مجله مهندسی مکانیک مدرس، فوق‌العاده اسفند 1393، دوره 14، شماره 14، ص‌ص 143-147

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

ارائه فرایند اکستروژن مستقیم جدید برای تولید لوله‌های با قطر بزرگ از بیلت‌های کوچکتر

امین سیدنصرتی[1]، کارن ابری نیا[2]، قادر فرجی[3*]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
2- استاد مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
3- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
* تهران، صندوق پستی 4563- 11155، ghfaraji@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 30 تیر 1393
پذیرش: 21 مرداد 1393
ارائه در سایت: 23 مهر 1393

کلید واژگان:
لوله، اکستروژن
آزمایش تجربی
اجزا محدود

چکیده

در این مقاله، یک روش اکستروژن مستقیم جدید برای تولید لوله‌های با قطر بزرگ ارائه می‌شود. در شروع این فرایند جدید، یک بیلت استوانه‌ای شکل در داخل کانتینر قرار می‌گیرد و سپس به درون یک قالب اولیه با سه سوراخ لوبیایی شکل اکسترود می‌شود. سپس مواد وارد یک قالب دیگر با سطوح واگرا و همگرا می‌شود که به منظور جوش خوردن مواد و کاهش ضخامت لوله طراحی شده است. رفتار جریان مواد، کرنش اعمال شده و نیروی مورد نیاز فرایند با استفاده از شبیه‌سازی اجزا محدود پیش‌بینی می‌شود. نتایج نشان داد که فرایند اکستروژن جدید سه مزیت مهم در مقایسه با روش سنتی دارد که عبارتند از: نیروی فرایند کمتر، استفاده از کانتینر با قطر کوچکتر و اعمال کرنش پلاستیک شدید.

Development of a novel forward extrusion process for producing large-diameter tubes from small billets

Amin Seyyed Nosrati, Karen Abrinia, Ghader Faraji*

School of Mechanical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
* P.O.B. 11155-4563 Tehran, Iran, ghfaraji@ut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 21 July 2014
Accepted 12 August 2014
Available Online 15 October 2014

Keywords:
Tube, Extrusion
Experiments
FEM

ABSTRACT

In this paper, a new forward extrusion process is proposed for producing large-diameter tubular components. At the beginning of the process, a round billet is located in the container and then extruded into a preliminary die with three bean-shaped holes, forcing a hole in the original billet. The material is then entered into another die with diverging and converging surfaces designed to weld the material and decrease the tube thickness. Material flow behavior, applied strain and the required process load were predicted using finite element (FE) simulations. The results showed that the new extrusion process had three important advantages namely, a lower process load and a container with a smaller diameter while applying much higher plastic strain compared to the conventional methods.

1- مقدمه

اکستروژن فلزات یک فرایند شکل‌دهی حجیم است که یک بیلت استوانه‌ای شکل را از طریق یک قالب به شکلی با مقطع شکل یافته تبدیل می‌کند. قالب‌های با سطوح تخت رایج‌ترین ابزارهای صنعتی مورد استفاده در فرایند اکستروژن مستقیم هستند. یکی از کاربردهای اصلی فرایند اکستروژن تولید لوله‌های بدون درز از مواد مختلف می‌باشد که سطح مقطع نهایی لوله دارای شکل‌های مختلفی است [1]. قطعات با شکل‌های مختلف پیچیده و توخالی بوسیله فرایندهای اکستروژن مستقیم و معکوس تولید شده‌اند [2-6]. همچنین لوله‌های کامپوزیتی توسط فرایند اکستروژن لوله تولید شده اند [8،7]. لوله‌ها می‌توانند توسط اکستروژن مستقیم با متصل کردن یک ماندرل به قالب تولید شوند. ترکیب اکستروژن مستقیم و معکوس نیز برای تولید لوله‌های بدون درز و قطعات توخالی به کار می‌رود [10،9]. کیم و همکاران [11]، جو و همکاران [12] و زانگ و همکاران [13] فرایند اکستروژن چند حفره‌ای برای تولید لوله انجام دادند که مواد جدا شده در محفظه جوش به هم متصل می‌شدند و یک لوله بدون درز تولید می‌شد. کودو و شینوزاکی [14] یک مطالعه تجربی بر روی اکستروژن مستقیم لوله انجام دادند. در مطالعه آن‌ها، از فرایند اکستروژن مستقیم با یک قالب مخروطی و یک ماندرل مستقیم به همراه یک کشش اضافی از جلو برای تولید لوله استفاده شد. ماندرل استوانه‌ای به منظور اعمال کشش از جلو به انتهای لوله به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش کشش، فشار اکستروژن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. سرینیواسان و ونوگوپال [15] یک مطالعه تجربی بر روی اکستروژن لوله بدون کانتینر انجام دادند. آن‌ها فشار اکستروژن را از تحلیل قاچی محاسبه کردند و زاویه بهینه مخروط قالب را به منظور دست‌یابی به فشار حداقل تعیین نمودند. هر چند پژوهش‌های زیادی راجع به

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
A. Seyyed Nosrati, K. Abrinia, Gh. Faraji, Development of a novel forward extrusion process for producing large-diameter tubes from small billets, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 14, No. 14, pp. 143-147, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.14.36.1]

فرایند اکستروژن لوله انجام گرفته است اما فرایند مؤثری برای تولید لوله با قطر بزرگتر از بیلت با قطر کوچکتر وجود ندارد. همچنین به دلیل دشواری در طراحی محفظه جوش، لوله‌های تولید شده اغلب دارای عیوبی مانند جوش پذیری ناقص و عدم یکنواختی جوش هستند.

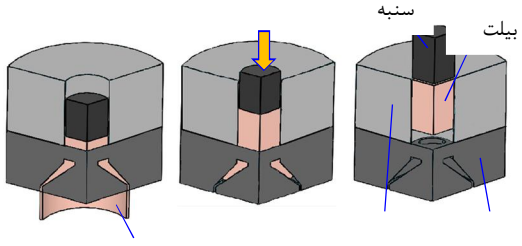
در این مقاله یک روش اکستروژن مستقیم برای تولید لوله‌های با استحکام بالا و قطر بزرگ به همراه اعمال تغییر شکل پلاستیک شدید و نیروی اکستروژن کمتر پیشنهاد می‌شود که از کانتینر با قطر کوچکتر استفاده می‌شود. به منظور تحلیل فرایند جدید، شبیه‌سازی اجزا محدود سه بعدی به منظور بررسی جریان مواد، کرنش پلاستیک اعمالی و حداکثر نیروی فرایند انجام شد. همچنین آزمایش‌های تجربی برای بررسی صحت نتایج اجزا محدود و نشان دادن قابلیت فرایند جدید انجام گرفت.

2- اصول فرایند جدید اکستروژن لول

شکل 1 فرایند جدید اکستروژن لوله را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. در شروع فرایند یک بیلت استوانه‌ای شکل داخل کانتینر مطابق شکل 1- الف قرار داده می‌شود. سپس یک سنبه بیلت را به داخل سوراخ‌های لوبیایی شکل و قالب مخروطی مطابق شکل 1- ب وارد می‌کند. کل سطح مقطع بیلت به تعداد سطوح سوراخ‌های لوبیایی شکل تقسیم می‌شود. بنابراین جریان مواد در اثر عبور از قالب سه حفره‌ای به سه قسمت تقسیم می‌شود و سپس در محفظه جوش با کاهش شکاف به هم جوش می‌خورند. در انتهای فرایند یک لوله با قطر بزرگ تولید می‌شود که در شکل 1- ج نشان داده شده است.

3- روند انجام آزمایش‌های تجربی و اجزا محدود

از سرب خالص تجاری به عنوان جنس ماده در آزمایش‌ها استفاده شد. بیلت‌های استوانه‌ای به قطر 20 میلی‌متر و طول 60 میلی‌متر ریخته‌گری شدند. شکل 2 و جدول 1 پارامترهای قالب و مقدار آن‌ها را نشان می‌دهد. قالب‌های اکستروژن لوله به منظور انجام آزمایش‌های تجربی مطابق شکل‌های 3- الف و ب طراحی و ساخته شدند. قالب سه حفره با سوراخ‌های لوبیایی شکل و قالب مخروطی واگرا با استفاده از عملیات تراش‌کاری و فرزکاری به صورت جداگانه ساخته شدند. سپس دو قالب با استفاده از پیچ به هم متصل شدند. از فولاد گرمکار برای ساخت قالب‌ها استفاده شد. مجموعه آزمایش در شکل 3- ج نشان داده شده است. از پرس هیدرولیکی اینسترون[1] با ظرفیت 30 تن برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. از سرعت پرس 2 میلی‌متر بر دقیقه برای انجام آزمایش‌ها در دمای اتاق استفاده شد و نمودار نیرو بر حسب



شکل 1 مدل اکستروژن لوله به صورت شماتیک در الف) حالت اولیه، ب) حالت میانی، ج) حالت پایانی.

1- Instron

جابجایی بدست آمد. همچنین آزمایش فشار به منظور دست‌یابی به نمودار تنش-کرنش در نرخ کرنش 2×10^{-4} بر ثانیه در دمای اتاق انجام گرفت. خواص ماده مورد آزمایش عبارتند از:

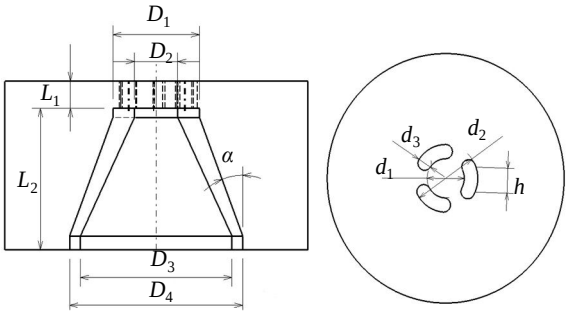
چگالی: 11450 کیلوگرم بر مترمکعب

مدول الاستیک: 14 گیگاپاسکال

تنش تسلیم: 15 مگاپاسکال

استحکام نهایی: 25 مگاپاسکال

فرایند با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود دفرم سه بعدی[2] شبیه‌سازی شد. تحلیل بر اساس فرمولاسیون لاگرانژی[3] انجام می‌شود. بنابراین امکان شبیه‌سازی فرایند شکل‌دهی در حالت گذرا وجود دارد. به علاوه مکانیزم شبکه‌بندی مجدد خودکار به منظور مواجهه با تغییر شکل شدید موضعی به



شکل 2 پارامترهای قالب از دو نمای جلو و بالا

جدول 1 پارامترهای قالب اکستروژن و مقدار آن‌ها.

پارامتر	h	d_3	d_2	d_1	D_4	D_3	D_2	D_1	L_2	L_1
مقدار (میلیمتر)	7	4	19	11	40	37	5	10	15	6

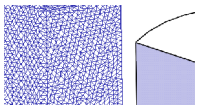
(ب) (الف)

(ج)

شکل 3 قالب اکستروژن لوله برای انجام آزمایش‌های تجربی الف) نمای بالا، ب) نمای پایین و ج) مجموعه آزمایش

2- Deform 3D
3- Lagrangian

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.14.36.1]



(الف) (ب) (ج)

شکل 4 مدل‌های الف) مونتاژی، ب) بیلت مش زده شده و ج) لوله اکسترود شده

کار گرفته شد [16،17]. مدل‌های قطعات با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی سه بعدی کتیا[1] تهیه شدند و سپس وارد نرم‌افزار دفرم شدند. قالب و سنبه به صورت اجزای صلب در نظر گرفته شدند. از 50000 المان سه بعدی چهار وجهی برای مش زدن قطعه‌کار استفاده شد. ضریب اصطکاک 0/05 در نظر گرفته شد [18،19]. یک مدل (الف) مونتاژی، (ب) بیلت مش زده شده و (ج) لوله تولید شده در شکل‌های 4 نشان داده شده است. مدل مونتاژی و بیلت مش زده شده به صورت یک سوم هندسه آن‌ها مدل‌سازی شده‌اند و از تقارن استفاده شد.

4- نتایج و بحث

شکل 5 لوله تولید شده از آزمایش تجربی در طول فرایند را نشان می‌دهد. در آزمایش‌های انجام شده در این کار، جوش خوردن در اثر نیروی فشاری در اکستروژن لوله در قالب مخروطی واگرا رخ می‌دهد. مواد در معرض دو مد تغییر شکل ترکیبی قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر ناحیه جوش تحت تغییر شکل برشی همگن و فشار کرنش صفحه‌ای در خط جوش قرار می‌گیرد. موقعی که مواد در اثر عبور از قالب سه حفره‌ای از هم جدا می‌شوند و سپس بوسیله قالب مخروطی به هم جوش می‌خورند، تغییر شکل برشی دوم در مواد درون ناحیه تغییر شکل یافته پلاستیکی رخ می‌دهد. در داخل ناحیه تغییر شکل برشی، مواد تحت کرنش پلاستیک شدیدی قرار می‌گیرند و سه مجرای لوله ای متقاطع، شکل می‌گیرد. تیزی تقاطع این مجراهای زاویه‌ای موجب می‌شود که به مواد قبل از خروج از قالب، کرنش برشی پلاستیک شدیدی وارد شود. همچنین گسترش سطح بزرگ به علت بزرگ شدن قطر لوله موجب فشار کرنش صفحه‌ای می‌شود. این امر شرایط مساعدی را برای جوش خوردن مواد در محفظه جوش فراهم می‌کند.

شکل 5 لوله تولید شده از فرایند جدید اکستروژن لوله

1- Catia

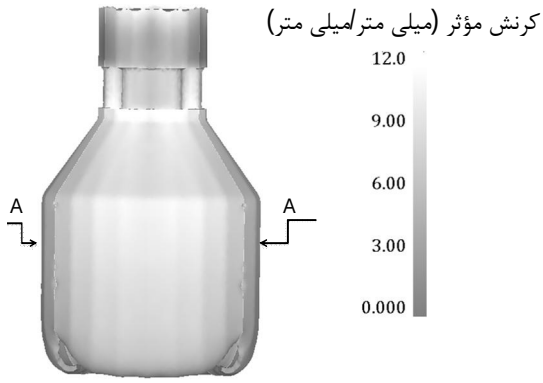
مشاهده شده است که پیوند فلزی بلافاصله پس از عبور جریان مواد از قالب سه حفره رخ نمی‌دهد. اکسیدها و فیلم‌های روان‌کاری بر روی سطوح جوش خوردن مواد را مشکل می‌سازند. برخی محققان [20-23] مشاهدات مشابهی را گزارش کرده‌اند.

کانتور کرنش مؤثر لوله تولید شده از فرایند جدید اکستروژن لوله در شکل 6- الف نشان داده شده است. نتایج به صورت سه بعدی نشان داده شده است که به منظور سهولت در نمایش کانتور، قالب و سنبه نشان داده نشده‌اند. چنانچه انتظار می‌رفت، تغییر شکل پلاستیک شدید در محفظه جوش اتفاق افتاد. اندازه کرنش مؤثر در محفظه جوش به مقدار تقریبی هشت رسید. مقادیر کرنش پلاستیک موثر در یک سوم سطح مقطع لوله در شکل 6- ج نشان داده شده است. واضح است که فرایند جدید مقدار کرنش پلاستیک 7/17 الی 8/28 در مواد اعمال می‌کند. مقدار توزیع کرنش موثر بر رفتار تغییر شکل و تکامل ریز ساختار تاثیر می‌گذارد. بنابراین تعیین مقدار کرنش موثر و توزیع آن در مواد امری مهم است. در برخی پژوهش‌ها مشاهده شده است این مقدار از کرنش که بوسیله تغییر شکل پلاستیک شدید اعمال می‌شود، ریز ساختار همگن و فوق ریزدانه در کل نمونه بدست می‌آید [24]. بنابراین مقدار کرنش موثری که بوسیله این فرایند جدید اکستروژن لوله بدست آمده موجب شکل‌گیری ریز ساختار فوق ریزدانه و در نتیجه خواص مکانیکی عالی می‌شود. شکل 6- ب کانتور کرنش مؤثر لوله تولید شده در طول فرایند سنتی اکستروژن لوله را نشان می‌دهد. واضح است که تغییر شکل پلاستیک کمتری در مقایسه با فرایند جدید رخ می‌دهد. روش سنتی کرنش‌های پلاستیک در محدوده 2/8 الی 3/6 در مواد اعمال می‌کند که تقریباً سه برابر کمتر از مقدار بدست آمده از فرایند جدید است.

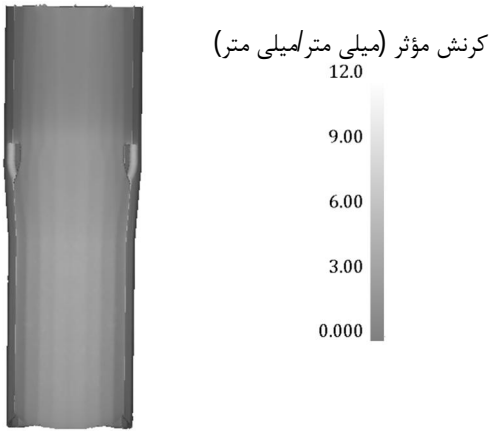
منحنی نیروی اکستروژن بر حسب جابجایی سنبه در طول فرایند جدید و سنتی اکستروژن حاصل از شبیه‌سازی اجزا محدود و آزمایش‌های تجربی در شکل 7 رسم شده است. در آزمایش تجربی نمودار نیرو برحسب جابجایی مستقیماً از طریق پرس اینسترون ثبت و گزارش می‌شود. در ابتدای فرایند اکستروژن، تغییر شکل حالت ناپایا رخ می‌دهد و مواد به صورت جزئی وارد حفره قالب می‌شوند. سپس مواد تحت تغییر شکل پلاستیک در ناحیه تغییر شکل اصلی قرار می‌گیرند. بنابراین با افزایش کرنش و مقدار ماده تغییر شکل یافته، نیروی اکستروژن افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار تقریباً 176 کیلونیوتن در 20 میلی‌متر از جابجایی سنبه می‌رسد. ماده تغییر شکل یافته هیچ نقطه تمرکز کرنش ندارد و تغییر شکل پلاستیک به صورت یکنواخت مطابق شکل 7 رخ می‌دهد. پس از این که مواد به طور کامل وارد حفره قالب شدند، کاهش تدریجی در نمودار نیرو- جابجایی رخ می‌دهد. در حالت کلی با پیشرفت فرایند، به دلیل کاهش اصطکاک بین سطح کانتینر و مواد در اثر کاهش طول بیلت، نیروی اکستروژن در طول فرایند کاهش می‌یابد [25]. هندسه تغییر شکل یافته و کرنش سختی مواد نیروی اکستروژن را افزایش می‌دهند. در فرایند اکستروژن لوله که هندسه تغییر شکل اثر غالب را دارد، نیروی اکستروژن در ابتدای فرایند به طور غیرخطی افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که نتایج شبیه‌سازی اجزا محدود مطابقت نزدیکی با داده‌های تجربی دارد. همچنین نیروهای اکستروژن پیش‌بینی شده بوسیله شبیه‌سازی اجزا محدود اندکی بالاتر از مقادیر تجربی است. هر چند اختلاف‌ها زیاد قابل توجه نیست. یکی از مزایای مهم روش جدید، نیروی فرایند کمتر در مقایسه با روش‌های سنتی است. حداکثر نیروها برای روش‌های سنتی و جدید به ترتیب 650 و 176 کیلونیوتن هستند. بنابراین فرایند با روش جدید 73% نیروی کمتر در مقایسه با روش سنتی نیاز دارد. این امر به علت وجود بیلت با قطر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.14.36.1]

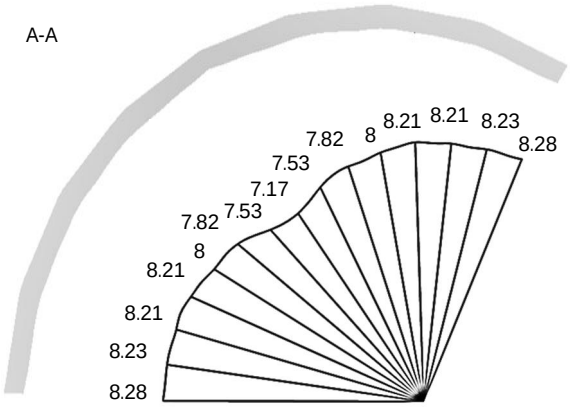
بزرگتر می‌باشد که در فرایند سنتی به کار می‌رود. با توجه به اینکه در فرایند ارائه شده از بیلت‌های کوچکتر برای ساختن لوله‌های با قطر بزرگتر استفاده می‌گردد لذا نیروی مورد نیاز که مستقیماً به قطر بیلت وابسته است کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که فرایندهای با نیروی کمتر مورد تقاضای صنایع مختلف به منظور کاهش هزینه و انرژی است.



(الف)

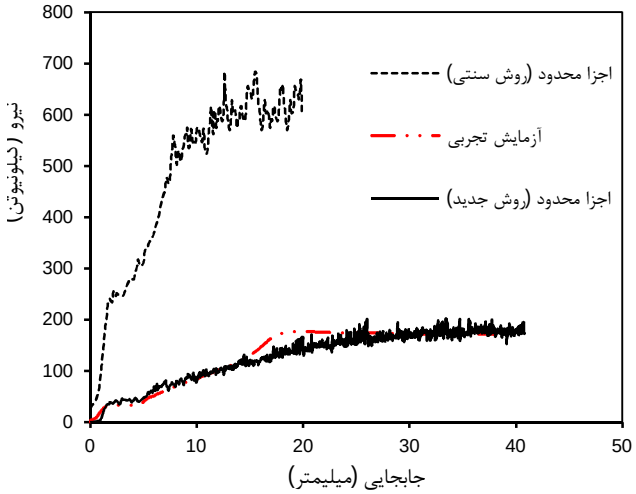


(ب)



(ج)

شکل 6 کانتور کرنش مؤثر لوله تولید شده بوسیله الف) روش جدید، ب) روش سنتی و ج) توزیع کرنش موثر در طول یک سوم سطح مقطع لوله تولید شده از فرایند جدید



شکل 7 منحنی‌های نیرو- جابجایی فرایند حاصل از شبیه‌سازی اجزا محدود و آزمایش‌های تجربی

5- نتیجه‌گیری

فرایند جدید اکستروژن لوله برای تولید لوله‌های با قطر بزرگتر از بیلت‌های با قطر کوچکتر که تغییر شکل پلاستیک شدیدی اعمال می‌شود، با موفقیت انجام پذیرفت. همچنین به علت جریان یافتن مواد از قالب‌های خاص طراحی شده، تغییر شکل پلاستیک شدید در طول فرایند رخ داد. نتایج ذیل بدست آمد:

- لوله بزرگتر از قطر بیلت اولیه بوسیله فرایند جدید تولید شد.
- کرنش پلاستیک شدید به دلیل فشار کرنش صفحه‌ای مواد در محفظه جوش در قالب مخروطی واگرا رخ داد.
- نتایج شبیه‌سازی اجزا محدود نشان داد که کرنش مؤثر تقریباً هشت در دیواره لوله تولید شده رخ داد که این مقدار تقریباً سه برابر مقدار حاصل از فرایند سنتی بود.
- انجام فرایند با این روش 73% نیروی کمتر در مقایسه با روش سنتی نیاز دارد.

6- مراجع

[1] R. Ebrahimi, M. Reihanian, M. Kanaani, M. M. Moshksar, An upper-bound analysis of the tube extrusion process, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 199, No. 1–3, pp. 214-220, 2008.
[2] W. B. Bae, D. Y. Yang, An upper-bound analysis of the backward extrusion of tubes of complicated internal shapes from round billets, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 36, No. 2, pp. 157-173, 1993.
[3] M. M. Moshksar, R. Ebrahimi, An Analytical Approach for Backward-Extrusion Forging of Regular Polygonal Hollow Components, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 40, No. 12, pp. 1247-1263, 1998.
[4] M. M. Moshksar, R. Ebrahimi, A new upper bound analysis for prediction of load and flow pattern in backward extrusion forging, *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Technology*, Vol. 23, No. 3, pp. 265-266, 1999.
[5] S. Orangi, K. Abrinia, R. Bihamta, Process Parameter Investigations of Backward Extrusion for Various Aluminum Shaped Section Tubes Using FEM Analysis, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 20, No. 1, pp. 40-47, 2011/02/01, 2011. English
[6] A. Sadeghi, M. Hoseini, M. Pekguleryuz, Tube extrusion of AZ31 alloy with Sr additions, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 544, No. 0, pp. 70-79, 2012.
[7] N. R. Chitkara, A. Aleem, Extrusion of axi-symmetric tubes from hollow and solid circular billets:: a generalised slab method of analysis and some experiments, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 43, No. 7, pp. 1661-1684, 2001.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.14.36.1]

[8] Y.-M. Hwang, S.-J. Huang, Y.-S. Huang, Study of seamless tube extrusion of SiCp-reinforced AZ61 magnesium alloy composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 68, No. 5-8, pp. 1361-1370, 2013/09/01, 2013. English
[9] B. Avitzur, W. Hahn Jr, M. Mori, Analysis of combined backward-forward extrusion, *Journal of Engineering for Industry,* Vol. 98, pp. 438, 1976.
[10] B. Avitzur, C. E. Umana, Effects And Applications Of Geometry Variations On The Combined Forward-Backward Extrusion, *American Society of Mechanical Engineers, Applied Mechanics Division, AMD,* Vol. 28, pp. 175-181, 1978.
[11] K. J. Kim, C. H. Lee, D. Y. Yang, Investigation into the improvement of welding strength in three-dimensional extrusion of tubes using porthole dies, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 130–131, No. 0, pp. 426-431, 2002.
[12] H. H. Jo, S. K. Lee, S. B. Lee, B. M. Kim, Prediction of welding pressure in the non-steady state porthole die extrusion of Al7003 tubes, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, No. 6, pp. 753-759, 2002.
[13] C. Zhang, G. Zhao, H. Chen, Y. Guan, H. Cai, B. Gao, Investigation on Effects of Die Orifice Layout on Three-Hole Porthole Extrusion of Aluminum Alloy 6063 Tubes, *Journal of Materials Engineering and Performance,* Vol. 22, No. 5, pp. 1223-1232, 2013/05/01, 2013. English
[14] H. Kudo, K. Shinozaki, EXTRUSION OF HOLLOW COMPONENT WITH ADDITIONAL TENSION, *Ann CIRP*, Vol. 18, No. 2, pp. 327-333, 1970.
[15] K. Srinivasan, P. Venugopal, Influence of Die Angle on Containerless Extrusion of Commercially Pure Titanium Tubes, *Materials and Manufacturing Processes,* Vol. 22, No. 2, pp. 238-242, 2007/02/02, 2007.
[16] G. Faraji, M. Mashhadi, K. Abrinia, H. Kim, Deformation behavior in the tubular channel angular pressing (TCAP) as a noble SPD method for cylindrical tubes, *Applied Physics A: Materials Science & Processing,* pp. 1-9, 2012.
[17] G. Faraji, M. Mashhadi, A. Dizadji, M. Hamdi, A numerical and experimental study on tubular channel angular pressing (TCAP) process, *Journal of mechanical science and technology,* Vol. 26, No. 11, pp. 3463-3468, 2012.
[18] G. Faraji, H. Jafarzadeh, Accumulative Torsion Back (ATB) Processing as a New Plastic Deformation Technique, *Materials and Manufacturing Processes,* Vol. 27, No. 5, pp. 507-511, 2012.
[19] G. Faraji, M. M. Mashhadi, S.-H. Joo, H. S. Kim, The Role Of Friction In Tubular Channel Angular Pressing, *Rev. Adv. Mater. Sci*, Vol. 31, pp. 12-18, 2012.
[20] N. Bay, Cold Pressure Welding - The Mechanisms Governing Bonding, *Journal of engineering for industry,* Vol. 101, No. 2, pp. 121-127, 1979.
[21] J. A. Cave, J. D. Williams, Mechanism Of Cold Pressure Welding By Rolling, *J Inst Met (Lond),* Vol. 101, pp. 203-207, 1973.
[22] C. Clemensen, O. Juelstorp, N. Bay, Cold Welding. Part 3: Influence Of Surface Preparation On Bond Strength, *Metal construction,* Vol. 18, No. 10, pp. 625-629, 1986.
[23] T. Tabata, S. Masaki, K. Azekura, Bond criterion in cold pressure welding of aluminium, *Materials Science and Technology,* Vol. 5, No. 4, pp. 377-381, 1989.
[24] G. Faraji, M. M. Mashhadi, H. S. Kim, Microstructural Evolution of UFG Magnesium Alloy Produced by Accumulative Back Extrusion (ABE), *Materials and Manufacturing Processes,* Vol. 27, No. 3, pp. 267-272, 2012/03/01, 2011.
[25] H. Haghighat, G. R. Asgari, A generalized spherical velocity field for bi-metallic tube extrusion through dies of any shape, *International Journal of Mechanical Sciences,* Vol. 53, No. 4, pp. 248-253, 2011.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.14.36.1]