج عددی بدست آمده نتایج مراجع [۱] و [۹] که بصورت تئوری تحلیلی حدبالا و نتایج تجربی می باشند نیز ارائه شده اند. همانطور که مشاهده می گردد نتایج حاصل از شبهه سازی تطابق خوبی با نتایج تجربی و تئوری دیگران دارند.

در شکل (۲) نیز اثر درصد کاهش سطح مقطع بر فشار نسبی اکستروژن معکوس بیلت مربعی و سنبه مدور برای حالتی که عامل اصطکاکی (۱) برابر با ۱ باشد، نشان داده شده است. همچنین برای اثبات صحت نتایج بدست آمده در شکل (۲) نیز نتایج تئوری حدبالا و نتایج تجربی مراجع [۱] و [۹] ارائه شده اند. ملاحظه می گردد که تغییرات فشار اکستروژن برخلاف شکل (۱) که بیانگر افزایش بار اکستروژن با افزایش درصد کاهش سطح مقطع بود، این بار با افزایش درصد کاهش سطح مقطع، فشار اکستروژن افزایش چندانی نمی یابد. دلیل این امر اینست که با افزایش درصد کاهش سطح مقطع، مساحت مقطع سنبه یا پانچ نیز بیشتر می شود و لذا با توجه به اینکه بار اکستروژن براساس شکل (۱) با افزایش درصد کاهش سطح مقطع افزایش یافته لذا فشار اکستروژن که نسبت



Initial billet



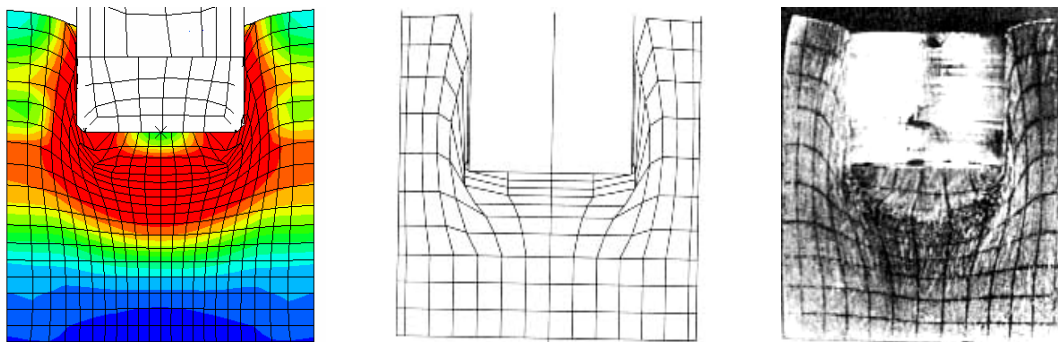
پیش بینیهای تئوریک

شکل ۱۲: مقایسه شبیه سازی FEM توزیع کرنش معادل در قطعه با شکل

خارجی شش ضلعی منتظم و شکل داخلی دایره برای

AA1100-O ، RA=35.6% بایش بینیهای تئوریک در صفحه R-Z به

صورت دو بعدی [۱].



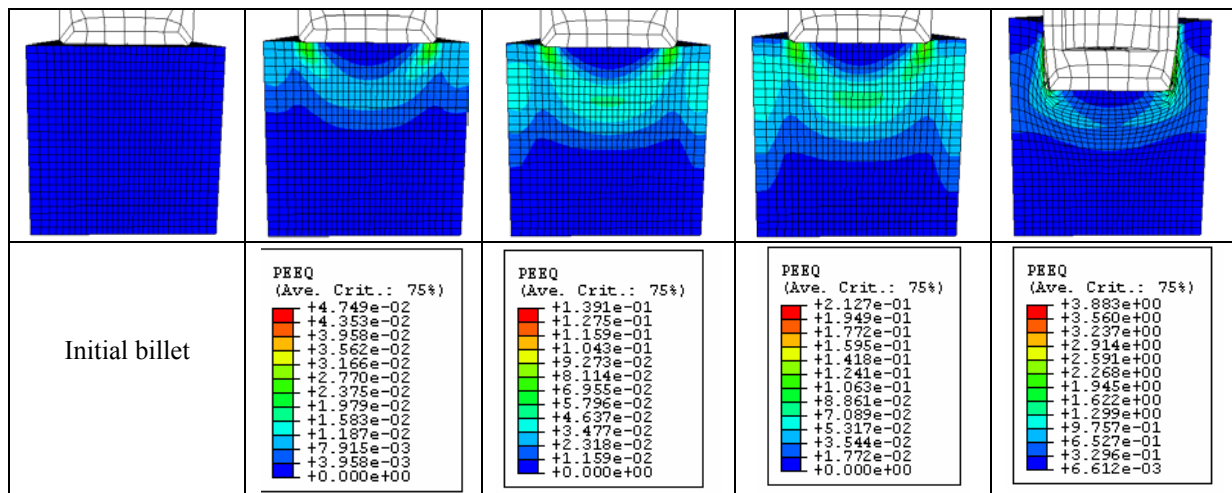
شکل ۱۳: الگوی تغییر فرم شبکه برای قطعه توخالی شش ضلعی منتظم با شکل داخلی دایره به ترتیب از چپ به راست شبیه سازی FEM، پیش بینی های تئوریک [۱] و آزمایشهای تجربی [۱] برای RA=35.6 و ماده AA1100-O.

به منظور پی بردن به دقت شبیه سازی انجام شده باید با نتایج تئوری و عملی مقایسه ای انجام شود به این منظور از اطلاعات آزمایشات انجام شده توسط شیان و تارن [۱] و بائه و یانگ [۹] استفاده شده و مقایسه ای با تئوری ارائه شده توسط آنها صورت گرفته است. با افزایش درصد کاهش سطح مقطع برای ضریب اصطکاک معین در

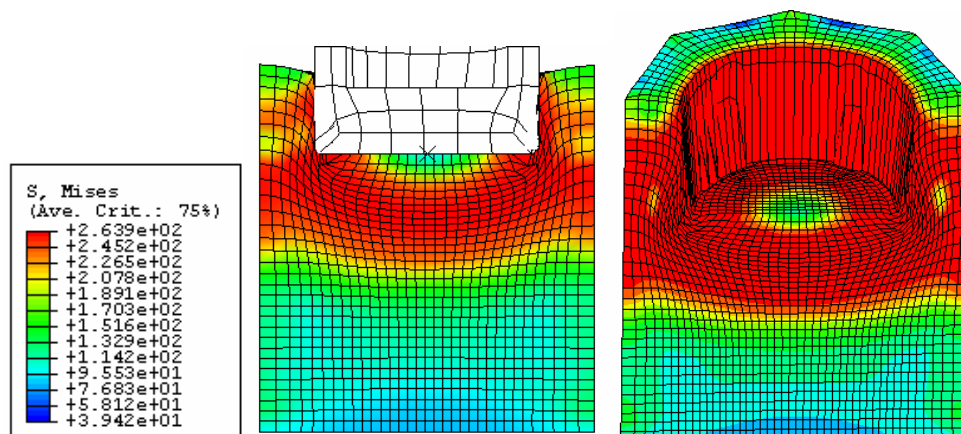
بار به سطح مقطع پنج است تغییرات کمی خواهد داشت. این موضوع درست برخلاف اتفاقی است که در اکستروژن مستقیم رخ می دهد، زیرا سنبه یا رام در آنجا همواره دارای سطح مقطع ثابتی است و لذا فشار اکستروژن نیز تغییراتی مشابه با بار اکستروژن دارد.

نمودن ماده در زیر سمبه و با توجه به مسیر حرکت دشوار ماده، تنش افزایش می یابد و سپس از دیواره بسمت بیرون چون ممانعتی در مقابل جریان ماده وجود ندارد لذا تنش کاهش یافته و در نهایت با نزدیک شدن به دیواره کانتینر یا قالب بخاطر سطوح انفعال سرعت اصطکاکی مجدداً تنش افزایش می یابد. در راستای قائم نیز در ناحیه تغییر فرم مقدار تنش از محل تماس سنبه به سمت پائین، رفته رفته افزایش یافته است. طبیعی است که در زیر سمبه، منطقه مرده فلز مثلث شکل ایجاد شده و بصورت صلب عمل می کند و همانند قسمتی از سمبه با آن بسمت پایین حرکت می کند. در نتیجه مناطق پایین تر از سمبه که می خواهند جریان پیدا کنند و با کف قالب مواجه می شوند دچار تنش بیشتری می گردند. مقایسه نتایج شبیه سازی FEM برای توزیع کرنش معادل در قطعه با شکل خارجی شش ضلعی منتظم و شکل داخلی دایره برای AA1100-O، $RA=35.6\%$ با پیش بینیهای تئوریک در صفحه R-Z به صورت دو بعدی در شکل (۱۲) مشاهده می گردد. ملاحظه می گردد که نتایج شبیه سازی با نتایج تئوری مطابقت دارند. همچنین الگوی تغییر فرم شبکه در شکل (۱۳) برای بیلت شش ضلعی منتظم شبیه سازی شده و با نتیجه تئوری و آزمایشات شیان- تارن مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی نسبت به نتایج تئوری با نتایج آزمایشات [۱] مطابقت بیشتری دارد. همچنین در نواحی گوشه و دیواره قطعه کار بیشترین تغییر فرم مشاهده می شود. در شکل (۱۴) توزیع کرنش پلاستیک موثر براس بیلت با شکل خارجی هشت ضلعی و شکل داخلی دایره برای کاهش سطح مقطع ۴۹٪ مشاهده می شود. بنا بر دلایلی که برای شکل (۱۰) نیز توضیح داده شد برای پلاستیک شدن ماده در ابتدای کار توزیع کرنش پلاستیک گسترده است و پس از جاری شدن ماده محدود به منطقه تغییر شکل می گردد. البته ملاحظه می گردد که مقدار کرنش پلاستیک موثر در زمانی که ماده جاری می شود بمراتب بیشتر از مقدار آن در مراحل ابتدایی است. بالاخره کانتور تنش و الگوی تغییر شکل برای اکستروژن معکوس قطعه با شکل خارجی هشت ضلعی و شکل داخلی دایره برای درصد کاهش سطح مقطع ۴۹٪ در شکل (۱۵) ملاحظه می گردد.

بیلتهای چند ضلعی منتظم و مستطیل شکل، بار اکستروژن نیز افزایش یافته است. (شکل های (۱)، (۳) ، (۵) و (۷))، همانطور که در شکلهای (۲)، (۴) و (۶) آمده است با افزایش درصد کاهش سطح مقطع فشار نسبی اکستروژن افزایش یافته است. در شکل (۸) نتایج حاصل از شبیه سازی به صورت دیاگرام تغییرات بار اکستروژن در برابر تغییرات ضریب اصطکاک آمده است. با افزایش ضریب اصطکاک، بار اکستروژن به دلیل افزایش نیروی اصطکاک افزایش یافته است. در شکل (۹) دیاگرام بار اکستروژن در برابر افزایش ضریب اصطکاک برای چند ضلعی منتظم نشان داده شده است. نتیجه حاصله این است که با افزایش تعداد اضلاع چند ضلعی منتظم بار اکستروژن افزایش یافته زیرا سطوح تماس بیلت با کانتینر با افزایش تعداد اضلاع افزایش یافته و انرژی اصطکاکی بیشتری صرف شده است و در نتیجه بار اکستروژن افزایش یافته است. در شکل (۱۰) توزیع کرنش معادل در بیلت مربعی برای $AR=49\%$ نشان داده شده که مقدار کرنش موثر از راس مربع به سمت دایره به ترتیب افزایش یافته زیرا میزان تغییر شکل افزایش یافته و در نواحی از بیلت که با لبه سنبه در تماس است نسبت به بخشهای دیگر بخاطر تغییر شکل بیشتر، بیشترین کرنش مشاهده می شود و همچنین در مراحل آغازین فرآیند کانتور کرنش در ناحیه وسیعی از بیلت در عرض بیلت گسترده شده و رفته رفته در مراحل پایانی این ناحیه کاهش یافته است. دلیل این امر را شاید بتوان در این واقعیت جستجو نمود که در ابتدای فرایند با افزایش تنش منطقه پلاستیک رشد کرده و ناحیه وسیعی از بیلت را در بر می گیرد اما پس از جاری شدن مواد منطقه تغییر شکل تقریباً ثابت مانده و لذا کرنش ها در محدوده پلاستیک محصور می شوند. این نتایج برای شش ضلعی و هشت ضلعی منتظم نیز صادق است. (شکل های ۱۲ و ۱۴) در مقایسه این شبیه سازی با نتایج تئوری ارائه شده توسط شیان - تارن [۱] توافق مطلوبی حاصل شده است. در شکلهای (۱۱) و (۱۵) به ترتیب کانتورهای تنش برای شش ضلعی و هشت ضلعی منتظم نشان داده شده است، مقدار تنش از سطح داخلی قطعه به سمت دیواره افزایش یافته و از دیواره به سمت سطح بیرونی تدریجاً افزایش یافته و سپس کاهش یافته است. دلیل این تغییرات در تنش از سطح داخلی قطعه اینست که بخاطر جاری



شکل ۱۴: توزیع کرنش پلاستیک موثر برای بیلت با شکل خارجی هشت ضلعی منتظم و شکل داخلی دایره در کاهش سطح مقطع RA=49%.



شکل ۱۵: کانتور تنش و الگوی تغییر فرم شبکه برای قطعه با شکل خارجی هشت ضلعی منتظم و شکل داخلی دایره برای درصد کاهش سطح مقطع RA=49%.

نتیجه گیری

همچنین کرنشهای موثر در نواحی از بیلت که با لبه سنبه در تماس است ماکزیمم می باشد و با توجه به کانتور تنش حاصل از این شبیه سازی ناحیه ای از بیلت که با لبه سنبه در تماس است تنش ماکزیمم بوده و با دور شدن از آن به سمت راس چند ضلعی و به سمت مرکز سنبه تنش کاهش یافته است. بیشترین تغییر فرم نیز در دیواره داخلی قطعه کار مشاهده شده است. با مقایسه نتایج الگوی تغییر فرم با نتایج تجربی توافق بسیار خوبی مشاهده گردید.

با مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی FEM در این مقاله با نتایج تئوری و تجربی ارائه شده توسط سایر پژوهشگران می توان نتیجه گرفت که شبیه سازی FEM با نرم افزار Abaqus از دقت خوبی برخوردار است. با افزایش درصد کاهش سطح مقطع نیروی لازم برای اکستروژن و فشارنسبی اکستروژن با ضریب اصطکاک معین افزایش یافته است، همچنین با افزایش ضریب اصطکاک نیروی اکستروژن نیز افزایش یافته است. این نتایج کاملاً با نتایج تجربی و تئوری مطابقت دارد.

مراجع

- 1 - Shean, L. R. S. and Tarn, K. C. (1996). "A modified analysis of backward extrusion of internally circular-shaped tubes from arbitrarily-shape billets by the upper bound elemental technique." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 59, PP. 351-358.
- 2 - Kudo, H. (1961). "Some analytical and experimental studies of axisymmetric cold forging and extrusion." *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 91, PP. 3.
- 3 - Avitzur, B., Bishop, E. D. and Hahn, W. C. (1972). "Impact extrusion, upper bound analysis of the early stage." *Journal of Engineering for Industrial, Transaction of ASME*, Vol. 64, PP.1079-1086.
- 4 - Luo, Z. J. and Avitzur, B. (1982). "Limitation of the impact extrusion process." *International Journal of Machin tool Design and Res.*, Vol. 22, PP. 41-56.
- 5 - Nagpal, V. (1977). *Trans. ASME Ser. B*, Vol. 99, PP.624.
- 6 - Yang, D. Y. and Han, C. H. (1984). *Trans. ASME Ser.B*, Vol. 106, PP.143.
- 7 - Bae, W. B. and Yang, D. Y. (1992). *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 30, PP.13.
- 8 - Bae, W. B. and Yang, D. Y. (1993). "An upper bound analysis of the backward extrusion of tubes of complicated internal shapes from round billets." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 36, PP.157.
- 9 - Bae, W. B. and Yang, D. Y. (1993). "An analysis of backward extrusion of internally circular shaped-tubes from arbitrarily-shaped billets by the upper bound method." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 36, PP.175.
- 10 - Moshksar, M. M. and Ebrahimi, R. (1998). "An analytical approach for backward extrusion forging of regular polygonal hollow components." *International Journal of Material Sciences*, Vol. 40, PP.1247-1263.
- 11 - Olamaee, M. J. and Abrinia, K. (2000). "An investigation into the reversed extrusion and some experiments." *SCISME Conference*, University of Semnan, Semnan, I.R.Iran, (In Farsi).
- 12 - Guo, Y. M., Yokouchi, Y. and Nakanishi, K. (2000). "Hot backward extrusion comparative analysis by combined finite element method." *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 42, PP.1867-1885.
- 13 - Lee, H. I. and Hwang, B. C. and Bae, W. B. (2001). "A UBET analysis of non-axisymmetric forward and backward extrusion." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 113, PP.103-108.
- 14 - Cho, H. Y., Min, G. S., Jo, C. Y. and Kim, M. H. (2003). "Process design of the cold forging of a billet by forward and backward extrusion." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 135, PP.375-381.
- 15 - www.matweb.com