

تحلیل المان محدود ECAP با فشار معکوس و بررسی امکان جایگزینی آن با قالبی با سطح بالایی شیب دار

مهدی شبان غازانی^۱، اکبر وجد^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

۲- مدرس، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، آموزشکده شماره ۲ تبریز، ایران

* M_Shaban@sut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۶/۱۳، تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۱۶)

چکیده

پرس در کانال زاویه دار همسان یکی از مهم‌ترین و موثرترین روش‌های اعمال تغییر شکل پلاستیک سنگین می‌باشد. با این حال در برخی موارد به دلیل شکل پذیری پایین بعضی مواد، نمونه در حین تغییر شکل از سطح بالایی ترک برداشته و می‌شکند. به منظور جلوگیری از شکست نمونه‌ها از اعمال فشار معکوس استفاده می‌شود. در این تحقیق با استفاده از تحلیل المان محدود ECAP به همراه اعمال فشار معکوس بررسی شده و امکان جایگزینی آن با استفاده از قالب با سطح بالایی شیب دار مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه نشان داد که ایجاد سطح شیب دار با طول ۱۰ میلی‌متر و زاویه ۵ درجه علاوه بر اینکه نیروی پرس پایین‌تری نیاز دارد، تنش فشاری بالاتری را نسبت به فشار معکوس ۱۰۰ مگاپاسکال در سطح بالایی نمونه ایجاد می‌کند. بنابراین ساخت قالب با سطح بالایی شیب دار جایگزین مناسبی برای اعمال فشار معکوس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

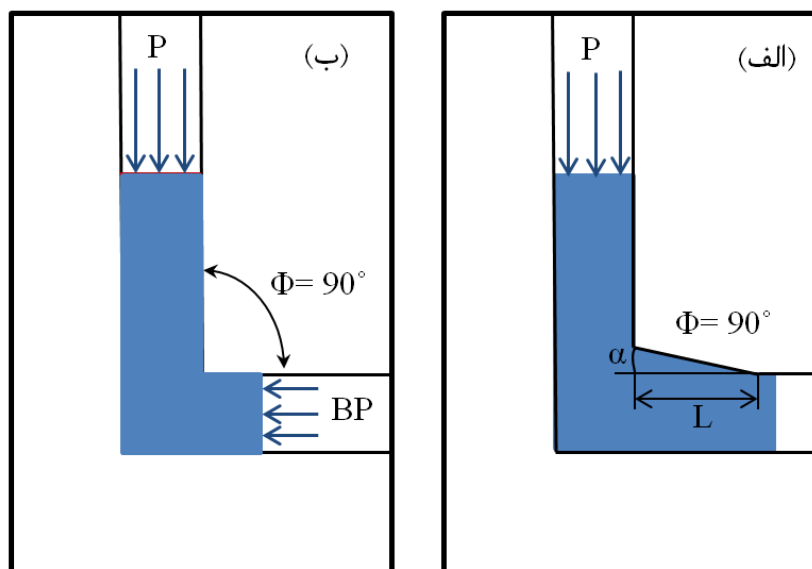
پرس در کانال زاویه دار همسان، تحلیل المان محدود، فشار معکوس.

۱- مقدمه

اعمال می‌شود. به دلیل ثابت ماندن سطح مقطع نمونه می‌توان فرایند را تکرار و در نتیجه کرنش بالایی را به نمونه اعمال کرد [۴]. با این وجود در برخی موارد به دلیل ایجاد تنش‌های کششی، ترک‌هایی در سطح بالایی نمونه ایجاد شده و امکان تکرار فرایند به دلیل شکستن نمونه وجود ندارد [۵]. به منظور جلوگیری از ایجاد ترک در نمونه معمولاً از طراحی‌های خاص قالب و اعمال فشار معکوس استفاده می‌شود [۶]. شماتیکی از دو روش فوق در شکل (۱) مشاهده می‌شود. در این تحقیق تاثیر

در سال‌های اخیر مواد با دانه بندی فوق ریز (UFG) به دلیل داشتن خواص مکانیکی عالی مانند استحکام کششی بالا مورد توجه بسیاری از محققان بوده است [۱]. یکی از روش‌های موثر در فرآوری مواد UFG پرس در کانال زاویه دار همسان (ECAP) می‌باشد [۲]. این روش توسط Segal و همکارانش ابداع شده است [۳]. در این روش نمونه از داخل کانالی با سطح مقطع دایره ای یا مربعی شکل با زاویه ثابت عبور داده می‌شود و کرنش برشی به هنگام عبور از محل تقاطع کانال‌ها بر روی نمونه

اعمال فشار معکوس و هم‌چنین قالب با سطح بالایی انحنا دار مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل (۱): شماتیکی از: الف) قالب انحنا دار و ب) فشار معکوس

جدول (۱): ضرایب جانسون-کوک مربوط به آلیاژ Al-۳Mg. [۷]

A (MPa)	B (MPa)	n	M
۸۲,۵۴	۱۷۷,۴۶	۰,۲۳۶	۰,۶۵
C	T_m (°C)	T_r (°C)	$\dot{\epsilon}_0$ s ⁻¹
۰,۰۴۲۱	۶۲۰	۱۳	۳,۳*۱۰ ^{-۲}

به دلیل ماهیت کرنش صفحه‌ای فرایند از تحلیل دو بعدی دما-جابجایی انتخاب شد. برای نمونه از المان‌های چهار ضلعی کرنش صفحه‌ای با یک گره در راس هر المان (CPE4RT) و برای قالب از المان‌های خطی با دو گره در ابتدا و انتهای المان (R2D2) استفاده شد. ابعاد نمونه ۶۰×۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. زاویه قالب و زاویه انحنا بیرونی قالب به ترتیب ۹۰ و صفر درجه انتخاب شد. فرض بر این شد که ۱۰ درصد انرژی ورودی به سیستم صرف انجام کار شده و بقیه به صورت گرما هدر می‌رود. سرعت حرکت فک‌های پرس ۱۰ mm/s و ضریب اصطکاک بین نمونه و قالب ۰/۱ در نظر گرفته شد. به منظور بررسی نحوه تغییر شکل نمونه چهار نقطه A، B، C و D در مرکز

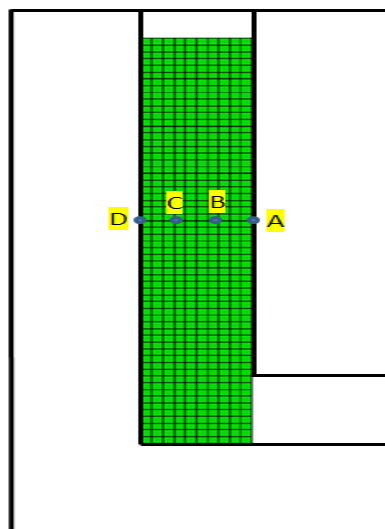
۲- تحلیل المان محدود

در این تحقیق از نرم افزار ABAQUS برای تحلیل المان محدود فرایند استفاده شد. آلیاژ Al-۳Mg به عنوان ماده مدل استفاده شد. برای اینکه نتایج به دست آمده دقیق باشد باید از مدلی استفاده کرد که رفتار ماده در حین تغییر شکل را به دقت بیان کند. بنابراین از مدل جانسون-کوک استفاده شد. بر اساس این مدل تاثیر کرنش، نرخ کرنش و دما بر روی رفتار سیلان ماده به صورت زیر بیان می‌شود [۷]:

$$\sigma = (A + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (1)$$

در این رابطه σ تنش سیلان، $\dot{\epsilon}$ نرخ کرنش، T دما بر حسب کلون، $\dot{\epsilon}_0$ و T_r به ترتیب نرخ کرنش و دمای رفرنس، T_m دمای ذوب آلیاژ و A ، B ، n ، m و C ثوابت مربوط به ماده تحت تغییر شکل می‌باشند. در جدول (۱) ثوابت مربوط به آلیاژ Al-۳Mg آورده شده است.

نمونه به ترتیب از سطح داخلی به طرف سطح بیرونی نمونه در نظر گرفته شد (شکل (۲)).

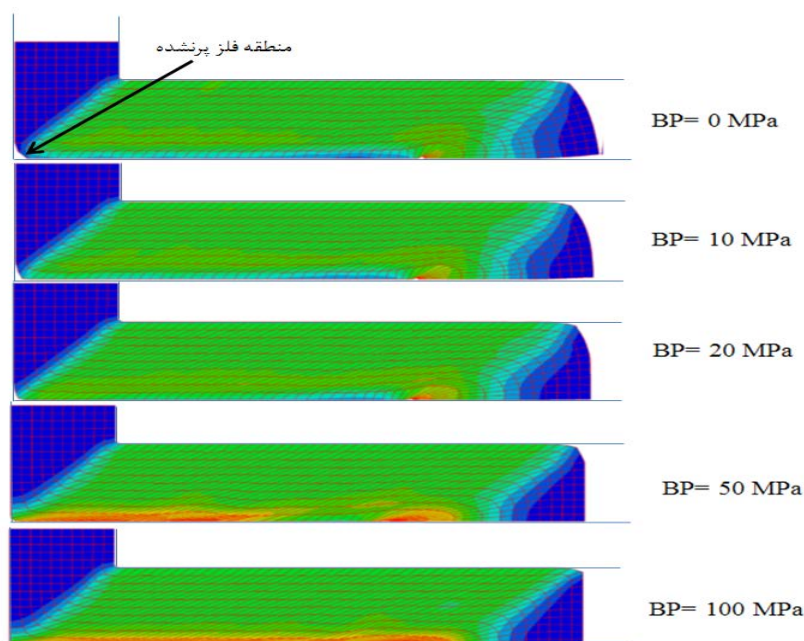


شکل (۲): شماتیک نمونه و قالب.

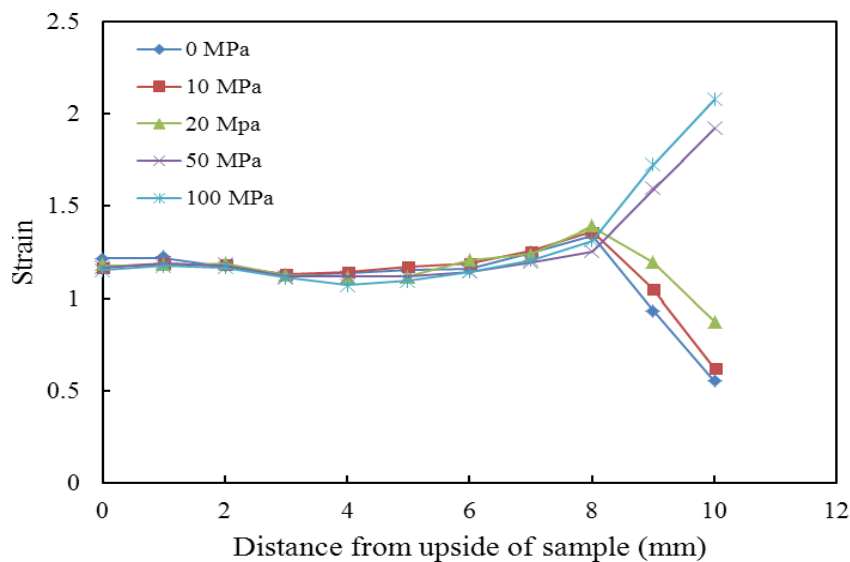
توزیع کرنش در هر مورد در داخل نمونه غیر یکنواخت می‌باشد. هم‌چنین در این شکل، منطقه پر نشده گوشه قالب با فلش نشان داده شده است. مشاهده می‌شود اندازه این منطقه با افزایش فشار معکوس کوچک‌تر می‌شود. در شکل (۴) توزیع کرنش در عرض نمونه از قسمت پایینی به قسمت بالایی نمونه (شکل (۳)) نشان داده شده است. در ۸ میلی‌متر بالایی نمونه توزیع کرنش یکنواخت بوده و با افزایش فشار معکوس تغییر چندانی نمی‌کند. با این حال در ۲ میلی‌متر پایین نمونه، توزیع کرنش غیر یکنواخت بوده و با افزایش میزان فشار معکوس افزایش می‌یابد. در شکل (۵) شدت کرنش در نقاط مختلف نمونه (شکل (۲)) با زمان نشان داده شد است. تغییرات کرنش در نقاط A، B، C در فشار معکوس مختلف تقریباً یکسان می‌باشد ولی در نقطه D با افزایش فشار معکوس بر میزان کرنش اعمالی به مقدار زیادی افزوده می‌شود. در فشار معکوس صفر و ۲۰ مگاپاسکال کرنش اعمالی به نقطه D کمتر از نقاط A، B، C می‌باشد در حالیکه در فشار معکوس ۵۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال، کرنش اعمالی به نقطه D بیشتر می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

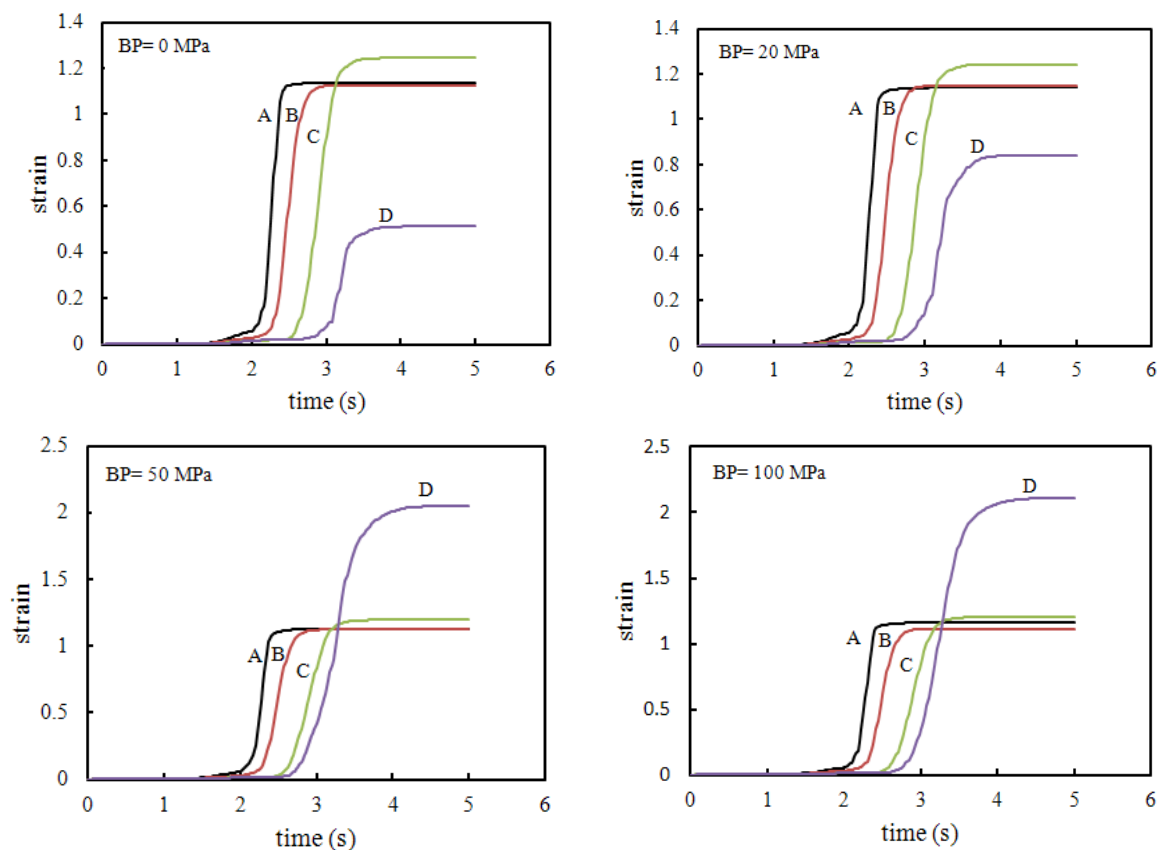
در شکل (۳) توزیع کرنش پلاستیک در فشار معکوس مختلف نشان داده شده است.



شکل (۳): توزیع کرنش در نمونه با فشار معکوس مختلف



شکل (۴): توزیع کرنش در عرض نمونه در فشار معکوس مختلف.



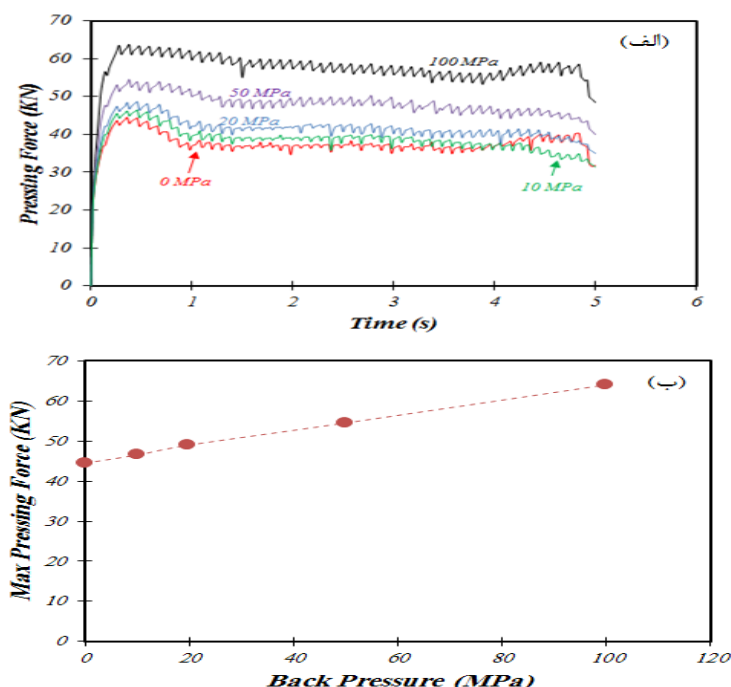
شکل (۵): تغییرات کرنش با زمان در نقاط مختلف نمونه تحت فشار معکوس متفاوت.

نیروی پرس در تمامی موارد در ابتدا یک افزایش شدید یافته و در ادامه با کاهش جزئی به صورت تقریباً ثابت باقی می‌ماند. با

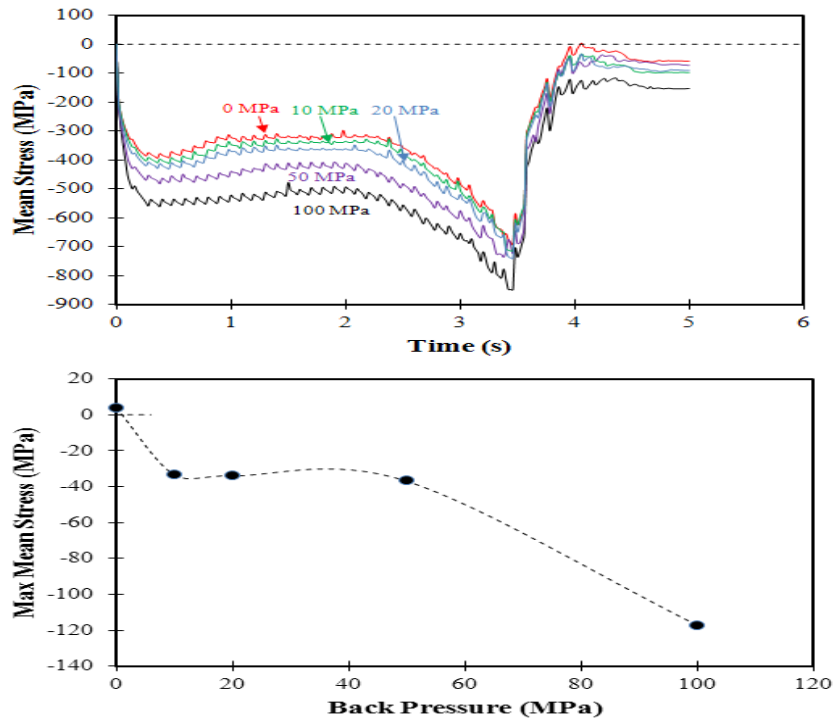
در شکل (۶) تغییرات نیروی پرس به صورت تابعی از زمان (شکل الف) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود

بالایی نمونه به صورت تابعی از زمان در سه حالت مختلف استفاده از قالب معمولی بدون اعمال فشار معکوس، استفاده از فشار معکوس ۱۰۰ مگاپاسکال و استفاده از قالب شیب دار با زاویه ۵ (زاویه α در شکل (۱)) درجه به طول ۱۰ میلی‌متر (طول L در شکل (۱)) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تنش متوسط در دو حالت استفاده از فشار معکوس ۱۰۰ مگاپاسکال و استفاده از قالب با سطح بالایی مایل با زاویه ۵ درجه تقریباً یکسان و برابر با ۱۱۵ مگاپاسکال می‌باشد. شکل (۸-ب) نشان می‌دهد که نیروی پرس لازم برای انجام تغییر شکل به هنگام استفاده از قالب با سطح بالایی شیب دار، کمتر از نیروی پرس در فشار معکوس ۱۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که استفاده از قالب با سطح بالایی شیب دار این قابلیت را دارد که جایگزین ECAP با فشار معکوس شود، زیرا اولاً تنش فشاری مشابه با حالت استفاده از فشار معکوس ۱۰۰ مگاپاسکال بوده و ثانیاً نیروی پرس کمتری لازم دارد و ثالثاً ساخت قالب با سطح بالایی شیب دار آسانتر از ساخت سیستم اعمال فشار معکوس می‌باشد.

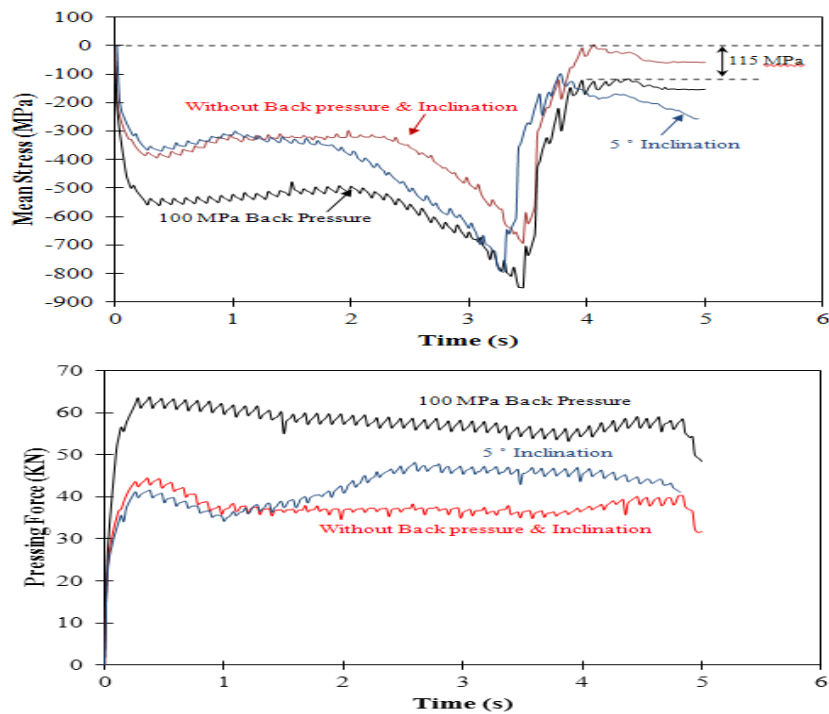
افزایش فشار معکوس، سطح نیرو از ۴۵ به ۶۵ کیلو نیوتن افزایش می‌یابد (شکل ب). در شکل (۷) تغییرات تنش متوسط سطحی در حین تغییر شکل (با اعمال فشار معکوس مختلف) نشان داده شده است. پروفیل و نحوه تغییرات تنش متوسط در هر مورد مشابه می‌باشد. به طوریکه در ابتدا سطح تنش فشاری افزایش یافته و سپس سطح تنش تقریباً ثابت می‌ماند. به دنبال آن (متناظر با شروع تغییر شکل) سطح فشار اعمالی دوباره بیشتر شده و در نهایت سطح تنش کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که در هر مورد، بیشترین تنش متوسط در انتهای تغییر شکل می‌باشد. هم‌چنین تغییرات ماکسیمم تنش متوسط به صورت تابعی از فشار معکوس اعمالی در شکل (۷) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سطح تنش متوسط فشاری از نظر مقدار با افزایش فشار معکوس افزایش یافته و در فشار معکوس ۱۰۰ مگاپاسکال به بیشترین مقدار خود می‌رسد. با افزایش مقدار تنش فشاری در سطح بالایی نمونه، احتمال ترک برداشتن و شکستن نمونه کاهش می‌یابد. در شکل (۸-الف) تغییرات فشار متوسط در سطح



شکل (۶): تغییرات نیروی پرس با زمان در فشار معکوس مختلف (الف) و ماکزیمم نیروی پرس به صورت تابعی از فشار معکوس (ب).



شکل (۷): تغییرات تنش متوسط سطحی با زمان در حین تغییر شکل با اعمال فشار معکوس مختلف و تغییرات تنش متوسط ماکسیمم با فشار معکوس



شکل (۸): تغییرات تنش متوسط: (الف) و نیروی پرس (ب) با زمان در سه حالت مختلف.

- [۳] H. S. Kim, "Finite Element Analysis Of Deformation Behaviour of Metals During Equal Channel Multi-Angular Pressing", *Material Science and Engineering A*, Vol. ۳۲۸, pp.۳۱۷-۳۲۳, ۲۰۰۲.
- [۴] R. Z. Valiev, T. G. Langdon, "Principles of Equal-Channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement", *Progress in Materials Science*, Vol. ۵۱, pp. ۸۱-۹۸۱, ۲۰۰۶.
- [۵] N. Q. Chinha, J. Gubicza, T. Czepecc, J. Lendvaia, Ch. Xub, R. Z. Valiev and T. G. Langdon, "Developing a Strategy for the Processing of Age-Hardenable Alloys by ECAP at Room Temperature", *Materials Science and Engineering A*, Vol. ۵۱۶, pp. ۲۴۸-۲۵۲, ۲۰۰۹.
- [۶] S. Wang, W. Liang, Y. Wang, L. Bian, K. Chen, "A Modified Die for Equal Channel Angular Pressing", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. ۲۰۹, pp. ۳۱۸۲-۳۱۸۶, ۲۰۰۹.
- [۷] Q. X. Pei, B. H. HU, C. Lu, Y. Y. Vang, "A Finite Element Study of the Temperature Rise During Equal Channel Angular Pressing", *Scripta Materialia*, Vol. ۴۹, pp ۳۰۳-۳۰۸, ۲۰۰۳.

۴- نتیجه گیری

- ۱- با افزایش مقدار فشار معکوس اندازه منطقه پر نشده از فلز در گوشه قالب کاسته می شود و مقدار کرنش اعمالی در ۲ میلی متر پایین نمونه افزایش می یابد.
- ۲- با افزایش فشار معکوس بر مقدار نیروی پرس لازم افزوده می شود.
- ۳- با ایجاد سطح شیب دار در سطح بالایی کانال قالب علاوه بر اینکه تنش فشاری بالایی بر نمونه اعمال می شود، نیروی پرس کمتری برای اعمال تغییر شکل لازم می باشد.
- ۴- به جای اعمال تنش فشاری می توان از قالب با سطح بالایی مایل استفاده کرد.

۵- مراجع

- [۱] J. Magta and K. Muszka, " Mechanical Properties of ultra Fine-Grained HSLA and Ti-IF Steels", *Material Science and Engineering A*, Vol ۴۸۴, pp.۱۸۶-۱۹۱, ۲۰۰۷.
- [۲] D. H. Shin, K. T. Park, "Ultrafine Grained Steels Processed By Equal Channel Angular Pressing", *Material Science and Engineering A*, Vol ۴۱۰-۴۱۱, pp.۲۹۹-۳۰۲, ۲۰۰۵.