مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، اردیبهشت 1399، دوره 7، شماره 2، ص‌ص. 42- 48

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

تحولات بافت بلوری لوله‌های فولاد زنگ نزن فریتی 409 در اثر تغییر شکل شدید مومسان و آنیل بعد از آن

محمد حسن فرشیدی[1*]، هیرویوکی میاموتو[2]

1- استادیار گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

2- استاد گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه دوشیشا، کیوتو، ژاپن

* مشهد، صندوق پستی 9177948974 ؛ farshidi@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 14 خرداد 1398

پذیرش: 2 شهریور 1398

ارائه در سایت: اردیبهشت 1399

کلیدواژگان:

تغییر شکل شدید مومسان

آنیل بعدی

فولاد زنگ نزن فریتی

بافت بلوری

چکیده

از آن جا که بافت بلوری فولادهای زنگ نزن فریتی تعیین کننده بسیاری از خواص آن‌ها است، مطالعه تحولات آن اهمیت قابل توجهی دارد. با این حال، علی‌رغم آن که تحولات بافت بلوری فولادهای مذکور حین اعمال برخی از فرایندهای رایج شکل دهی نظیر نورد به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است، پژوهش‌های اندکی بر روی تحولات بافت بلوری این فولادها حین اعمال تغییر شکل شدید مومسان انجام شده است. در این پژوهش، تحولات بافت بلوری لوله‌های فولاد زنگ نزن فریتی 409 بعد از اعمال یک فرایند تغییر شکل شدید نسبتاً جدید به نام "فشار در کانال لوله‌ای" به همراه آنیل بعد از آن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال فرایند مذکور، سبب کاهش شدت بافت بلوری ناشی از نورد ورق اولیه لوله و آنیل بعد از آن می‌گردد. همچنین، به علت ظهور اجزاء جدید در بافت بلوری و حذف برخی از اجزای دیگر آن در اثر فرایند مذکور، نسبت لنکفورد لوله در هر دو راستای طولی و محیطی افزایش پیدا می‌کند.

Texture evolution of 409 ferritic stainless steel tubes through severe plastic deformation and subsequent annealing

Mohammad Hassan Farshidi[1*], Hiroyuki Miyamoto[2]

1- Department of Metallurgical and Materials Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Doshisha University, Kyoto, Japan

*P.O.B. 9177948974, Mashhad, Iran; farshidi@um.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 4 May 2019
Accepted 24 August 2019
Available May 2020

Keywords:

Severe plastic deformation
Subsequent annealing
Ferritic stainless steel
Crystallographic texture

Abstract

Since most of properties of Ferritic Stainless Steels (FSS) is dependent on their crystallographic texture, investigation on the evolution of texture of these alloys through metallurgical processes seems important. However, although different studies are focused on this topic, they have usually considered evolution of texture through conventional forming processes such as rolling while evolution of texture of these steels through severe plastic deformation is less studied. Therefore, the aim of this work is to investigate the evolution of texture of FSS 409 through imposition of a recently developed severe plastic deformation process called Tube Channel Pressing (TCP) accompanied by a subsequent annealing. Results show that processing by TCP and a subsequent annealing weakens the initial texture of tube derived from the rolled sheet. In addition, Lankford value in both of the circumferential and longitudinal directions of tube increases after the applied treatment due to arising of new texture component as well as removal of a few of initial texture components.

1- مقدمه

به دلیل آنکه خواص متعدد فلزات و آلیاژهای گوناگون وابسته به بافت بلوری[1] آنها است، بررسی تکامل بافت بلوری در فرایندهای مختلف ساخت قطعات فلزی، طی دهه‌های اخیر تبدیل به یک موضوع پژوهشی جذاب گردیده است. به طور مثال، پژوهش‌های قبلی نشان داده است که فرایندهای ریخته‌گری و نورد گرم فولادهای زنگ نزن فریتی باعث ایجاد بافت‌های بلوری مشخصی می‌گردد که در آن‌ها صفحات {100} دانه‌ها موازی صفحه نورد و یا جهات <110> دانه‌ها موازی جهت نورد قرار می‌گیرند که در نتیجه ایجاد این بافت‌های بلوری، قابلیت شکل پذیری کششی این ورق‌های فلزی محدود خواهد شد و سطح آنها پس

[1] Crystallographic texture

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. H. Farshidi, H. Miyamoto, Texture evolution of 409 ferritic stainless steel tubes through severe plastic deformation and subsequent annealing, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 1- 7, 2020 (in Persian)

از اعمال فرایندهای شکل دهی کششی ثانویه، دچار تضرس[1] می‌گردد [1- 5]. با توجه به اهمیت تحولات بافت بلوری در فلزات، روشهای مختلفی جهت کنترل آن پیشنهاد گردیده است که از جمله این روشها، می‌توان به اعمال فرایندهای تغییر شکل شدید مومسان اشاره نمود که در اثر آن، کرنش معادلی بزرگتر از 2 به نمونه اعمال می‌شود. اعمال این کرنش مومسان بزرگ، می‌تواند سبب وقوع تبلور مجدد در فلزات گردد که این پدیده، منجر به ایجاد ساختار فوق ریزدانه و همچنین تحول بافت بلوری می‌گردد. با توجه به قابلیت فرایندهای تغییر شکل شدید مومسان در تحول بافت بلوری، پژوهشهای متعددی بر روی تکامل بافت بلوری حین اعمال فرایندهای رایج تغییر شکل شدید مومسان نظیر "فشار در کانال زاویه دار همسان[2]"، "پیچش با فشار بالا[3]" و "نورد اتصالی تجمعی[4]" انجام گردیده است. با وجود این، عمده این پژوهش‌ها بر روی فلزات دارای ساختار مکعبی مرکزدار نظیر مس و آلومینیوم متمرکز گشته است و تحولات بافت در فلزات دارای ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار نظیر فولادهای زنگ نزن فریتی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است [6، 7]. از سوی دیگر، هرچند در سال‌های اخیر فرایندهای متعددی به منظور اعمال تغییر شکل شدید مومسان بر روی لوله‌ها توسعه یافته است [8- 10]، تکامل بافت بلوری لوله‌های فلزی حین انجام این فرایندها کمتر مورد توجه واقع شده است. از آنجا که بافت بلوری لوله‌های فلزی می‌تواند بر روی خواص گوناگون آن‌ها تاثیر بگذارد، توجه به تحولات بافت می‌تواند کاربرد روشنی در صنعت داشته باشد.

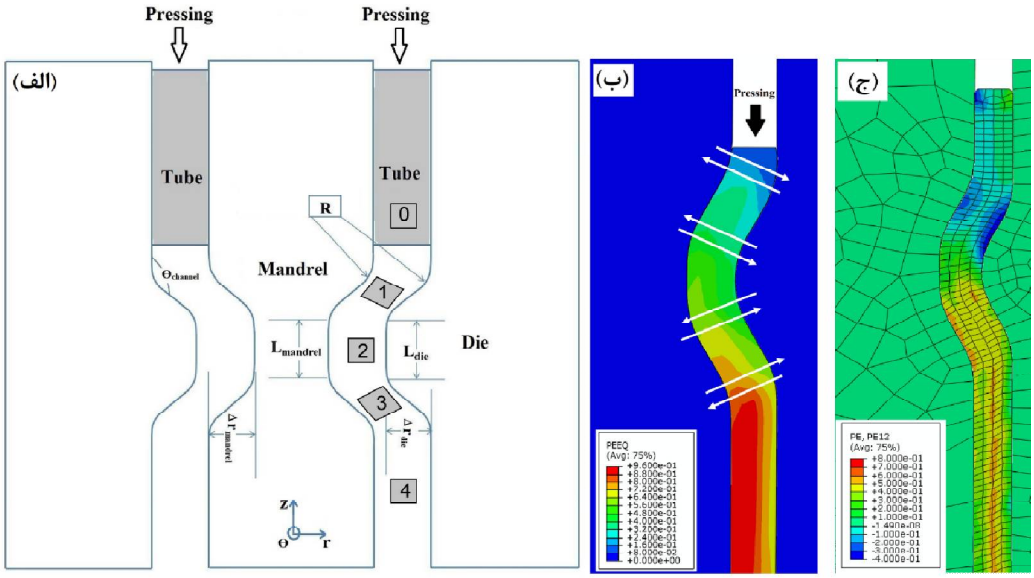
در این پژوهش، تحولات بافت بلوری لوله‌های فولاد زنگ نزن فریتی 409 بعد از اعمال یک فرایند تغییر شکل شدید مومسان جدیداً توسعه یافته به نام "فشار در کانال لوله‌ای[5]" [10، 11] و آنیل بعد از آن، مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور، از آزمون تفرق الکترون برگشتی[6] در میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده خواهد شد. سپس نتایج این آزمون، با مطالعات قبلی در زمینه تحولات بافت بلوری فلزات مکعبی مرکزدار، مقایسه خواهد گردید تا اثر فرایند فشار در کانال لوله‌ای بر تحولات بافت بلوری فولاد زنگ نزن فریتی 409، بهتر درک شود.

2- فرایند، آزمون‌ها و روش انجام پژوهش

اصول فرایند فشار در کانال لوله‌ای در شکل 1- الف نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است، با فشار سنبه، لوله وارد یک کانال گلویی شکل می‌گردد که این امر، سبب کاهش و افزایش متوالی قطر لوله می‌شود. همچنین تغییر مسیر جدار لوله به منظور پیمودن مسیر این کانال، سبب وقوع کرنش برشی در جدار لوله می‌گردد. قطر داخلی و خارجی لوله مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب برابر 40/7 و 42/7 میلی متر می‌باشد و در ساخت قالب مورد نیاز برای این پژوهش، زاویه کانال قالب ($\Theta_{channel}$) برابر 150 درجه، ارتفاع پیش آمدگی قالب (Δr_{die}) برابر 1 میلی متر و مقدار شعاع پخی قالب و ماندرل (R) برابر 2 میلی متر در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی به روش اجزای محدود توسط نرم افزار آباکوس که در شکل 1- ب آورده شده است، نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن ابعاد هندسی فوق، کرنش معادلی در حدود 0/85 در هر مرحله از فرایند فشار در کانال لوله‌ای اعمال می‌گردد که حدوداً 90 درصد از این میزان، سهم کرنش برشی اعمال شده است [10، 11]. همان طور که در این شکل نشان داده شده است، جهت وقوع برش اصلی از لحاظ تئوری بر روی نیمساز زاویه کانال واقع می‌شود [7، 10، 11] و بنابراین، جهت برش اصلی با راستای شعاعی و طولی لوله زاویه‌هایی به ترتیب برابر 15 و 75 درجه خواهد داشت.

با توجه به مطالب فوق، می‌توان فرایند فشار در کانال لوله‌ای را معادل چهار مرحله فرایند برش در راستای نیمساز زاویه کانال به همراه دو مرحله کرنش حلقوی دانست. همچنین لازم به ذکر است که توالی برش‌ها در فرایند فشار در کانال لوله‌ای مشابه مسیر C در فرایند فشار در کانال زاویه دار همسان می‌باشد. در شکل 1- ج نتایج شبیه‌سازی اجزاء محدود برای محاسبه کرنش برشی اعمالی در مراحل مختلف فرایند نشان داده شده است. دقت شود که برخلاف کرنش معادل اعمالی که هر مرحه از فرایند بصورت مثبت در نظر گرفته می‌شود، کرنش ناشی از هر مرحله برش، با لحاظ علامت مثبت و یا منفی در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل 1- ج مشخص گردیده است، نتایج شبیه‌سازی برای کرنش برشی ناشی از مراحل مختلف فرایند و تغییرات شکل اجزاء لوله در اثر آن، با جهت کرنش برشی نظری و شکل اجزا لوله ناشی از آن که در شکل‌های 1- الف و 1- ب نشان داده شده است، تطابق نسبی دارد. با این وجود، توزیع کرنش برشی در راستای جدار لوله یکنواخت نیست و همچنین برخی اختلافات بین کرنش برشی نظری و کرنش برشی بدست آمده از شبیه‌سازی وجود دارد که در بخش نتایج و بحث به علت آن اشاره خواهد شد.

[1] Ridging
[2] Equal Channel Angular Pressing (ECAP)
[3] High Pressure Torsion (HPT)
[4] Accumulative Roll Bonding (ARB)
[5] Tube Channel Pressing (TCP)
[6] Electron Backscattering Diffraction (EBSD)



شکل 1 الف) اصول فرایند فشار در کانال لوله‌ای و اثر برش‌های اعمال شده حین فرایند بر شکل یک جزء از لوله، ب) توزیع کرنش معادل اعمالی در اثر اعمال فرایند مذکور و جهت اعمال کرنش برشی اصلی و ج) کرنش برشی ناشی از فرایند که به روش شبیه‌سازی اجزاء محدود محاسبه شده است

Fig. 1: a) Schematic illustration of TCP and variation of shape of an element through shear steps of this process, (b) Distribution of imposed equivalent strain after TCP and direction of the theoretical main shear strain, and (c) Imposed shear strain through the process calculated by an FEM simulation

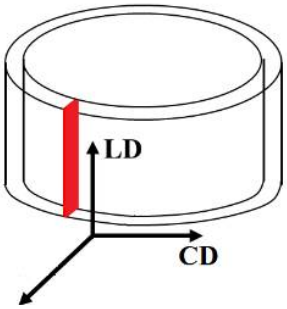
ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن فریتی 409 از 11 درصد کروم، 1 درصد منگنز، 1 درصد سیلیسیوم و حدوداً 87 درصد آهن تشکیل شده است در حالی که غلظت عناصر بین نشین نظیر کربن و نیتروژن کمتر از 0/03 درصد بوده است. به منظور تولید لوله مورد استفاده در این پژوهش، ورق فولاد مذکور به روش مقاومت الکتریکی جوشکاری شده بود به نحوی که راستاهای نورد ورق (RD)، عرض ورق (TD) و ضخامت ورق (ND) به ترتیب در راستای طول لوله (LD)، محیط لوله (CD) و شعاع لوله (OD) قرار می‌گیرند. به منظور انجام فرایند فشار در کانال لوله‌ای، نمونه‌هایی به طول 25 میلی متر از لوله اولیه بریده شده و در دمای 423 درجه کلوین تحت فرایند مذکور قرار می‌گیرند. سپس نمونه‌های مذکور، در دمایی مطابق آن‌چه در جدول 1 آورده شده است، به مدت سه دقیقه تحت آنیل بعدی قرار می‌گیرند. از این پس، عبارت xTCP به نمونه ای که تحت x مرحله فرایند فشار در کانال لوله‌ای قرار گرفته اطلاق می‌گردد درحالی که عبارت xTCPA برای همین نمونه پس از اعمال آنیل بعدی، به کار می‌رود. به منظور بررسی اثر فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعد از آن بر تحولات بافت بلوری، نمونه‌های مورد اشاره در بالا، با روش تفرق الکترون برگشتی میکروسکوپ الکترونی روبشی قرار مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

شکل 2 نحوه تهیه نمونه‌های مورد استفاده در آزمون مذکور را نشان می‌دهد.

جدول 1 دمای آنیل بعد از اعمال مراحل مختلف فرایند فشار در کانال لوله‌ای

Table 1 Applied annealing temperature after imposition of different passes of TCP

تعداد مرحله اعمال فرایند	0	2	3
دمای آنیل (K°)	1023	1123	1173



شکل 2 سطح مورد مطالعه توسط تفرق الکترون برگشتی میکروسکوپ الکترونی روبشی

Fig. 3 Surface of tube investigated by EBSD

از آزمون تفرق الکترون برگشتی به منظور بدست آوردن تصاویر قطبی[1] نمونه‌ها و نقشه جهت گیری دانه‌ها[2] استفاده می‌شود. همچنین به منظور مشاهده اثر تحولات بافت بلوری بر روی تغییرات ناهمسانگردی رفتار تغییر شکل مومسان لوله حین فرایند شکل دهی کششی ثانویه، آزمون کشش در دو راستای

[1] Pole figures
[2] Orientation Image Maps

طولی و محیطی لوله انجام می‌گردد تا مقدار نسبت لنکفورد[1] مشخص گردد. لازم به ذکر است که مقدار نسبت لنکفورد عبارت است از:

$$R - Value = \varepsilon_w / \varepsilon_t \quad (1)$$

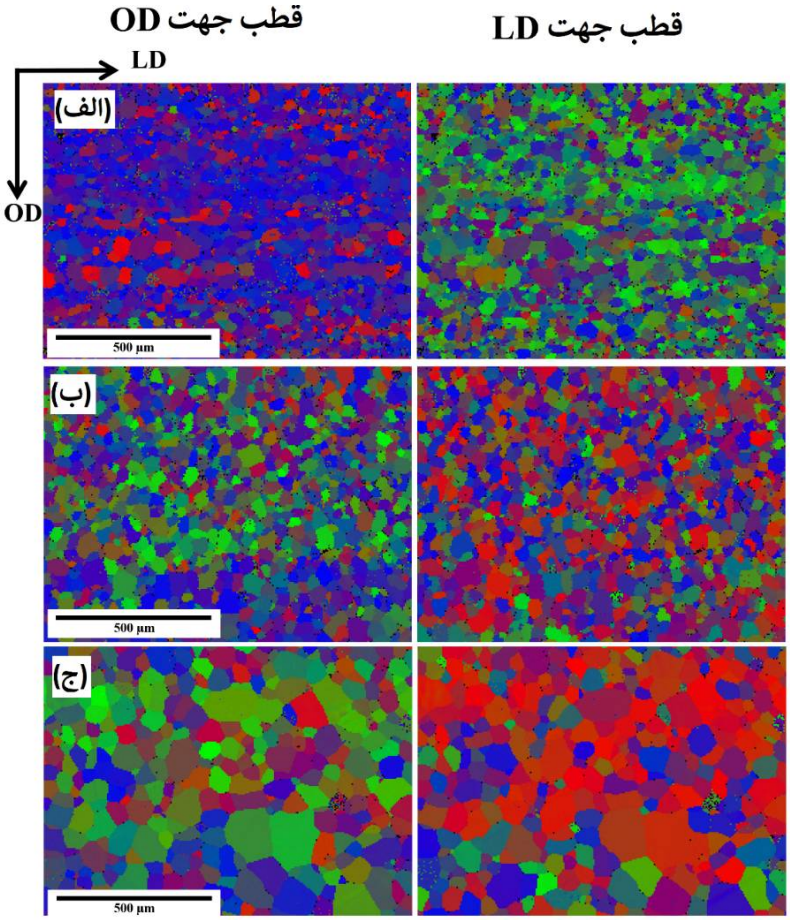
که در این عبارت، ε_w و ε_t به ترتیب برابر کرنش عرضی و کرنش ضخامتی نمونه در آزمون کشش می‌باشند. جزییات بیشتر در خصوص نحوه انجام فرایند، انجام آزمون‌ها و همچنین نحوه پردازش نتایج حاصله، در مقالات قبلی قابل دست رسی است [11، 12].

3- نتایج و بحث

شکل 3 نقشه‌های جهت گیری دانه‌ها را برای نمونه‌های مختلف پس از اعمال فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعد از آن با هم مقایسه می‌کند. لازم به ذکر است که در این نقشه‌ها، رنگ‌های قرمز، سبز و آبی به ترتیب نشانگر قطب صفحات {100}، {110} و {111} می‌باشند. همان‌طور که در این شکل مشخص است، در نمونه اولیه که از جوشکاری ورق نورد شده ساخته شده است، بعد از انجام آنیل یک بافت بلوری نسبتاً قوی وجود دارد که در آن، قطب صفحات {111} و {100} موازی جهت شعاعی لوله است. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، این بافت بلوری در ورق فولادهای زنگ نزن فریتی در اثر فرایندهای ریخته گری، نورد گرم و آنیل بعدی، ایجاد می‌گردد. پس از اعمال مراحل مختلف فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعد از آن، بافت بلوری مذکور مضمحل شده و پراکندگی نسبی صفحات {111} و {100} که موازی جهت شعاعی لوله قرار گرفته‌اند، به طور چشمگیری کاهش می‌یابد و در مقابل، پراکندگی نسبی صفحات {110} که موازی جهت شعاعی لوله قرار دارند، افزایش می‌یابد. همان طور که قبلاً اشاره شده است، این تحول بافت بلوری پس از اعمال تغییر شکل مومسان و آنیل بعدی، به دلیل ایجاد جزء بافت بلوری گاس[2] در میکرو باندهای برشی ایجاد شده حین فرایند تغییر شکل می‌باشد. لازم به ذکر است که در این بافت بلوری، معمولاً جهت <100> بر جهت طولی فرایند منطبق می‌گردد و جهت <110>، تقریباً در جهت ایجاد برش واقع می‌شود [13، 14]. با توجه به نزدیک بودن جهت وقوع برش در فرایند فشار در کانال لوله‌ای به جهت شعاعی لوله، ایجاد بافت بلوری گاس با منطبق شدن تقریبی قطب صفحات {110} بر جهت شعاعی لوله و قطب جهات <100> بر جهت طولی لوله شناسایی می‌گردد. همچنین لازم به ذکر است که اندازه دانه نمونه‌های آنیل شده پس از اعمال صفر، دو و سه مرحله فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعدی به ترتیب برابر 35، 36 و 64 میکرومتر برآورد شده است. علت این تفاوت محدود اندازه دانه‌ها در نمونه‌های مختلف، تفاوت دمای آنیل بعدی و همچنین کرنش اعمالی است که در جدول 1 به آن اشاره شده است. لازم به ذکر است که بدلیل اعمال آنیل بعد از تغییر شکل مومسان، نمونه‌ها دچار تبلور مجدد استاتیکی ناپیوسته گردیده‌اند که این پدیده توسط مکانیزم جوانه زنی و رشد صورت می‌پذیرد. دو عامل اصلی سبب تغییر اندازه دانه‌های حاصل از تبلور مجدد استاتیکی پیوسته می‌گردد: نخست افزایش تعداد جوانه‌های تبلور مجدد در اثر افزایش کرنش اعمالی که سبب کاهش اندازه دانه می‌گردد و دوم افزایش دمای آنیل بعد از تغییر شکل که سبب افزایش اندازه دانه‌ها به دلیل افزایش سرعت رشد آنها خواهد شد [12- 15]. به دلیل آنکه در این پژوهش، با افزایش میزان کرنش اعمالی به فولاد، دمای آنیل نیز افزایش یافته است، انتظار بر آن است که اندازه دانه ناشی از تبلور مجدد، تقریباً ثابت باقی بماند. با این وجود، از آنجا که میزان اثر عوامل مذکور بصورت کمی یکسان نیست، اندازه دانه نمونه‌های مختلف اندکی تفاوت دارد.

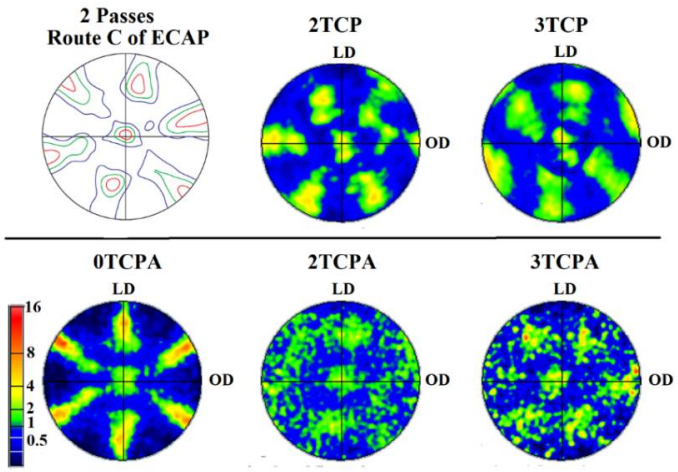
در شکل 4 تصاویر قطبی جهت {110} برای نمونه‌های مختلف xTCP و xTCPA با بافت بلوری ناشی از اعمال دو مرحله فرایند فشار در کانال زاویه دار همسان با توالی مسیر C برروی فولاد عاری از عناصر بین نشین[3] [16] با هم مقایسه شده است. همان طور که شکل مذکور نشان می‌دهد بافت بلوری ایجاد شده در فولاد زنگ نزن 409 توسط فرایند فشار در کانال لوله‌ای تقریباً مشابه بافت ایجاد شده در فولاد بدون عناصر بین نشین توسط فرایند فشار در کانال زاویه دار همسان با توالی مسیر C می‌باشد. تفاوت جزئی بین تصاویر قطبی نمونه‌های xTCP و الگوی مورد انتظار پس از فرایند برش را می‌توان به دو عامل نسبت داد. نخست این که به دلیل تیز نبودن گوشه کانال در فرایند فشار در کانال لوله‌ای، ایجاد کرنش‌های برشی فرعی در راستای موازی سطح کانال مورد انتظار است که این کرنش‌های فرعی، جهت کرنش برشی برآیند را از نیمساز زاویه کانال منحرف می‌سازد. دوم آنکه بدلیل اعمال کرنش‌های حلقوی در فرایند فشار در کانال لوله‌ای، انحراف بافت بلوری ایجاد شده در اثر فرایند مذکور از الگوی ناشی از برش خالص، مورد انتظار است [17- 18].

[1] Lankford
[2] Goss
[3] Interstitial Free Steel (IF Steel)



شکل 3 نقشه‌های جهت گیری دانه‌ها در نمونه‌های مختلف: الف)0TCPA، ب) 2TCPA و ج) 3TCPA

Fig. 3 Orientation image maps of different specimens: (a) 0TCPA, (b) 2TCPA and (c) 3TCPA



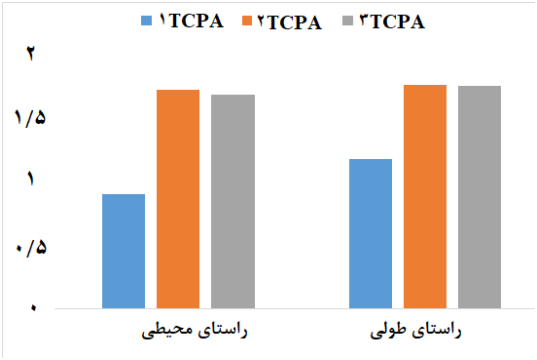
شکل 4 تصویر قطبی جهت {110} در نمونه‌های مختلف

Fig. 4 {110} pole figure of different specimens

همچنین مقایسه شدت بافت بلوری در نمونه‌های مختلف آنیل شده، نشان می‌دهد که بافت بلوری ناشی از نورد اولیه و آنیل بعدی در اثر اعمال فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعد از آن، به طرز چشمگیری کاهش یافته است و توزیع یکنواخت‌تری در توزیع بافت بلوری مشاهده می‌گردد.

شکل 5 تغییرات نسبت لنکفورد در راستاهای محیطی و

طولی لوله را در اثر اعمال فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعد از آن نشان می‌دهد.



شکل 5 نسبت لنکفورد در راستاهای محیطی و طولی لوله در نمونه های مختلف

Fig. 5 Lankford R-value of longitudinal and circumferential directions of different specimens

همان‌طور که در این شکل مشخص است، اعمال فرایند مذکور، سبب افزایش چشمگیر نسبت لنکفورد در هر دو راستای طولی و محیطی لوله می‌گردد. لازم به ذکر است که افزایش نسبت لنکفورد در راستای محیطی لوله چشمگیرتر است.

جدول 2، مقدار چند جزء مختلف بافت بلوری را در نمونه‌های xTCPA با یکدیگر مقایسه می‌کند. همچنین نسبت لنکفورد متناظر با این جزءهای بافت بلوری را که توسط تحلیل مومسانی بلور به روش اجزا محدود[13] بدست آمده است، در جدول مذکور آورده شده است [19- 21]. همان طور که در این جدول مشخص است، بعد از آنیل نمونه اولیه که از ورق نورد شده ساخته شده است، برخی از اجزاء بافت بلوری نظیر <112>{111} و <148>{411} شدت قابل توجهی دارند. با این حال، شدت اجزاء مذکور در نمونه‌هایی که تحت اثر فرایند فشار در کانال لوله‌ای و آنیل بعدی قرار گرفته اند، به مقدار قابل توجهی پایین‌تر است که این امر بیانگر کاهش شدت اجزاء مذکور در اثر فرایند فشار در کانال لوله‌ای می‌باشد. از سوی دیگر، شدت برخی دیگر از اجزاء بافت بلوری نظیر <111>{211} و <100>{110}(گاس) در نمونه‌هایی که تحت اثر فرایند فشار در کانال لوله‌ای قرار گرفته اند نسبت به نمونه اولیه بسیار بالاتر است. همچنین با در نظر گرفتن شدت اجزاء بافت بلوری در نمونه‌های مختلف با نسبت لنکفورد متناظر با این اجزاء می‌توان افزایش نسبت لنکفورد را در این نمونه‌ها توجیه نمود. به عنوان نمونه، افزایش نسبت لنکفورد در راستای محیطی نمونه‌هایی که تحت فرایند فشار در کانال لوله‌ای قرار گرفته‌اند را می‌توان به ظهور جزء گاس نسبت داد، چرا که مقدار نسبت لنکفورد متناظر با این جزء بافت بلوری در راستای محیطی، بسیار بزرگ است. همچنین افزایش نسبت لنکفورد در راستای طولی نمونه‌ها را می‌توان به کاهش شدت اجزا <148>{411} و <110>{100} نسبت داد چراکه مقدار نسبت لنکفورد متناظر با این اجزا در راستای طولی بسیار کوچک است. لازم به ذکر است که در صورت حضور اجزا مختلف بافت بلوری در نمونه، اثر اجزائی که نسبت لنکفورد کمتری دارند، تعیین کننده خواهد بود، چرا که در هنگام تغییر شکل، این اجزاء به عنوان نقاط ضعف تلقی شده و باعث افت نسبت لنکفورد می‌گردند.

4- نتیجه گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت:

1- اعمال فرایند فشار در کانال لوله‌ای به همراه آنیل بعد از آن، سبب مضمحل شدن بافت بلوری ناشی از نورد و تبلور مجدد در نمونه‌های لوله‌ای ساخته شده از ورق فولاد زنگ نزن فریتی 409 می‌گردد.

2- با در نظر گرفتن جهت وقوع برش ناشی از فرایند فشار در کانال لوله‌ای نزدیک به راستای شعاعی لوله، بافت بلوری ایجاد شده در نمونه‌های فولاد زنگ نزن فریتی 409 پس از اعمال فرایند فشار در کانال لوله‌ای، با الگوی کلی بافت بلوری ناشی از برش در فلزات مکعبی مرکز دار مشابهت دارد.

3- به علت ظهور جزء بافت بلوری <100>{110}(گاس) در اثر فرایند فشار در کانال لوله‌ای، نسبت لنکفورد در راستای محیطی نمونه‌ها بعد از اعمال فرایند مذکور و آنیل بعد از آن به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. همچنین اعمال فرایند فشار در کانال لوله‌ای سبب افزایش نسبت لنکفورد در راستای طولی نمونه‌ها می‌گردد که این امر را می‌توان به حذف اجزاء <148>{411} و <110>{100} در اثر فرایند مذکور، نسبت داد.

5-تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل فراهم آوردن امکانات این پژوهش از طریق طرح پژوهشی شماره 2/47174 تشکر می‌نمایند.

[13] Crystal Plasticity FEM (CPFEM)

جدول 2 اجزای مختلف بافت بلوری، نسبت لنکفورد متناظر با آنها و کسر حجمی آنها در نمونه‌های مختلف؛ عدد داخل پرانتز، بیانگر شدت جزء مذکور نسبت به توزیع اتفاقی است. مقادیر اجزاء بافت بلوری با رواداری 10± درجه برآورد شده اند

Table 2 Different texture components, their R-value and their volume fraction in different specimens; the numbers inside the parentheses illustrate the intensity of the component in comparison with the random texture distribution. The amounts of texture components are measured considering a tolerance of ±10°

جزء بافت بلوری	{211}<111>	{411}<148>	{111}<110>	{111}<112>	{211}<110>	{110}<100>
نسبت لنکفورد در راستای جانبی	0/6	0/5	2/1	1/4	0/8	>5
نسبت لنکفورد در راستای طولی	0/8	0/5	1/4	2/1	0/6	0/6
مقدار در نمونه 0TCPA	(0) %0	(2/1) 5/6 %	(1/9) 2/5 %	(7/3) 10/4 %	(2/3) 3 %	(0/2) 0/1 %
مقدار در نمونه 2TCPA	(2/1) 2/9 %	(0/6) 1/5 %	(1) 1/3 %	(3/5) 5 %	(0/7) 0/9 %	(3/2) 2%
مقدار در نمونه 3TCPA	(2/2) 3%	(0/4) 1%	(0/3) 0/3 %	(2/6) 3/7 %	(0/4) 0/5 %	(6/4) 4/1 %

6- مراجع

[1] Miyamoto, T. Xiao, T. Uenoya, M. Hatano, Effect of Simple Shear Deformation Prior to Cold Rolling on Texture and Ridging of 16% Cr Ferritic Stainless Steel Sheets, ISIJ International, Vol. 50, pp. 1653-1659, 2010.

[2] H.J. Shin, J.K. An, S.H. Park, D.N. Lee, The effect of texture on ridging of ferritic stainless steel, Acta Materialia, Vol. 51, pp. 4693-4706, 2003.

[3] C. Zhang, Z. Liu, G. Wang, Effects of hot rolled shear bands on formability and surface ridging of an ultra-purified 21%Cr ferritic stainless steel, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 211, pp. 1051-1059, 2011.

[4] Y. Yazawa, Y. Ozaki, Y. Kato, O. Furukimi, Development of ferritic stainless steel sheets with excellent deep drawability by {111} recrystallization texture control, JSAE Review, Vol. 24, pp. 483-488, 2003.

[5] P.D. Wu, D.J. Lloyd, Y. Huang, Correlation of ridging and texture in ferritic stainless steel sheet, Materials Science and Engineering A, Vol. 427, pp. 241-245, 2006.

[6] I. Sabirov, M.Y. Murashkin, R.Z. Valiev, Nanostructured aluminium alloys produced by severe plastic deformation: New horizons in development, Materials Science, Engineering A Vol. 560, pp. 1-24, 2013.

[7] Y. Estrin, A. Vinogradov, Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science, Acta Materialia, Vol. 61, pp. 782-817, 2013.

[8] M.S. Mohebbi, A. Akbarzadeh, Accumulative spin-bonding (ASB) as a novel SPD process for fabrication of nanostructured tubes, Materials Science and Engineering A, Vol. 528, pp. 180-188, 2010.

[9] M. Arzaghi, J.J. Fundenberger, L.S. Toth, R. Arruffat, L. Faure, B. Beausir, X Sauvage, Microstructure, texture and mechanical properties of aluminum processed by high-pressure tube twisting, Acta Materialia, Vol. 60, pp. 4393-4408, 2012.

[10] M.H. Farshidi, New geometry for TCP: severe plastic deformation of tubes, Iranian Journals of Materials Forming, Vol. 3, pp. 64-78, 2016.

[11] M.H. Farshidi, Optimization of die geometry for tube channel pressing, Iranian Journal of Materials Forming, Vol. 5(1), pp. 26-35, 2018.

[12] M.H. Farshidi, Y. Kitano, M. Yuasa, H. Miyamoto, Improving Hydro-formability of a Ferritic Stainless Steel Tube Through Severe Plastic Deformation, Metallurgical and Materials Transactions A Vol. 49, pp. 6052-6062, 2018.

[13] J.J. Jonas, Effects of shear band formation on texture development in warm rolled IF steels, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 117, pp. 293-299, 2001.

[14] M.R. Barnett, J.J. Jonas, Influence of ferrite rolling temperature on grain size and texture in annealed low C and IF steels, ISIJ International, Vol. 37, pp. 706-714, 1997.

[15] T. Sakai, A. Belyakov, R. Kaibyshev, H. Miura, J.J. Jonas, Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions, Progress in Materials Science, Vol. 60, pp. 130–207, 2014.

[16] S. Li, A. Gazder, I.J. Beyerlein, E.V. Pereloma, C.H.J. Davies, Effect of processing route on microstructure and texture development in equal channel angular extrusion of interstitial-free steel, Acta Materialia, Vol. 54, pp.1087-1100, 2006.

[17] S. Li, I.J. Beyerlein, M.A.M. Bourke, Texture formation during equal channel angular extrusion of fcc and bcc materials: comparison with simple shear, Materials Science and Engineering A, Vol. 394, pp. 66-77, 2005.

[18] A.P. Zhilyaev, D.L. Swisher, K. Oh-ishi, T.G. Langdon, T.R. McNelley, Microtexture and microstructure evolution during processing of pure aluminum by repetitive ECAP, Materials Science and Engineering A, Vol. 429, pp. 137-148, 2006.

[19] J. Hamada, N. Ono, H. Inoue, Effect of Texture on r-value of Ferritic Stainless Steel Sheets, ISIJ International, Vol. 51, pp.1740-1748, 2011.

[20] K.M. Lee, J. Park, S. Kim, S. Park, M.Y. Huh, Quantification of Ridging in Ferritic Stainless Steel Sheets by Electron Backscattered Diffraction R-Value Maps, Microscopy and Microanalysis, Vol. 19, pp. 17-20, 2013.

[21] J. Hamada, K. Agata, H. Inoue, Estimation of Planar Anisotropy of the r-Value in Ferritic Stainless Steel Sheets, Materials Transactions, Vol. 50, pp. 752-758, 2009