



## بررسی اثر هندسه پلیسه‌رو بر جریان مواد و شکل‌گیری عیوب در فورجینگ سرد آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳

میلاد بندا<sup>۱</sup>، مهرداد عضو امینیان<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

\* سمنان، صندوق پستی ۷۹-۳۵۱۴۵، m.aminian@semnaniau.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
هدف از این پژوهش بررسی تاثیر هندسه پلیسه‌رو بر روی جریان داخلی مواد، پیش بینی عیوب و پارامترهای فرایند فورجینگ سرد است. به همین منظور سه شکل هندسی پلیسه رو های دوزنقه ای، بیضوی و مربعی بر روی یک قطعه ساده مخروطی شکل مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر هندسی پلیسه رو ها با استفاده از نرم افزار المان محدود آباکوس شبیه‌سازی شد و پس از آن قالب با پلیسه رو بهینه، ساخته شد و فرایند فورجینگ جهت راستی آزمایشی نتایج شبیه سازی بر روی یک قطعه از جنس آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳، انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد، شکل پلیسه رو دوزنقه ای نسبت به دیگر موارد، شرایط مناسبتری برای جریان مواد ایجاد می‌کند. براساس نتایج شبیه سازی، بیشینه مقدار کرنش پلاستیک در اطراف پلیسه رو اتفاق افتاد و مقدار آن در قالب با پلیسه رو دوزنقه ای نسبت به قالب های بیضوی و مربعی بیشتر بود که ناشی از سیلان بیشتر مواد در پلیسه رو دوزنقه ای بود. توزیع و اعمال فشار مورد نیاز جهت تولید قطعه نهایی بر روی قطعه کار با پلیسه رو مربعی شکل بیشتر از نمونه های دیگر در شبیه سازی پیش بینی شد. بیشینه فشار اعمال شده توسط قالب بر روی قطعه کار در قسمت پلیسه رو بود که برای پلیسه رو مربعی شکل، بیشترین مقدار خود را داشت و در مورد پلیسه رو دوزنقه ای کمترین مقدار را دارا بود.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: ۵ دی ۱۳۹۶ پذیرش: ۲۷ بهمن ۱۳۹۶ ارائه در سایت: ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۷
	<b>کلیدواژگان</b> فورج سرد آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳ تاثیر هندسی پلیسه رو شبیه سازی المان محدود جریان مواد شکل‌گیری عیوب

## Investigating the Effect of Flash Gutter Geometry on Material Flow and Defect Formation in Cold Forging of AA 3003 Aluminum Alloy

Milad Bbandad<sup>1</sup>, Mehrdad Ozveaminian<sup>2\*</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran.

P.O.B. 3519813363 Semnan, Iran, m.aminian@semnaniau.ac.ir

### Article Information

Original Research Paper  
Received 26 December 2017  
Accepted 16 February 2018  
Available Online 5 May 2018

### Keywords

Cold Forging  
AA3003 aluminum alloy  
Effects of flash gutter geometry  
Finite element simulation  
Material flow

### ABSTRACT

The aim of this study, is study on the effects of flash gutter geometry on the material flow, predict of defect formation and forging process parameters in cold forging. For this purpose, effects of three flash geometry with trapezoidal, oval and square shapes were investigated on the simple frustum part. The effect of flash gutter geometry simulated using ABAQUS finite element software and then form with the optimized flash gutter was manufactured and forging process to verify the simulation results on a piece of AA3003aluminum alloy, was carried out. The results showed that trapezoidal flash gutter had more appropriate conditions for material flow than other cases. According to the simulation results, the maximum plastic

### Please cite this article using:

Milad Bbandad, Mehrdad Ozveaminian, Investigating the Effect of Flash Gutter Geometry on Material Flow and Defect Formation in Cold Forging of AA 3003 Aluminum Alloy, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 1, pp. 56-66, 2018 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## Prediction of voids

strain was formed around the flash area and its value was maximum in the die with trapezoidal flash gutter, which was due to the greater flow of the material in the trapezoidal flash gutter geometry. According to the simulation results prediction, the distribution and exerted applied pressure to produce the final part on die with square flash gutter was more than others. The maximum applied pressure was on the flash area of die, which was the largest for the square flash gutter, and had the smallest amount of trapezoidal flash gutter geometry.

فرایند را در یک فورج چند مرحله ای پرس مکانیکی، توصیف می‌کرد [۵]. بر اساس مدل ارائه شده توسط آنها، تغییرات، عیوب و تغییر فرم قطعه کار و قالب در هر محله از فرایند فورجینگ قابل پیش بینی بود. آنها مدل ریاضی خود را با نتایج عملی هم مورد مقایسه قرار دادند. از مهمترین نتایج کار آنها می‌توان به تغییر شکل دستگاه پرس در زمان عملیات فورجینگ اشاره کرد. فرشته‌سازی و همکارانش بر روی تاثیر پلیسه رو و اندازه نمونه اولیه تحقیقاتی انجام دادند [۶]. آنها با استفاده از روش المان محدود و انجام تست های فراوان به این نتیجه رسیدند که ابعاد بزرگتر پلیسه رو به جریان مواد کمک می‌کند ولی افزایش نیروی فورجینگ را به دنبال دارد. بر همین اساس جهت کاهش نیروی فورج و هزینه تمام شده قطعه، تا حد امکان باید ابعاد پلیسه رو را کوچکتر در نظر گرفت. لی و همکارانش در یک پژوهش کاربردی، به مطالعه اثر پلیسه‌رو بر جریان مواد در حالت‌های متقارن محوری، تنش صفحه‌ای و نامتقارن پرداختند [۷]. به همین منظور، نمونه آماده‌سازی شده برای حالت متقارن محوری گرد، و برای حالت تنش صفحه‌ای مکعب مستطیل و برای حالت غیرمتقارن بیضوی شکل بود. آنها با استفاده از روش آنالیز حد بالا به انجام محاسبات عددی پرداختند و با نتایج عملی مورد مقایسه قرار دادند. هدف آنها از انجام این تحقیق اثر نوع معادلات و روش حل عددی فرآیند فورج به همراه تاثیر همزمان پلیسه رو بر روی جریان مواد بود. آنها اعلام کردند که عدم وجود پلیسه‌رو، سبب کرنش کمتر بر روی قطعه کار نسبت به قطعه کار با پلیسه‌رو می‌شود. آنها نشان دادند که بدون طراحی دقیق پلیسه رو و استفاده از ابعاد غیر دقیق پلیسه‌رو، نیروی مورد نیاز فورجینگ بیشتر می‌شود تا جایی که در برخی موارد حتی نیروی مورد نیاز فورج قطعات بدون پلیسه‌رو از قطعات با پلیسه رو غیر اصولی کمتر خواهد شد. آنها در پژوهشی دیگر به بهینه‌سازی شکل اولیه قطعه‌کار در فرآیند فورج سرد با استفاده از تکنیک بارهای استاتیکی معادل پرداختند [۸]. آنها قطعه‌کار را بصورت یک ماده با رفتار الاستو-پلاستیک در نظر گرفتند و اصول اولیه فرایند فورجینگ مانند بشکه ای شدن قطعه کار در حین فرآیند را با استفاده از روش المان محدود مدل‌سازی کردند. صادقی و

## ۱- مقدمه

امروزه انسان‌ها تا حد زیادی به تجهیزات و وسایل متنوعی وابسته هستند که به منظور افزایش کارایی و بهره‌وری امور روزمره طراحی و ساخته شده‌اند. جایگاه این وسایل در جوامع امروزی چنان مستحکم است که گاه تصور انجام ساده ترین کارها بدون این وسایل ممکن نیست. هرکدام از وسایل مورد استفاده امروزی با یک روش خاص توسط بشر تهیه و تولید می‌شوند که یکی از این روش‌ها، فرآیند فورجینگ است [۱]. فورجینگ یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای شکل‌دهی به شمار می‌رود که در آن قطعه‌کار توسط ضربه یا فشار (به وسیله پتک یا پرس) به محصول نهایی تبدیل می‌شود. امروزه این فرآیند در صنایع مختلفی همچون خودروسازی، کشتی‌سازی، هوا و فضا و نیز تولید انواع یراق‌آلات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. در میان انواع روش‌های فورجینگ، فورج سرد با قالب بسته اهمیت خصوصی دارد. مهمترین هدف تولید کنندگان محصولات با کیفیت با استفاده از فرایند فورجینگ سرد با قالب بسته، کمتر شدن زمان تولید به همراه کاهش قیمت آن است. با طراحی مناسب و بهینه قسمت‌های قالب، می‌توان به کاهش مصرف انرژی، کاهش ضایعات در محصولات تولید شده، راندمان بالای ماشین‌آلات و کاهش استهلاک خط تولید دست یافت [۳]. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های قالب بسته فورج سرد، پلیسه رو می‌باشد. وجود پلیسه رو سبب جریان مواد اضافی در مرز مشترک دو صفحه قالب می‌شود که سبب جریان بهتر مواد، جلوگیری از ترک و پارگی قطعه در قسمت مرزی دو قالب و کاهش مصرف انرژی در حین فرآیند می‌شود [۴]. بر همین اساس طراحی مناسب پلیسه رو می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید، کاهش تولید قطعات معیوب و کاهش انرژی و افزایش طول عمر قالب، ابزار و ماشین‌آلات این فرآیند منجر شود. به دلیل اهمیت و ضرورت پلیسه رو و اثر آن در فرایند فورجینگ، محققان زیادی به توسعه و بررسی اثر این قسمت از قالب فورج پرداختند که در ادامه به کار آنها و نتایج حاصل از تحقیقاتشان اشاره می‌شود.

گوآن و همکارانش یک مدل ریاضی را ارائه دادند که در آن افزایش نیروی فورج از زمان آغاز حرکت پیستون تا انتهای

ایجاد می‌شود. مقایسه مقادیر بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با مقادیر کار تجربی نشان داد که الگوریتم ژنتیک تخمین قابل قبولی برای پارامترهای موثر در فرایند فورج ارائه می‌دهد. در نهایت آنها نشان دادند پارامترهای بهینه برای پرشدن فضای داخلی قالب به طور کامل با حداقل نیرو در فرآیند فورجینگ با قالب های بسته غیر دقیق برای قطعات تقارن محوری قابل ارائه است.

با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر پلیسه‌رو، هیچکدام از محققان قبلی تاثیر هندسه پلیسه‌رو بر روی جریان مواد و نیروی فورجینگ را مورد بررسی قرار ندادند. از همین رو اهمیت این موضوع بر روی پارامترهای فرایند، کیفیت قطعه و جریان مواد در این پژوهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۲- مدل سازی فرآیند

به منظور بررسی هندسه پلیسه‌رو در فرایند فورج سرد، سه قطعه با هندسه مخروط ناقص و با طول قاعده ۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۸ میلی‌متر به همراه سه هندسه بیضوی، مربعی و دوزنقه ای با استفاده از روابط تترین و تارنوفسکی و با حجم داخلی یکسان در نرم افزار Catia مدل‌سازی شد. پس از آن در محیط نقشه‌کشی نرم‌افزار ABAQUS به عنوان یک ماده Discrete Rigid با ساختار Wire به همراه یک نقطه مرجع (RP) در قسمت Part پیاده سازی شد. در مرحله بعد سه بیلت تقارن محوری با ساختار Shell در محیط Part طراحی شد. ماده مورد استفاده در این شبیه‌سازی براساس خواص فیزیکی آلومینیوم ۲۰۰۳ و با مدل رفتاری الاستیک-پلاستیک تعریف شد. در قسمت مازول Property، یک Homogeneous Solid Section تعریف شد و آن Section نیز به قطعه‌کار Assign شد. در قسمت Assembly هر کدام از قطعات بصورت مستقل و با فرمت Independent وارد محیط مونتاژ شدند. دلیل این مساله این بود که نوع مش بندی قالب و قطعه از یکدیگر متفاوت بود و برای اینکار باید از حالت Independent استفاده کرد تا نوع و اندازه مش بندی هر کدام از قطعات متفاوت از یکدیگر باشد. نقطه RP قالب نیز به عنوان مرجع جهت انجام مراحل بعدی Set شد. پس از مرحله Assembly، از قسمت Create Setup، قسمت Initial، گزینه Dynamic Explicit فراخوانی شد. به دلیل وجود اصطکاک بین قالب و قطعه‌کار در شرایط واقعی و با توجه به این مساله که دما در طول فرآیند ثابت است، ضریب اصطکاک بین

پوربشیری به بررسی روش فلش های چندگانه به عنوان یک روش نوین در کاهش مواد دور ریز فرایند فورجینگ پرداختند [۹]. آنها نشان دادند که شبیه سازی فورجینگ‌های پیشرفته، کمک فراوانی به طراحان قالب می‌کند تا بتوانند دور ریز مواد را به حداقل برسانند. آنها در تحقیق خود یک مدل از پلیسه‌رو متغییر با چند هندسه متفاوت در یک قطعه ایجاد کردند که با استفاده از کنترل جریان مواد، مواد اضافی زائد که در پلیسه‌رو جمع می‌شود را به حداقل ممکن برساند [۱۰]. مشابه این رفتار مواد توسط لانگن و همکارانش نیز بررسی شده است [۱۱]. آنها فلش های چندگانه را برای یک قطعه عمودی شکل اجرا کردند و منطقه پلیسه‌رو را بصورت اینسرت های جداگانه طراحی کردند و درون قالب قرار دادند. پس از آن، مدل ساخته شده را برای یک نمونه واقعی آزمایش کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که قطر پلیسه‌رو تاثیر بیشتری بر روی جریان عمودی مواد دارد. از طرف دیگر با کاهش ضخامت و افزایش عرض پلیسه‌رو جریان مواد عمودی را به ترتیب ۱۲ و ۲۹ درصد افزایش می‌دهد. درحالت بهینه نسبت عرض به ارتفاع پلیسه‌رو باید بزرگتر از ۲ باشد. با استفاده از این روش ضایعات مواد را تا ۵۰ درصد کاهش دادند. هالوانی و همکارانش موفق به بهینه‌سازی فرآیند فورجینگ سرد به روش معکوس ساختگی شدند [۱۲]. این روش بر پایه شکل نهایی قطعه‌کار، بدون در نظر گرفتن تماس قالب و ماده خام استوار است. این مدل با در نظر گرفتن تنش‌های معادل، اطلاعات مربوط به تست کشش و خاصیت پلاستیسیته مواد، به حل فرایند فورج می‌پردازد. این روش نسبت به تکنیک های دیگر سریعتر پاسخ می‌دهد ولی کارایی بالایی در انواع شکل های مختلف قالب ندارد [۱۳]. آقای ظهور و همکارانش به بهینه سازی ابعاد پلیسه، قطعه کار و فاکتور اصطکاک در فورجینگ سرد با قالب بسته پرداختند [۱۴]. آنها سه پارامتر نسبت عرض به ضخامت پلیسه، نسبت ارتفاع به قطر قطعه کار و فاکتور اصطکاک، را با روش اجزا محدود برای یک قطعه استوانه ای مورد آزمون قرار دادند. برای تعیین روابط بین ورودی ها و خروجی های نرم افزار المان محدود از دو شبکه عصبی مجزا استفاده شد. آنها برای انجام بهینه سازی از نرم افزار آباکوس و متلب استفاده کردند. آنها اطلاعات بدست آمده از شبیه سازی را با نتایج کار عملی دیگر محققان مقایسه کردند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک پنج لایه موفق به بهینه سازی ابعاد پلیسه‌رو شدند. به گزارش آنها با کنترل ابعاد پلیسه، امکان کاهش دور ریز مواد مصرفی و افزایش درصد پرشدگی قالب

به منظور کاهش نوسانات انرژی جنبشی و دستیابی به پاسخ شبه استاتیکی **Amplitude** مخصوص **Smooth Step** تعریف شد. جهت مش بندی قطعه‌کار و قالب از المان‌های چهار گره‌ای استفاده شد. دلیل این انتخاب، تغییرشکل بسیار زیاد قطعه‌کار در طول فرآیند است. به منظور بالا بردن دقت شبیه‌سازی لبه‌های قطعه‌کار که تغییر شکل زیاد پیدا می‌کنند را با مش‌ریزتر و لبه‌های کناری را با مش‌بندی درشت‌تر تقسیم بندی می‌کنیم. اعمال این شرایط با استفاده از دستور **Seed Edge Biased** بر روی لبه‌های قطعه‌کار انجام شد. از طرفی دیگر، جهت هماهنگ سازی المان‌ها با تغییرشکل زیاد، جلوگیری از توقف مساله به خاطر اعوجاج شدید المان‌ها از دستور **ALE Adaptive Meshing** استفاده شد. این دستور، حل مساله توسط نرم‌افزار **Abaqus** را دقیق‌تر و سریع‌تر می‌کند. در این روش المان‌ها می‌توانند مستقل از ماده حرکت کنند که نتیجه آن می‌تواند کیفیت مطلوب المان‌ها در حین فرآیند باشد. در نهایت فرآیند در محیط **Job** حل گردید. شکل ۱ الف، ب و ج به ترتیب نمای کلی قطعات مش‌بندی شده و قالب‌های بیضوی، دوزنقه ای و مربعی را در محیط **Job** نرم افزار آباکوس نشان می‌دهد.

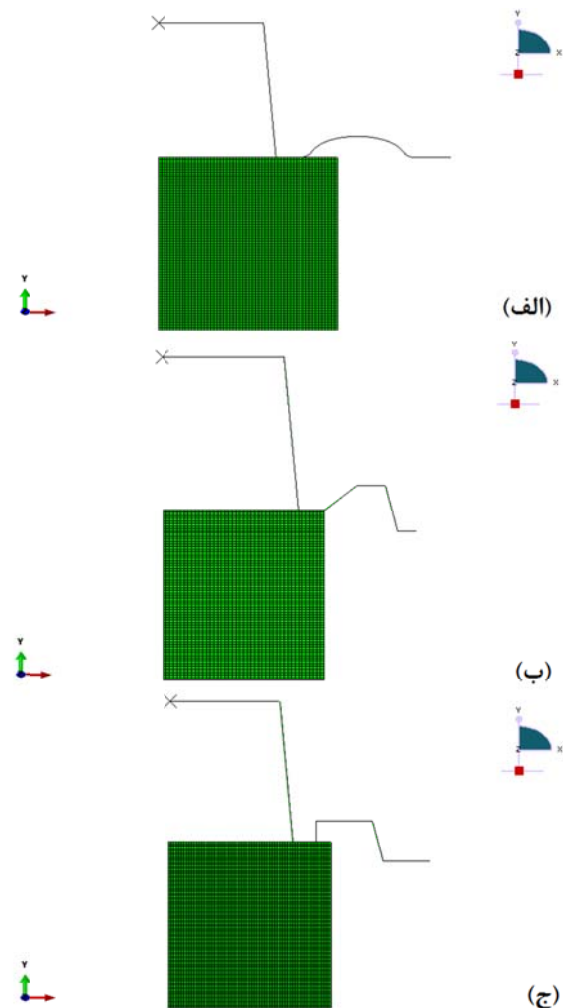
### ۳- روش آزمایش

به منظور انجام فرآیند فورج، مقداری میلگرد آلومینیومی گرید ۳۰۰۳ از بازار تهیه شد و مقداری از آن جهت آزمون درصد عناصر آلیاژی مورد آزمون اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳

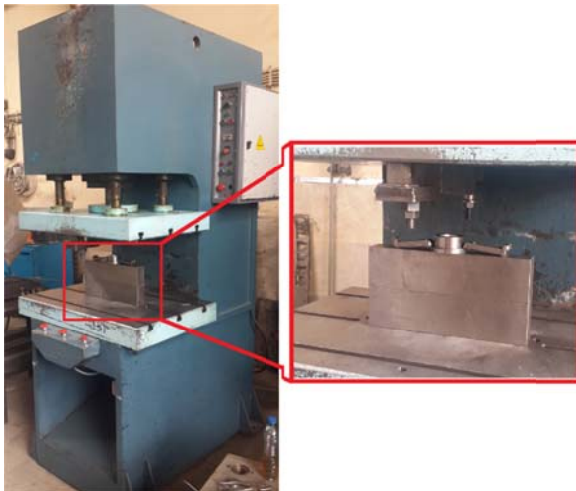
عنصر موجود	مقدار درصد وزنی
آلومینیوم	۹۸
مس	۰/۱۲
منگنز	۱/۲
منیزیم	۰/۰۵
آهن	۰/۰۱

آلومینیوم و قالب در طول فرآیند به مقدار ثابت ۰/۳۵ و متناسب با روانکار مورد استفاده در کار عملی و با ارجاع به منابع علمی مباحث اصطکاک در فرآیند فورجینگ سرد در نظر گرفته شد [۱۵]. در طول شبیه سازی و مطابق با شرایط واقعی دمای انجام کار در طول فرآیند ۲۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. در مرحله بعد شرایط مرزی حاکم بر فرآیند در مازول **Load** تعریف شد. برای این منظور حرکت قسمت انتهایی قطعه‌کار در تمامی جهات محدود شد. با توجه به پارامترهای دستگاه در حالت عادی سرعت پایین آمدن قالب ۰/۰۱ ثانیه و با سرعت ۰/۱۶۶ متر بر ثانیه بود. این اعداد بصورت مستقیم وارد محیط نرم افزار شد و حل مساله با توجه به جابجایی قالب نسبت به زمان با حالت **Smooth** انجام شد.



شکل ۱ قطعات مش بندی شده و قالب های (الف) بیضوی، (ب) دوزنقه ای و (ج) مربعی در محیط نرم افزار آباکوس

ساخت کشور روسیه مورد استفاده قرار گرفت که در شکل ۳ به نمایش در آمده است. قالب طراحی شده بر روی صفحه فولادی با دو گیره بسته شد که پس از آماده سازی بستن بر روی دستگاه مورد نظر با سرعت خطی ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه نمونه‌ها را در دمای محیط فورج کرد. این پرس یک مدل توسعه یافته بود که دارای واحد ثبت فشار کرنش (Strain-Gauged load cell) ساخت شرکت Instron و سیستم مبدل جابجایی خطی (Linear Displacement Transducer) بود. سیستم مبدل جابجایی خطی با استفاده از جابجایی روغن هیدرولیک موجود در سیستم و سطح مقطع خروجی روغن مقدار جابجایی (حرکت) پیستون‌ها را ثبت می‌کرد. نرم افزار PLC مورد استفاده در این دستگاه بر روی ویندوز XP نصب شده بود و اعداد مورد نظر را ثبت می‌کرد. این PLC به صورت یک سیستم متمرکز توانایی ثبت و نظارت بر روی پرس‌های هیدرولیک و پرس گرم موجود در آن واحد کارگاهی را داشت که بصورت متمرکز مورد استفاده قرار می‌گرفت.



شکل ۳ دستگاه پرس مورد استفاده در این پژوهش

جهت بررسی خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم مورد استفاده در این پژوهش، نمونه‌هایی از آن ماده مطابق با استاندارد ASTM E08 بریده و آماده شد و آزمون تست کشش بر روی آنها انجام شد. اندازه نمونه‌ها کوچک برای آزمون کشش انتخاب شد که در شکل ۲ قسمت الف، اندازه‌های آن نشان داده شده است. آزمون کشش نمونه خام آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳ توسط دستگاه تست کشش ساخت شرکت SANTAM کشور ایران مدل STM-150 انجام شد. پس از اطمینان از جنس قطعه، توسط دستگاه تراش به ابعاد مورد نیاز و به تعداد ۵۰ عدد بریده شد. به منظور تعیین شرایط جریان مواد و ابعاد قالب، نمونه‌ای مطابق با اندازه و ابعاد خروجی بهینه قالب در نرم افزار Abaqus در نرم افزار Catia بصورت ۳ بعدی مدلسازی شد. پس از آن مدل سه بعدی در قسمت Drawing نرم افزار Catia برده شد و ابعاد و اندازه‌گذاری مورد نیاز بر روی آن انجام گرفت. در نهایت نقشه ۲ بعدی نهایی جهت ساخت قالب پرینت گرفته شد.



شکل ۲ قالب فورج مورد استفاده در این پژوهش

#### ۴- بحث و نتایج

##### ۴-۱- میانگین نیروی فورجینگ

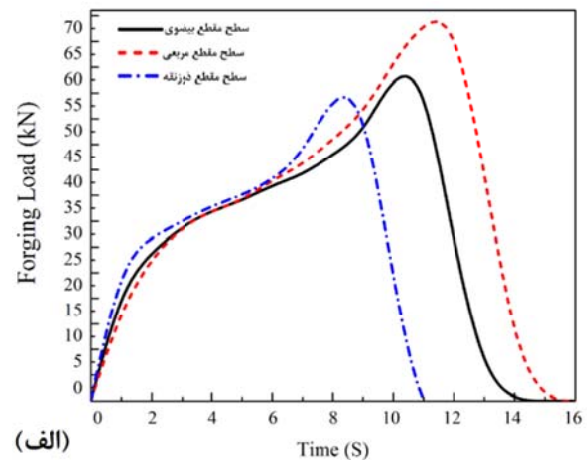
نتایج مستخرج از شبیه سازی نرم افزار آباکوس در مورد نیروی لازم جهت فورجینگ قطعه خام آلیاژ آلومینیومی، در شکل ۴ قسمت الف آورده شده است که خود آن نیز تابعی از زمان است. بر اساس نتایج حاصل از حل المان محدود، زمان پرشدن قالب توسط قطعه کار آلیاژ آلومینیومی (اتمام فرایند فورج) در قالب با پلیسه‌رو دوزنقه‌ای شکل از بقیه کمتر است. مقدار نیروی مورد نیاز جهت فورجینگ قطعه و شکل‌گیری قطعه نهایی وابسته به

نمونه مورد نظر با استفاده از جنس فولاد ابزار توسط ماشین تراش CNC ساخته شد. ابعاد قطعه توسط نرم افزار Catia به فایل Step تبدیل شد و مستقیماً وارد نرم افزار PowerShape شد. پس از آن مسیر ابزار تبدیل به G-Code های قابل فهم برای ماشین تراش تبدیل گردید و قالب مورد نظر از ماده خام تراشیده شد. ماشین تراش CNC مورد استفاده ساخت شرکت Mazak ژاپن بود. قالب ساخته شده نیز در شکل ۲ به نمایش در آمده است. درحین فرایند، سطح قالب با گرافیت محلول در آب به عنوان روانکار آغشته شد تا به جریان مواد کمک کند. در شرایط آزمایشگاهی یک پرس هیدرولیکی ۱۰۰ تن فورجینگ

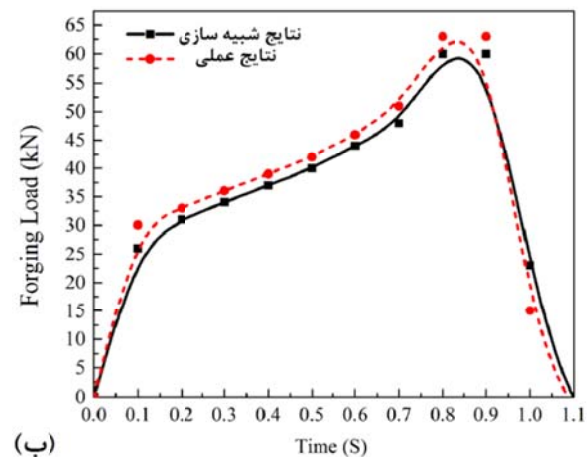


یکی دیگر از مواردی که قابل بررسی مقدار جابجایی پیستون دستگاه فورج است که متناسب با نوع هندسه قطعه تغییر می‌کند. به دلیل آنکه در این پایان نامه بررسی قطعه ای خاص مدنظر نبود و تنها به بررسی جریان مواد در ناحیه پلیسه رو پرداخته شد، می‌توان به بررسی جابجایی پیستون پرس براساس نوع هندسه پلیسه رو دقت نظر بیشتری داشت. همانند حالت قبل نتایج عددی حاصل از نرم افزار آباکوس به صورت نمودار استخراج شد و با استفاده از حالت Curve Fitting یک روند برای هریک از حالات پلیسه‌رو استخراج گردید. در مرحله بعد نتایج عددی مبدل جابجایی خطی (Displacement Linear Transducer) پیستون پرس ثبت گردید و نتایج مجموع باهم مقایسه شدند. شکل ۵ قسمت الف مقایسه‌ی بین جابجایی پیستون دستگاه پرس را از زمان تماس با قطعه‌کار تا هنگام پر شدن قالب نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی المان محدود و نتایج واقعی ثبت شده تطابق نزدیکی در قالب پلیسه‌رو دوزنقه‌ای داشت. نتایج واقعی نشان داد که پیستون دستگاه پرس مقداری کمتر از ۱۰ میلی‌متر جابجایی داشت تا قالب پر شود. مقایسه نتایج واقعی و عملی جابجایی پیستون دستگاه پرس در این قالب در شکل ۵ قسمت ب به نمایش درآمده است. با توجه به نتایج بدست آمده، نیروی لازم جهت پر شدن فضای این قالب توسط آلومینیوم ۳۰۰۳ حدود ۶۵ کیلو نیوتن است که برابر با فشار ۶۵ تن خواهد بود. بر اساس این مقدار فشار اعمال شده به قطعه‌کار، قالب مورد نظر در زمان ۱/۱ ثانیه توسط آلومینیوم ۳۰۰۳ پر خواهد شد. روند پر شدن قالب با پلیسه رو مربعی توسط ماده خام با شرایطی که در موارد قبل وجود داشت، اندکی متفاوت است. در قالب با پلیسه رو مربعی شکل، سطح هدایت کننده درون قالب با سطح قطعه‌کار زاویه ۹۰ درجه ایجاد می‌کند. این مساله سبب می‌شود تا در مرحله پیشروی قالب ابتدا جریان مواد به درون فضای خالی باشد و پس از آن به سطح خارجی (مرزهای) قالب برسد. این پدیده مشابه جریان پر فشار سیال رو به جلو در یک محفظه مستطیلی خالی است که ابتدا فضای سیال درون محفظه را پر می‌کند و پس از آن به سطوح مرزی قالب خواهد رسید.

پارامترهای مکانیکی مختلفی است. چون در این پژوهش جنس ماده خام تمامی قطعه‌کارها یکسان و از جنس آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳ و دمای محیط نیز ۲۵ درجه سانتیگراد و یکسان در نظر گرفته شده است، مقایسه پارامتر هندسی و نیروی مورد نیاز پر شدن قالب بصورت دو متغییر وابسته قابل بررسی خواهد بود. همانطور که در شکل ۴ قسمت الف مشاهده می‌شود، زمان پر شدن قالب توسط آلیاژ آلومینیومی ۳۰۰۳ در زمان اتمام فرایند فورج در قالب با پلیسه رو دوزنقه‌ای شکل از بقیه کمتر بود. مدت زمان پر شدن قالب با سطح مقطع پلیسه رو بیضی در میانه قرار داشت و زمان پر شدن قالب با پلیسه رو مربعی از همه بیشتر بود. با توجه به نتایج بدست آمده و بر طبق نتایج بدست آمده می‌توان به این نتایج دست یافت که در مرحله اولیه سطح داخلی قالب با سطح خارجی قطعه کار تماس پیدا می‌کند.



(الف)



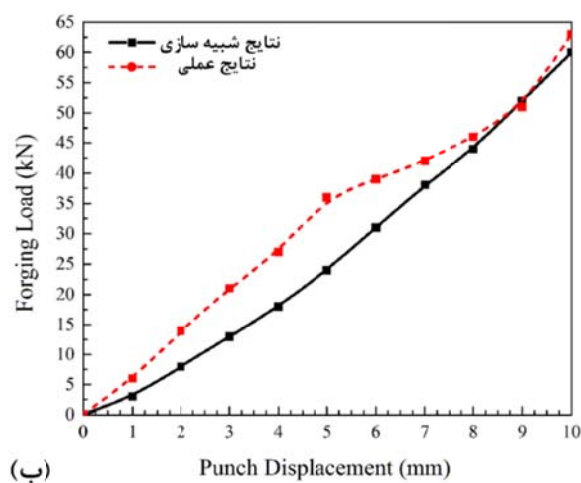
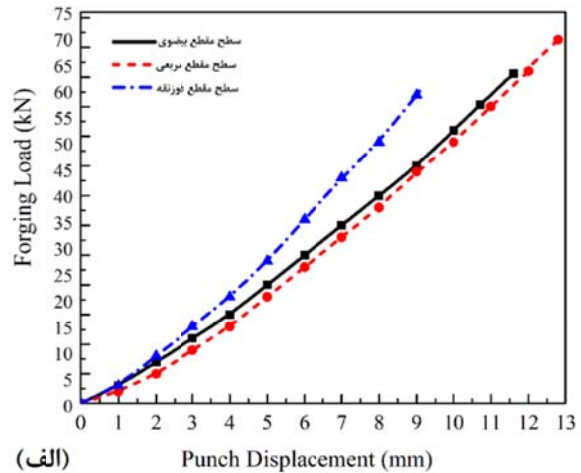
(ب)

شکل ۴ (الف) نتایج حاصل از شبیه سازی نیروی فورجینگ در قالب های مختلف و (ب) مقایسه نتایج شبیه سازی و واقعی نیروی فورجینگ قالب با پلیسه رو دوزنقه ای

بیشترین جابجایی پیستون دستگاه پرس مربوط به پلیسه‌رو مربعی است که در حدود ۱۱/۸ میلیمتر جابجایی داشت. این جابجایی اختلاف در زمان پر شدن، با وجود یکسان بودن قطعه خام اولیه به جریان مواد در حین پر شدن قالب مربوط می‌شود. جریان نامناسب در فضای خالی پلیسه رو، تجمع مواد در کانال ورودی پلیسه رو را به دنبال دارد و سبب می‌شود تا با اعمال فشار بیشتر و جابجایی بیشتر پیستون (قالب) تا جای امکان فضای درون قالب پر شود و قطعه خروجی بهتری حاصل شود. این موارد از جمله اصلی‌ترین پارامترهای تاثیر گذار در جابجایی قالب در زمان پر شدن هستند.

#### ۴-۲- توزیع داخلی تنش و کرنش پلاستیک

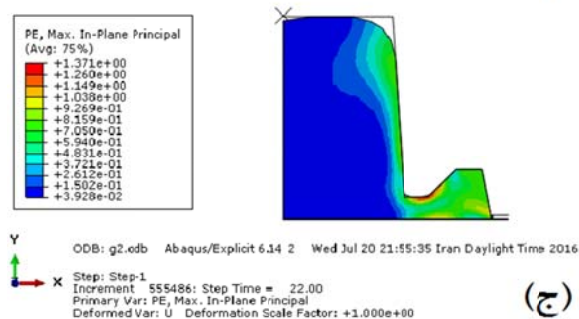
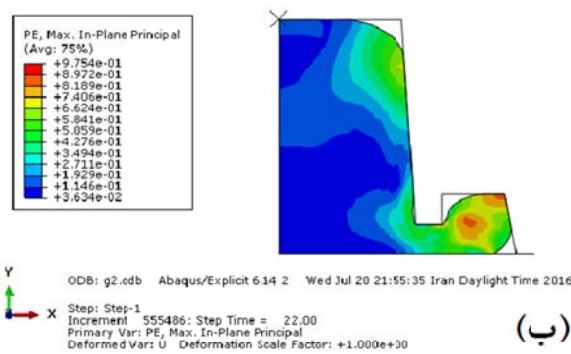
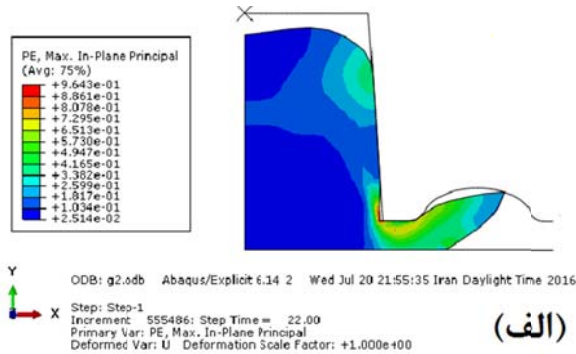
نحوه پر شدن پلیسه رو به نحوه جریان مواد درون این منطقه بستگی دارد. شکل ۶ مقدر تنش وارد شده در مراحل پایانی فرایند فورج پلیسه‌رو در اشکال مختلف را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد بیشینه توزیع تنش بر روی ماده خام در تمامی قالب‌ها با اشکال پلیسه رو مختلف، براساس معیار فون مایز ۱۵۰ مگاپاسکال بود که در لبه خارجی ماده خام، در قسمت لبه بالایی قطعه کار و در گلویی پلیسه رو اعمال شد. همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود، بیشترین تنش اعمال شده بر روی قطعه کار در لبه بیرونی قطعه کار که با سطح قالب در تماس است و در قسمت گلویی پلیسه رو است. با بررسی کرنش قطعه درون قالب نیز می‌توان دریافت که بیشترین کرنش قطعه کار نیز در همین قسمت‌ها اتفاق می‌افتد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی کرنش قطعه کار در مرحله پایانی فرایند فورج سرد در قالب با پلیسه رو بیضوی، مربعی و دوزنقه‌ای به ترتیب در شکل ۷ قسمت الف، ب و ج نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، توزیع نیرو بگونه‌ای در قطعه کار اثر گذاشته است که تغییر شکل ناشی از کرنش پلاستیک با یک حالت یکنواخت در لبه بیرونی قطعه کار بوده است. مقدار کرنش پلاستیک در لبه خارجی قطعه کار و ابتدای ورودی گلویی پلیسه رو به وجود آمد و مقدار آن ۴/۲۱۹ میلیمتر بود. مقدار کرنش پلاستیک در قطعه کار با سطح مقطع پلیسه‌رو مربعی، به حالت متمرکز و غیر یکنواخت در ابتدای ورودی گلویی پلیسه رو تبدیل شده است. مقدار پیش بینی نرم افزار در مورد کرنش پلاستیک در این نمونه که در شکل ۷ قسمت ب به نمایش در آمده است، در حدود ۱۶/۶۸ میلیمتر بود. با توجه به غیریکنواخت بودن توزیع کرنش پلاستیک در این نمونه می‌توان احتمال شکل‌گیری عیوب و گسیختگی مرز ورودی پلیسه رو و



شکل ۵ الف) نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیروی فورجینگ در قالب‌های مختلف و ب) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و واقعی نیروی فورجینگ قالب با پلیسه رو دوزنقه‌ای

این رفتار خود سبب افزایش نیروی فورج و به پیرو آن مدت زمان پر شدن قالب توسط ماده خام می‌شود. مقدار نیروی فورج لازم برای پر شدن فضای این قالب حدود ۷۵ کیلو نیوتن پیش‌بینی شده است که برابر با فشار ۷۵ تن خواهد بود. بر اساس این فشار، نتایج شبیه‌سازی، مدت زمان لازم جهت پر شدن قالب را ۱/۲۵ ثانیه پیش‌بینی کرد. نکته قابل استنباط از مقدار جابجایی قالب فورج، اختلاف جابجایی آنها است که به دلیل تفاوت سطح مقطع پلیسه‌روها رخ داده است. نتایج حاصل از نتایج المان محدود که در شکل ۵ قسمت ب قابل مشاهده است، نشان داد که در پلیسه‌رو دوزنقه‌ای شکل مقدار جابجایی پیستون دستگاه پرس ۱۰ میلیمتر به سمت پایین بود. نتایج حاصل از حل نرم افزار آباکوس نشان داد که مقدار جابجایی پیستون دستگاه پرس در پلیسه رو بیضوی ۱۱/۴ میلیمتر بود. در نهایت

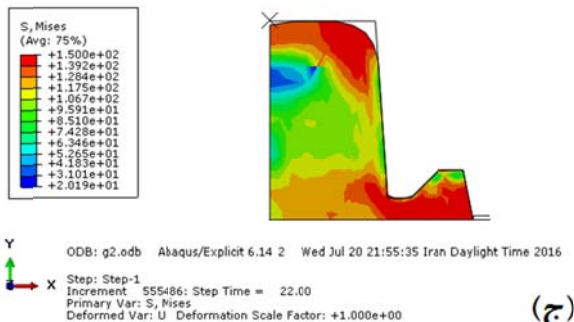
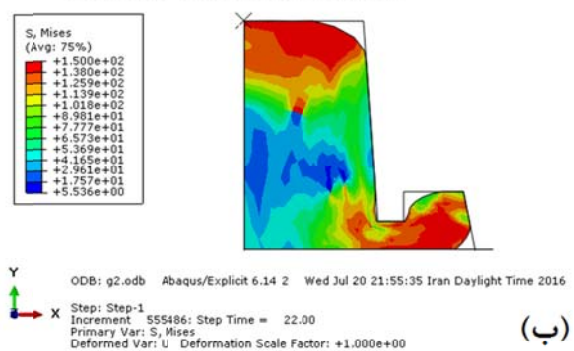
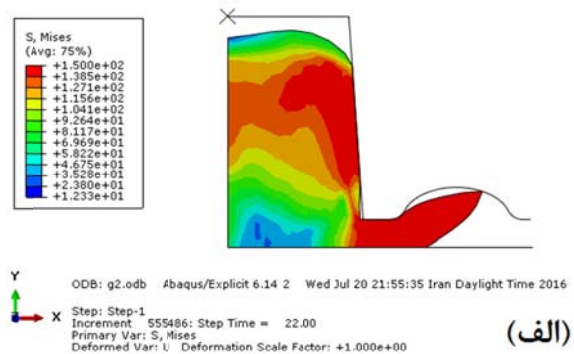
این روند در پلیسه‌رو مربعی تا حدود زیادی اصلاح شد ولی عدم پرشدن کامل در این پلیسه‌رو دیده می‌شود. با توجه به توزیع تنش و کرنش اعمال شده می‌توان دریافت که فشار وارد شده بر روی مواد در زمان پایین آمدن قالب توسط گلولی پلیسه‌رو سبب اکستروژن مواد به سمت جلو شده و نبود سطح هادی مناسب سبب شده تا جریان مواد بصورت متمرکز در وسط منطقه پلیسه‌رو صورت بگیرد.



شکل ۷ نتایج حاصل از شبیه‌سازی توزیع کرنش پلاستیک در قالب با پلیسه‌رو (الف) بیضوی، (ب) مربعی و (ج) دوزنقه‌ای

همانطور که نتایج شبیه‌سازی پیش‌بینی کرد، جریان مواد درون پلیسه‌رو دوزنقه‌ای مناسب‌تر و یکنواخت‌تر از حالت مربعی بود و همانند حالت‌های قبلی بیشینه کرنش پلاستیک و تنش اعمال شده بر روی قطعه در گلولی پلیسه‌رو رخ داده است. در این وضعیت سطح شیب‌دار پلیسه‌رو دوزنقه‌ای هدایت مواد

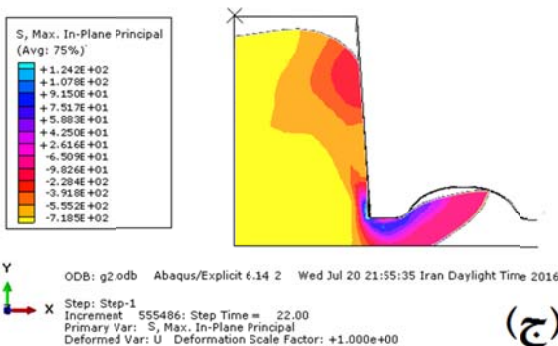
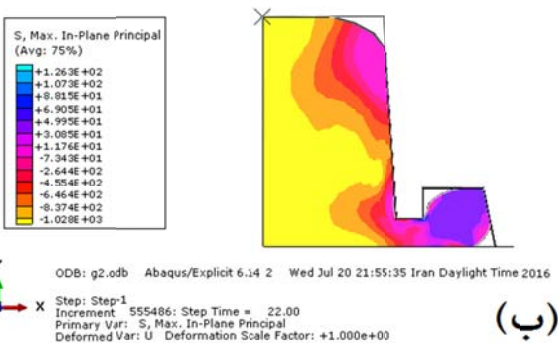
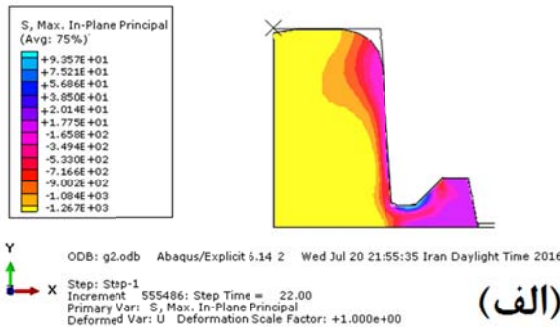
قطعه کار را در این نمونه بالا دانست. توزیع کرنش پلاستیک معادل در نمونه با شکل پلیسه‌رو بیضوی مقداری یکنواخت بوده است. مقدار کرنش پلاستیک در این نمونه ۱۰/۸۰ میلی‌متر در مرز قطعه کار و ناحیه ورودی پلیسه‌رو پیش‌بینی شد که در شکل ۷ قسمت ج قابل مشاهده است. در پلیسه‌رو بیضوی به دلیل نداشتن سطح تماس هدایت مواد در گلولی پلیسه‌رو و فضای باز پیش‌روی مواد در حال فورج، فلز آلومینیومی ۳۰۰۳ در هنگام فشار به حالت اکستروژن در می‌آید و فضای خالی دورن پلیسه‌رو را به خوبی پر نمی‌کند. ضمن آنکه این مساله سبب می‌شود تا مقداری اعوجاج در گلولی پلیسه‌رو شکل بگیرد و قطعه کار نیز به خوبی پر نشود.



شکل ۶ نتایج حاصل از شبیه‌سازی توزیع نیرو در قالب با پلیسه‌رو (الف) بیضوی، (ب) مربعی و (ج) دوزنقه‌ای



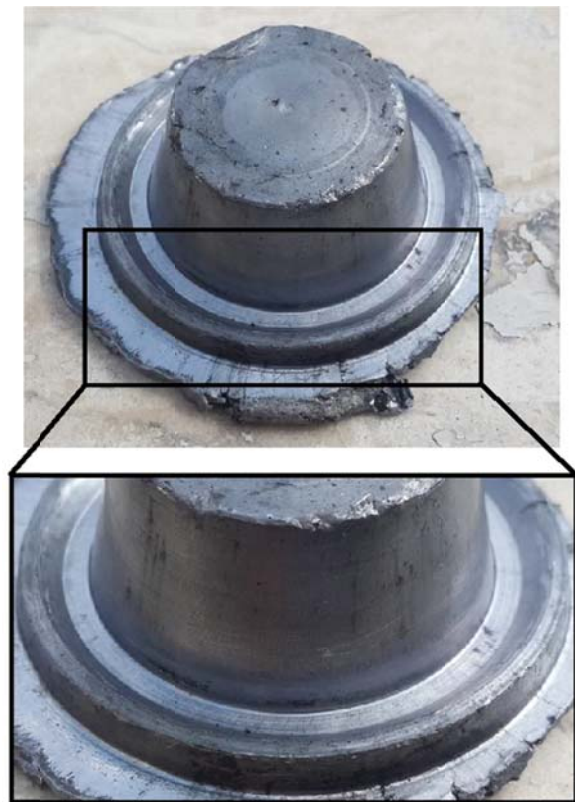
کل لازم جهت فرایند فورجینگ اندکی تفاوت دارد. در این مرحله این مقدار فشار سبب شده تا مواد به سمت فضای پلیسه رو حرکت کند. همانطور که در شکل ۹ قسمت الف دیده می‌شود، با افزایش حرکت رو به پایین پیستون، مقدار فشار اعمال شده به بیلت آلومینیومی کمتر می‌شود تا جایی‌که به ۶۱/۵ مگاپاسکال در زمانی که ۳۰ درصد حرکت رو به پایین انجام شد، می‌رسد.



شکل ۹ فشار نهایی وارد شده بر قطعه در قالب با (الف) پلیسه‌رو و (ب) مربعی و (ج) بیضوی دوزنقه‌ای،

در ادامه به دلیل مقاومت قطعه‌کار برای سیلان و افزایش فشار جهت پرسیدن قالب و غلبه بر مقاومت بیلت آلومینیومی این مقدار فشار تا ۹۲/۳ مگاپاسکال افزایش می‌یابد. در مرحله نهایی این مقدار فشار کمتر می‌شود و به ۹۳/۵ مگاپاسکال می‌رسد. مقدار فشار نهایی در قطعات با شکل پلیسه رو های مختلف

اکستروود شده را انجام داده و باعث شد تا مواد در هنگام اکستروود به درون پلیسه‌رو در منطقه مرکزی پلیسه رو تجمع نکنند و محفظه داخلی پلیسه رو را بطور کامل پرکنند. شکل ۸ نمونه‌ی واقعی فورج شده را نشان می‌دهد که دارای پلیسه‌رو با سطح مقطع دوزنقه‌ای است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، نحوه‌ی پرسیدن مواد درون قالب واقعی که منتج به شکل‌گیری قطعه شده است، با نمونه‌ی شبیه‌سازی شده تطابق مناسب و قابل قبولی دارد و قطعه‌کار و پلیسه‌رو به طور کامل شکل قالب را به خود گرفتند و هیچ‌گونه عیبی در آن ایجاد نشده است.



شکل ۸ نمونه از قطعه ساخته شده با پلیسه‌رو دوزنقه‌ای

#### ۴-۳- تغییرات نیروی وارد بر مواد در حین فرایند فورجینگ

به منظور بررسی اثر فشار قالب بر روی جریان مواد، نتایج حاصل از شبیه‌سازی تغییرات نیرو بین قطعه‌کار و قالب، از مراحل ابتدایی تا انتهای فرایند فورج سرد در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، تماس و فشار اولیه بین بیلت و قالب در سطح تماس بین گلوبی پلیسه رو و قطعه کار است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقدار فشار لحظه‌ای اعمال شده توسط قالب بر روی قطعه کار را ۹۲/۴ مگاپاسکال نشان می‌دهد. این مقدار فشار، فشار مقطعی (Local) بوده و با نیروی

سرعت حرکت مواد پس از ۶۰ درصد حرکت کل قالب به ترتیب ۱۱۲، ۱۰۶ و ۱۰۱ میلی‌متر بر دقیقه برای قالب‌های دوزنقه‌ای، مربعی و بیضوی پیش‌بینی شد. در مرحله نهایی حرکت قالب، مقدار سرعت جریان مواد در قالب با پلیسه‌رو دوزنقه‌ای به ۲۰۶ میلی‌متر بر دقیقه پیش‌بینی شد. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان مواد در اشکال دیگر پلیسه‌رو، حاکی از آن است که سرعت مواد در منطقه پلیسه‌رو مربعی و بیضوی در مرحله نهایی به ۱۸۱ و ۱۷۸ میلی‌متر بر دقیقه می‌رسد.

بررسی سرعت مواد بر رفتار جریان داخلی مواد تاثیر فراوانی دارد. عیوب شکل‌گرفته قطعه درون قالب وقتی که قطعه به خوبی در جای خود قرار نگیرد، تاثیر سرعت مواد درون قالب را به خوبی نشان می‌دهد. نحوه قرارگیری قطعه کار درون قالب مانند کج بودن قطعه خام، سرخوردن قطعه خام در مراحل ابتدایی پایین آمدن چکش می‌تواند جریان سیلان مواد را به دلیل سرعت داخلی مواد، از حالت تقارن خارج کند و سبب شود تا عیوب سطحی و داخلی در قطعه نهایی شکل گیرد. شکل ۱۱ نمونه‌ای از این عیب را در قطعه نهایی پس از فورج سرد نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ عیوب سطحی و داخلی ایجاد شده در اثر لغزش قطعه‌کار در حین فرایند فورجینگ

### ۵- نتیجه‌گیری

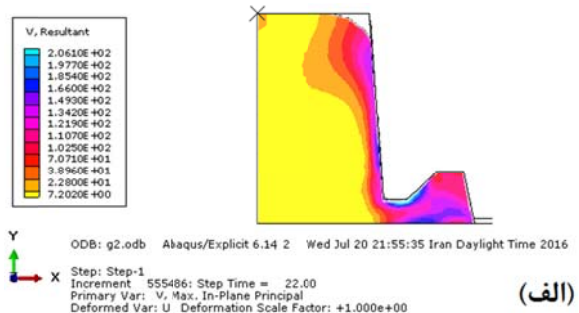
در این پژوهش اثر هندسی پلیسه‌رو در فورجینگ سرد آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳ مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و نتایج حاصل از این تحقیق به صورت زیر ارائه می‌شود:

۱- شکل هندسی و سطوح شیب دار کمک فراوانی به جریان مواد درون پلیسه‌رو به خصوص در مراحل پایانی عملیات فورجینگ می‌کند.

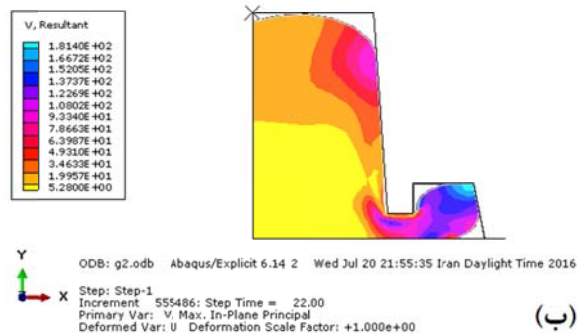
۲- نیروی مورد نیاز برای ایجاد یک قطعه مخروطی با پلیسه‌رو دوزنقه‌ای شکل، ۶۰ تن بود. این مقدار نیرو کمترین نیروی مورد نیاز فورجینگ در مقایسه با اشکال دیگر پلیسه‌رو بود.

(مربعی و بیضوی) متفاوت بود. این مقدار فشار در قطعه کارهایی با شکل پلیسه‌رو مربعی و بیضوی به ترتیب ۱۲۶ و ۱۲۴ مگاپاسکال است که به ترتیب در شکل ۹ قسمت‌های ب و ج نشان داده شده است.

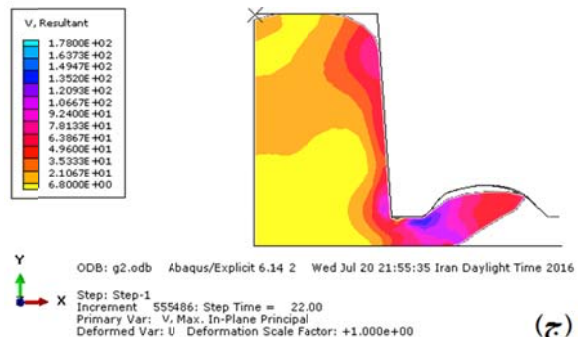
شکل ۱۰ قسمت‌های الف، ب و ج تغییرات سرعت حرکت مواد در مرحله پایانی فرایند فورجینگ را به ترتیب برای قالب‌های دوزنقه‌ای، مربعی و بیضوی نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش فشار و حرکت رو به پایین پیستون فورج، سرعت سیلان مواد نیز بیشتر می‌شود. سرعت تغییر شکل در منطقه پلیسه‌رو بیشترین مقدار خود را دارد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۰ تغییرات سرعت مواد در مرحله پایانی فورجینگ درون قالب با (الف) پلیسه‌رو دوزنقه‌ای، (ب) مربعی و (ج) بیضوی

سرعت تغییر شکل آلیاژ آلومینیوم ۳۰۰۳ پس از ۳۰ درصد از حرکت رو به پایین کل قالب با پلیسه‌رو دوزنقه‌ای، مربعی و بیضوی به ترتیب به ۸۱، ۷۶ و ۷۱ میلی‌متر بر دقیقه رسید. مقدار

- [9] M. Sedighi, M. Pourbashiri, Variable gutter technique as a novel method to reduce waste material in closed die-forging process, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 28, No. 12, pp. 5129-5134, 2014.
- [10] M. Pourbashiri, M. Sedighi, Investigating the effect of variable gutter technique as a novel method on vertical flow of material in closed die forging processes, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 30, No. 4, pp. 1851-1857, 2016.
- [11] J. Langner, M. Stonis, B. Behrens, Experimental investigation of a variable flash gap regarding material flow and influence of trigger forces, *Production Engineering*, Vol. 9, No. 3, pp. 289-297, 2015.
- [12] A. Halouani, Y. M. LI, A. Boussad, Y. Q. GUO, Optimization of cold forging perform tools using Pseudo Inverse Approach, *Transection Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 22, pp. s207-s213, 2012.
- [13] A. Halouani, Y. M. LI, B. Abbes, Y. Q. GUO, Simulation of axi-symmetrical cold forging process by efficient pseudo inverse approach and direct algorithm of plasticity, *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 61, pp. 85-96, 2012.
- [14] M. Zohoor, H. Shahverdi, A. Tafakori, Optimization of Flash, Billet Dimensions and Friction Factor in Closed Die Cold Forging Process, *Journal of Simulation and Analysis of novel technologies in Mechanical Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp. 71-80, 2010. (In Persian)
- [15] T. Altan, *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications*, ASM Handbook, pp. 1-108, Ohio: ASM International, 2004.
- ۳- در شرایط یکسان که حجم قطعه کار و ماده خام یکسان بود، قالب با پلیسه رو دوزنقه ای زودتر از دیگر قالب ها پر شد. کرنش پلاستیک موادی که در قالب دوزنقه ای بود، نزدیک به ۱۰/۸۰ میلیمتر بود. این مقدار کرنش پلاستیک در اطراف پلیسه رو اتفاق افتاد و مقدار آن از قالب های بیضوی و مربعی بیشتر بود. این پدیده حاکی از سیلان بیشتر مواد در پلیسه رو دوزنقه ای است.
- ۴- توزیع و اعمال فشار بر روی قطعه کار با پلیسه رو مربعی شکل بیشتر از نمونه های دیگر در شبیه سازی پیش بینی شد. بیشینه فشار اعمال شده بر روی قطعه کار در قسمت پلیسه رو بود که برای پلیسه رو مربعی شکل، نزدیک به ۱۲۶ مگاپاسکال پیش بینی شد و کمینه آن به پلیسه رو دوزنقه ای با مقدار ۹۳/۵ مگاپاسکال تعلق داشت.
- ۵- سرعت حرکت مواد در مراحل پایانی فرایند با هم متفاوت بود به گونه ای که سرعت جریان مواد در قالب با پلیسه رو دوزنقه ای بیشترین مقدار خود را داشت. مقدار سرعت مواد شبیه سازی شده، در این قالب نزدیک به ۲۰۶ میلیمتر در دقیقه پیش بینی شد و کمترین سرعت حرکت مواد مربوط به پلیسه رو مربعی بود که نزدیک به ۱۷۸ میلیمتر بر دقیقه رسید.

## ۶- مراجع

- [1] S. L. Semiatin, *Forging and forming*, ASM Handbook, Vol. 14, pp. 96-170, Ohio: ASM International, 2004.
- [2] M. Bakhshi jouybari, M. Elyasi, *Principal of Forging Die Design*, Babol Noushiravani University Press, pp. 100-180, Babol: Babol Noushiravani University, 2012. (In Persian)
- [3] G. E. Dieter, *Handbook of Workability and Process Design*, ASM Handbook, pp. 100-180, Ohio: ASM International, 2003.
- [4] G. E. Dieter, *Handbook of Workability and Process Design*, ASM Handbook, pp. 100-180, Ohio: ASM International, 2003.
- [5] Y. Guan, X. Bai, M. Liu, L. Song, G. Zhao, 3D preform design in forging process based on quasi-equipotential field and response surface methods, *Procedia Engineering*, Vol. 81, pp. 468-473, 2014.
- [6] F. Fereshteh-Saniee, A. H. Hosseini, The effects of flash allowance and bar size on forming load and metal flow in closed die forging, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 177, pp. 261-265, 2006.
- [7] J. H. Lee, Y. H. Kim, W. B. Bae, A study on flash- and flashless-precision forging by the upper-bound elemental technique, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 72, pp. 371-379, 1997.
- [8] J. H. Lee, U. J. Jung, G. J. Park, A study on flash- and flashless-precision forging by the upper-bound elemental technique, *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 69, pp. 1-18, 2013.