



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

علی طالبی انارکی^۱، محسن لوح موسوی^{۲*}

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

واژه‌های کلیدی	چکیده
تحلیل اجزای محدود فشار ضربانی شکل دهی داغ لوله به وسیله گاز کاهش ضخامت	<p>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 شکل پذیری پایینی دارند که به منظور حل این مشکل بایستی دمای شکل پذیری آن‌ها افزایش یابد. روش‌هایی نظیر هیدروفرمینگ گرم و شکل دهی داغ گازی یکی از روش‌های مرسوم به منظور شکل دهی 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 شکل پذیری، توزیع ضخامت را بهبود می‌بخشد. در این مقاله، تاثیر فشار ضربانی بر شکل پذیری آلیاژ آلومینیومی (Al6063) در فرآیند بالچ 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 شکل دهی داغ گازی با اعمال فشار ثابت نسبتاً زیاد است در صورتی که استفاده از ضربانات فشار به دلیل کاهش ضخامت منظم در حین فرآیند، شکل دهی لوله و توزیع ضخامت آن را بهبود می‌بخشد. همچنین تغذیه‌ی محوری به عنوان یکی از پارامترهای موثر در این فرآیند باعث افزایش بهبود شکل پذیری لوله بوسیله فشار ضربانی می‌شود.</p>
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.



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 Anaraki¹, 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.

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.

۱- مقدمه

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].

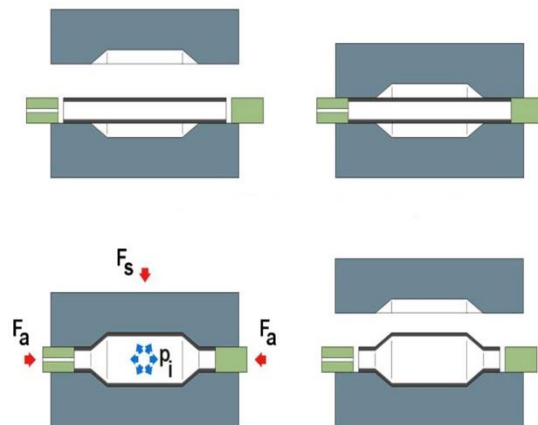
آلیاژهای آلومینیوم- منیزیم در دمای محیط شکل‌پذیری پایینی دارند، که به منظور رفع این محدودیت، روش‌های شکل‌دهی در دماهای بالا نظیر شکل‌دهی داغ گازی و هیدروفرمینگ گرم به کار می‌روند [۸]. هوانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ مقاله‌ای تحت عنوان هیدروفرمینگ گرم لوله‌های Y شکل از جنس آلیاژهای منیزیم را منتشر نمودند [۹]. مائو 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

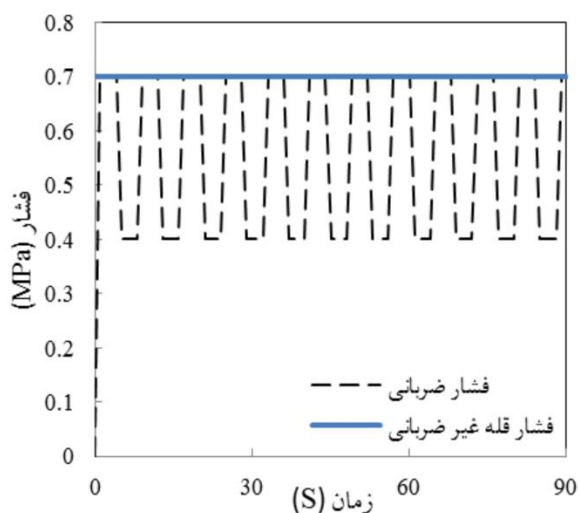
هیدروفرمینگ یکی از روش‌های نسبتاً نوین شکل‌دهی لوله‌ها به منظور تولید قطعات توخالی است. این روش با توجه به دانش فنی و تکنولوژی بالا در صنایع متنوعی از قبیل خودروسازی و هوافضا مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از برخی قطعات ایجاد شده با این روش در صنعت خودروسازی موجب کاهش وزن قطعات فلزی خودرو شده که این امر موجب کاهش مصرف سوخت می‌شود [۲۱]. 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]. اولین بار 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].

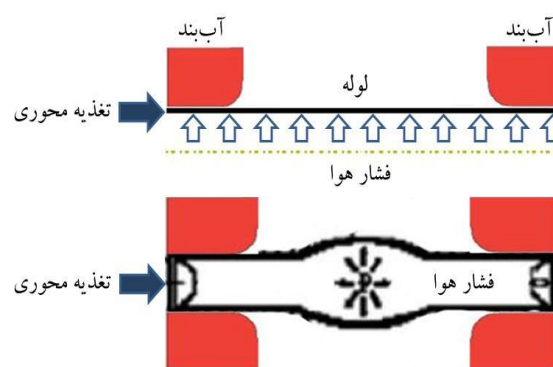
مسیر فشار ضربانی در نظر گرفته شده در نمونه شبیه سازی شده در شکل (۳) نشان داده شده است، مسیر فشار مذکور با فشار میانگین ۰/۵۵ MPa، دامنه نوسان ۰/۱۵ MPa و با دوره تناوب ۸ ثانیه با توجه به مرجع [۱۱] در نظر گرفته شده است. به منظور درک بهتر تاثیر اعمال ضربانات فشار، فشار ثابت قله متناظر با این مسیر فشار نیز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



شکل (۳): مسیر فشار ضربانی در نظر گرفته شده در شبیه سازی ($\Delta P = 0.15 \text{ MPa}$, $T = 8 \text{ S}$)

همان گونه 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 شبیه سازی اعمال شده است. مطابق با شکل (۵) نحوه توزیع دما در طول لوله به صورت غیر یکنواخت فرض شد به گونه ای که هرچه به سمت مرکز لوله پیش برویم دمای محدوده کاری افزایش می یابد، دمای کاری در محل قرارگیری آب بندها به صورت ثابت در نظر گرفته شده است. بدین صورت منحنی دمای مورد نظر مطابق با شکل (۶) بر روی سطح قطعه ایجاد می گردد. 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].

(۲) نشان داده شده است، بدلیل تقارن مجموعه ی لوله و آب بند و برای صرفه جویی در زمان محاسبه، شبیه سازی به صورت متقارن محوری انجام گرفته و نوع حل مسئله به صورت دینامیک-دما-جابجایی صریح در نظر گرفته شده است. جنس لوله ی به کار رفته در شبیه سازی از نوع آلومینیوم ۶۰۶۳ است که شرایط شبیه سازی در جدول (۱) نشان داده شده است. نوع و تعداد المان به کار رفته در لوله به ترتیب CAX4RT و ۳۷۴ المان می باشند و مجموعه ی آب بندها از نوع صلب در نظر گرفته شده اند.



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

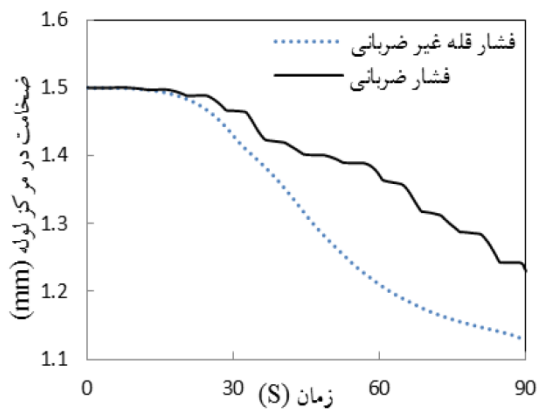
جدول (۱): پارامترهای استفاده شده در شبیه سازی عددی

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 ($Film Coefficient$)	۲۰۰۰ W/M ² -K
ضریب تشعشع ($Radiation Emissivity$)	۰/۳۳

۳- نتایج و بحث

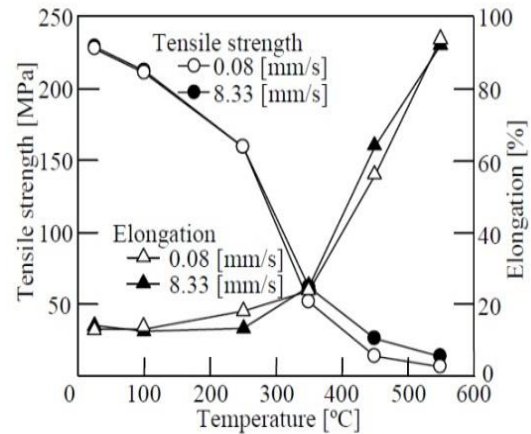
۳-۱- تحلیل عددی تاثیر فشار ضربانی بر کاهش ضخامت لوله

نتایج حاصل از مقایسه نمودار کاهش ضخامت بر حسب زمان برای مسیر فشار ضربانی و غیر ضربانی قله با تغذیه محوری به میزان ۱۰ میلی متر در شکل (۷) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد استفاده از مسیر فشار ضربانی باعث بهبود کاهش ضخامت لوله می گردد. ضربانات فشار باعث کاهش منظم ضخامت شده است در حالی که استفاده از مسیر فشار ثابت باعث کاهش سریع ضخامت می گردد. 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.

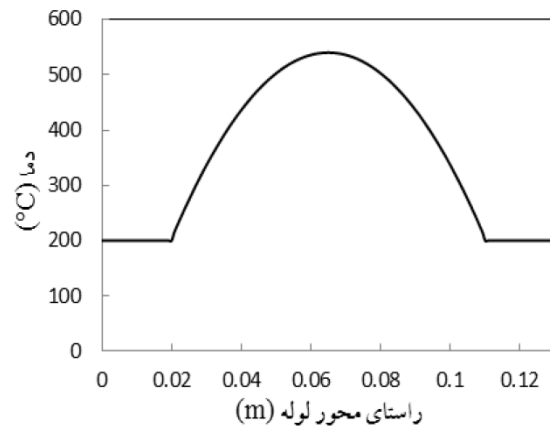


شکل (۷): مقایسه تغییرات ضخامت در مرکز لوله برای مسیر فشار ضربانی و غیر ضربانی

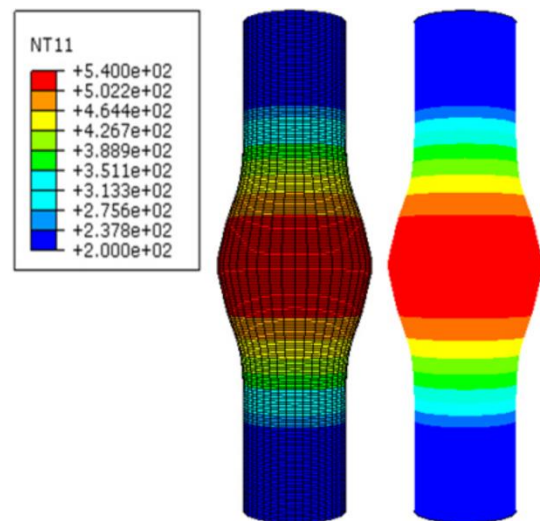
مقایسه درصد کاهش ضخامت جداره لوله در راستای طول لوله در شکل (۸) نشان داده شده است. در شکل مذکور درصد کاهش ضخامت لوله نسبت به ضخامت اولیه لوله برای مسیرهای فشار ضربانی و فشار ثابت قله غیرضربانی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد اعمال ضربانات فشار باعث بهبود ضخامت لوله در راستای طول لوله در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



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]



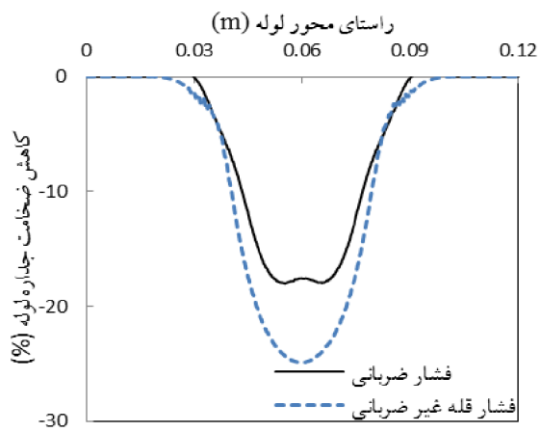
شکل (۶): منحنی دمای ایجاد شده بر روی سطح لوله

۳-۳- بررسی تجربی تاثیر تغذیه محوری بر شکل پذیری لوله در فرآیند شکل دهی داغ گازی با اعمال فشار ضربانی

در شکل (۱۰) نتایج حاصل از مقایسه لوله های شکل دهی شده با اعمال فشار ضربانی بدون اعمال تغذیه محوری و با اعمال تغذیه محوری به میزان ۱۰ میلی متر نشان داده شده است. نتایج حاصل از این مقایسه نشان می دهد که با اعمال تغذیه محوری شکل ظاهری و ارتفاع بالج ایجاد شده در لوله ی شکل دهی شده بهبود یافته که دلیل این امر تسهیل جریان فلز در هنگام اعمال تغذیه محوری است. همان گونه که در شکل مشاهده می گردد ناحیه ی پارگی در لوله ی شکل دهی شده بدون اعمال تغذیه محوری به علت کاهش ضخامت و ذوب شدگی ناشی از دمای بیش از حد در ناحیه ی ترکیبگی به دلیل افزایش زمان فرآیند می باشد. در هنگام عدم اعمال تغذیه محوری لوله ی شکل دهی شده سریعاً نازک می گردد در حالی که با اعمال تغذیه محوری در حین شکل دهی جریان ماده مقداری از کاهش ضخامت لوله را جبران کرده و در نهایت از پارگی و نازک شدگی سریع لوله جلوگیری به عمل می آید. همراه شدن تغذیه محوری با ضربانات فشار موجب بهبود شکل دهی لوله در این فرآیند می گردد.



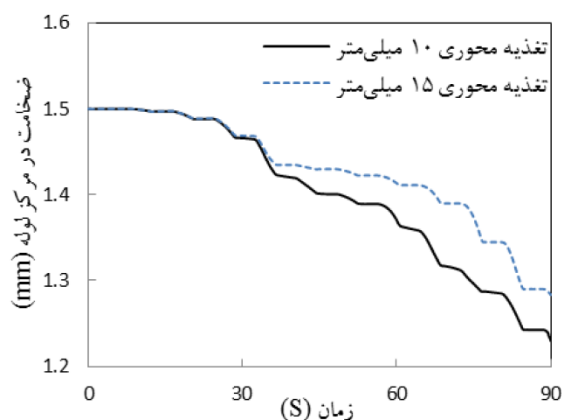
شکل (۱۰): لوله های شکل دهی شده با اعمال فشار ضربانی الف) بدون اعمال تغذیه محوری، ب) با تغذیه محوری



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 شکل دهی داغ گازی با اعمال فشار ضربانی بر کاهش ضخامت لوله

نتایج حاصل از مقایسه میزان تغذیه محوری در نمونه ی شبیه سازی شده در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که افزایش میزان تغذیه محوری باعث افزایش شکل پذیری گشته و نازک شدگی کمتری در محصول نهایی مشاهده می گردد. با افزایش تغذیه محوری ماده بیشتری در حین فرآیند به ناحیه ی بالج تزریق گشته و بدین دلیل باعث بهبود ضخامت لوله در این فرآیند می گردد.



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

[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., Bakhschi-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، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ۱۳۹۴.

۴- نتیجه گیری

استفاده از مسیرهای فشار ضربانی یکی از راههای بهینه سازی فرآیند شکل دهی داغ گازی است. با اعمال نوسانات فشار، کاهش ضخامت منظمی در قطعه رخ داده و ضخامت نهایی قطعه بهبود می یابد. در صورتی که استفاده از فشار ثابت باعث کاهش سریع ضخامت در قطعه می گردد که این امر منجر به پارگی و نازک شدن لوله می شود. از طرفی دیگر تغذیه محوری مناسب باعث تزریق ماده در حین ضربانات فشار به ناحیه ی بالج شده که این امر به تسهیل جریان فلز در حین شکل دهی کمک نموده و باعث بهبود شکل دهی در لوله می گردد. میزان دامنه فشار ضربانی اعمالی در فرآیند شکل دهی داغ گازی نسبت به فرآیند هیدروفرمینگ بسیار پایین تر است با این وجود با توجه به ماهیت داغ فرآیند شکل دهی گازی استفاده از فشار ضربانی تاثیر قابل ملاحظه ای بر بهبود شکل پذیری دارد. علاوه بر موارد فوق، ملاحظه شد که اضافه شدن تغذیه محوری باعث بهبود شکل پذیری ناشی از اعمال فشار ضربانی می شود.

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.

