



شبیه سازی تاثیر دما و زمان بر میزان برگشت فنری در فرآیند خمکاری لوله

مهرداد عضو امینیان^{1*}، محمد حسین طهرانی²

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

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* سمنان، صندوق پستی 79-35145، m.aminian@semnaniau.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>فرآیند خمکاری یکی از پرکاربردترین فرآیندها در شکل دهی فلزات می باشد. با توجه به محدود بودن ضریب الاستیسیته مواد، در پی تغییر شکل پلاستیکی، پس از برداشتن بار همواره یک بازیابی الاستیک وجود دارد. در فرآیند خمکاری لوله، کاهش میزان برگشت فنری و بهینه سازی فرآیند دارای اهمیت است. در این مقاله اثر پارامترهای دما و زمان بر میزان برگشت فنری بر روی خمکاری لوله های زنگ نزن فولادی و آلومینیومی بررسی شده است. برای این منظور به کمک روش المان محدود و با استفاده از نرم افزار شبیه سازی آباکوس فرآیند خمکاری شبیه سازی شده است، این شبیه سازی برای حالت های مختلف دما و زمان مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت برای صحت گذاری نتایج شبیه سازی یک سری آزمایشات تجربی برای خمکاری این لوله ها انجام شده است. نتایج بدست آمده از هر دو روش مطابقت خوبی باهم دارند. بطوریکه که با افزایش دما میزان برگشت فنری کاهش می یابد و همچنین با گذشت زمان از انجام فرآیند خمکاری، میزان درصد برگشت فنری کاهش می یابد.</p>	<p>مقاله پژوهشی کامل دریافت: 9 مهر 1396 پذیرش: 23 آذر 1396 ارائه در سایت: 20 دی 1396</p>
	<p>کلیدواژگان خمکاری لوله برگشت فنری روش المان محدود</p>

Simulation of the Time and Temperature Effects On Spring Back in Tube Bending Process

Mehrdad Ozve Aminian^{1*}, Mohammad Hussein Tehrani²

1- Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran

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

* P.O.B. 35145-79 Semnan, Iran, m.aminian@semnaniau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 1 October 2017
Accepted 14 December 2017
Available Online 1 January 2018

Keywords

Tube bending
spring back
finite element method

ABSTRACT

Bending is one of the most usable metal forming processes. Due to the limited elasticity coefficient of the material, followed by plastic deformation, after removing the load, there is always an elastic recovery. Reducing the amount of spring back and process optimization are important in bending process. In this article, the effects of temperature and time on spring back of stainless steel and aluminum tubes bending have investigated. For this purpose, bending process has stimulated by finite element method using Abacus software. This method has investigated for different temperatures and times. Finally, to validating simulation results, a series of practical examinations have done for tube bending. The results of both methods are in a good agreement with each other so that with increasing of temperature, spring back effect has decreased and also with increasing time after bending, spring back amount percent has decreased.

Please cite this article using:

Mehrdad Ozve Aminian, Mohammad Hussein Tehrani, Simulation of the Time and Temperature Effects On Spring Back in Tube Bending Process, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 8, No. 4, pp. 51-58, 2018 (In Persian)

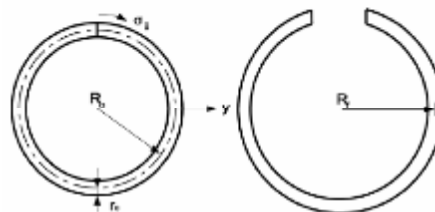
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1- مقدمه

کاهش خمکاری یکی از پرکاربردترین فرآیندهای صنعت شکل دهی می باشد. وقتی یک لوله تحت شعاع معینی خم می شود طول تار خنثی ثابت باقی می ماند، سطوح بیرونی کشیده و طول آن افزایش یافته و سطوح داخلی فشرده و طول آن کاهش می یابد و یک ناحیه الاستیک در مقطع به وجود خواهد آمد. وقتی باربرداری انجام می شود سطوح داخلی و خارجی تمایل دارند به طول خنثی برسند که منجر به باز شدن خم می شود. به این حالت برگشت فنری گفته می شود.

همانطور که در شکل 1 مشاهده می شود مدل مورد استفاده شده به صورت یک محوری بوده و در نتیجه مولفه های دیگر تنش تاثیر کمی بر روی برگشت فنری دارند. کرنش در $y = r_o$ هنگامی که لوله تحت ممان خمشی M قرار می گیرد برابر است با:

$$e_{y=r_o} = \frac{r_o}{R_o} \quad (1)$$



شکل 1 تغییر شعاع خمکاری پس از باربرداری

هنگامی که ممان M برداشته می شود، لوله رفتار الاستیک از خود نشان می دهد و مقداری تنش از خود آزاد می کند که مقدار این تنش به صورت زیر تعریف می شود:

$$S_q(y) = \frac{-M_y}{I} \quad (2)$$

مقدار کرنش آزاد شده پس از باربرداری در $y = r_o$ برابر است با:

$$e_{y=r_o} = \frac{S_q}{E} = \frac{r_o M}{EI} \quad (3)$$

مقدار کرنش در مدل یک بعدی به راحتی به کمک تنش بدست می آید. مقدار کرنش پسماند برابر است با مقدار کرنش قبل از باربرداری منهای مقدار کرنش آزاد شده پس از باربرداری:

$$\frac{r_o}{R_f} = \frac{r_o}{R_o} - \frac{r_o M}{EI} \quad (4)$$

و پس از ساده سازی R_f که برابر شعاع خم لوله پس از باربرداری است از رابطه زیر بدست می آید:

$$R_f = \frac{R_o}{1 - \frac{R_o M}{EI}} \quad (5)$$

میزان برگشت فنری بر حسب تغییر زاویه از روش زیر بدست می آید به این صورت که لوله ابتدا تحت زاویه q_o خم شده و پس از باربرداری زاویه خم تبدیل به q_f می شود و به اندازه Δq تغییر زاویه خواهد داد.

$$\Delta q = q_f - q_o \quad (6)$$

فرض می شود که طول خط خنثی در فرآیند خمکاری ثابت می باشد. l_o طول خط خنثی قبل از باربرداری و l_f طول خط خنثی بعد از باربرداری می باشد که برابرند با:

$$l_o = R_o q_o \quad (7)$$

$$l_f = R_f q_f \quad (8)$$

حال طبق فرض طول خط خنثی ثابت، نتیجه می شود:

$$l_o = l_f \quad (9)$$

$$R_o q_o = R_f q_f \quad (10)$$

$$q_f = \frac{R_o q_o}{R_f} \quad (11)$$

حال با داشتن زاویه نهایی q_f و زاویه اولیه خم q_o طبق معادله می توان میزان برگشت فنری بر حسب زاویه Δq را محاسبه کرد.

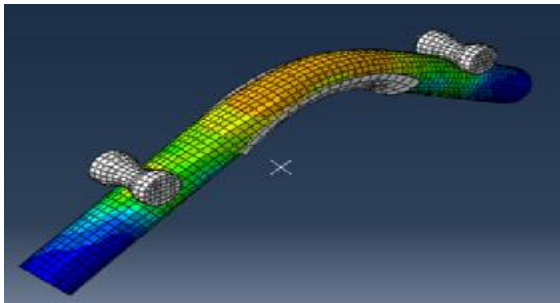
ظفر تکینر [1] به مطالعه برگشت فنری در ورقها با ضخامت و خواص متفاوت در قالب های خمکاری به روش تجربی پرداخت. براساس نتایج آزمایش ها مشخص شده است که میزان برگشت فنری با افزایش زاویه خم افزایش می یابد.

جوشقانی، وهمکاران [2] توسط یکسری آزمایش به بررسی پدیده برگشت فنری و خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم 7075 در

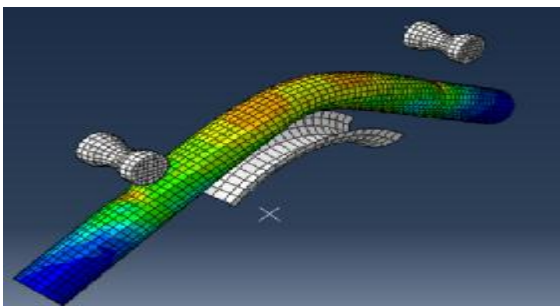
جدول 1 خواص مکانیکی آلیاژهای استفاده شده در شبیه سازی

چگالی (kg/m ³)	تنش نهایی (Mpa)	تنش تسلیم (Mpa)	مدول یانگ (Gpa)	جنس لوله
7920	860	520	190	فولاد زنگ نزن
2710	110	100	70	آلومینیوم

المان مورد استفاده برای حل مسئله با توجه به نوع فرآیند المان در نظر گرفته شد. این المان یک المان پیوسته سه بعدی می باشد و در تغییر شکل های زیاد و غیر خطی از آن استفاده می شود. تعداد المان ها حدود 2900 و المان ها غیر خطی بوده و از تکنیک reduction integration استفاده شده است. شکل شماره 2 فرآیند خمکاری لوله قبل و بعد از بارگذاری را نشان می دهد.



(الف)



(ب)

شکل 2 شماتیک شبیه سازی فرآیند خمکاری لوله،

(الف) قبل از عملیات باربرداری (ب) بعد از عملیات باربرداری

فرآیند شکل دهی خزشی پرداختند، نتایج حاصله نشان داد که برگشت فنری با کاهش دما و زمان افزایش می یابد.

لیم و همکاران [3] به بررسی برگشت فنری در فولادهای با استحکام بالا از طریق آزمایش پرداختند که نتایج نشان دادند برگشت فنری وابسته به زمان در دمای اتاق، مشابه با آلیاژهای آلومینیوم، شکل اولیه متناسب با لگاریتم زمان در روزهای اول تا هفته ها تغییر می کند حتی بعد از اینکه نرخ تغییرات کاهش می یابد. پانته و همکاران [4] برگشت فنری در خمکاری ورق های فلزی را به روش المان محدود بررسی نمودند. براساس نتایج حاصله مشخص شد که نسبت شعاع برگشت فنری به شعاع اولیه و نیز شعاع برگشت فنری به ضخامت اولیه تقریباً خطی میباشد. بیژن ملایی و امیر ترابی [5] اثر برگشت فنری بر روی خمکاری لوله و مقاطع پروفیلی را بررسی کردند. براساس مشاهدات آن ها با افزایش شعاع خم میزان برگشت فنری افزایش و با افزایش شعاع لوله میزان برگشت فنری کاهش می یابد.

هونگ کیم و همکارش [6] یک روش عددی برای بررسی برگشت فنری در ورق های آلیاژی آلومینیومی در شرایط شکل دهی گرم ارائه دادند. مقاربل و همکارانش [7] یک روش تحلیل تئوری برای خمش الاستیک- پلاستیک لوله ها و مقاطع به اشکال مختلف ارائه دادند.

داکسین و یافی [8] پدیده برگشت فنری و برگشت فنری وابسته به زمان در خمکاری لوله های از جنس فولاد زنگ نزن 10Cr 18Ni 9Ti را بررسی کردند که طبق نتیجه ی این تحقیق با افزایش نسبت شعاع خم به قطر لوله میزان زاویه برگشت فنری افزایش می یابد.

2- روش آزمایش

2-1 شبیه سازی

بمنظور اندازه گیری اثر دما و زمان بر پدیده برگشت فنری از نرم افزار شبیه سازی آباکوس استفاده شده و با توجه به تغییر شکل زیاد در قطعه در قسمت Step از گزینه Dynamic/Explicit استفاده شده است.

خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی مواد مورد استفاده بترتیب در جدول 1 و جداول 2 و 3 آورده شده اند .

سازی شده زاویه برگشت فنری اندازه گرفته می شود که برای آنها تنها زاویه بعد از باربرداری آورده شده است.

2-2) آزمایشات تجربی

برای تأیید نتایج شبیه سازی یک سری آزمایشات با استفاده از دستگاه خمکاری پرس صورت گرفته است. اصول خم با این روش همان خم پرس است که با حرکت رو به پایین جک باعث خم لوله می شود. این ماشین خمکاری قابلیت خم با شعاع های متفاوت را دارد. این دستگاه قابلیت این را دارد که با جابجا کردن نگهدارنده ها لوله را با زوایای خم متفاوت خمکاری کرد. این دستگاه پرس ساخت ایران بوده و سرعت اعمال نیرو در این دستگاه خمکاری 5 mm/min است که برای تمامی آزمایشات ثابت در نظر گرفته می شود. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی و فیزیکی فولاد زنگ نزن آستنیتی 304L و همچنین آلومینیوم خالص تجاری 1145 با استفاده از آزمایش کشش بدست آمده است .

جدول 2 ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن آستنیتی 304L

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0.03	1.2	0.8	17.45	10.23	0.6

جدول 3 ترکیب شیمیایی آلومینیوم خالص تجاری 1145

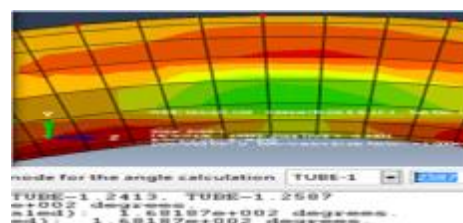
Cu	Si	Mn	Mg
0.05	0.8	0.8	0.5

جهت بررسی تاثیر دما بر روی میزان برگشت فنری، لوله با قطر 25 mm و با ضخامت 1/6 mm، شعاع خم 250mm و زاویه خم 90 درجه، از جنسهای فولاد زنگ نزن آستنیتی 304L و آلومینیوم خالص تجاری 1145، در دماهای مختلف 27 درجه (دمای محیط)، 100، 150، 200 و 250 درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفت. ترکیب شیمیایی و خواص هر یک از لوله ها در جدول 1 موجود می باشد. برای گرم کردن لوله ها از کوره

جهت بدست آوردن میزان برگشت فنری و درج آن در نمودار بعنوان نمونه برای یک حالت خاص از فرآیند با شعاع خم 300 mm، شبیه سازی انجام شده و روش اندازه گیری برگشت فنری آورده شده است. برای این کار ابتدا یک مسیر را با استفاده از قسمت query و تعیین زاویه، انتخاب می کنیم که مسیر فوق زاویه لوله در حالت استاندارد را مطابق شکل 3- الف نشان می دهد.



(الف)

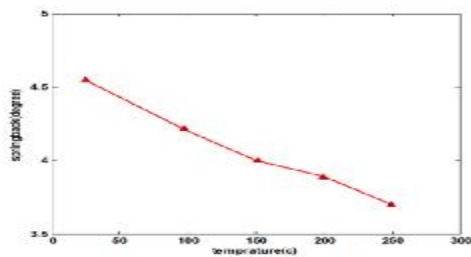


(ب)

شکل 3 شماتیک نحوه اندازه گیری زاویه برگشت فنری

الف) اندازه زاویه لوله قبل از خمکاری (ب) اندازه زاویه لوله بعد از خمکاری

همانطور که در شکل مشخص است زاویه این خط که با سه نقطه نشان داده شده 180 درجه است. بعد از انجام فرآیند و قبل از بار برداری زاویه این خطوط اندازه گیری شده است که در شکل 3 - ب نشان داده شده است و مقدار زاویه 168/1 درجه می باشد. بعد از مرحله باربرداری، دوباره زاویه این خطوط اندازه گیری می شود که در شکل نشان داده شده است و مقدار آن 164/1 می باشد. حال اختلاف این دو زاویه میزان برگشت فنری برحسب زاویه را نمایش می دهد که برای این مورد خاص برابر 4 درجه می باشد. به همین روش برای حالت های شبیه

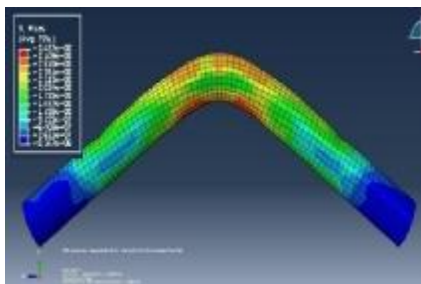


(ب)

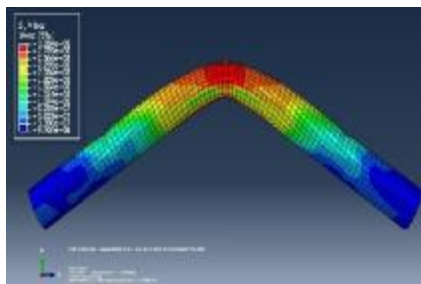
شکل 4: اثر دما بر روی برگشت فنری لوله با جنس های مختلف با قطر 25mm ، ضخامت 1.6mm ، زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250mm

در آزمایشات تجربی. (الف) لوله فولادی (ب) لوله آلومینیومی

همچنین نتایج حاصل از آزمایشات عملی لوله فولادی و لوله آلومینیومی با زوایای خم 90 درجه و شعاع خم 250 mm ، قطر 25 میلیمتر و ضخامت 1/6 mm دردمای اتاق و دماهای بالاتر نشان می دهد که تطابق مناسبی بین نتایج شبیه سازی و تجربی وجود دارد. (شکل 6)



(الف)



(ب)

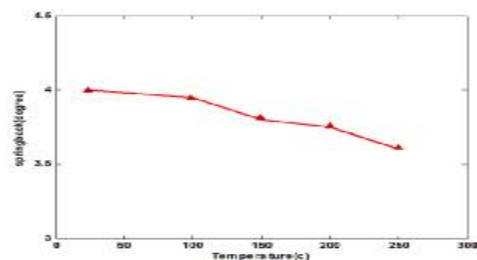
المنتی ساخت شرکت آذر کوره به ارتفاع 2/5 و قطر 3/5 متر با حداکثر دمای 1200 درجه استفاده شد. مدت زمان نگهداری لوله ها در کوره تا رسیدن به دمای مورد نظر تنظیم شد. جهت بررسی تاثیر گذشت زمان بر برگشت فنری، لوله هایی با قطر 25 mm و ضخامت 1/6 mm از جنسهای فولاد زنگ نزن آستنیتی 304L و آلومینیوم خالص تجاری 1145 با شعاع خم 250 mm و زاویه خم 90 درجه ، پس از گذشت زمانهای 24 ، 48 و 72 ساعت پس از پایان فرآیند خمکاری ، آزمایشات انجام گرفت.

3- بحث و نتایج

در این بخش به مقایسه بین نتایج حاصل از روشهای آزمایش و شبیه سازی توسط نرم افزار المان محدود آباکوس انجام شده، نشان میدهد که با تغییر برخی پارامترها میتوان پدیده برگشت فنری در خمکاری لوله را کاهش داد. در ادامه نتایجی که از این مقایسه استخراج شده است به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

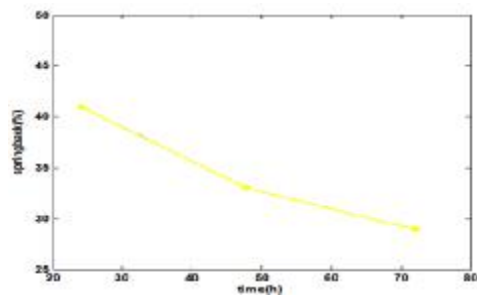
3-1- اثر پارامتر دما بر روی برگشت فنری

با افزایش دما، تمایل مواد برای تغییر شکل افزایش می یابد. برای بررسی میزان تغییرات برگشت فنری با دما، در نرم افزار آباکوس، لوله با زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250 mm ، قطر 25 mm و ضخامت 1/6 mm دردمای اتاق و دماهای 100 ، 150 ، 200 و 250 درجه سانتیگراد بررسی و تغییرات آن در شکل 4 و شکل 5 نمایش داده شده اند. بطوریکه میزان برگشت فنری هم در لوله های فولادی و هم در لوله های آلومینیومی با افزایش دما کاهش می یابد.

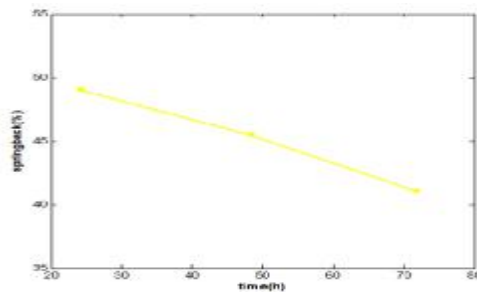


(الف)

تاثیر داشته و با افزایش زمان، کاهش می یابد. (شکل های 7 و 8)



(الف)

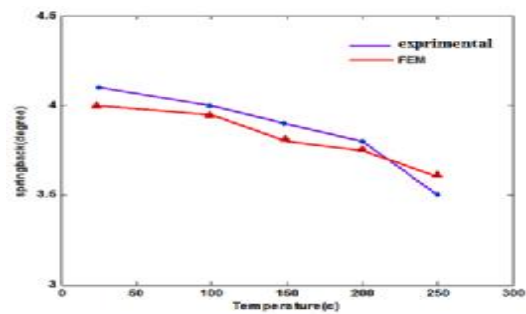


(ب)

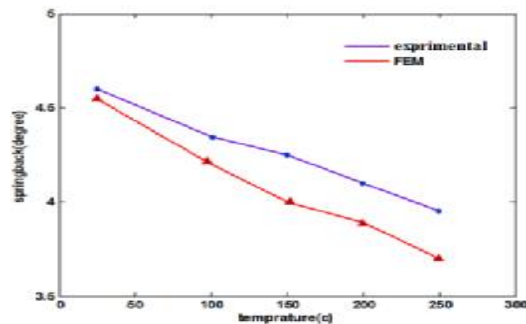
شکل 7 اثر زمان بر روی برگشت فنری اولیه ها با جنس های مختلف با قطر 25mm ، ضخامت 1.6mm ، زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250mm در آزمایشات تجربی. الف) لوله فولادی ب) لوله آلومینیومی

شکل 5 شماتیک شبیه سازی شده لوله خمکاری شده اولیه با جنس ، زاویه خم 90 درجه 1.6mm ، ضخامت 25mm های مختلف با قطر و شعاع خم 250mm.

الف) لوله فولادی ب) لوله آلومینیومی



(الف)

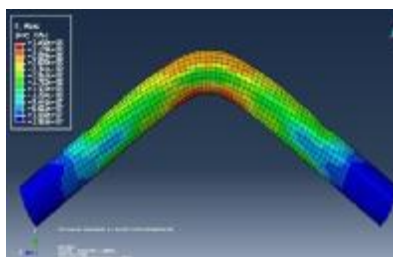


(ب)

شکل 6 مقایسه ی شبیه سازی و آزمایشات تجربی اثر دما بر روی برگشت فنری اولیه با جنس های مختلف با قطر 25mm ، ضخامت 1.6mm ، زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250mm. الف) لوله فولادی ب) لوله آلومینیومی

2-3- اثر پارامتر زمان بر روی برگشت فنری

شبیه سازی به کمک نرم افزار آباکوس و آزمایشات عملی نشان می دهند که برای لوله های فولادی و آلومینیومی با زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250 mm ، قطر 25 mm و ضخامت 1/6 mm ، گذشت زمان به مدت های 24 ، 48 و 72 ساعت پس از پایان فرآیند خمکاری، بر درصد میزان برگشت فنری



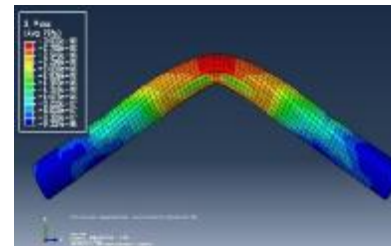
(الف)

با افزایش دما در شرایط یکسان برای خمکاری یک جنس مشخص در شرایط شعاع خم و شعاع لوله یکسان میزان برگشت فنری کاهش می یابد. افزایش دما باعث افزایش میزان شکل پذیری آلیاژ شده و سهم منطقه الاستیک در شکل دهی را کاهش داده و تبعاً میزان برگشت فنری کاهش می یابد. میزان خطای بین مقادیر شبیه سازی و آزمایش به دلیل شرایط گرم کردن قطعات می باشد که به دلیل کمبود امکانات تغییرات دما در حین انجام فرآیند زیاد شده و سبب خطای بین مقادیر میشود.

- با گذشت زمان از انجام فرآیند خمکاری، میزان درصد برگشت فنری کاهش می یابد. گذشت زمان سبب میشود که برگشت پذیری الاستیک کمتر شده و برگشت فنری کاهش یابد. نتایج آزمایش و شبیه سازی توسط نرم افزار آباکوس تطابق خوبی دارند که این نشان دهنده کارایی روش ارائه شده در این مقاله می باشد. در برخی موارد که میزان خطا افزایش می یابد عمدتاً بدلیل خطاهای اندازه گیری می باشد..

4- مراجع

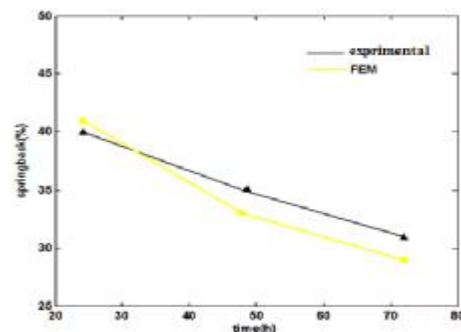
- [1]-Zafer Tekiner, An experimental study on the examination of spring back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies, Journal of materials processing technology 145 (2004) 109-117
- [2]-R. Arabi Jeshvaghania, M. Emamia, H.R. Shahverdia, S.M.M. Hadavib, Effects of time and temperature on the creep forming of 7075 aluminum alloy: Spring back and mechanical properties, Materials science and engineering 528 (2011) 8795- 8799
- [3]-H. Lim, M.G. Lee, J.H. Sung, J.H. Kim, R.H. Wagoner, Time-dependent spring back of advanced high strength steels, International journal of plasticity 29 (2012) 42-59
- [4]-S.K. Panthi, N. Ramakrishnan a, K.K. Pathak a, J.S. Chouhanb, An analysis of spring back in sheet metal bending using finite element method (FEM), Journal of materials processing technology 186 (2007) 120-124
- [5]-Hong Seok Kimb, Muammer Koc, Numerical investigations on spring back characteristics of aluminum sheet metal alloys in warm forming conditions, journal of materials processing technology 204 (2008) 370- 383
- [6]-A. El Megharbel, G.A. El Nasser, Aly El Domiaty, Bending of tube and section made of strain-hardening materials, journal of materials processing technology 203 (2008) 372-380



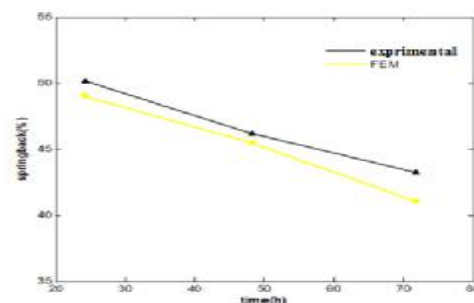
(ب)

شکل 8 شماتیک شبیه سازی شده لوله خمکاری شده با جنس های مختلف شده با قطر 25mm ، ضخامت 1.6mm، زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250mm.

(الف) لوله فولادی (ب) لوله آلومینیومی



(الف)



(ب)

شکل 9 مقایسه ی نتایج شبیه سازی و آزمایشات تجربی اثر زمان بر روی برگشت فنری لوله ها با جنس های مختلف با قطر 25mm ، ضخامت 1.6mm، زاویه خم 90 درجه و شعاع خم 250mm. (الف) لوله فولادی (ب) لوله آلومینیومی

3- نتیجه گیری

- [7]-Daxin E, Yafei Liu, Spring back and time-dependent spring back of 10 Cr 18 Ni 9 Tistainless steel tubes under bending materials and design 31 (2010) 1256–1261