

Optimization of the nosing process of metal pipe using genetic algorithm

M. Esmailian^a


^aDepartment of Mechanical Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran

Original Article

Use your device to scan
and read the article online



Citation: Esmailiana M. Optimization of the nosing process of metal pipe using genetic algorithm. *Mechanics of Advanced and Smart Materials*. 2022; 2(2): 188-201.

 <https://10.52547/masm.2.2.188>.

KEYWORDS

Nosing,
Pipe forming,
Response surface method,
Regression equation,
Genetic algorithm.

ABSTRACT

Nosing is one of the methods of forming metal pipes, during this process, a metal shell or pipe is guided by a press into a mold that has the shape of the final piece. This method is used to make pressure tanks and CNG cylinders. In this research, the simulation of the nosing process of a steel pipe has been carried out, and then, in order to validate the results of the simulation, it has been compared with experimental tests. Then, with the help of response surface method, a series of experiments were designed and in order to investigate the effect of parameters of thickness, slope of preform pipe wall and friction coefficient between pipe and mold, as well as their interactive effects on the percentage of nosing, analysis of variance method was used. According to the obtained results, the thickness and slope of the preform pipe wall have the greatest effect on the nosing percentage compared to the friction coefficient between the pipe and the mold. A regression equation to predict the percentage of nosing is expressed based on the effective parameters, and finally, the optimal percentage of nosing for the regression equation obtained by the genetic algorithm is obtained.

Extended Abstract

1. Introduction

The nosing process is used to shape parts whose ends have a cone shape with curved edges. In this method, the metal tube or shell is guided by the press into the mold that has the final shape of the workpiece and takes the shape of the mold. The schematic of this process is shown in Figure 1.

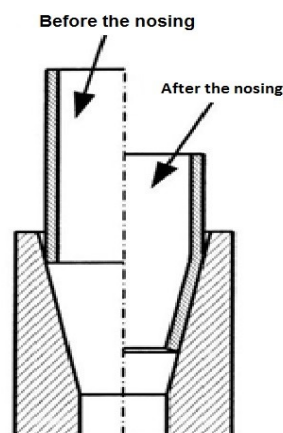


Figure 1. Schematic of nosing process

* Corresponding author. Tel.: 0913109407; Fax: 03145227135

E-mail address: Mojtaba@mut-es.ac.ir

DOI: <https://10.52547/masm.2.2.188>.

Received: April 27, 2022; Received in revised form: July 8, 2022; Accepted: August 16, 2022.

2022 Published by Arak University Press. All rights reserved.



The form of the mold is mostly used in both conical and spherical forms. The conical form is mostly used in the military industry and the manufacture of weapons, and the spherical form is mostly used for industrial purposes such as the production of gas tanks.

Currently, the spinning process is mostly used to close the ends of the pipes in the production of gas tanks, with the help of the nosing process, it is possible to reduce the production time and also improve the quality of the produced parts.

2. Modeling the nosing process

In the nosing process, the workpiece is placed inside the mold and a force is applied to the workpiece by a plate to take the shape of the mold. The workpiece is a formable material and it is shown in Figure 2. Its inner and outer diameters are 38.25 mm, 42.85 mm, respectively, and the length of the piece is 150 mm. Due to the creation of a nose at the bottom of the piece, a 55 x 1.3 mm profile has been used in the lower part of the piece. An analytical rigid mold was used for shaping, which is shown in Figure 3. The gap between the mold and the part is 0.2 mm and the length of the mold is 20 mm. The arc radius of the mold is also 43.05 mm. For movement Giving the piece downwards and inserting it into the mold, an analytical rigid plate similar to Figure 4 with a radius of 60 mm is used. Figure 5 shows the assembled set of the process.

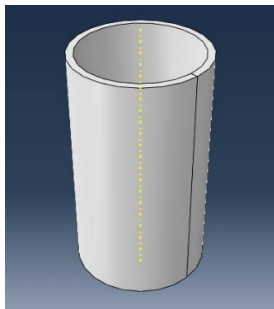


Figure 2. 3D model of parts

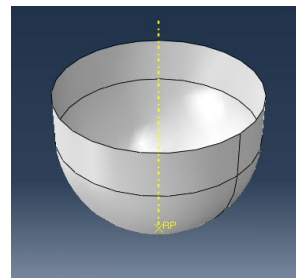


Figure 3. Analytical rigid mold

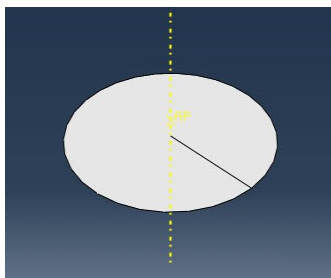


Figure 4. Analytical rigid plate

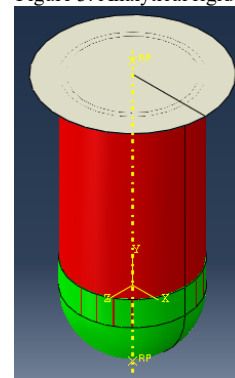


Figure 5. Assembly of parts created in finite element model

3. Simulation results

The method of simulating the nosing process was described in the previous section. In this part, the results of the simulation are stated. As the rigid plate of the pipe goes down, it gradually takes the shape of the mold. Figure 6 shows the changes in the shape of the piece after the simulation. In this figure, two buckling phenomena are observed; one is related to the upper part of the part, which is under the rigid plate, and the other is in the middle part of the part, which is above the mold. Figure 7 shows the diagram of the forming force in terms of displacement of the rigid plate. From this diagram, it can be concluded that about N 335,000 forces are needed to perform this shaping.

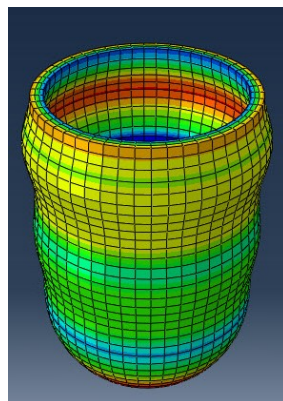


Figure 6. Nosing pipe resulting from simulation

In order to check the accuracy of simulation results, the results should be compared with experimental work. Figure (8-a) shows the nosing mold and Figure (8-b) shows the initial raw pipe for pipe nosing operation. The material of the inner part of the mold is made of SPK steel and the material of the tubular raw piece is made of St37 steel. Figure (9) shows the amount of pipe deformation per 58 mm of rigid plate movement, in the experimental test and the finite element model.

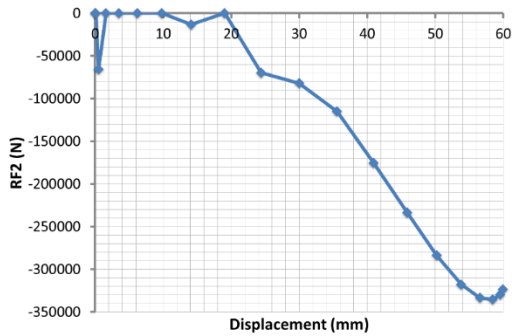


Figure 7. The force-displacement diagram resulting from the simulation

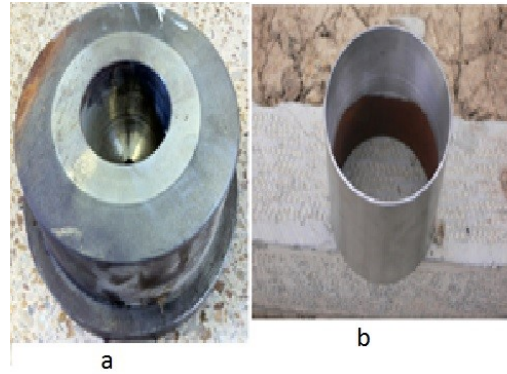


Figure 8. Nosing process equipment a) Nosing mold b) Pipe

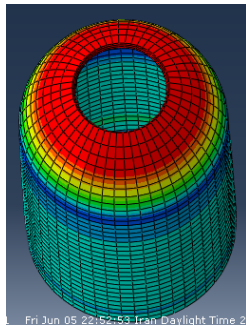


Figure 9. Deformed sample in experimental test and simulation

4. Regression analysis

A regression equation is given to predict the values of the percentage of nosing based on the effective parameters, and the value and coefficients of the variables in the model equation show the amount and type of influence of these variables, respectively.

$$\text{Nosing percentage} = 0.212 - 0.1544 t + 0.423 s + 0.931 \mu + 0.01256 t*t - 0.0579 s*s - 5.29 \mu*\mu \tag{1}$$

In Figure 10, the diagram of the main effects of the parameters is shown.

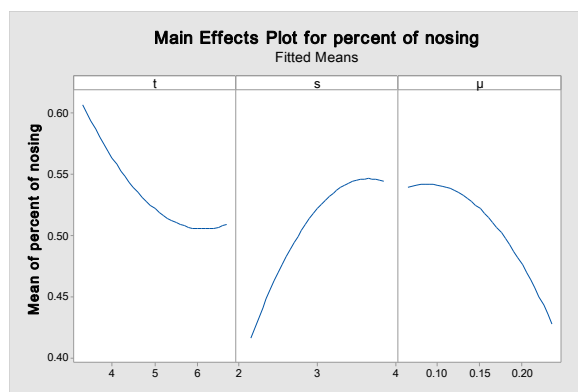


Figure 10. Main effects diagram

5. Optimizing the percentage of nosing with genetic algorithm

Equation 1 obtained from the regression analysis was checked by the genetic algorithm method and the optimal nosing percentage for the regression equation was obtained, which is the maximum nosing percentage of 60.81 and for the values of t=4, s=3.653, μ=.1 be

6. Conclusions

In this article, the process of pipe nosing was simulated and the results were compared with the experimental results, which were in good agreement. Then, the effect of friction coefficient parameters, wall slope and pipe thickness on the nosing

percentage was determined by the experimental design method. In this research, response level method and central composite design were used. Variance analysis method is used to check the relationship between output variables and input parameters.

The results show that as the wall slope increases, the percentage of nosing increases and as the thickness and friction coefficient increase, the percentage of nosing decreases. It can also be seen that, to increase the percentage of nosing, the slope of the wall should be high and the friction coefficient should be low. Also, by using the genetic algorithm and optimizing the regression equation obtained from the analysis of variance, the maximum percentage of nosing has been obtained at 60.81.



بهینه سازی فرآیند شکل دهی نوزینگ لوله های فلزی به کمک الگوریتم ژنتیک

مجتبی اسماعیلیان الف

الف استادیار، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران، Mojtaba@mut-es.ac.ir

چکیده	واژگان کلیدی
نوزینگ، یکی از روش های شکل دهی لوله های فلزی است که طی این فرآیند یک پوسته یا لوله فلزی توسط دستگاه پرس به داخل قالبی که فرم قطعه نهایی را دارد هدایت می شود. از این روش جهت ساخت مخازن تحت فشار و کیسول های CNG استفاده می شود. در این تحقیق شبیه سازی فرآیند نوزینگ یک لوله ی فولادی انجام شده و سپس به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه سازی با آزمایش های تجربی مقایسه شده است. سپس به کمک روش سطح پاسخ یک سری آزمایش طراحی شده و به منظور بررسی اثر پارامترهای ضخامت، شیب دیواره لوله پیش فرم و ضریب اصطکاک بین لوله و قالب و همچنین اثرهای تعاملی آن ها بر روی درصد نوزینگ از روش آنالیز واریانس استفاده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، ضخامت، شیب دیواره لوله پیش فرم نسبت به ضریب اصطکاک بین لوله و قالب بیشترین تأثیر را بر روی درصد نوزینگ دارند. یک معادله رگرسیون جهت پیش بینی درصد نوزینگ بر اساس پارامترهای مؤثر بیان شده است و در نهایت درصد نوزینگ بهینه برای معادله رگرسیون به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک به دست آمده است.	نوزینگ، شکل دهی لوله، روش سطح پاسخ، معادله رگرسیون، الگوریتم ژنتیک.
	تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷
	تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۱۴
	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵

۱- مقدمه

فرآیند نوزینگ^۱ به منظور شکل دهی قطعاتی که انتهای آن ها دارای حالت مخروط با یال های منحنی می باشد به کار می رود. در این روش لوله یا پوسته فلزی توسط دستگاه پرس به داخل قالبی که فرم نهایی قطعه کار را دارد هدایت شده و شکل قالب را به خود می گیرد. شماتیک این فرآیند در شکل ۱ نمایش داده شده است.

فرم قالب بیشتر به دو صورت مخروطی و کروی به کار می رود. فرم مخروطی بیشتر در صنایع نظامی و ساخت جنگ افزارها و فرم کروی بیشتر برای مصارف صنعتی مانند تولید مخازن گاز به کار می رود.

در حال حاضر بیشتر از فرآیند اسپینینگ^۲ به منظور بستن انتهای لوله ها در تولید مخازن گاز استفاده می شود که به کمک فرآیند نوزینگ می توان زمان تولید را کاهش داد و همچنین کیفیت قطعات تولیدی را از جنبه های صافی سطح، خواص مکانیکی و دستیابی به ضخامت یکنواخت در ناحیه تغییر شکل بهبود بخشید.

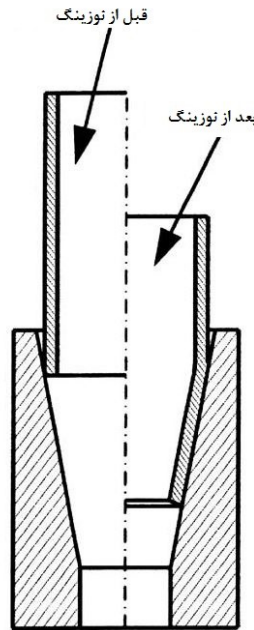
این فرآیند توسط چندین محقق مورد بررسی قرار گرفته است. محمد صالح و همکاران [۱] نوزینگ را بر روی پوسته های

¹ Nosing

² Spinning

آلومینیومی به ضخامت ۳، ۱/۵ و ۴/۵ میلی‌متر و به دو صورت سرد و داغ انجام داده و با نرم‌افزار ANSYS شبیه‌سازی نمودند. در این تحقیق از دو قالب مخروطی با زوایای ۱۰ و ۲۰ درجه و از دو روانکار روغن و گرافیت استفاده شد و نمودار نیرو بر حسب جابجایی به دست آمد که بهترین قالب، قالب مخروطی با زاویه ۱۰ درجه می‌باشد.

خاقانی و همکاران [۲] فرآیند نوزینگ را به کمک نرم‌افزار ABAQUS شبیه‌سازی نموده و به منظور تأیید نتایج شبیه‌سازی، آزمایش تجربی بر روی قالبی با زاویه رأس ۶۰ درجه انجام شد. همچنین در این تحقیق امکان استفاده از روش هیدروفرمینگ^۳ به صورت تجربی و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱ شماتیک فرآیند نوزینگ

اورسلینی و همکاران [۳] فرآیند نوزینگ دابل را که در مونتاژ یاتاقان‌های کروی به کار می‌رود به صورت دوبعدی و سه‌بعدی شبیه‌سازی نمودند و تنش وارد بر یاتاقان، فشار وارد بر قالب‌ها و افزایش دما را در این فرآیند بررسی نمودند.

لو [۴] با ترکیب شرایط حجم تراکم ناپذیر و معادلات لوی - مایسس^۴ یک تئوری ارائه داد که شکل پیش فرم، نسبت نوزینگ و سرعت بار را در فرآیند نوزینگ محاسبه می‌کند. سپس با کمک روش اجزاء محدود نسبت نوزینگ، کرنش انتهایی لوله و توزیع ضخامت را در لوله مورد بررسی قرار داد.

آلوس و همکاران [۵] فرآیند نوزینگ را برای تولید پوسته‌های چنبره‌ای به کار برده و با روش اجزاء محدود شبیه‌سازی نمودند. کوان [۶] فرآیند نوزینگ را به صورت خارج از مرکز مورد بررسی قرار داد و با کمک نرم‌افزار DEFORM شبیه‌سازی نمود. در این تحقیق از یک قالب مخروطی خارج از مرکز استفاده شد و اثر پارامترهای فرآیند مثل طول و ضخامت لوله، زاویه و شعاع گوشه قالب، ضریب اصطکاک و نمای کرنش-سختی ماده لوله بر روی نسبت نوزینگ مورد بررسی قرار گرفت.

هانگ [۷] به شبیه‌سازی فرآیند نوزینگ و فلیرینگ^۵ در شرایط متقارن محوری پرداخت و از قانون اصطکاک کولمب^۶ اصلاح شده به جای شرایط اصطکاک لغزشی-چسبنده استفاده کرد. سپس اثر نسبت ضخامت، اصطکاک و زاویه قالب را بر روی نیروی شکل‌دهی بررسی کردند.

^۳ Hydroforming

^۴ Levy-Mises Equation

^۵ Flaring

^۶ Coulomb Friction

کوان و همکاران [۸] به کمک نرم‌افزار ANSYS به شبیه‌سازی فرآیند نوزینگ سرد با قالب مخروطی پرداختند و اثر پارامترهای فرآیند مثل طول و ضخامت لوله، زاویه و شعاع گوشه قالب، ضریب اصطکاک و نمای کرنش-سختی ماده بر روی نسبت نوزینگ مورد بررسی قرار گرفت.

جریان فلز در این فرآیند کمی پیچیده بوده و در اکثر موارد ضخامت دیواره پوسته حین فرآیند افزایش می‌یابد ولی طول لوله بسته به میزان اصطکاک می‌تواند طویل یا کوتاه شود. یکی از محدودیت‌های اساسی در فرآیند نوزینگ ایجاد چروک در انتهای لوله است. این مشکل هنگامی رخ می‌دهد که در یک مرحله، پارامتر درصد نوزینگ که به صورت تفاضل قطر انتهای لوله به قطر اولیه تقسیم بر قطر اولیه تعریف می‌شود، بیشتر از ۵ درصد باشد. دلیل این امر بالا رفتن نرخ تغییر شکل در ناحیه انتهایی لوله است [۲]. در این تحقیق فرآیند نوزینگ به کمک نرم‌افزار ABAQUS شبیه‌سازی شد و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج تجربی مقایسه گردید که تطابق خوبی بین نتایج برقرار گردید. سپس به کمک روش طراحی آزمایش و با روش سطح پاسخ، اثر پارامترهای ورودی ضریب اصطکاک، ضخامت لوله و شیب انتهای لوله بر روی درصد نوزینگ بررسی شد.

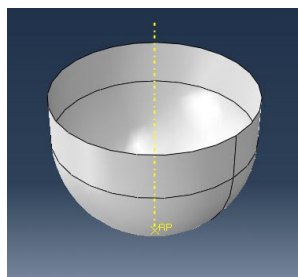
۲- مدل‌سازی فرآیند نوزینگ

در فرآیند نوزینگ قطعه کار داخل قالب قرار گرفته و توسط یک صفحه بر قطعه کار نیرو وارد می‌شود تا شکل قالب را به خود بگیرد. قطعه کار به صورت ماده شکل‌پذیر می‌باشد و در شکل ۲ قطعه کار نشان داده شده است. قطر داخلی و خارجی آن به ترتیب ۳۸/۲۵ میلی‌متر، ۴۲/۸۵ میلی‌متر و طول قطعه ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. به دلیل ایجاد دماغه در پایین قطعه، از یک پروفیل ۵۵×۱/۳ میلی‌متر در قسمت پایینی قطعه استفاده شده است. از یک قالب صلب تحلیلی برای انجام شکل‌دهی استفاده گردید که در شکل ۳ نشان داده شده است. لقی بین قالب و قطعه ۰/۲ میلی‌متر و طول قالب ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. شعاع کمان قالب نیز ۴۳/۰۵ میلی‌متر است. برای حرکت دادن قطعه به سمت پایین و داخل کردن آن در قالب از یک صفحه‌ی صلب تحلیلی مشابه شکل ۴ با شعاع ۶۰ میلی‌متر استفاده شده است. در شکل ۵ مجموعه مونتاژ شده فرآیند نشان داده شده است.

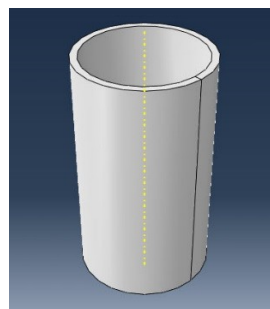
خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه کار در جدول ۱ و نمودار تنش-کرنش آن در شکل ۶ نشان داده شده است. برای ایجاد محصول، صفحه صلب بالایی رو به پایین حرکت می‌کند و قالب پایینی ثابت شده است. برای انجام تغییر شکل مورد نظر، صفحه صلب باید به میزان ۶۰ میلی‌متر به سمت پایین در جهت عمودی حرکت کند. برای تعریف تماس بین قالب و قطعه کار از ضریب اصطکاک ۰/۱ استفاده شده است. برای مش‌بندی قطعه کار، از ۵۰ المان روی محیط دایره داخلی و خارجی قطعه و ۴۰ المان در طول قطعه استفاده شده است. این المان‌ها از نوع C3D8R می‌باشند.

جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه کار

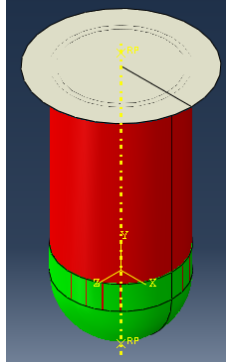
تنش نهایی (σ _{ut})	تنش تسلیم (σ _y)	ضریب پواسون (ν)	مدول یانگ (E)	چگالی (ρ)
391 MPa	91.2 MPa	0.3	210 GPa	7800 Kg/m ³



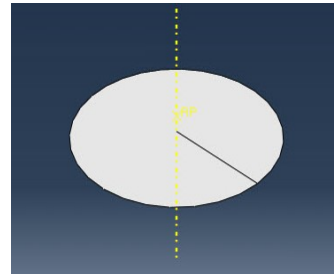
شکل ۳ قالب صلب تحلیلی



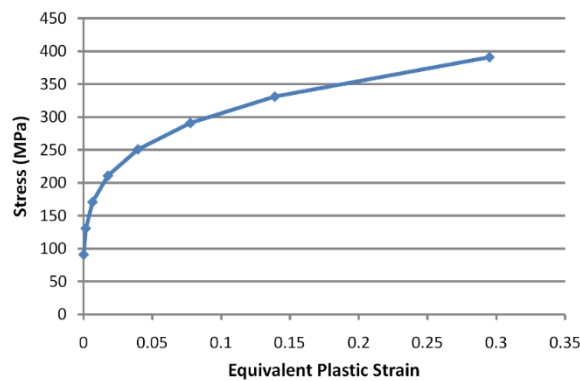
شکل ۲ مدل سه‌بعدی قطعه کار



شکل ۵ مونتاژ قطعات ایجاد شده در مدل اجزاء محدود



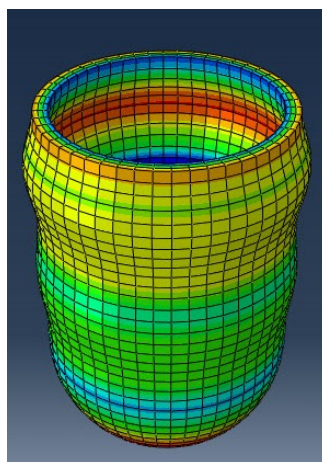
شکل ۴ صفحه صلب تحلیلی



شکل ۶ نمودار تنش- کرنش قطعه کار

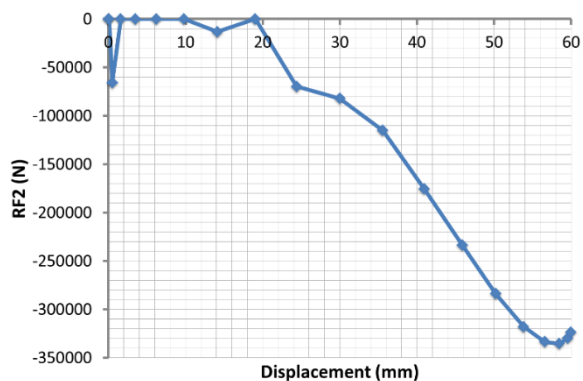
۳- نتایج حاصل از شبیه سازی

نحوه شبیه سازی فرآیند نوزینگ در قسمت قبل بیان شد. در این قسمت نتایج حاصل از شبیه سازی بیان می شود. با پایین آمدن صفحه صلب لوله به تدریج شکل قالب را به خود می گیرد. شکل ۷ تغییر شکل های به وجود آمده روی قطعه را پس از انجام شبیه سازی نشان می دهد. در این شکل دو پدیده ی کمانش مشاهده می شود؛ یکی مربوط به قسمت بالایی قطعه که زیر صفحه ی صلب قرار دارد و دیگری در قسمت میانی قطعه است که بالای قالب قرار دارد. در شکل ۸ نمودار نیروی شکل دهی بر حسب جابجایی صفحه صلب نمایش داده شده است. از این نمودار نتیجه می شود که حدود 335000 N نیرو برای انجام این شکل دهی مورد نیاز است.



شکل ۷ لوله نوزینگ شده حاصل از شبیه سازی

جهت بررسی صحت نتایج شبیه سازی، نتایج باید با کاری تجربی مقایسه گردد. در شکل (۹-الف) قالب نوزینگ و در شکل (۹-ب) لوله خام اولیه برای عملیات نوزینگ لوله نشان داده شده است. جنس قسمت داخلی قالب از فولاد SPK و جنس قطعه خام لوله ای شکل از فولاد St37 می باشد. شکل (۱۰) میزان تغییر شکل لوله به ازای ۵۸ میلی متر حرکت صفحه صلب، در آزمایش تجربی و مدل اجزاء محدود را نشان می دهد.



شکل ۸- نمودار نیرو-جابجایی حاصل از شبیه سازی

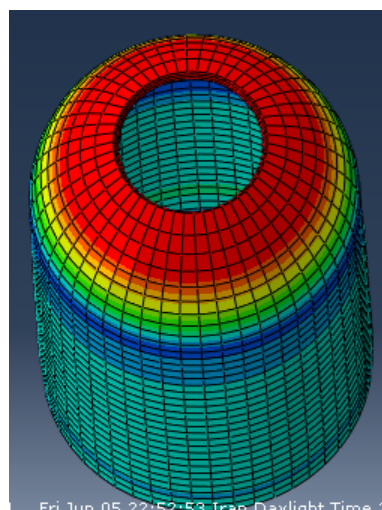


ب



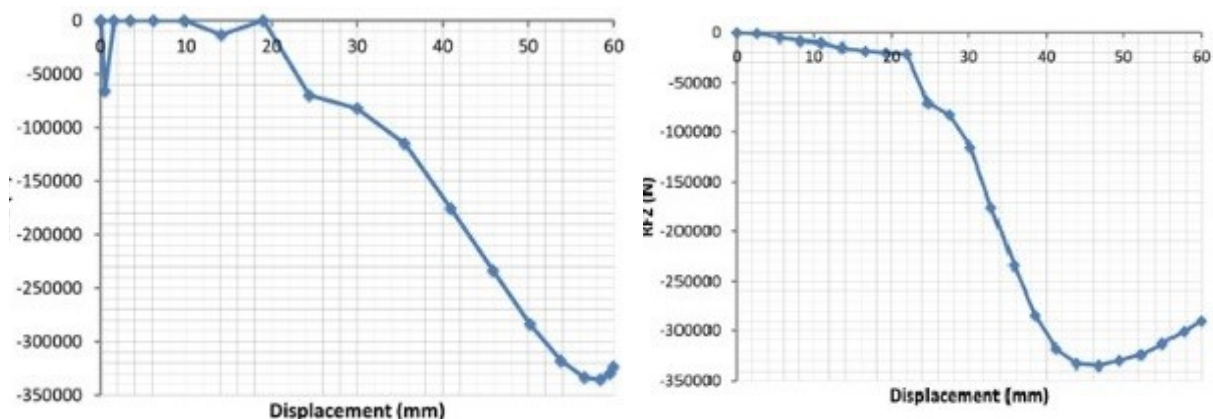
الف

شکل ۹ تجهیزات فرآیند نوزینگ الف) قالب نوزینگ ب) قطعه لوله ای شکل



شکل ۱۰ نمونه تغییر شکل داده شده در آزمایش تجربی و شبیه سازی

در شکل (۱۱) نمودار نیرو نسبت به جابجایی پرس در دو حالت تجربی و شبیه سازی مقایسه شده است. نمودار نیرو در حالت تجربی بسیار شبیه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی اجزاء محدود در شکل (۸) می باشد و اختلاف بین آنها ناچیز است که نشان از صحت نتایج شبیه سازی دارد.



الف ب

شکل ۱۱ نمودار نیرو- جابجایی (الف) حاصل از شبیه سازی (ب) حاصل از آزمایش تجربی

در این مقاله هدف بررسی اثر پارامترهای ورودی بر روی درصد نوزینگ می باشد. درصد نوزینگ به صورت اختلاف قطر اولیه و قطر نوزینگ، تقسیم بر قطر اولیه تعریف می شود. جهت بررسی این اثرات، از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده شده است. پارامترهای ورودی ضریب اصطکاک (μ)، شیب انتهای لوله (s)، ضخامت اولیه لوله (t) می باشند که سطوح هریک از آن ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ طراحی آزمایش

درصد نوزینگ	فاکتورهای تاثیرگذار			آزمایش
	تجربی	μ	s	
۰/۵۳۳	۰/۱	۲/۵	۴	۱
۰/۴۵۶	۰/۱	۲/۵	۶	۲
۰/۵۸۰	۰/۱	۳/۵	۴	۳
۰/۵۵۱	۰/۱	۳/۵	۶	۴
۰/۴۳۱	۰/۲	۲/۵	۴	۵
۰/۴۱۴	۰/۲	۲/۵	۶	۶
۰/۵۴۶	۰/۲	۳/۵	۴	۷
۰/۵۰۳	۰/۲	۳/۵	۶	۸
۰/۶۳۲	۰/۱۵	۳	۳/۳۲	۹
۰/۴۹۷	۰/۱۵	۳	۶/۶۸	۱۰
۰/۴۳۸	۰/۱۵	۲/۱۶	۵	۱۱
۰/۵۴۰	۰/۱۵	۳/۸۴	۵	۱۲
۰/۵۵۸	۰/۰۶۶	۳	۵	۱۳
۰/۴۲۶	۰/۲۳	۳	۵	۱۴
۰/۵۲۱	۰/۱۵	۳	۵	۱۵
۰/۵۲۱	۰/۱۵	۳	۵	۱۶
۰/۵۲۱	۰/۱۵	۳	۵	۱۷
۰/۵۲۱	۰/۱۵	۳	۵	۱۸
۰/۵۲۱	۰/۱۵	۳	۵	۱۹
۰/۵۲۱	۰/۱۵	۳	۵	۲۰

برای بررسی رابطه بین درصد نوزینگ و پارامترهای ورودی از روش آنالیز واریانس استفاده شد. پس از انجام تحلیل فرآیند و

استخراج درصد نوزینگ برای هر آزمایش، جدول آنالیز واریانس را به دست آورده که در جدول ۳ نشان داده شده است. در این تحلیل، سطح معنی دار بودن $\alpha=0/05$ است، یعنی نتایج تحلیل انجام شده با ضریب اطمینان ۹۵٪ صحیح است. یک پارامتر در صورتی مؤثر است که مقدار P-value به دست آمده برای آن کمتر از سطح معنی دار بودن ۰/۰۵ باشد.

با توجه به مقادیر P-value به دست آمده، اثرات متقابل $t \times s$ ، $t \times \mu$ و $s \times \mu$ مؤثر نیست و با حذف این پارامترها دوباره تحلیل انجام می شود که نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. معادله رگرسیون نیز در انتهای جدول آورده شده است.

جدول ۳ جدول آنالیز واریانس نتایج اولیه

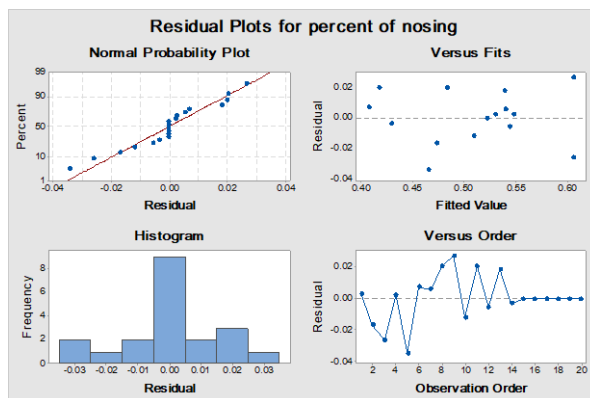
منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F مقدار	P مقدار
مدل	۹	۰/۰۵۴۷	۰/۰۰۶۰	۱۷/۶۸	۰/۰۰۰
خطی	۳	۰/۰۴۵۵	۰/۰۱۵۱	۴۴/۱۳	۰/۰۰۰
T	۱	۰/۰۱۱۳	۰/۰۱۱۳	۳۲/۹۴	۰/۰۰۰
S	۱	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۹۵	۵۶/۷۱	۰/۰۰۰
μ	۱	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۴۷	۴۲/۷۵	۰/۰۰۰
درجه دو	۳	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۲۷	۸/۱۱	۰/۰۰۵
t^*t	۱	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۲	۶/۶۱	۰/۰۲۸
s^*s	۱	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۸/۷۶	۰/۰۱۴
$\mu^*\mu$	۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۵	۷/۳۳	۰/۰۲۲
اثرات تعاملی	۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۸۰	۰/۵۲۳
t^*s	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۱۶	۰/۶۹۷
$t^*\mu$	۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۷۹	۰/۳۹۴
$s^*\mu$	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۱/۴۴	۰/۲۵۷
خطا	۱۰	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۳		
خطای خاص	۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰		
مجموع	۱۹	۰/۰۵۸۱	۰/۰		

جدول ۴ جدول آنالیز واریانس پس از حذف اثرات متقابل

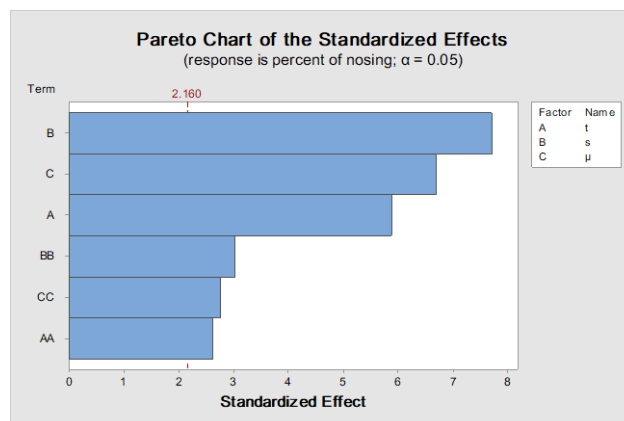
منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F مقدار	P مقدار
مدل	۶	۰/۰۵۳۹۰	۰/۰۰۸۹۸	۲۷/۳۹	۰/۰۰۰
خطی	۳	۰/۰۴۵۵۳	۰/۰۱۵۱۷	۴۶/۲۹	۰/۰۰۰
T	۱	۰/۰۱۱۳۲	۰/۰۱۱۳۹	۳۴/۵۴	۰/۰۰۰
S	۱	۰/۰۱۹۵۰	۰/۰۱۹۵۰	۵۹/۴۸	۰/۰۰۰
μ	۱	۰/۰۱۴۷۰	۰/۰۱۴۷۰	۴۴/۸۴	۰/۰۰۰
درجه دو	۳	۰/۰۰۸۳۶	۰/۰۰۲۷۸	۸/۵۰	۰/۰۰۲
t^*t	۱	۰/۰۰۲۲۷	۰/۰۰۲۲۷	۶/۹۳	۰/۰۲۱
s^*s	۱	۰/۰۰۳۰۱	۰/۰۰۳۰۱	۹/۱۹	۰/۰۱۰
$\mu^*\mu$	۱	۰/۰۰۲۵۲	۰/۰۰۲۵۲	۷/۶۹	۰/۰۱۶
خطا	۱۳	۰/۰۰۴۲۶	۰/۰۰۰۳۲		
خطای خاص	۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰		
مجموع	۱۹	۰/۰۵۸۱۶			

یکی از دیگر مواردی که برای صحت سنجی تحلیل آماری استفاده می شود، نمودارهای باقیمانده هاست که در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. و نشان می دهد، داده های آزمایش ها نرمال بوده و همچنین باقیمانده ها از روند خاصی پیروی نمی کنند.

نمودار پرتو نمایش داده شده در شکل ۱۳ میزان تأثیر هر یک از پارامترها را در درصد نوزینگ نمایش می دهد.



شکل ۱۲ نمودار باقیمانده‌ها برای درصد نوزینگ



شکل ۱۳ نمودار پارتو

۴- تحلیل رگرسیون

ضریب همبستگی یا R^2 Squared معیاری برای بیان برازش مدل پیش‌بینی شده با داده‌های حاصل از آزمایش‌ها است. شاخص یا ضریب همبستگی تصحیح‌شده نیز مانند R^2 Squared شاخصی برای نشان دادن مفید بودن مدل می‌باشد ولی دقیق‌تر است، زیرا درجات آزادی را نیز در نظر می‌گیرد.

با توجه به داده‌های موجود در جدول ۵، برای پیش‌بینی مقادیر درصد نوزینگ انتخاب شده است. در این مدل مقدار بالای ضریب همبستگی ۰/۹۹۷۳ تأیید می‌کند که مدل پیش‌بینی شده به خوبی با داده‌ها برازش شده است. مقدار R^2 Adj با مقدار R^2 Pred در تطابق است که نشان‌دهنده دقت این مدل است.

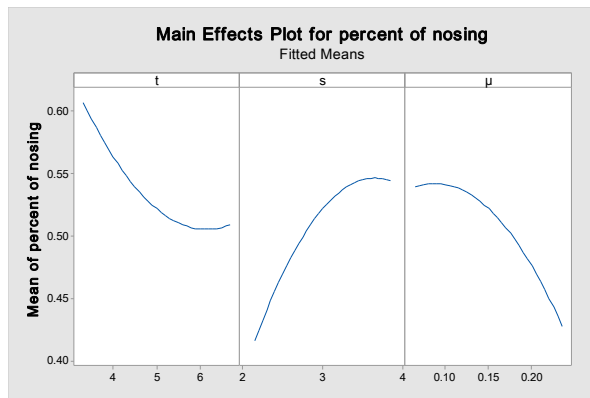
جدول ۵ پارامترهای آماری برای اثبات کفایت مدل

R^2 -sq	R^2 -sq(adj)
۰/۹۲/۶۷	۰/۸۹/۲۹

یک معادله‌ی رگرسیون برای پیش‌بینی مقادیر درصد نوزینگ بر اساس پارامترهای مؤثر آورده شده است که مقدار و ضرایب متغیرها در معادله مدل به ترتیب میزان و نوع اثرگذاری این متغیرها را نشان می‌دهند.

$$\text{درصد نوزینگ} = 0.212 - 0.1544 t + 0.423 s + 0.931 \mu + 0.01256 t * t - 0.0579 s * s - 5.29 \mu * \mu \quad (1)$$

در شکل ۱۴، نمودار اثرات اصلی پارامترها نشان داده شده است.



شکل ۱۴ نمودار اثرات اصلی

۵- بهینه سازی درصد نوزینگ با الگوریتم ژنتیک

معادله ۱ به دست آمده از تحلیل رگرسیون توسط روش الگوریتم ژنتیک بررسی شده و درصد نوزینگ بهینه برای معادله رگرسیون به دست آمده است که بیشینه درصد نوزینگ ۶۰/۸۱ و به ازای مقادیر $\mu=1$, $s=3.653$, $t=4$ می باشد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله فرآیند نوزینگ لوله شبیه سازی شد و نتایج حاصل از آن با نتایج تجربی مقایسه گردید که تطابق خوبی بین آن ها برقرار بود. سپس با روش طراحی آزمایش اثر پارامترهای ضریب اصطکاک، شیب دیواره و ضخامت لوله بر روی درصد نوزینگ مشخص شد. در این تحقیق از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده شد. برای بررسی رابطه بین متغیرهای خروجی با پارامترهای ورودی از روش آنالیز واریانس استفاده شده است.

نتایج نشان می دهد که با افزایش شیب دیواره، درصد نوزینگ افزایش می یابد و با افزایش ضخامت و ضریب اصطکاک، درصد نوزینگ کاهش می یابد. همچنین می توان دریافت، برای افزایش درصد نوزینگ، باید شیب دیواره در سطح بالا و ضریب اصطکاک در سطح پایین باشد. همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی معادله رگرسیون حاصل از تحلیل واریانس، ماکزیمم درصد نوزینگ ۶۰/۸۱ به دست آمده است.

۷- مراجع

- [1] Salih D S M, Ismail A R. Investigation die profile effect on nosing process using finite element method. Modern Applied Science. 2011;5:212.
- [2] Khaghani M B M, Gorji A. Experimental study and finite element simulation of pipe nosing process with hydroforming method. in The 31th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers. 2008. (In Persian)
- [3] Orsolini A, Booker J D. Modelling capabilities required for the double nosing process in the assembly of spherical plain bearings. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2012;226:930-940.
- [4] Lu Y-H. Study of preform and loading rate in the tube nosing process by spherical die. Computer methods in applied mechanics and engineering. 2005;194:2839-2858.
- [5] Alves L M, Martins P A F. Forming of thin-walled tubes into toroidal shells. Journal of Materials Processing Technology. 2010;210:689-695.
- [6] Kwan C-T. An analysis of the eccentric nosing process of metal tubes. Journal of Materials Processing Technology. 2003;140:530-534.

- [7] Huang Y M. Flaring and nosing process for composite annoy tube in circular cone tool application. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2009;43:1167-1176.
- [8] Kwan C T, Fang C H, Chiu C J, Chen S W, Wen H W. An analysis of the nosing process of metal tubes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2004;23:190-196.