

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Effect of the number of processing pass on the deformation behavior of AA1050 in pure shear extrusion

Abstract

The number of deformation pass plays a significant role on the homogeneity of grain refinement and distribution of the mechanical properties of the processed samples in severe plastic deformation (SPD). In the present paper, the effect of the number of deformation pass on the homogeneity of deformation in pure shear extrusion (PSE) was investigated. During PSE the sample experiences shear strain in pure mode which is in contrary with many SPD techniques in most of which the shear strain is in simple mode. The distribution of hardness in the sample and filling fraction of the exit channel of the die during PSE for one, two and three passes were analyzed. Load-stroke curves during PSE was studied as well. The results show that by increasing the number of deformation pass, the filling fraction of the die channel and the average hardness increases. It should be mentioned that by increasing the number of deformation pass, the hardness standard deviation increases which exhibits an enhancement in the heterogeneity of the deformation.

Keywords: Shear strain, Pass, SPD, Homogeneity.

تأثیر تعداد پاس فرآیند بر رفتار تغییر شکل آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ با استفاده از روش اکستروژن برشی خالص

چکیده

تعداد پاس در فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید^۱ (SPD) بر همگنی ریزدانه‌سازی و توزیع یکنواخت خواص مکانیکی نمونه‌های فرآوری شده تأثیر بسزایی دارد. در پژوهش حاضر، تأثیر تعداد پاس بر خواص مکانیکی و همگنی تغییر شکل اعمالی به نمونه از جنس آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ با استفاده از روش نوین SPD تحت عنوان اکستروژن برشی خالص^۲ (PSE) بررسی شد. برخلاف بسیاری از فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید که کرنش اعمالی به نمونه از نوع برشی ساده است، در روش PSE کرنش اعمالی در حالت برشی خالص به نمونه اعمال می‌گردد. همگنی تغییر شکل اعمالی به نمونه به عنوان یک عامل بسیار مهم در فرآیندهای SPD در نظر گرفته می‌شود. بدین منظور توزیع سختی در مقطع نمونه و میزان پرشدن کانال خروجی قالب به عنوان پارامترهای نمایانگر توزیع کرنش و ثبات ابعادی نمونه به ازای یک، دو و سه پاس از فرآیند PSE مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین میزان نیرو و نحوه توزیع آن در طول سه پاس محاسبه و بررسی شد. نتایج نشان دادند که با افزایش تعداد پاس میزان پرشدن و میانگین سختی افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که با افزایش تعداد پاس، انحراف استاندارد توزیع سختی افزایش می‌یابد که بیانگر افزایش ناهمگنی تغییر شکل اعمالی به نمونه است.

واژه‌های کلیدی: کرنش برشی، تعداد پاس، تغییر شکل پلاستیک شدید، همگنی.

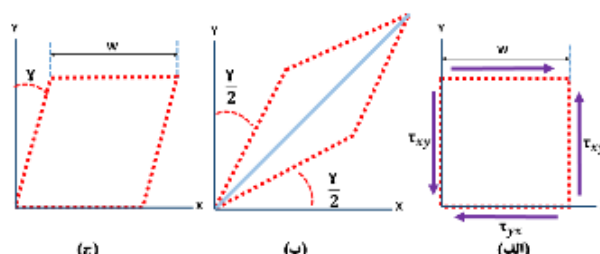
¹ - Severe Plastic Deformation

² - Pure Shear Extrusion

مقدمه

امروزه، یکی از مؤثرترین روش‌های فرآوری مواد و آلیاژهای حجیم به منظور دستیابی به ساختارهای بسیار ریزدانه و خواص مکانیکی بهینه استفاده از روش‌های مختلف تغییر شکل پلاستیک شدید^۱ (SPD) است (Lowe and Valiev, 2000; Valiev and Alexandrov, 1999). روش تغییر شکل پلاستیک شدید با رویکرد مؤثر خود موجب توجه بسیاری از محققان جهت فرآوری مواد فوق ریزدانه^۲ (UFG) قرار گرفته است (Toth and Gu, 2014). در روش‌های تغییر شکل متداول و روزمره مانند اکستروژن، نورد، کشش عمیق و غیره امکان کاهش زیاد سطح مقطع نمونه در یک پاس وجود نداشته و تجمع کرنش‌های بالا و اصلاح قابل قبول دانه‌ها به دست نخواهد آمد (Valiev, Islamgaliev and Alexrandrov, 2000). فرآیندهای SPD از جمله پرس در کانال‌های هم زاویه‌دار (ECAP) (Segal, 1995)، پیچش تحت فشار بالا (HPT) (Bridgman, 1935)، اکستروژن پیچشی (TE) (Salishchev, 1993)، نورد تجمعی (ARB) (Saito, Tsuji, Utsunomiya, Sakai and Hong, 1998)، اکستروژن برشی ساده^۳ (SSE) (Pardis and Ebrahimi, 2009) و غیره امکان اعمال تغییر شکل زیاد به نمونه بدون تغییر ابعاد اولیه آن و در نهایت اعمال کرنش پلاستیکی بالا و رسیدن به ساختار اصلاح شده دانه را فراهم می‌کنند (Valiev et al, 1999). در اکثر روش‌های SPD از جمله ECAP، TE و SSE کرنش برشی در حالت ساده به نمونه اعمال می‌گردد لذا توسعه روشی که در آن کرنش برشی به حالت خالص حین تغییر شکل به نمونه اعمال گردد حائز اهمیت است. بر این اساس اخیراً روش نوینی تحت عنوان اکستروژن برشی خالص^۴ (PSE) معرفی گردیده است که می‌تواند به منظور تغییر شکل پلاستیک شدید در حالت برشی خالص مورد استفاده قرار گیرد (Rahimi, Eivani, Kiani and Razavi, 2014).

اکستروژن برشی خالص یک فرآیند نوین SPD است که با استفاده از آن می‌توان مواد فلزی فوق ریزدانه را تولید کرد. روش PSE شبیه به فرآیند اکستروژن برشی ساده است که توسط پردیس و همکارانش (۲۰۰۹) معرفی گردید، اما وجه تفاوت اصلی این دو فرآیند SPD، نوع کرنش برشی اعمالی به نمونه است. به طوری که در PSE کرنش برشی اعمال شده برخلاف روش SSE که از نوع برشی ساده است، از نوع خالص می‌باشد. در شکل (۱) اساس کرنش برشی خالص و ساده نشان داده است. مطابق شکل (۱-الف) اگر المانی تحت تنش برشی قرار گیرد، به نمونه می‌تواند کرنش برشی به دو حالت خالص و ساده (مطابق شکل (۱-ب و ج)) اعمال می‌گردد (Hosford and Caddell, 2011). تأثیر کرنش برشی خالص و ساده در شکل‌گیری فلزات نانو ساختار توسط سگال (۲۰۰۲) تشریح گردیده است.

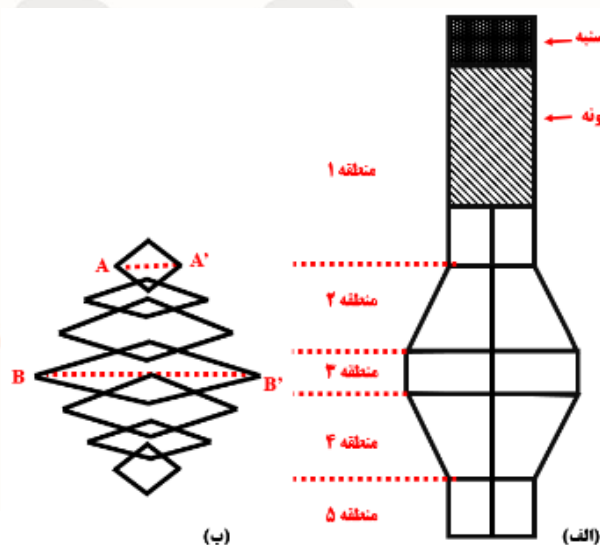


شکل ۱. حالات کرنش برشی مختلف، (الف) اعمال تنش برشی، (ب) کرنش برشی خالص و (ج) کرنش برشی ساده.

¹ - Severe plastic deformation
² - Ultra-fine grain

³ - Simple Shear Extrusion
⁴ - Pure Shear Extrusion

شماتیک فرآیند PSE در شکل (۲-الف) نشان داده شده است. در این شکل قالب از ۵ منطقه تشکیل شده است که عبارتند از: کانال ورودی (منطقه ۱)، منطقه تغییر شکل بالایی^۱ (UDZ) (منطقه ۲)، منطقه استراحت^۲ (RZ) (منطقه ۳)، منطقه تغییر شکل پایینی^۳ (LDZ) (منطقه ۴) و کانال خروجی (منطقه ۵). در این فرآیند نمونه توسط سنبه به درون قالب اکستروژن می‌گردد. در حین عبور نمونه از منطقه ۱ به ۲ نمونه با سطح مقطع مربع به سطح مقطع لوزی شکل با نسبت قطر بزرگ لوزی به قطر مربع اولیه (D_R) تغییر می‌یابد (شکل ۲-ب). در شکل (۲-ب) تغییرات تدریجی سطح مقطع نمونه از بالا تا پایین در حین عبور از کانال قالب نشان داده شده است. باید به این نکته توجه کرد که مساحت سطح مقطع نمونه ثابت باقی می‌ماند لذا نمونه فرآوری شده هیچ‌گونه افزایش طولی از خود نشان نمی‌دهد. در نتیجه ابعاد نمونه در حالت کلی بدون تغییر باقی خواهد ماند که این امر یکی از شرایط مهم در فرآیندهای SPD است. پس از منطقه ۲ نمونه وارد منطقه ۳ می‌شود. در طول این منطقه هیچ‌گونه تغییر شکلی به نمونه اعمال نمی‌شود. پس از خروج نمونه از منطقه ۳ به منطقه ۴ وارد شده و تحت تغییر شکل قرار می‌گیرد. منطقه ۴ همسان منطقه ۲ اما در جهت معکوس است. در طول عبور نمونه از این منطقه، سطح مقطع نمونه از مقطع لوزی شکل با نسبت قطر همسان با منطقه ۲ به سطح مقطع مربعی اولیه بازمی‌گردد و پس از آن از منطقه ۵ خارج می‌شود.



شکل ۲. الف) تصویر شماتیک مناطق تغییر شکل در اکستروژن برشی خالص متشکل از ۵ منطقه، کانال ورودی (۱)، منطقه تغییر شکل بالایی (۲)، منطقه استراحت (۳)، منطقه تغییر شکل پایینی (۴) و کانال خروجی (۵)، ب) تغییر تدریجی سطح مقطع نمونه حین تغییر شکل و نسبت قطر ($D_R=AA'/BB'$).

در تحقیق حاضر، به بررسی رفتار تغییر شکل آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ فرآوری شده با استفاده از روش PSE پرداخته شده است. با در نظر گرفتن همگنی تغییر شکل به عنوان یک عامل تعیین کننده خواص مکانیکی و متالورژیکی در روش‌های SPD، میزان پرشدن کانال خروجی قالب و توزیع کرنش مؤثر بررسی گردید. بدین منظور توزیع سختی در مقطع نمونه و میزان پرشدن کانال خروجی قالب به عنوان پارامترهای نمایانگر توزیع کرنش و ثبات ابعادی نمونه به ازای یک، دو و سه پاس از فرآیند PSE مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین میزان نیرو و نحوه توزیع آن در طول سه پاس PSE محاسبه و بررسی شد.

¹ Upper deformation zone

² Relaxation zone

³ Lower deformation zone

مواد و روش تحقیق

در پژوهش حاضر، نمونه‌های مورد استفاده به شکل مکعب مستطیل با ابعاد $120 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ با استفاده از ماشین‌کاری از ورق آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ نوردی تهیه گردیدند. برای از بین بردن تنش‌های باقی‌مانده حاصل از عملیات مکانیکی پیشین تمامی نمونه‌ها در دمای 550°C به مدت ۳۰ min تحت عملیات حرارتی آنیل قرار گرفتند و پس از آن تا دمای محیط در کوره سرد شدند.

نمای برش زده قالب PSE مورد استفاده در این پژوهش در امتداد خط AA' (مطابق شکل (۲-ب)) در شکل (۳) نشان داده شده است. قالب این فرآیند با طول منطقه تغییر شکل (مجموع طول منطقه‌های ۲ و ۴) برابر ۵۰ mm، طول منطقه استراحت ۱۰ mm و نسبت قطر (DR) ۲ برابر طراحی و از جنس فولاد H13 ساخته شد. نمونه‌ها در دمای اتاق توسط پرس هیدرولیکی ۳۰۰ تن با سرعت 1 mm.s^{-1} (شکل (۴)) تحت فرآیند PSE قرار گرفتند. به منظور بهینه‌سازی شرایط اصطکاکی از روان‌ساز مولیبدنیوم دی-سولفاید (MoS_2) استفاده شد.

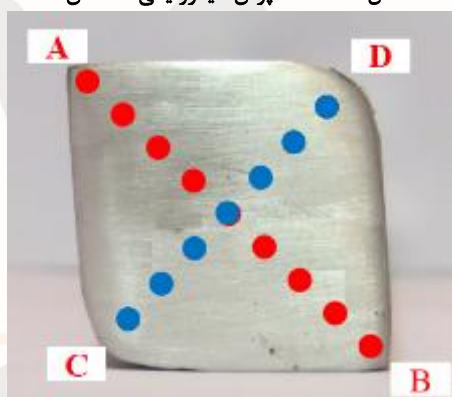


شکل ۳. قالب PSE استفاده‌شده در آزمایش عملی.

به‌منظور بررسی توزیع و همگنی تغییر شکل، سختی نمونه‌ها در صفحه‌ای عمود بر جهت اکستروژن در امتداد خطوط AB و CD مطابق شکل (۵) مورد بررسی قرار گرفت. سختی برینل با ساچمه‌ای به قطر ۲/۵ mm و نیروی بارگذاری ۱۵/۶۲۵ Kgf به مدت ۴۰s با استفاده از دستگاه Karl Kolb در چندین نقطه اندازه‌گیری شد.



شکل ۴. دستگاه پرس هیدرولیکی ۳۰۰ تن.

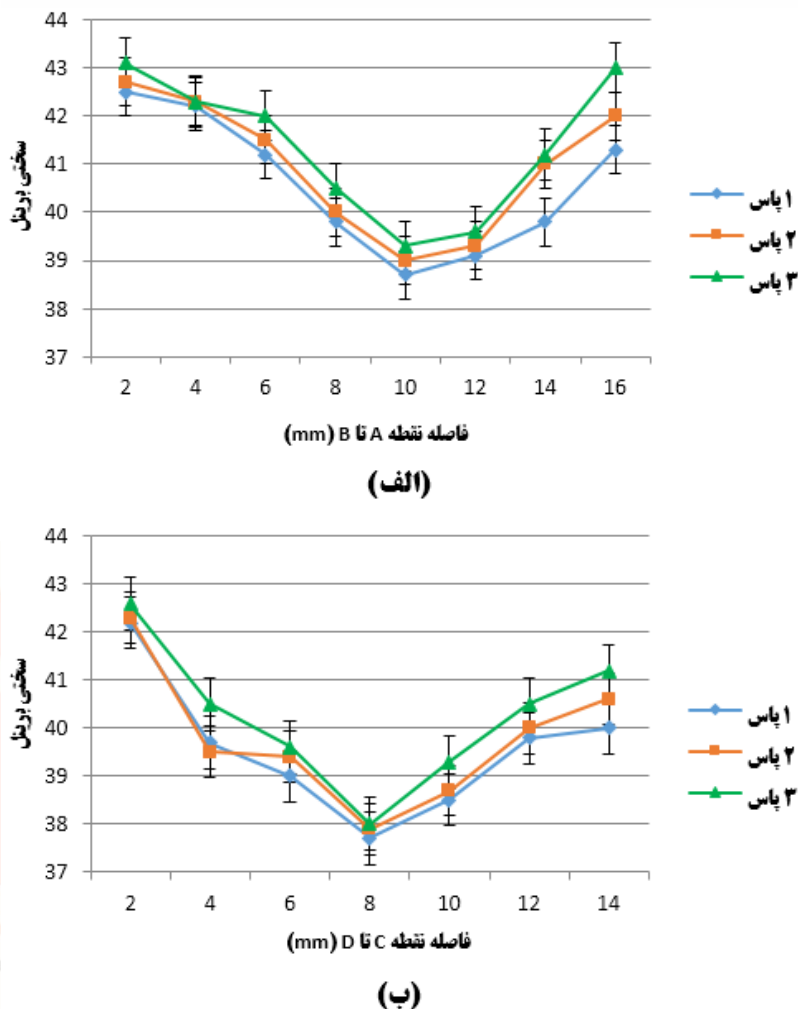


شکل ۵. تصویر صفحه عمود به جهت اکستروژن و مسیرهای AB و CD جهت آزمایش سختی سنجی.

نتایج و بحث

سختی:

به منظور دست یافتن به نحوه توزیع و همگنی تغییر شکل اعمالی به نمونه نتایج حاصل از سختی برینل بر صفحه‌ای عمود به جهت اکستروژن مطابق شکل (۵) مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۶) نتایج سختی سنجی بر روی نمونه آلومینیوم ۱۰۵۰ را در حالت آنیل شده و پس از PSE نشان می‌دهد، همچنین مشاهده می‌شود که نواحی بیرونی به سبب وجود اصطکاک و تغییر شکل بیشتر حین عبور از ناحیه ۲ و ۴ نسبت به نواحی درونی نمونه سختی بیشتری را نشان می‌دهند. توزیع سختی در نمونه‌های آلومینیوم ۱۰۵۰ بر حسب تعداد پاس در دو مسیر AB و CD (مطابق شکل ۵) در شکل (۶-الف و ب) نشان داده شده است. مطابق این شکل میانگین سختی در نمونه‌های آلومینیوم ۱۰۵۰ بعد از یک، دو و سه پاس روندی افزایش داشته است. علت را این گونه می‌توان تشریح کرد که لغزش در مراحل اولیه تغییر شکل پلاستیک، بر روی صفحات لغزش اولیه انجام می‌گیرد و نایجایی‌ها آرایه‌های هم‌سطحی تشکیل می‌دهند. اما با ادامه اعمال کار مکانیکی به نمونه، لغزش متقاطع و مکانیسم‌های تکثیر وارد عمل شده و سبب افزایش چگالی نایجایی‌ها می‌شود. در اثر افزایش چگالی نایجایی‌ها و تعامل بین آن‌ها خواص مکانیکی نمونه افزایش می‌یابد (Dieter, 1986).

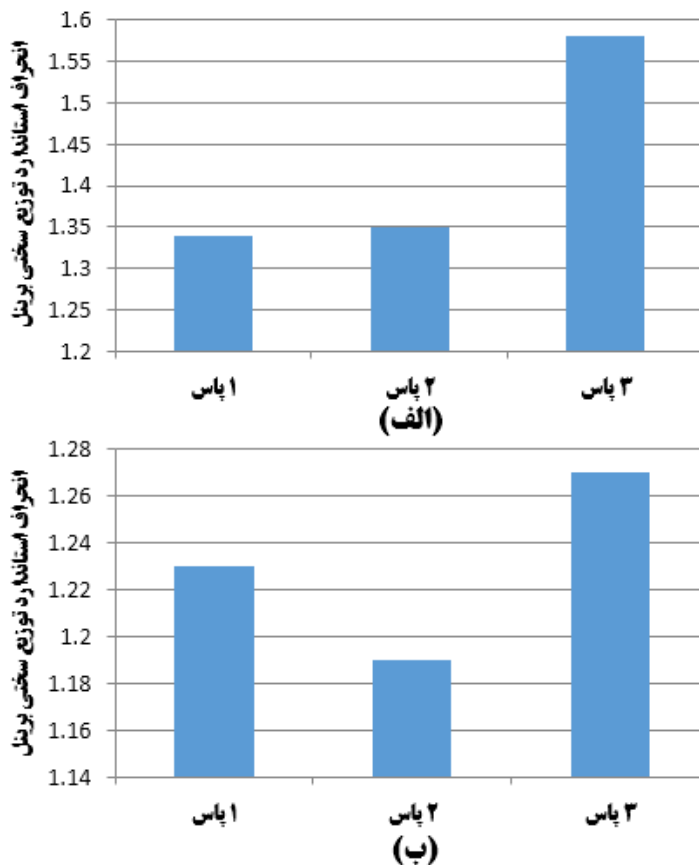


شکل ۶. توزیع سختی بر صفحه‌ای عمود بر جهت اکستروژن برحسب تعداد پاس در دو مسیر: الف) AB و ب) CD.

به منظور بررسی همگنی و یکنواختی تغییر شکل اعمالی به نمونه از انحراف استاندارد مطابق رابطه (۱) استفاده شد:

$$HB_{dev} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (HB_i - HB_{avg})^2}{n}} \quad (1)$$

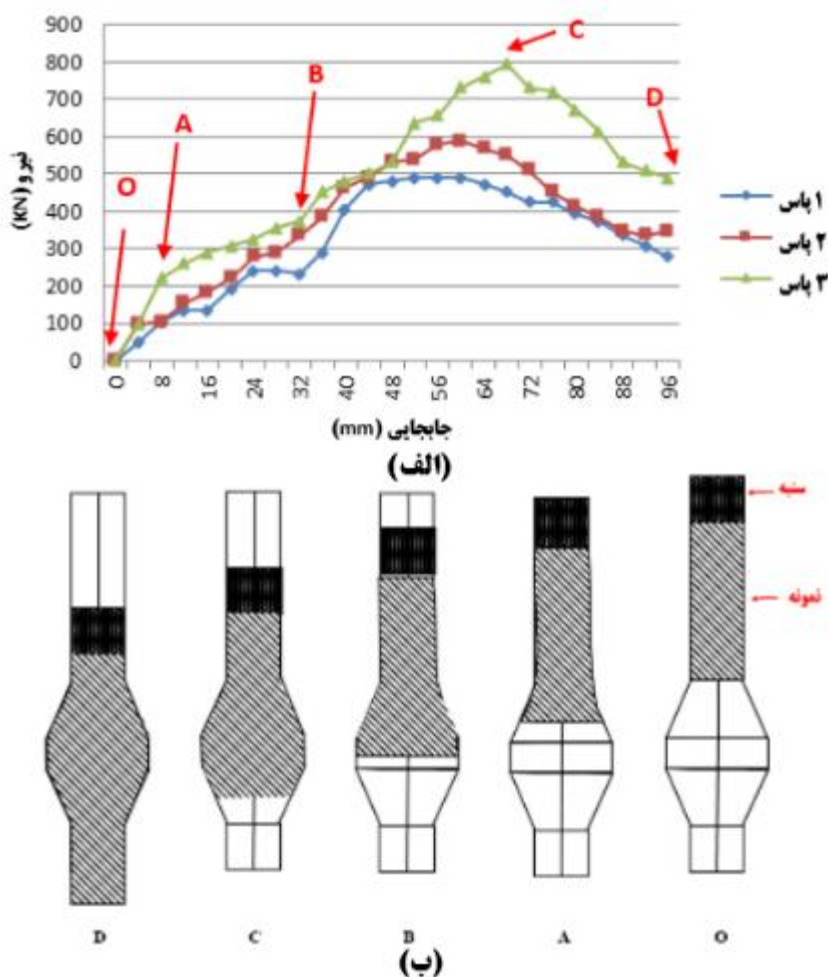
که در این رابطه، HB_{dev} انحراف استاندارد سختی برینل، HB_i سختی برینل در توزیع، HB_{avg} سختی برینل میانگین و n تعداد نقاط موجود در توزیع است. در شکل (۷) تغییرات انحراف استاندارد توزیع سختی در دو مسیر AB و CD برحسب تعداد پاس نشان داده شده است. مطابق شکل (۷-الف) با ادامه فرآیند بیش از یک پاس مقدار انحراف استاندارد افزایش یافته است که دلیلی بر ناهمگنی تغییر شکل اعمالی به نمونه است. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد پاس پراکندگی سختی در سطح نمونه به دلیل کارسختی نمونه افزایش یافته است و این امر سبب افزایش پراکندگی سختی در حجم نمونه خواهد شد. همچنین در شکل (۷-ب) تغییرات انحراف استاندارد برحسب تعداد پاس در مسیر CD نشان داده شده است. مطابق این شکل با افزایش تعداد پاس، نخست مقدار HB_{dev} کاهش و پس از آن دوباره افزایش می‌یابد.



شکل ۷. انحراف استاندارد توزیع سختی آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ برحسب تعداد پاس فرآیند PSE در دو مسیر: الف) AB و ب) CD.

نیرو-جابجایی:

در شکل (۸-الف) منحنی نیرو-جابجایی نمونه آلومینیوم ۱۰۵۰ برحسب تعداد پاس در فرآیند PSE نشان داده شده است. شکل (۸-ب) وضعیت مکانی نمونه را در کانال قالب حین انجام فرآیند به صورت شماتیک نشان می‌دهد. مطابق شکل (۸-الف) منحنی نیرو-جابجایی از ۴ ناحیه تشکیل شده است. مشاهده می‌شود که در ابتدا با پیشروی سنبه و اعمال تغییر شکل به نمونه در منطقه ۲ نیرو به تدریج افزایش می‌یابد (A). از آنجایی که نمونه حین عبور از منطقه ۳ هیچ‌گونه تغییر شکلی را متحمل نمی‌شود نیرو با شیب کمتری افزایش می‌یابد (B). با عبور از منطقه ۳ و ورود به منطقه ۴، نمونه در جهت عکس منطقه ۲ تحت تغییر شکل قرار می‌گیرد و بدین گونه نیرو به شدت افزایش می‌یابد (C). پس از آن حین عبور نمونه از منطقه ۵ تا پایان فرآیند به‌طور تدریجی نیرو کاهش می‌یابد (D). لازم به ذکر است که این شیوه توزیع نیرو برای هر سه پاس PSE روندی یکسان نشان می‌دهد.



شکل ۸. الف) نمودار نیرو-جابجایی نمونه آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ در یک، دو و سه پاس تغییر شکل PSE، ب) شماتیک وضعیت مکانی نمونه برحسب تغییرات نیرو.

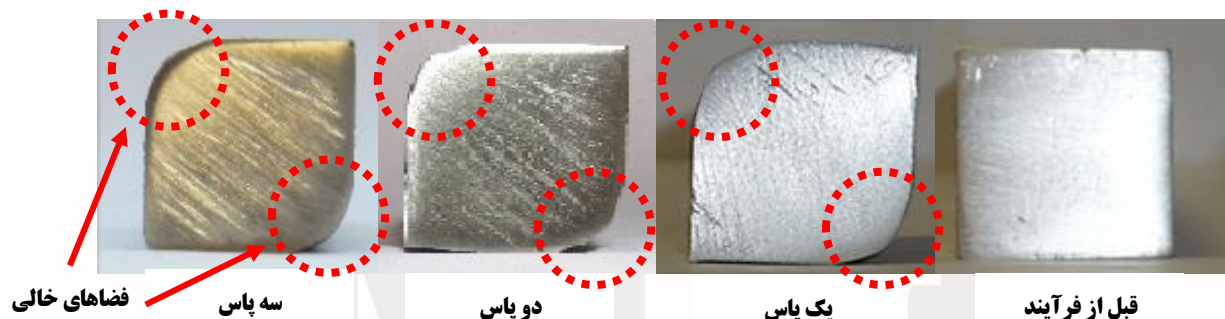
میزان پرشدن قالب:

در حالت ایده آل PSE نمونه به طور کامل کانال خروجی را پر می کند و تمایلی به افزایش طول ندارد و ابعاد خود را ثابت حفظ می کند که یکی از شروط مهم فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید است. اما در حالت عملی نمونه به طور کامل کانال خروجی قالب را پر نکرده و سبب تشکیل فضاهای خالی^۱ که در شکل (۹) نشان داده شده است، می شود. در این شکل سطح مقطع نمونه آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ قبل و بعد از فرآیند PSE نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد نمونه به شکل اولیه خود باز گشته است. بدین ترتیب این فرآیند ظرفیت لازم برای اینکه به عنوان یک فرآیند SPD استفاده شود را دارد. مطابق این شکل دو گوشه های منحنی شکل (بالا سمت چپ و پایین سمت راست) در نمونه تغییر شکل یافته نشان دهنده تشکیل فضاهای خالی در کانال خروجی قالب پس از فرآوری نمونه است. غیر از این دو گوشه، نمونه تقریباً به طور کامل کانال خروجی قالب را پر کرده است. همان طور که مشاهده

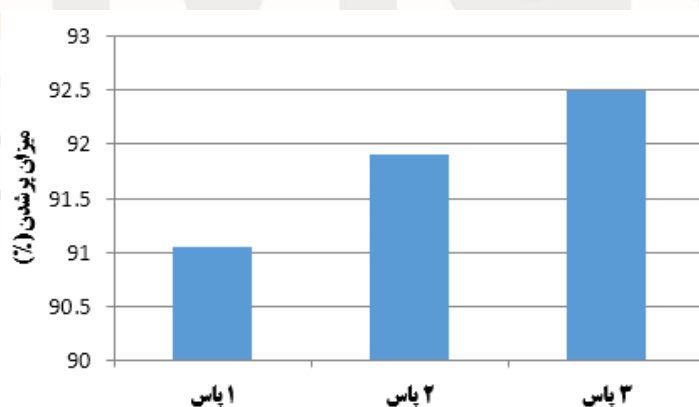
¹-Corner Gaps

می‌شود، به تدریج با افزایش تعداد پاس از یک به دو پاس میزان پر شدن کانال قالب افزایش می‌یابد، بطوریکه در پاس سوم این میزان نسبت به نمونه یک پاس تغییر قابل توجهی داشته است. بنابراین با افزایش میزان پر شدن کانال قالب، تمایل نمونه به حفظ و ثبات ابعادی افزایش یافته است و در نهایت امکان انباشتگی کرنش پلاستیک بالاتری در نمونه با تکرار فرآیند فراهم می‌شود.

به منظور بررسی کمی این پارامتر با کمک نرم افزار ImageJ میزان پر شدن کانال خروجی قالب بررسی گردید. در شکل (۱۰) میزان پر شدن کانال خروجی قالب PSE نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می‌شود بعد از دو پاس، میزان پر شدن کانال خروجی از ۹۱/۰۵٪ به ۹۱/۹۰٪ افزایش پیدا کرده و این مقدار بعد از سه پاس به مقداری معادل ۹۲/۵۰٪ می‌رسد. پیش‌بینی می‌شود که با افزایش تعداد پاس میزان پر شدن کانال خروجی روندی صعودی داشته باشد.



شکل ۹. سطح مقطع نمونه آلومینیوم ۱۰۵۰ قبل (راست) و بعد (چپ) از فرآیند PSE به ازای یک پاس، دو پاس و سه پاس.



شکل ۱۰. تغییرات میزان پر شدن کانال قالب فرآیند PSE برحسب تعداد پاس برای نمونه آلومینیوم ۱۰۵۰.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر تعداد پاس بر رفتار تغییر شکل نمونه آلومینیوم ۱۰۵۰ تحت فرآیند اکستروژن برشی خالص (PSE) به عنوان یک روش جدید تغییر شکل پلاستیک شدید پرداخته شد و نتایج زیر به دست آمدند:

۱. امکان تغییر شکل نمونه‌های آلومینیوم ۱۰۵۰ توسط فرآیند PSE به ازای ۳ پاس بدون هیچ گونه عیوبی از جمله ترک در سطح نمونه وجود دارد.

۲. تغییرات ناچیز ابعاد نمونه در طول فرآیند PSE امکان تکرار این فرآیند را به‌منظور تولید مواد فوق ریزدانه فراهم می‌کند.
۳. با افزایش تعداد پاس‌ها میزان پرشدن کانال خروجی قالب و توزیع سختی نیز افزایش پیدا کرده است. همچنین انحراف استاندارد توزیع سختی پس از مقدار مشخصی نیز افزایش یافته است که نشان‌گر افزایش ناهمگنی تغییر شکل اعمالی به نمونه است.

منابع

- Lowe, T. and Valiev, R. Z. (2000). "Investigations and applications of severe plastic deformation". Springer, Vol. 80.
- Valiev, R. and Alexandrov, I. (1999). "Nanostructured materials from severe plastic deformation". Nanostructured Materials, Vol. 12, Pp. 35-40.
- Toth, L. S. and Gu, C. (2014). "Ultrafine-grain metals by severe plastic deformation". Materials Characterization, Vol. 92, Pp. 1-14.
- Valiev, R. Z., Islamgaliev, R. & Alexandrov, I. (2000). "Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation". Progress in materials science, Vol. 45, Pp. 103-189.
- Segal, V. M. (1995). "Materials processing by simple shear". Materials Science and Engineering: A, Vol. 197, Pp. 157-164.
- Bridgman, P. (1935). "Effects of high shearing stress combined with high hydrostatic pressure". Physical Review, Vol. 48, Pp. 825.
- Salishchev, G. A., Valiakhmetov, O. R. and Galeev, R. M. (1993). "Formation of submicrocrystalline structure in the titanium alloy VT8 and its influence on mechanical properties". Journal of Materials Science, Vol. 28, Pp. 2898-2902.
- Saito, Y., Tsuji, N., Utsunomiya, H., Sakai, T. and Hong, R. G. (1998). "Ultra-fine grained bulk aluminum produced by accumulative roll-bonding (ARB) process". Scripta Materialia, Vol. 39, Pp. 1221-1227.
- Shin, D. H., Park, J.-J., Kim, Y.-S. and Park, K.-T. (2002). "Constrained groove pressing and its application to grain refinement of aluminum". Materials Science and Engineering: A, Vol. 328, Pp. 98-103.
- Pardis, N. and Ebrahimi, R. (2009). "Deformation behavior in Simple Shear Extrusion (SSE) as a new severe plastic deformation technique". Materials Science and Engineering: A, Vol. 527, Pp. 355-360.
- Rahimi, F., Eivani, A.R., Kiani, M. and Razavi, S.F. (2014). "Severe plastic deformation of AA1050 and AA6063 alloys using pure shear extrusion". The Third Iran International Aluminum Conference, Tehran, Iran, May 25-26.
- Hosford, W. F. and Caddell, R. M. (2011). "Metal forming: mechanics and metallurgy". Cambridge University Press.
- Segal, V. M. (2002). "Severe plastic deformation: simple shear versus pure shear". Materials Science and Engineering: A, Vol. 338, Pp. 331-344.
- Dieter, G. E. (1986). Mechanical metallurgy, Ed.3, New York: McGraw-Hill.