فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

تحلیل عددی تاثیر فشار ضربانی بر کاهش ضخامت در فرآیند شکل‌دهی آزاد داغ لوله به وسیله گاز

علی طالبی انارکی[۱]، محسن لوح موسوی[۱و۲*]

* نویسنده مسئول: loh-mousavi@iaukhsh.ac.ir

چکیده

امروزه استفاده از فلزات و آلیاژهایی با وزن سبک و استحکام بالا در صنایع متنوعی از قبیل خودروسازی و هوافضا مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از آلیاژهای آلومینیوم- منیزیم یکی از روش‌های موثر به منظور کاهش وزن قطعات است. این آلیاژها در دمای محیط شکل‌پذیری پایینی دارند که به منظور حل این مشکل بایستی دمای شکل‌پذیری آن‌ها افزایش یابد. روش‌هایی نظیر هیدروفرمینگ گرم و شکل‌دهی داغ گازی یکی از روش‌های مرسوم به منظور شکل‌دهی این آلیاژهاست. قبلاً نشان داده شده است که یکی از روش‌های موثر به منظور بهبود فرآیند هیدروفرمینگ لوله استفاده از مسیرهای فشار نوسانی است که علاوه بر بهبود شکل‌پذیری، توزیع ضخامت را بهبود می‌بخشد. در این مقاله، تاثیر فشار ضربانی بر شکل‌پذیری آلیاژ آلومینیومی (Al6063) در فرآیند بالج آزاد داغ لوله به وسیله گاز مورد بررسی عددی قرار گرفته است و نتایج آن با فشار ثابت غیرضربانی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد کاهش ضخامت در فرآیند شکل‌دهی داغ گازی با اعمال فشار ثابت نسبتا زیاد است در صورتی که استفاده از ضربانات فشار به دلیل کاهش ضخامت منظم در حین فرآیند، شکل‌دهی لوله و توزیع ضخامت آن را بهبود می‌بخشد. همچنین تغذیه‌ی محوری به عنوان یکی از پارامترهای موثر در این فرآیند باعث افزایش بهبود شکل‌پذیری لوله بوسیله فشار ضربانی می‌شود.

واژه‌های کلیدی

تحلیل اجزای محدود
فشار ضربانی
شکل‌دهی داغ لوله به وسیله گاز
کاهش ضخامت

تاریخ ارسال:	۹۴/۱۲/۱۵
تاریخ بازنگری:	۹۵/۰۱/۰۴
تاریخ پذیرش:	۹۵/۰۱/۱۷

۱- گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲- دانشکده مکانیک، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

Numerical study on the effect of hammering pressure on thickness reduction in hot tube metal gas forming process

Ali Talebi Anaraki[1], Mohsen Loh-Mousavi[1-2,*]

* Corresponding author: loh-mousavi@iaukhsh.ac.ir

Abstract:

Nowadays, light weight and high strength metals are being used in various industries such as automotive and aerospace. Using aluminum-magnesium alloys is an efficient way to reduce the weight of a specific part. These alloys have poor formability in room temperature thus they should be formed at elevated temperature. Warm hydroforming and hot metal gas forming are conventional methods to form aforementioned alloys. It is proven that using hammering pressure is an efficient way in order to optimize hydroforming process that it improves formability and thickness distribution. In this paper, the effect of hammering pressure on hot free bulging of an Al6063 tube is investigated numerically and the results are compared with the results of constant pressure path. Results show that reduction of thickness is greater for peak constant pressure while using hammering pressure, due to gradual thickness reduction, could improve formability and thickness distribution. Results also show that axial feeding, increase the effect of formability caused by hammering pressure.

Key words:

Finite Element Method,
Hammering pressure,
Hot Metal Gas forming,
Thickness.

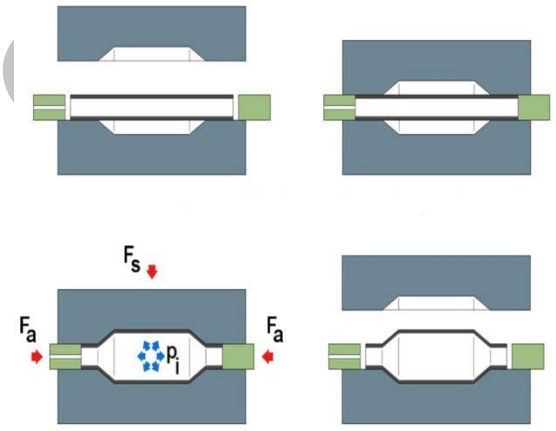
Archive of SID

1- Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr/Isfahan, Iran.

www.SID.ir

۱- مقدمه

هیدروفرمینگ یکی از روش‌های نسبتا نوین شکل‌دهی لوله‌ها به منظور تولید قطعات توخالی است. این روش با توجه به دانش فنی و تکنولوزی بالا در صنایع متنوعی از قبیل خودروسازی و هوافضا مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از برخی قطعات ایجاد شده با این روش در صنعت خودروسازی موجب کاهش وزن قطعات فلزی خودرو شده که این امر موجب کاهش مصرف سوخت می‌شود [۱و۲]. شکل (۱) شماتیکی از فرآیند هیدروفرمینگ لوله را نشان می‌دهد. در این فرآیند به وسیله اعمال فشار سیال و تغذیه محوری مناسب قطعه شکل حفره قالب را به خود می‌گیرد [۲]. به کارگیری فرآیند هیدروفرمینگ لوله موجب کاهش تعداد مراحل تولید شده و ضمن کاهش هزینه‌های ساخت تولید قطعات با اشکال پیچیده را امکان‌پذیر می‌کند [۳].



شکل (۱): شماتیک فرآیند هیدروفرمینگ لوله [۲]

در مطالعات گذشته استفاده از مسیر فشار نوسانی به صورت ضربانی یا سینوسی به عنوان یکی از روش‌های موثر بر بهبود شکل‌پذیری در این فرآیند گزارش شده است [۴-۶]. اولین‌بار هیدروفرمینگ با فشار نوسانی توسط موری و همکاران مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصله، بهبود شکل‌دهی لوله را نشان دادند [۴]. لوح موسوی و همکاران به بررسی تجربی مسیر فشار نوسانی در فرآیند بالج آزاد هیدروفرمینگ لوله‌ها پرداختند و نتایج حاصل را با نتایج شبیه‌سازی سه بعدی فرآیند، مورد مقایسه قرار دادند [۵]. لوح موسوی و همکاران بهبود شکل‌دهی سه‌راهی را با استفاده از روش‌های عددی و تجربی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال فشار نوسانی از پارگی قطعه جلوگیری نموده است [۶]. لیو و همکاران بهبود شکل‌پذیری قطعه Y شکل از آلیاژ آلومینیوم ۶۰۱۶ به وسیله هیدروفرمینگ نوسانی را بررسی کردند که نتایج حاصل بهبود شکل‌پذیری با اعمال نوسانات فشار را نشان می‌دهد [۷].

آلیاژهای آلومینیوم- منیزیم در دمای محیط شکل‌پذیری پایینی دارند، که به منظور رفع این محدودیت، روش‌های شکل‌دهی در دماهای بالا نظیر شکل‌دهی داغ گازی و هیدروفرمینگ گرم به کار می‌روند [۸]. هوانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ مقاله‌ای تحت عنوان هیدروفرمینگ گرم لوله‌های Y شکل از جنس آلیاژهای منیزیم را منتشر نمودند [۹]. مائنو و همکاران مقاله‌ای تحت عنوان، بهینه‌سازی شرایط شکل‌دهی داغ لوله‌ی آلیاژی آلومینیومی با گاز به وسیله‌ی استفاده از گرمایش مقاومتی درون قالب را به چاپ رساندند. در پژوهش مذکور، تاثیر اعمال و فقدان تغذیه‌ی محوری بر فرآیند شکل‌دهی گازی لوله مطالعه گردید. در ادامه‌ی این پژوهش، چگالی‌های مختلف جریان الکتریکی بررسی شد و مقادیر زمان تغذیه‌ی محوری، سرعت و میزان آن بهینه‌سازی گردید [۱۰].

در مقاله حاضر، تاثیر اعمال فشار ضربانی در شکل‌دهی آزاد داغ گازی مورد بررسی عددی قرار می‌گیرد و در ادامه تاثیر این نوع مسیر فشار بر کاهش ضخامت لوله ارزیابی می‌شود. همچنین تاثیر تغذیه‌ی محوری به عنوان یکی از موثرترین پارامترهای این فرآیند مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از این پارامتر نیز مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

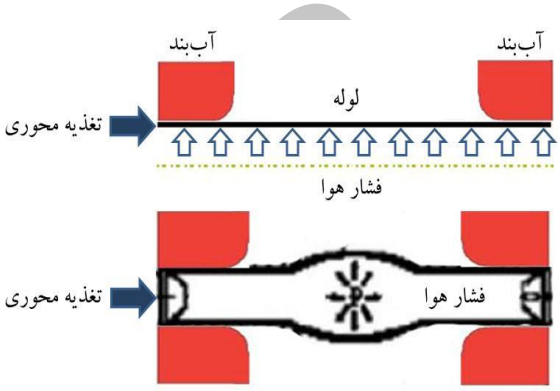
۲- مدل سازی اجزای محدود فرآیند

در این مقاله، برای شبیه‌سازی تاثیر اعمال فشار ضربانی در فرآیند شکل‌دهی داغ لوله به وسیله گاز از نرم افزار Abaqus 6.14 استفاده شده است. همان‌گونه که در شکل

Archive of SID

www.SID.ir

(۲) نشان داده شده است، بدلیل تقارن مجموعه‌ی لوله و آب‌بند و برای صرفه‌جویی در زمان محاسبه، شبیه‌سازی به صورت متقارن محوری انجام گرفته و نوع حل مسئله به صورت دینامیک- دما- جابجایی صریح در نظر گرفته شده است. جنس لوله‌ی به کار رفته در شبیه‌سازی از نوع آلومینیوم ۶۰۶۳ است که شرایط شبیه‌سازی در جدول (۱) نشان داده شده است. نوع و تعداد المان به کار رفته در لوله به ترتیب CAX4RT و ۳۷۴ المان می‌باشند و مجموعه‌ی آب‌بندها از نوع صلب در نظر گرفته شده‌اند.

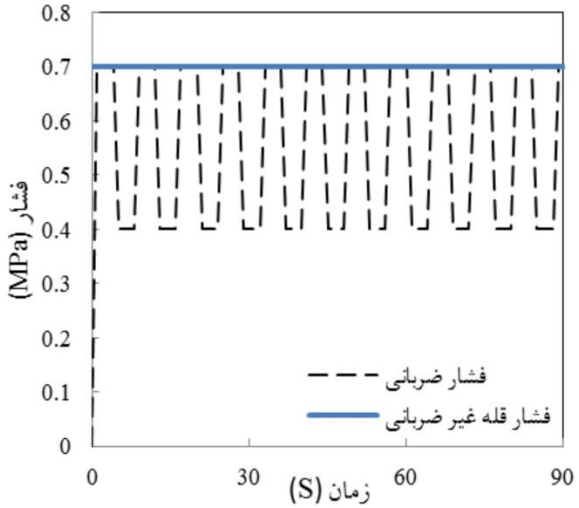


شکل (۲): شماتیکی از مدل به کار رفته در شبیه‌سازی عددی

جدول (۱): پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی عددی

پارامتر	مقدار
قطر خارجی لوله *(D)*	۲۵ mm
ضخامت لوله *(t)*	۱/۵ mm
طول لوله *(l)*	۱۳۰ mm
ضریب پواسون	۰/۳۳
ضریب اصطکاک	۰/۱
رسانایی *(Conductivity)*	۲۰۹ W/M-K
گرمای ویژه *(Specific Heat)*	۹۰۰ J/Kg-°c
ضریب همرفتی *(Film Coefficient)*	۲۰۰۰W/M^2-K
ضریب تشعشع *(Radiation Emissivity)*	۰/۳۳

مسیر فشار ضربانی در نظر گرفته شده در نمونه شبیه‌سازی شده در شکل (۳) نشان داده شده است، مسیر فشار مذکور با فشار میانگین ۰/۵۵ MPa، دامنه نوسان ۰/۱۵ MPa و با دوره تناوب ۸ ثانیه با توجه به مرجع [۱۱] در نظر گرفته شده است. به منظور درک بهتر تاثیر اعمال ضربانات فشار، فشار ثابت قله متناظر با این مسیر فشار نیز مورد تحلیل عددی قرار گرفته است.

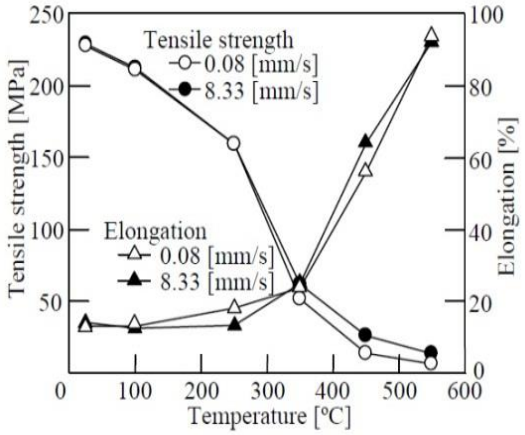


شکل (۳): مسیر فشار ضربانی در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی

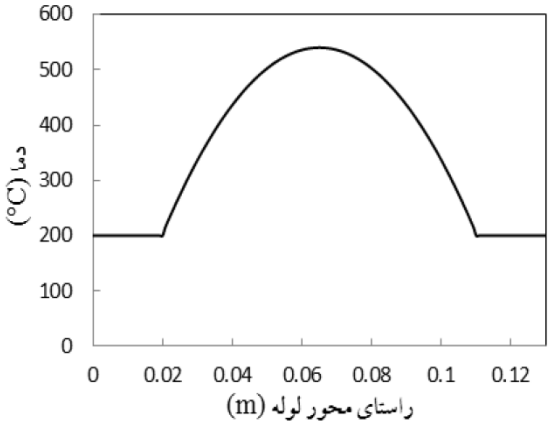
($\Delta P = 0.15$ MPa, T= 8S)

همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، در این تحلیل از نمودار استحکام کششی و درصد ازدیاد طول آلیاژ آلومینیومی Al6063 تابع دما استفاده شده است [۱۰]، سپس مشخصات مورد نظر در دماهای مختلف استخراج گردیده و در شبیه‌سازی اعمال شده است. مطابق با شکل (۵) نحوه‌ی توزیع دما در طول لوله به صورت غیر یکنواخت فرض شد به گونه‌ای که هرچه به سمت مرکز لوله پیش برویم دمای محدوده‌ی کاری افزایش می‌یابد، دمای کاری در محل قرارگیری آب‌بندها به صورت ثابت در نظر گرفته شده است. بدین صورت منحنی دمای مورد نظر مطابق با شکل (۶) بر روی سطح قطعه ایجاد می‌گردد. لازم به توضیح است که منحنی توزیع دما بر اساس تحقیقات قبلی نگارندگان مقاله مطابق با آزمایشات تجربی انجام یافته در این زمینه تعیین گردید [۱۱].

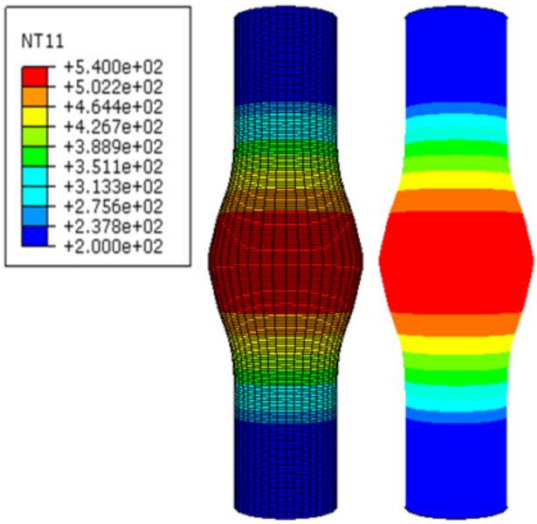
Archive
www.SID.ir



شکل (۴): نمودار استحکام کششی و درصد ازدیاد طول آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۳ تابع دما [۱۰]



شکل (۵): منحنی توزیع دما در راستای محور لوله [۱۱]

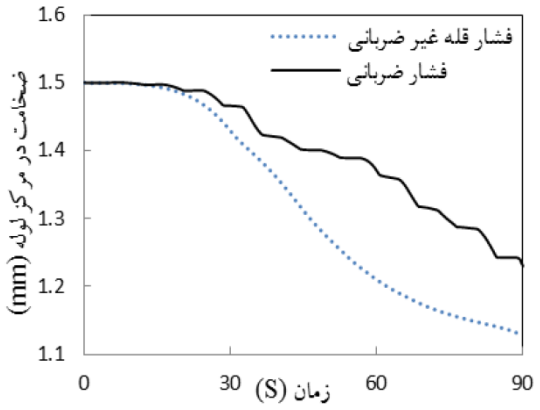


شکل (۶): منحنی دمای ایجاد شده بر روی سطح لوله

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل عددی تاثیر فشار ضربانی برکاهش ضخامت لوله

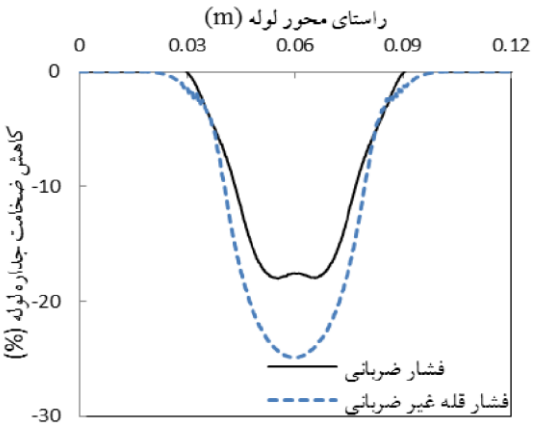
نتایج حاصل از مقایسه نمودار کاهش ضخامت بر حسب زمان برای مسیر فشار ضربانی و غیر ضربانی قله با تغذیه محوری به میزان ۱۰ میلی‌متر در شکل (۷) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد استفاده از مسیر فشار ضربانی باعث بهبود کاهش ضخامت لوله می‌گردد. ضربانات فشار باعث کاهش منظم ضخامت شده است در حالی که استفاده از مسیر فشار ثابت باعث کاهش سریع ضخامت می‌گردد. ضربانات فشار به همراه تغذیه محوری مناسب باعث تغذیه شدن لوله شده و از پدیده نازک شدگی سریع و به یکباره جلوگیری به عمل آمده است.



شکل (۷): مقایسه تغییرات ضخامت در مرکز لوله برای مسیر فشار ضربانی و غیر ضربانی

مقایسه درصد کاهش ضخامت جداره لوله در راستای طول لوله در شکل (۸) نشان داده شده است. در شکل مذکور درصد کاهش ضخامت لوله نسبت به ضخامت اولیه لوله برای مسیرهای فشار ضربانی و فشار ثابت قله غیرضربانی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد اعمال ضربانات فشار باعث بهبود ضخامت لوله در راستای طول لوله در مقایسه با مسیر فشار یکنواخت قله می‌گردد.

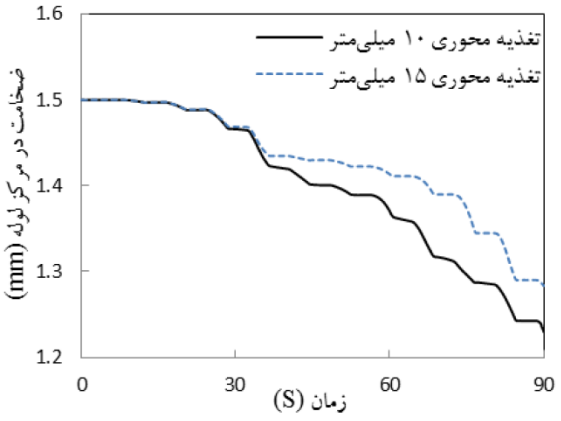
www.SID.ir



شکل (۸): مقایسه درصد کاهش ضخامت در راستای طول لوله برای مسیر فشار ضربانی و غیر ضربانی

۳-۲- تحلیل عددی تاثیر تغذیه محوری در فرآیند شکل‌دهی داغ گازی با اعمال فشار ضربانی بر کاهش ضخامت لوله

نتایج حاصل از مقایسه میزان تغذیه محوری در نمونه‌ی شبیه‌سازی شده در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزایش میزان تغذیه محوری باعث افزایش شکل‌پذیری گشته و نازک شدگی کمتری در محصول نهایی مشاهده می‌گردد. با افزایش تغذیه محوری ماده بیشتری در حین فرآیند به ناحیه‌ی بالج تزریق گشته و بدین دلیل باعث بهبود ضخامت لوله در این فرآیند می‌گردد.



شکل (۹): تاثیر میزان تغذیه محوری در فرآیند شکل‌دهی داغ گازی با اعمال فشار ضربانی

۳-۳- بررسی تجربی تاثیر تغذیه محوری بر شکل‌پذیری لوله در فرآیند شکل‌دهی داغ گازی با اعمال فشار ضربانی

در شکل (۱۰) نتایج حاصل از مقایسه لوله‌های شکل‌دهی شده با اعمال فشار ضربانی بدون اعمال تغذیه محوری و با اعمال تغذیه‌ی محوری به میزان ۱۰ میلی‌متر نشان داده شده است. نتایج حاصل از این مقایسه نشان می‌دهد که با اعمال تغذیه‌ی محوری شکل ظاهری و ارتفاع بالج ایجاد شده در لوله‌ی شکل‌دهی شده بهبود یافته که دلیل این امر تسهیل جریان فلز در هنگام اعمال تغذیه‌ی محوری است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد ناحیه‌ی پارگی در لوله‌ی شکل‌دهی شده بدون اعمال تغذیه‌ی محوری به علت کاهش ضخامت و ذوب شدگی ناشی از دمای بیش از حد در ناحیه‌ی ترکیدگی به دلیل افزایش زمان فرآیند می‌باشد. در هنگام عدم اعمال تغذیه‌ی محوری لوله‌ی شکل‌دهی شده سریعا نازک می‌گردد در حالی که با اعمال تغذیه محوری در حین شکل‌دهی جریان ماده مقداری از کاهش ضخامت لوله را جبران کرده و در نهایت از پارگی و نازک‌شدگی سریع لوله جلوگیری به عمل می‌آید. همراه شدن تغذیه محوری با ضربانات فشار موجب بهبود شکل‌دهی لوله در این فرآیند می‌گردد.

شکل (۱۰): لوله‌های شکل‌دهی شده با اعمال فشار ضربانی الف) بدون اعمال تغذیه محوری، ب) با تغذیه محوری

Archive of SID

www.SID.ir

٤- نتیجه‌گیری

استفاده از مسیرهای فشار ضربانی یکی از راه‌های بهینه‌سازی فرآیند شکل‌دهی داغ گازی است. با اعمال نوسانات فشار، کاهش ضخامت منظمی در قطعه رخ داده و ضخامت نهایی قطعه بهبود می‌یابد. در صورتی که استفاده از فشار ثابت باعث کاهش سریع ضخامت در قطعه می‌گردد که این امر منجر به پارگی و نازک شدگی لوله می‌شود. از طرفی دیگر تغذیه محوری مناسب باعث تزریق ماده در حین ضربانات فشار به ناحیه‌ی بالج شده که این امر به تسهیل جریان فلز در حین شکل‌دهی کمک نموده و باعث بهبود شکل‌دهی در لوله می‌گردد. میزان دامنه فشار ضربانی اعمالی در فرآیند شکل‌دهی داغ گازی نسبت به فرآیند هیدروفرمینگ بسیار پایین‌تر است با این وجود با توجه به ماهیت داغ فرآیند شکل‌دهی گازی استفاده از فشار ضربانی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود شکل‌پذیری دارد. علاوه بر موارد فوق، ملاحظه شد که اضافه شدن تغذیه محوری باعث بهبود شکل‌پذیری ناشی از اعمال فشار ضربانی می‌شود.

مراجع:

[1] Maeno T., Mori K., Fujimoto K., Development of the hot gas bulging process aluminum alloy tube using resistance heating, *Key Engineering Materials*, Vols. 410-411, 2009, pp. 315-323.

[2] Dohmann F., Hartl CH., Hydroforming-applications of coherent FE-simulations to the development of products and processes, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 150, 2004, pp. 18-24.

[3] Shahbazi karami J., Payganeh Gh., Rakhodaei H., Computer Aided Design of the Tube Hydroforming and Dual Hydroforming Processes, *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production*, Vol. 4, 2015.

[4] Mori K., Patwari A.U., Maki S., Improvement of formability by oscillation of internal pressure in pulsating hydroforming of tube, *CIRP Annals Manufacturing Technology*, Vol. 53, 2004, pp. 215-218.

[5] Loh-Mousavi M., Bakhsi M., Mori K., Maeno T., Farzin M., Hosseinpour S.J., 3-D Finite element simulation of pulsating free bulge hydroforming of tubes, *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, Vol. 32, No. B6, 2008, pp. 611-618.

[6] Loh-Mousavi M., Bakhshi-Jooybari M., Mori K-I., Hyashi K., Improvement of formability in T-shape hydroforming of tubes by pulsating pressure, Proc. *IMechE Vol. 222 Part B: J. Engineering Manufacture*, 2008, pp. 1139-1146.

[7] Liu Z., Wu X., Zhang D., Ding Y., Gao L., Yan X., Improvement of formability of Y-shaped tubular part of 6016 aluminum alloy by pulsating hydroforming, *Proceedings of SAE-China Congress 2014: Selected Papers, Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol. 328, 2015, pp. 221-225.

[8] Kim, B.j., Van Tyne, C.j., Lee, M.Y., Moon, Y.H., Finite element analysis and experimental confirmation of warm hydroforming process for aluminum alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 187–188, 2007, pp. 296– 299.

[9] Hwang Y.M., Wang K.H., Study on y-shape tube hydroforming of magnesium alloys at elevated temperatures, *International Journal of Material Forming*, Vol. 3, 2010, pp. 175-178.

[10] Maeno T., Mori K., Unou C., Optimisation of condition in hot gas bulging of aluminum alloy tube using resistance heating set into dies, *Key Engineering Materials*, Vol. 473, 2011, pp. 69-74.

[۱۱] طالبی انارکی ع.، تحلیل عددی و تجربی تاثیر فشار نوسانی بر انبساط آزاد (بالج) داغ لوله به وسیله گاز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، ۱۳۹۴.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir