

## طراحی قالب آهنگری پیش فرم با روش تغییر شکل معکوس و اجزاء محدود

کارن ابری نیا<sup>۱</sup>، محمد حسن نائی<sup>۲</sup> و یاسر تقی پور لاهیجانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده مهندسی مکانیک- پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی مکانیک- پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۲۱۶، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۳/۲۲، تاریخ تصویب ۸۵/۷/۸)

### چکیده

در این پژوهش برای طراحی قالب پیش فرم برای فرآیند آهنگری چند مرحله‌ای در قطعات نزدیک به ابعاد نهایی H-شکل از روش تغییر شکل معکوس به همراه شبیه‌سازی فرآیند بوسیله اجزاءمحدود غیر خطی استفاده شده است. در روش معکوس از شکل نهایی قطعه به عنوان نقطه شروع استفاده می‌شود و یک مسیر برگشت پلاستیک پیش‌بینی می‌گردد. پس از شبیه‌سازی مستقیم با استفاده از پارامترهای زمان تماس، ابعاد و مختصات هر قطعه از قالب مسیر برگشت پلاستیک پیش‌بینی و قالب میانی طراحی می‌گردد. معیار انتخاب قالب پیش فرم پر شدن کامل حفره قالب، معیوب نبودن قطعه نهایی و کمترین گرادیان کرنش پلاستیک معادل می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** روش تغییر شکل معکوس - اجزاءمحدود غیر خطی - کرنش پلاستیک معادل - قالب پیش فرم

### مقدمه

در روش تجربی، قالب‌های میانی بوسیله یک سری قوانین حاصل از تجربه، سعی و خطا و اصلاح قالب، طراحی می‌شوند، که البته کاری بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. در ضمن، برای این کار به افراد با تجربه و دارای تخصص نیاز می‌باشد. در واقع می‌توان گفت که طراحی قالب های پیش فرم بصورت سنتی درست همانند طراح قالب های یک مرحله ای انجام می‌شود و روش خاصی برای پیش بینی شکل پیش فرم وجود ندارد. اما با ظهور و پیشرفت کامپیوتر و استفاده از روش‌های عددی، این روش به نحو مطلوبی بهینه شد. نتایج قابل قبول و کم‌هزینه با زمان تولید کم از جمله دست‌آوردهای این روش بوده است. طراحی قالب میانی بر اساس حداقل ضایعات مواد در قالب‌های بدون فلش، کاهش سایش قالب، کمترین قیمت ساخت، کاهش تنش پسماند و کمترین گرادیان کرنش پلاستیک در قطعه تمام شده است. با استفاده از کامپیوتر و شبیه سازی در واقع روش سنتی طراحی پیش فرم یک قدم به جلو رفته و مراحل سعی و خطا با استفاده از شبیه سازی انجام شده و بدین ترتیب از هزینه و زمان طولانی برای ساخت و آزمایش متعدد قالب های پیش فرم جلوگیری می‌شود. چون معمولاً شکل نهایی قطعه کار و مشخصات مواد از جمله مشخصات قطعه آهنگری هستند،

یکی از فرآیندهای اقتصادی برای ساخت محصولات تولیدی آهنگری است. چون قیمت ماده آهنگری یکی از پارامترهای مهم در تعیین قیمت تمام شده محصول آهنگری می‌باشد، کم کردن ماده مصرفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نیاز به کم کردن ماده مصرفی و زمان تولید<sup>۱</sup> صنعت را به سوی تولید قطعات آهنگری نزدیک به ابعاد نهایی و آهنگری دقیق سوق داد. رقابت برای تولید و کم کردن زمان تولید و ضایعات، نیاز به روش معکوس را در صنعت نمایان ساخت.

### روش های طراحی برای پیش فرم

وقتی شکل نهایی پیچیده و نزدیک به ابعاد نهایی باشد، یا شکل نهایی نتواند در یک مرحله تولید شود، قطعه کار باید ابتدا در یک قالب میانی (پیش فرم) شکل گیرد و سپس، برای اتمام کار در قالب نهایی قرار گیرد. برای قطعات پیچیده ممکن است یک یا چند قالب میانی لازم باشد. ولی روش استاندارد برای طراحی قالب های میانی در آهنگری وجود ندارد. در آهنگری قالب های پیش فرم برای توزیع یکنواخت ماده در نقاط مختلف و پیچیده و نیز جلوگیری از عیوب آهنگری از قبیل تا خوردن طراحی می‌شوند.

طراحی قالب پیش‌فرم را ارائه دادند. در این روش از فاکتور پیچیدگی که بیان‌کننده مشکلات فرآیند می‌باشد، استفاده شد. تابع هدف، تعیین روال جدایش گره‌های تماسی می‌باشد، بگونه‌ای که پیچیدگی هندسی در شبیه‌سازی معکوس حداقل گردد.

در روش دوم [۶] از روش تحلیل حساسیت به‌مراه روش اجزاءمحدود صلب-پلاستیک برای طراحی قالب پیش‌فرم در آهنگری دقیق استفاده کردند.

در روش سوم [۷] با استفاده از مسیریابی معکوس<sup>۲</sup> تماس قالب روشی برای طراحی قالب پیش‌فرم در آهنگری‌های کرنش‌صفحه‌ای و متقارن‌محوری ارائه گردید. این روش شامل شبیه‌سازی مستقیم و معکوس با استفاده از روش اجزاءمحدود است. در شبیه‌سازی مستقیم زمان تماس هر قسمت از قطعه با قالب به عنوان شرط مرزی ثبت می‌گردد. این توالی زمانی با توجه به خواص جریان ماده و حالت پرشدگی قالب اصلاح می‌گردد.

از دیگر نکات قابل توجه در این روش تغییر نسبت ارتفاع به قطر بیلت در آهنگری یک مرحله‌ای می‌باشد. با این کار نسبت بهینه ارتفاع به قطر برای داشتن کمترین سایش قالب و نداشتن عیب تاخوردگی بدست می‌آید.

بیگلری و همکارانش [۸] با استفاده از تصمیم‌گیری فازی برای تعیین مرز جدید قطعه براساس شکل هندسی و تغییر شکل پلاستیک قطعه‌کار روش معکوس را توسعه دادند. این روش برای قطعات متقارن‌محوری در آهنگری ارائه شد. در این روش در طول فرآیند معکوس، قالب به سمت عقب حرکت می‌کند. گره‌های روی قطعه‌کار که در تماس با قالب هستند شروع به جدا شدن می‌کنند که لازم است پیش‌بینی شود که کدام گره زودتر جدا می‌شود. برای این کار از یک منطق فازی<sup>۳</sup> برای تصمیم‌گیری استفاده شده است. در این کار منطق فازی براساس تنش-پسماند یکنواخت و کاهش عیوب احتمالی آهنگری در قطعه‌کار، کرنش انحرافی پلاستیک، میانگین مینیمم کار انجام شده بنا نهاده شده است. سپس با استفاده از روش بهینه‌سازی طراحی قالب میانی بهینه انجام میشود.

براملی [۹] یک روش معکوس با استفاده از روش المان حد بالا (UBET) ارائه داده است. او شکل پیش‌فرم را بوسیله معکوس نمودن جهت میدان سرعت تا یک مقدار مینیمم برای کل نرخ توزیع انرژی که توسط شرایط تماس بهینه می‌شود، بدست آورد.

لذا در روشی که نام روش معکوس را بر روی آن نهاده اند از اطلاعات نهایی قطعه جهت طراحی پیش‌فرم و رسیدن به شکل مطلوب آن استفاده می‌شود. روش معکوس روشی بسیار مناسب برای انتخاب شکل قالب میانی می‌باشد. شکل قالب میانی با استفاده از مرز قطعه‌کار بدست‌آمده از روش معکوس حاصل می‌گردد.

روش معکوس طراحی قالب پیش‌فرم روشی است که با توسعه اجزاء محدود برای تحلیل مسائل غیرخطی، از قبیل شکل دهی فلزات که دارای تغییر شکل های بزرگ هستند، ارائه گردید. در این روش، برای یک فرآیند آهنگری چند مرحله‌ای، شکل نهایی هر مرحله به عنوان شکل اولیه مرحله بعد در نظر گرفته می‌شود. از تغییر شکل معکوس برای پیش‌بینی شکل قطعه‌کار در هر مرحله برگشت پلاستیک استفاده می‌شود. از روش معکوس در فرآیند آهنگری، برای بدست آوردن شرایط مرزی قطعه‌کار و دیگر متغیرها استفاده می‌شود. در روش مستقیم، وقتی ماده درون حفره‌های قالب جریان پیدا می‌کند، کار از شکل اولیه شروع شده و به شکل نهایی ختم می‌گردد.

روش معکوس بوسیله هوانگ و کوبایاشی [۱] در عملیات غلتک‌کاری توسعه داده شد. سپس از این روش برای طراحی قالب میانی برای قالب‌های آهنگری کرنش‌صفحه‌ای استفاده شد.

لانکا و همکارانش [۲] موفق شدند یک روش جدید برای طراحی قالب میانی در آهنگری‌های کرنش‌صفحه‌ای ارائه نمایند. معیار طراحی قالب آنها نرخ تنش و گرادیان نرخ کرنش بود.

گراندهی و همکارانش [۳] از یک الگوریتم کنترل پارامترهای طراحی در فرآیند آهنگری استفاده کردند. پارامترهای مذکور شامل سرعت سمبه برای کنترل نرخ کرنش در بیلت بود. آنها تحلیل را بر روی مواد صلب ویسکوپلاستیک به روش اجزاء محدود انجام دادند.

هان و همکارانش [۴] یک روش بهینه برای طراحی قالب میانی برای عملیات آهنگری متقارن‌محوری ارائه دادند. این روش براساس روش معکوس بوده و ماده صلب ویسکوپلاستیک فرض شده است.

ژائو و همکارانش [۵،۶،۷] سه روش را برای طراحی قالب پیش‌فرم ارائه دادند:

در روش اول [۵] با استفاده از یک معیار جدایش گره در شبیه‌سازی معکوس فرآیند آهنگری به روش اجزاءمحدود،

- روی نقطه وسط هر پاره خط محوری عمود بر پاره-خط و با جهت مثبت به سمت بیرون قالب رسم می گردد.
  - روی محور هر پاره خط نقطه ای با فاصله عددی که از روند فوق برای آن پاره خط حاصل شده (با در نظر گرفتن علامت عدد)، رسم می شود.
  - یک منحنی که نشان دهنده خط مرز قالب میانی است، بر نقاط بدست آمده، انطباق داده می شود.
  - حال با روند فوق و تغییر مقدار  $\alpha$  (متناسب با ابعاد قالب و مقدار ضریب وزنی) می توان هر بار یک قالب میانی بدست آورد.
- با هر بار آنالیز آهنگری دو یا چند مرحله ای با استفاده از قالب های میانی و نهایی می توان با توجه به پارامترهای مربوطه بهترین قالب یا قالب های میانی را انتخاب کرد.

### تعریف خواص مواد و مدل ساختاری

ماده مورد استفاده در این فرآیند، آلومینیم خالص تجاری با خواص زیر بوده است:

$$E = 8.995 \text{ Mpsi} = 62 \text{ GPa} \quad \text{- مادول الاستیسیته}$$

$$\nu = 0.24, \quad 25^{\circ} \text{C} \quad \text{- ضریب پواسن}$$

$$Y_0 = 1.4 \text{ Kpsi} = 10 \text{ MPa} \quad \text{- تنش تسلیم اولیه}$$

- رابطه تنش - کرنش در حالت پلاستیک

$$\sigma = Y_0 (1 + \epsilon / 0.3193)^{0.34}$$

- نوع تحلیل استاتیک غیرخطی، ضریب اصطکاک ۰/۱ و نوع بارگذاری جابجایی برای قالبها تعریف گردید.

### شبیه سازی روش معکوس و انتخاب قالب

#### پیش فرم

در این تحقیق برای انتخاب قالب پیش فرم، پرشدن قالب نهایی و داشتن حداقل فلش مهمترین معیار بود و نداشتن عیب تاخوردگی<sup>۷</sup> و داشتن حداقل گرادیان کرنش به عنوان معیارهای دیگر در نظر گرفته شدند.

در فرآیند آهنگری مورد بررسی، ابتدا فرآیند آهنگری یک مرحله ای با استفاده از قالب تمام کننده انجام گرفت. سپس، با بررسی عیوب محصول آهنگری یک مرحله ای و با استفاده از روش مذکور یک قالب بلوکر برای داشتن محصول آهنگری با کمترین نقص طراحی گردید

پس از گرفتن داده ها شامل زمان تماس از نتایج تحلیل فرآیند یک مرحله ای آهنگری، طول قطعات قالب و

در مقالاتی که توسط قاسمی، ابری نیا و بیگلری [۱۰-۱۲] برای طراحی قالب آهنگری چند مرحله ای در قطعات نزدیک به ابعاد نهایی ارائه گردید، از ترکیب دو روش تغییر شکل معکوس و اجزاء محدود استفاده شد. آنها در روش معکوس برای طراحی قالب میانی از تغییرات هندسی قطعه و میانبایی خطی بهره بردند. معیار انتخاب قالب میانی در روش ایشان، شکل توزیع کرنش پلاستیک معادل، پر شدن کامل حفره قالب، معیوب نبودن قطعه نهایی و کمترین تنش پسماند بوده است. در این تحقیق با استفاده از زمان تماس و مشخصات هندسی، یک مسیر برگشت پلاستیک برای قالب های متقارن محوری H-شکل پیش بینی شده است.

### روش تغییر شکل معکوس<sup>۴</sup>

روش معکوس در این تحقیق به شرح زیر می باشد:

- ابتدا خط منحنی قالب به چند پاره خط بگونه ای تقسیم می شود که طول کلیه پاره خطها تقریباً (با خطایی در حدود ۵٪) یکی باشد.
- به هر پاره خط یک ضریب وزن (w) نسبت داده میشود که از حاصل ضرب سه عدد طول پاره خط  $dL$ ، فاصله شعاعی مرکز پاره خط از محور تقارن  $r$  و زمان تماس هر پاره خط قالب با قطعه  $t$ ، بدست می آید:

$$w = r \cdot dL \cdot t$$

- بارگذاری در FEM از مقدار صفر تا یک، یعنی، تمام بارگذاری اعمال شده (اعم از جابجایی و بار) بر سیستم، به صورت نموی<sup>۵</sup> اعمال می گردد که به عدد مذکور بین صفر و یک، پارامتر شبه زمانی گفته می شود. لذا، زمان تماس برای هر پاره خط یک منهای زمان شروع تماس نقطه میانی پاره خط با

$$t_i = \frac{\Delta t_i}{t} \quad \text{قطعه تعریف می گردد:}$$

- میانگین اعداد فوق بدست می آید:

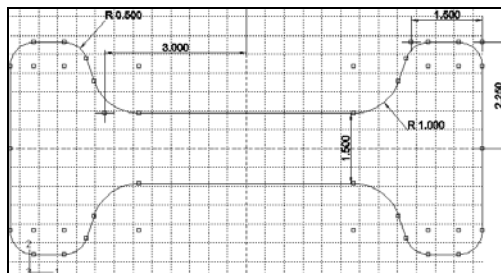
$$w_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n}$$

- ودر ضریبی به نام  $\alpha$  (بین صفر و یک) ضرب می گردد و سپس تمامی اعداد با عددی که از رابطه ذیل بدست می آید، جابگزین می شوند.

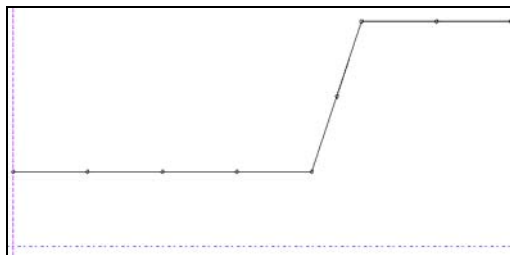
$$w' = w - \alpha \times w_{ave}$$

مشخص گردد. در صورت نیاز، بر روی منحنی قالب نیز تصحیحات لازم صورت می‌گیرد. اگر پس از بررسی فرآیند دو مرحله‌ای با حالات مختلف، نتیجه مطلوب حاصل نگردد، فرآیند بصورت چند مرحله‌ای طراحی می‌گردد.

روش معکوس برای برای قالب آهنگری متقارن محوری H-شکل با نسبت ارتفاع به عرض ۱ با بیلته استوانه‌ای به ارتفاع ۸/۹۴۲ و شعاع ۳ اینچ به کار برده شد. منحنی بدون پخ قالب بدون در نظر گرفتن خط جانبی آن (که در شکل (۳) می‌بینید) به عنوان خط قالب در نظر گرفته شد و به پاره‌خط‌هایی به طول ۰/۷۵ اینچ تقسیم گردید.

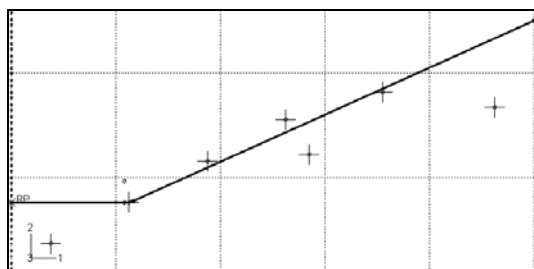


شکل ۲: شکل و ابعاد قالب تمام‌کننده.



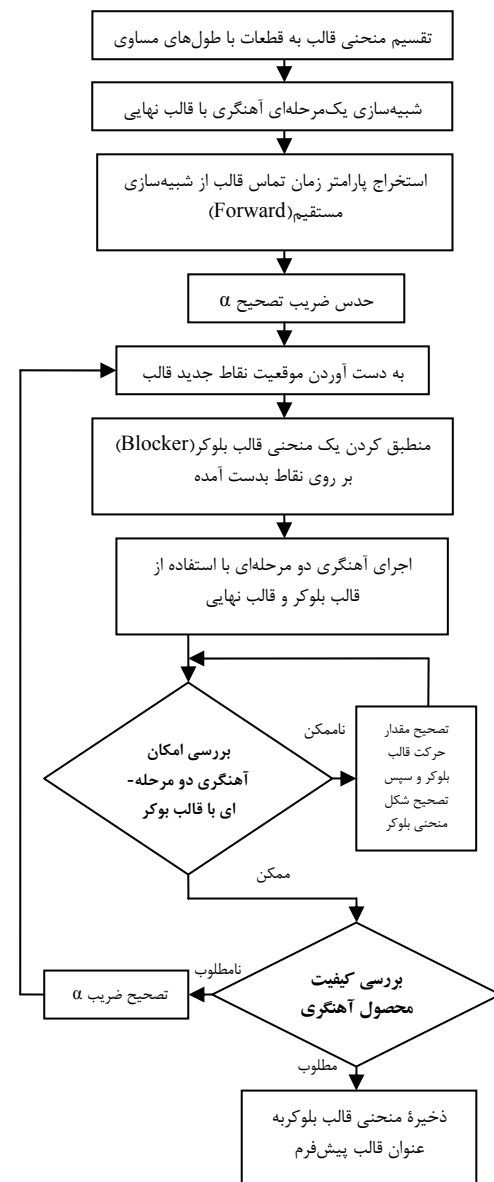
شکل ۳: شکل منحنی تقسیم‌شده قالب تمام‌کننده.

پس از انجام فرآیند آهنگری یک مرحله‌ای و انجام محاسبات لازم اطلاعات مورد نیاز برای طراحی قالب بلوکر بدست آمد که پس از انجام تصحیحات لازم قالب بلوکر با  $\alpha=0/7$  طراحی شد. داده‌های مربوطه و شکل منحنی قالب میانی به همراه نقاط بدست آمده با این روش در زیر نشان داده شده است.



شکل ۴: قالب بلوکر طراحی شده با  $\alpha=0/7$ .

مختصات نقطه میانی قطعات از هندسه قطعه، جهت محاسبه مختصات جدید نقاط میانی از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. پس از رسم نقاط مذکور در محیط گرافیکی ABAQUS منحنی قالب بلوکر بر آنها منطبق- گردید و در صورت نیاز، منحنی در همان محیط اصلاح- شد.



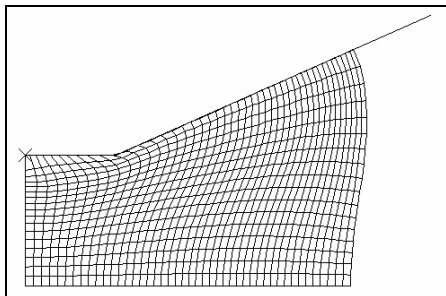
شکل ۱: الگوریتم اجرایی برنامه.

روند سعی و خطا در این تحقیق بدین صورت است که ابتدا برای هر قالب بلوکر (که منحنی آن از یک  $\alpha$  حدسی بدست می‌آید)، فرآیند دو مرحله‌ای با مقادیر مختلف حرکت قالب بلوکر انجام می‌شود تا صلاحیت آن قالب

جدول ۱: اطلاعات مربوط به طراحی قالب بلوکر.

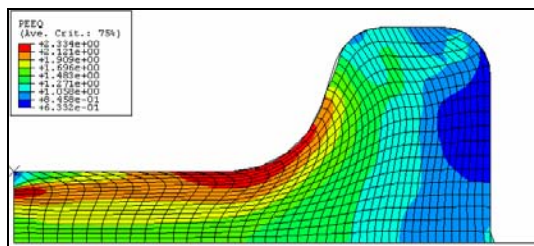
قطعه شماره	مختصه X نقطه میانی in	مختصه Y نقطه میانی in	زمان تماس هر قطعه (t)	فاصله شعاعی نقطه میانی (r)	ضریب وزنی w	W-0.7*Ave ( $\alpha=0.7$ )	X'	Y'
1	0.375	0.750	1.000	0.375	0.281	-0.544	0.375	0.369
2	1.125	0.750	1.000	1.125	0.844	0.019	1.125	0.763
3	1.875	0.750	1.000	1.875	1.406	0.581	1.875	1.157
4	2.625	0.750	1.000	2.625	1.969	1.144	2.625	1.551
5	3.125	1.125	0.531	3.125	1.245	0.420	2.847	1.221
6	3.375	1.875	0.221	3.375	0.560	-0.265	3.550	1.814
7	3.875	2.250	0.101	3.875	0.294	-0.531	3.875	1.878
8	4.625	2.250	0.000	4.625	0.000	-0.825	4.625	1.673

مشاهده میگردند. در شکل (۷) مشاهده می شود که در فرآیند آهنگری فلش وجود ندارد و قالب نهایی پر شده است. بعلاوه، عیب تاخوردگی نیز از بین رفته است. با توجه به شکل (۸)،



شکل ۷: شکل پرشدن قالب نهایی در طی فرآیند آهنگری دو مرحله ای.

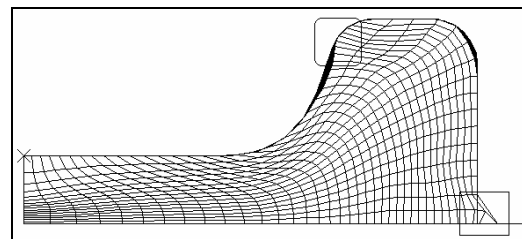
ملاحظه میگردد که کرنش پلاستیک معادل از مقدار ۰/۳۹ در حالت یک مرحله ای به ۰/۶۳۳ در حالت دو مرحله ای افزایش یافته و حداکثر آن از ۲/۵۴۸ به ۲/۳۳۴ کاهش یافته است، در نتیجه گرادیان کرنش به اندازه ای قابل توجه کم شده است.



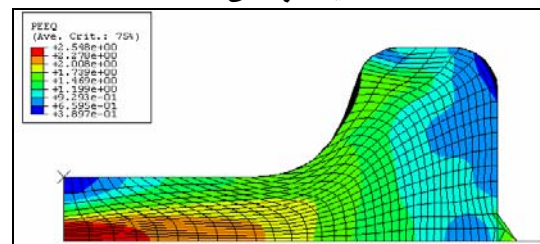
شکل ۸: کانتور توزیع کرنش پلاستیک معادل در پایان فرآیند آهنگری دو مرحله ای.

## بحث و نتایج

پس از شبیه سازی اجزاء محدود مستقیم فرآیند آهنگری یک مرحله ای در این حالت، پرشدن و عیوب دیگر در شکل (۵) و کانتور کرنش پلاستیک معادل در شکل (۶) نشان داده شده است. در شکل (۵) مشاهده می شود که در فرآیند آهنگری یک مرحله ای مقداری فلش (که با مربع مشخص شده است) و در نتیجه دو قسمت پر نشده (که با رنگ تیره مشخص شده است) وجود دارد. بعلاوه، عیب تاخوردگی (که با مربع با گوشه های پخدار مشخص شده است) نیز وجود دارد. با توجه به شکل (۶)، مشاهده میشود که حداکثر کرنش پلاستیک معادل ۰/۳۹ و حداکثر آن ۲/۵۴۸ می باشد.



شکل ۵: شکل پرشدن قالب نهایی در پایان فرآیند آهنگری یک مرحله ای.



شکل ۶: کانتور توزیع کرنش پلاستیک معادل در پایان فرآیند آهنگری یک مرحله ای.

پس از شبیه سازی اجزاء محدود مستقیم فرآیند آهنگری دو مرحله ای با استفاده از قالب بلوکر طراحی شده برای این حالت، پرشدن قالب در طی دو مرحله در شکل (۷) و کانتور کرنش پلاستیک معادل در شکل (۸)

شکل (۹) کانتور کرنش بدست آمده برای مرجع (۱۲) جهت مقایسه با شکل (۸) ارائه شده است. مشاهده می گردد که کرنش نهایی بدست آمده بیشتر است.

### نتیجه گیری

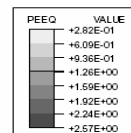
با توجه به نتایج بدست آمده از این مقاله می توان موارد ذیل را نتیجه گیری نمود:

(الف) در این روش با استفاده از پارامترهای زمان تماس، طول و فاصله هر قطعه از مرکز قالب، یک مسیر برگشت پلاستیک برای قالب بدست آمد.

(ب) بخاطر اهمیت هندسه بیلت در کیفیت محصول آهنگری، در حالت کرنش مسطح ابعاد بهینه برای بیلت محاسبه گردید.

(ج) در انتخاب قالب بلوکر در این روش، پرشدن قالب نهایی و داشتن حداقل فلش مهمترین معیار و نداشتن عیب تاخوردگی و داشتن حداقل گرادیان کرنش به عنوان معیارهای دیگر در نظر گرفته شد.

(د) مهمترین کاربرد این روش پرکردن قالب نهایی با طراحی فرایند آهنگری چند مرحله ای می باشد.



شکل ۹: کانتور توزیع کرنش پلاستیک معادل در پایان فرایند آهنگری دو مرحله ای [ مرجع ۱۲ ].

روشهای مشابه با روش ارائه شده در این مقاله که از روش معکوس استفاده می نمایند نیز قادر به پیش بینی قالب های پیشفرم با شکل های کم و بیش مشابهی می باشند اما تفاوت روش حاضر با روش های قبلی در الگوریتم اجرایی است که ارائه گردیده است و شیوه ای جدید می باشد. در این روش که از پیچیدگی های روش های قبلی برخوردار نیست با سرعت بسیار قابل توجهی نسبت به روشهای قبلی شکل پیش فرم مطلوب بدست آمده و مراحل سعی و خطا کاهش می یابد. علاوه براین کرنش پلاستیک معادل بدست آمده در انتهای فرایند نسبت به روشهای قبلی کمتر است که نشان دهنده بهینه بودن شکل قالب های پیش فرم بدست آمده است. در

### مراجع

- 1 - Hwang, S. M. and Kobayashi, S. (1984). "Preform design in plain strain rolling by the finite element method." *International Journal of Machine Tool Design Research*, Vol. 24, No. 4, PP.253-266.
- 2 - Lanka, S., Srinivasan, R. and Grandhi, R. V. (1991). "Design approach for intermediate die shapes in plane strain forgings." *Journal of Material Technology*, Vol. 9, No. 4, PP.193-206.
- 3 - Grandhi, R. V., Cheng, H. Kumar, S. S. (1993). "Optimum design of forging process with deformation and temperature constraints." *ASME Advances in Design Automation* Vol. 2, PP.583-593.
- 4 - Han, C. S., Grandhi, R. V. and Srinivasan, R. (1993). "Optimum design of forging die shapes using nonlinear finite element analysis." *AIAA Journal* Vol. 31, No. 4, PP.774-781.
- 5 - Zhao, G., Wright, E. and Grandhi, R. V. (1995). "Forging preform design with shape complexity control in simulating backward deformation." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 35, No. 9, PP.1225-1239.
- 6 - Zhao, G., Wright, E. and Grandhi, R. V. (1997). "Sensitivity analysis based preform die shape design for net-shape forging." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 37, No. 9, PP.1251-1271.
- 7 - Zhao, G., Wright, E. and Grandhi, R. V. (1998). "Preform design of a generic turbine disk forging process." *Journal of Materials Process Technology*, Vol. 84, PP.193-201.
- 8 - Biglari, F. R., O'Dowd, N. P. and Fenner, R. T. (1998). "Optimum design of forging dies using fuzzy logic in conjunction with the backward deformation method." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 38, PP.981-1000.

- 
- 9 - Barmley, A.N. (1987). "Computer aided forging design." *Annals CIRP*, Vol. 36, PP. 135.
- 10 - Ghassemi, H. P., Abrinia, K. and Biglari, F. (2003). "Design of dies for multi-stage forging of H-shaped parts." *11<sup>th</sup> International ISME Conference*, Ferdossi University, Mashhad, I.R.Iran, (In Farsi).
- 11 - Ghassemi, H. P., Abrinia, K. and Biglari, F. (2002). "Design of dies for multi-stage forging of near net shape parts." *5<sup>th</sup> Iranian Society of Manufacturing and Production Conference*, Tehran, I.R.Iran, (In Farsi).
- 12 - Biglari, F. R., Abrinia, K., Chasemi, H., Nikbin, K. M. and O'Dowd, N. P. (2003). "Near net shape forging using backward deformation method." *Computational Plasticity/Complas*. Vol. 11.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Lead Time
  - 2 - Backward Tracing
  - 3 - Fuzzy Logic
  - 4 - Backward Deformation
  - 5 - Incremental
  - 6 - Commercial Pure Aluminum
  - 7 - Folding
-