



Journal Home Page: www.jmatpro.ir

Investigation of the Effect of Welding Parameters on HAZ of AISI409 Using EBSD

Eslam Ranjbarnodeh^{1*}, Amir Hossein Kokabi², Siamak Serajzadeh², A. Fischer², S. Weiss², S. Hanke²

1- Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

2- Materials Science and Engineering, Duisburg-Essen University, Duisburg, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 Apr. 2010

Accepted 7 Jun. 2010

Key words:

EBSD

AISI409

Grain Growth

Low Angle Grain Boundary

Local Misorientation

ABSTRACT

In the present study, microstructural characteristics of tungsten inert gas (TIG) welded AISI409 ferritic stainless steel were studied. The effect of the welding parameters on grain size, local misorientation and low angle grain boundaries was investigated. It was found that the base metal has partial recrystallization state. After the joining process due to heating cycle, complete recrystallization followed by severe grain growth in the HAZ. A decrease in the number of low angle grain boundaries in HAZ was observed. Nevertheless the welding plastic strain is an increasing factor for local misorientation and low angle grain boundaries. This investigation shows that the final state of strain is the result of the competition between welding plastic strains and stress relieving from recrystallization.

*Corresponding author: Eslam Ranjbarnodeh, islam_ranjbar@mehr.sharif.edu, islam_ranjbar@yahoo.com

Journal Home Page: www.jmatpro.ir

بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری بر منطقه متأثر از حرارت فولاد زنگ نزن AISI 409 به روش EBSD

اسلام رنجبر نوده^{۱*}، امیرحسین کوکبی^۱، سیامک سراج زاده^۱، آلفونس فیشر^۲، زابینه وایس^۲، اشتفانی هانکه^۲

۱- دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۲- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه دویسبورگ-اسن، دویسبورگ، آلمان

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>مشخصات ریزساختاری و اثر پارامترهای جوشکاری بر اندازه دانه، تفاوت جهت گیری موضعی و مرزدانه‌های با زاویه کم، در جوش‌های حاصل از روش TIG فولاد زنگ نزن AISI 409 بررسی گردید. مشاهده شد که فلز پایه حالت نیمه تبلور مجدد یافته‌ای دارد. بعد از فرایند اتصال، به واسطه حرارت جوشکاری، تبلور مجدد کامل همراه و سپس رشد دانه شدید در منطقه متأثر از حرارت روی داده و نیز کاهش در تعداد مرزدانه‌های با زاویه کم در منطقه متأثر از حرارت دیده می‌شود. با این حال، کرنش پلاستیک ناشی از جوشکاری عاملی افزایشی بر میزان تفاوت جهت گیری و میزان مرزهای با زاویه کم می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که حالت نهایی کرنش در منطقه متأثر از حرارت در واقع نتیجه رقابتی است که بین کرنش عمر پلاستیک جوشی و رهایش کرنش ناشی از تبلور مجدد می‌باشد.</p>	<p>تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۳/۱۷ واژگان کلیدی: EBSD فولاد زنگ نزن AISI 409 رشد دانه مرزدانه با زاویه کم جهت گیری موضعی</p>

۱- مقدمه

ساختارهای تغییرشکل یافته می‌باشد [۳]. در زمینه بررسی ساختارهای جوشکاری شده با این روش، اکثر تحقیقات تاکنون بر روی ساختارهای ناشی از جوشکاری‌های حالت جامد و علی‌الخصوص روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، متمرکز شده است که در ذیل به چند نمونه از آنها اشاره می‌شود:

کانگ و سایرین [۴] ریزبافت حاصل از جوشکاری اصطکاکی اغتشاش آلومینیم 6061-T651 را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که فرایند FSW¹ باعث ایجاد یک ساختار ریزدانه هم محور در منطقه جوش شده و ساختار حاصل با کاهش سرعت چرخش ابزار ریزتر می‌شود. فوجی و سایرین [۵] به بررسی خواص و ساختار فولادهای کم کربن عاری از عناصر بین نشین جوشکاری شده با فرایند FSW پرداختند. آنان دریافتند که اندازه دانه در منطقه اغتشاش به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر اندازه دانه اولیه نمونه می‌باشد. با وجود این، تعداد بسیار اندکی تحقیقات نیز با روش EBSD بر روی جوش‌های ذوبی انجام شده است. کوتیلو و سایرین [۶] به بررسی ریزبافت و تنش‌های پسماند در اتصالات غیرهمجنس منیزیم جوشکاری شده با لیزر پرداختند. نتایج آنان نشان داد که بافت منطقه ذوب به درصد AI آلیاژ بستگی چندانی ندارد. مرسون و سایرین [۷] به بررسی بافت جوش‌های لیزر در آلیاژ Ti-6246 پرداختند. آنان تعدادی نمونه عملیات حرارتی شده را جوشکاری نمودند و بعد از جوشکاری دوباره روی نمونه عملیات حرارتی به مدت ۳ ساعت در ۵۵۰ درجه سانتیگراد انجام دادند. در این دما رهایش تنش‌های پسماند روی می‌دهد اما آنان گزارش کرده‌اند که تغییرات در ریزساختار حداقل است.

فولادهای زنگ نزن به دلیل مقاومت بالا به خوردگی به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و جوشکاری این فولادها در صنایع مختلف نفت و گاز و پتروشیمی قابل توجه می‌باشد. با توجه به ساختار متالورژیکی، این فولادها به سه دسته عمده فریتی، مارتنزیتی و آستیتی تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]. فولاد AISI 409 یک فولاد زنگ نزن فریتی پایدار شده با تیتانیم بوده و به عنوان یک فولاد زنگ نزن کروم‌دار با استفاده عمومی مطرح است. کاربرد این فولاد کلاً جایی است که جوش‌پذیری نیاز بوده و ظاهر قطعه در مقایسه با خواص مکانیکی و خوردگی مطلوب از اهمیت ثانوی برخوردار باشد. استفاده اصلی این فولاد در سیستم‌های آگروز اتومبیل است [۲].

یکی از مشکلات جدی جوشکاری این فولاد کاهش شدید تافنس به علت رشد شدید دانه در منطقه متأثر از حرارت می‌باشد که این مسأله را می‌توان با کنترل انرژی ورودی جوش تا حدی برطرف یا کنترل کرد [۱]. نکته مهم دیگر که به طور کلی در جوشکاری مهم می‌باشد بحث کرنش‌های پسماند است. این کرنش‌های پسماند ناشی از تنش‌هایی هستند که در حین عملیات ساخت و نصب و سرویس دهی به قطعه اعمال می‌شوند و می‌توانند باعث افزایش حساسیت قطعه کار به اثرات مخرب مثل خوردگی، شکست و خستگی شوند [۳].

یکی از بهترین روشهای بررسی رفتار متأثر از حرارت فلزات جوشکاری شده استفاده از تکنیک EBSD است و در طول دو دهه اخیر روش مذکور به طور فزاینده‌ای در بررسی ساختارهای چندبلوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش، روش بسیار موثری در تحلیل بافت و شناسایی

[۸] انتخاب شد و در محدوده‌ای تغییر داده شدند تا بتوان اثر انرژی ورودی روی توزیع اندازه دانه و کرنش پلاستیک در منطقه متأثر از حرارت را مشاهده نمود. البته به دلیل حساسیت منطقه متأثر از حرارت فولاد زنگ نزن تنها این بخش اتصال مورد توجه قرار گرفت. جدول ۲ پارامترهای مورد استفاده در جوشکاری نمونه‌ها را نشان می‌دهد. انرژی جوش با استفاده از رابطه ۱ و فرض راندمان ۶۶ درصد محاسبه گردید [۱].

$$Q_w = \eta \frac{VI}{s} \quad (1)$$

که در این رابطه s, V, I, η به ترتیب راندمان، جریان، ولتاژ و سرعت می‌باشند.

بعد از عملیات جوشکاری از وسط نمونه‌ها یک مقطع عرضی تهیه و با استفاده از سیستم EBSD (INCA و OXFORD) نصب شده روی میکروسکوپ الکترونی بررسی شدند. داده‌های جهت‌گیری بدست آمده از EBSD به وسیله نرم‌افزار Channel 5 تحلیل شده و توزیع بافت کریستالی، تغییر جهت‌گیری موضعی و توزیع اندازه دانه در فلز پایه زنگ نزن و منطقه متأثر از حرارت نمونه‌های جوشکاری شده به دست آمد.

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در جوشکاری نمونه‌ها

Table 2. Used welding parameters

sample	Speed(mm/s)	I(A)	V(v)	Q _w (J/mm)
S1	1.03	70	13	583
S2	3.56	105	13	284
S3	3.56	120	13	342

۳- نتایج و بحث

شکل (۱) نمایشی رنگی از جهت‌گیری‌های کریستالوگرافیک فلز پایه (a)، نمونه S1 (b)، نمونه S2، (c) و نمونه S3 (d) را نشان می‌دهد. رنگ نشان داده شده در

هر چند دیده می‌شود که تحقیقات چندی بر روی شناسایی ساختارهای جوش ذوبی با روش EBSD انجام شده است، اما جهت فهم بهتر اتصالات جوش ذوبی، بررسی و شناسایی این ساختارها با EBSD لازم به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر، ۳ اتصال نامتجانس بین فولاد زنگ نزن فریتی AISI 409 و کربنی ساده CK4 با استفاده از روش جوشکاری TIG اتوماتیک انجام گردید. مشخصات ریزساختاری منطقه متأثر از حرارت فولاد زنگ نزن با استفاده از روش EBSD بررسی شد. در این پژوهش اثر متغیرهای جریان و سرعت جوشکاری بر روی تکامل بافت، تغییرات اندازه دانه، طبیعت مرزدانه و تغییرات جهت‌گیری دانه‌ها در بخش زنگ نزن اتصال، بررسی گردید.

۲- رویه آزمایشگاهی

سه اتصال غیرهمجنس با استفاده از ورق‌های هم شکل و اندازه با ابعاد ۲×۸۰×۴۵۰ میلی‌متر آماده و قبل از جوشکاری، لبه نمونه‌ها با استون تمیزکاری شد. در جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولادهای مورد استفاده مشاهده می‌شود.

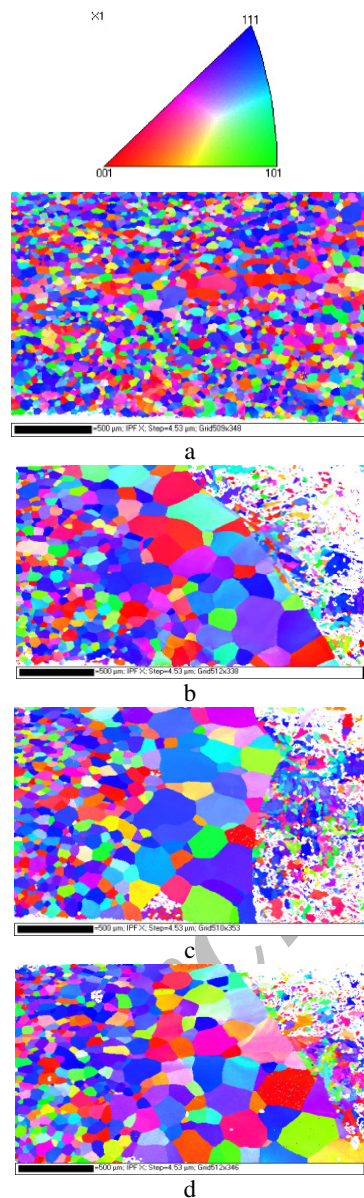
جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه مورد استفاده

Table 1. Chemical composition of welded base metals

Steel	C	Si	Mn	Ni	Cr	Ti
AISI409	0.015	0.59	0.27	0.13	11.28	0.17
CK4	0.025	0.013	0.19	0.04	0.01	-

روش مورد استفاده در جوشکاری نمونه‌ها، TIG-DCEN² بدون فلز پرکننده بود. قطر الکترود تنگستن ۱/۶ میلی‌متر و طول قوس ۱ میلی‌متر در تمامی نمونه‌ها ثابت نگه داشته شد. پارامترهای جوشکاری مطابق استاندارد ASM³

می‌دهد که هنگامی که سرعت جوشکاری کاهش می‌یابد سرعت سرد شدن در نمونه کاهش یافته و همچنین باعث

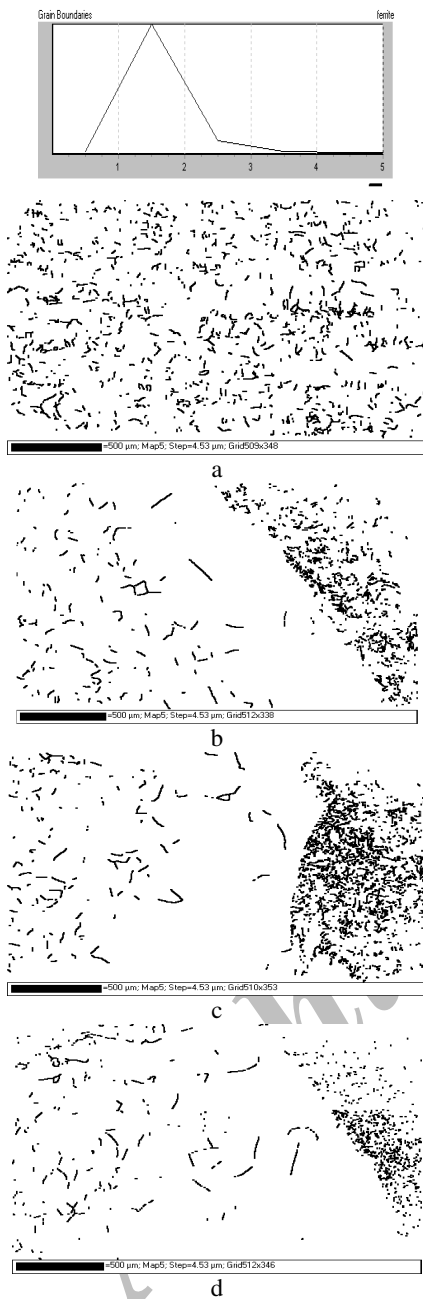


شکل ۱- جهت‌گیری‌های کریستالوگرافیک فلز پایه (a)، نمونه S1

(b)، نمونه S2، (c) و (d) نمونه S3

Fig. 1. IPF of the base metal (a) S1 (b) S2 (c) S3 (d).

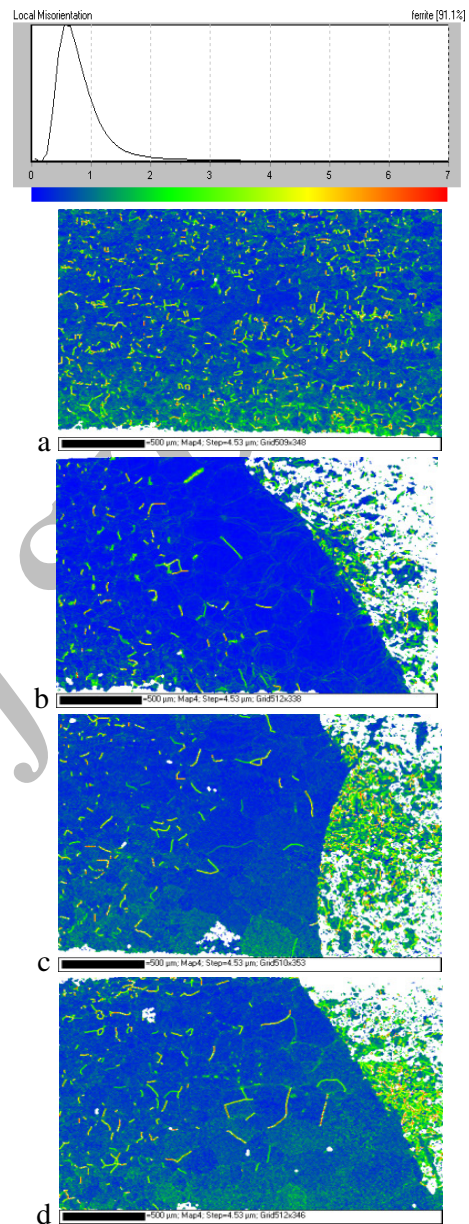
مثلاً استریوگرافیک نشانگر جهت‌گیری کریستالوگرافی موازی با جهت نورد RD^4 است. همانطوری که در شکل ۱a دیده می‌شود فلز پایه دارای دانه‌های هم محوری است که در مناطق نزدیک به سطح ریزتر می‌باشند. به نظر می‌رسد که مقدار تبلور مجدد این نمونه بعد از عملیات نورد در طول ضخامت نمونه ثابت نبوده است. تصویر قطبی معکوس نشان می‌دهد که فلز پایه دارای بافتی هر چند ضعیف در جهت $\langle 111 \rangle$ است. در مورد منطقه متاثر از حرارت نمونه‌های جوشکاری بافت چندان قوی و جهت ترجیحی مرجحی دیده نمی‌شود. شکل ۲ نشانگر مقایسه بین تغییر جهت‌گیری موضعی فلز پایه و نمونه‌های جوشکاری شده است. به دلیل تغییر شکل پلاستیک غیر یکنواخت نمونه در جهت ضخامت در حین عملیات نورد، مناطق نزدیک سطح تغییر شکل‌های بیشتری را متحمل شده و به همین دلیل در حین تبلور مجدد چگالی دانه در این مناطق بیشتر خواهد بود. در نتیجه در اثر تغییر شکل، ساختار نابجایی سلولی ایجاد شده و سپس به شکل شبکه سلولی در خواهد آمد. این ساختارهای شبه پایدار در درون دانه‌ها خواهند ماند تا زمانی که به دلیل هر عملیات حرارتی (نظیر آنیل، یا حتی حرارت ناشی از جوشکاری در منطقه متاثر از حرارت)، دچار تبلور مجدد کامل گردند [۵]. توزیع مرزخانه‌های فرعی با زاویه کمتر از 5° نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود HAZ تمامی نمونه با کاهش چگالی مرزخانه‌های با زاویه کم مواجه است. قاعدتاً مقدار این کاهش به پارامترهای جوشکاری بستگی دارد. توزیع این مرزهای با زاویه کم تا حدودی شکل منطقه متاثر از حرارت را نیز آشکار می‌سازد. مقایسه نتایج شکل (۳) نمونه S1 با سایر نمونه‌ها این نکته را نشان



شکل ۳- توزیع مرزخانه‌های فرعی با زاویه کمتر از ۵° فلز پایه (a).

نمونه S1 (b)، نمونه S2، (c) و نمونه S3 (d).

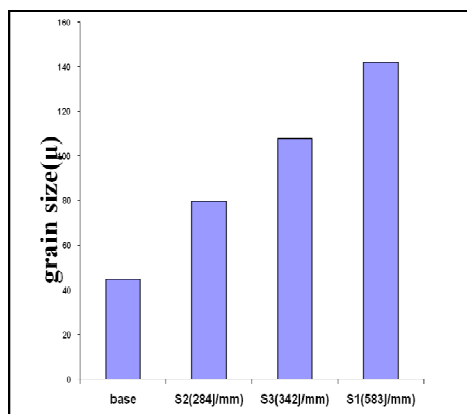
Fig. 3. Distribution of low angle grain boundary (less than 5°) for base metal (a) S1 (b) S2 (c) S3 (d).



شکل ۲- مقایسه بین تغییر جهت‌گیری موضعی فلز پایه (a)، نمونه

S1 (b)، نمونه S2، (c) و نمونه S3 (d).

Fig. 2. Local misorientation of base metal (a) S1 (b) S2 (c) S3 (d).



شکل ۴- اثر انرژی ورودی جوش بر اندازه متوسط دانه در منطقه

HAZ

Fig. 4. The effect of heat input on mean grain size in HAZ.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، ریزساختار منطقه متأثر از حرارت در بخش زنگ نزن اتصال نامتجانس CK4 و AISI40 بررسی گردید. اندازه‌گیری تجربی EBSD جهت بررسی تأثیر پارامترهای جوشی بر تغییر جهت‌گیری موضعی، مرز-دانه‌های با زاویه کم و توزیع اندازه دانه در منطقه متأثر از حرارت انجام گردید. نتایج نشان می‌دهند که:

۱- فلز پایه و تمام نمونه‌های جوشکاری شده دارای بافت مرجع خاصی نیستند اما فلز پایه کسر بالایی از مرز دانه‌های با زاویه کم از خود نشان می‌دهد که دلیل آن تغییر شکل پلاستیک بدون تبلور مجدد کامل می‌باشد.

۲- انرژی ورودی جوش به تنهایی معیار چندان خوبی جهت قضاوت در مورد تأثیر پارامترهای فرایند جوشکاری بر حالت نهایی کرنش در منطقه متأثر از حرارت نیست و هر دو عامل سرعت و جریان باید به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند.

می‌شود نمونه جوشکاری شونده برای مدت زمان بیشتری در دماهای بالاتر توقف کند. در نتیجه تبلور مجدد و رشد دانه و رهایش کرنش در این نمونه بر کرنش پلاستیک جوشکاری غلبه خواهد نمود.

جهت بررسی اثر شدت جریان به مقایسه دو نمونه S2 و S3 می‌پردازیم. مقایسه نمونه‌های مذکور نشان می‌دهد که در سرعت جوشکاری ثابت، هنگامی که جریان ورودی افزایش می‌یابد، کرنش‌های پلاستیک ناشی از جوشکاری بر رهایش تنش‌های ناشی از آنیل این مناطق غلبه می‌کند. بنابراین به این نتیجه می‌رسیم که انرژی ورودی جوش به تنهایی معیار مناسبی جهت قضاوت در مورد اثر فرایند جوشکاری بر حالت نهایی کرنش در منطقه متأثر از حرارت نیست و بلکه هر دو پارامتر سرعت و جریان جوشکاری به طور همزمان مورد توجه قرار داد. چرا که در هنگام فرایند جوشکاری به علت کرنش پلاستیک در منطقه متأثر از حرارت مقدار زیادی نابجایی و مرز دانه‌های فرعی ایجاد خواهند شد. از طرف دیگر حرارت ناشی از تغییر شکل پلاستیک و حرارت ورودی جوش باعث فراهم شدن یک انرژی پیشران جهت تبلور مجدد و رشد دانه خواهد شد. البته هدایت حرارتی پایین این فولاد مزید بر علت جهت نگه داشته شدن ماده مذکور در دماهای بالا است.

اثر انرژی ورودی جوش بر اندازه متوسط دانه در منطقه متأثر از حرارت در شکل ۴ آمده است. همانطوری که دیده می‌شود نسبت مستقیمی بین انرژی جوش و اندازه متوسط دانه در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که فاکتور اساسی و تعیین‌کننده در اندازه دانه منطقه HAZ همان انرژی ورودی جوش است.

[2] www.azom.com (The A to Z of materials).

[3] Schwartz A.J, Kumar M, Adams B.L, "Electron backscattered diffraction in materials science", 2000, Klauwer Academics-Plenum Publishers.

[4] Kang S.H, Bang W.H, Cho J.H, Han H.N, Oh K.H, Lee C.G, Kim S.J, "Microtexture Analysis of Friction Stir Welded Al 6061-T651 Plates", Materials Science Forum Vols. 495-497, 2005, pp. 901-906.

[5] Fujii H, Ueji R, Takada Y, Kitahara H, Tsuji N, Nakata N, Nogi K, "Friction Stir Welding of ultrafine Grained Interstitial Free Steels", Materials Transactions, Vol. 47, No. 1, 2006, pp. 239-242.

[6] Coelho R.S, Kostka A, Pinto H, Riekehr S, Koçak M, Pyzalla A.R, "Microstructure and Residual Stresses in dissimilar Mg-Al-Zn-alloy single overlap laser beam welds", Materials Science Forum Vols. 571-572, 2008, pp. 361-366.

[7] Merson E, Hammond C, Brydson R, "Characterization of texture in Ti-6246 alloy fibre laser welds using Electron Backscattered Diffraction (EBSD)", Journal of Physics: Conference Series 26, 2006, p. 347-350.

[8] ASM Handbook, Welding, Brazing, and Soldering, 1993, Vol. 6, 10th ed., p. 704.

۳- حالت نهایی تنش در این منطقه متأثر از حرارت نتیجه رقابت بین دو اثر کرنش‌های پلاستیک جوشی و رهایش تنش ناشی از تبلور مجدد است.

۴- افزایش انرژی ورودی جوش باعث افزایش اندازه متوسط دانه در منطقه متأثر از حرارت می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله کمال تشکر و قدردانی را از آقایان، دکتر شهرام شیخی (ویده، آلمان) و دکتر شاهرخ دانش‌پور (مرکز تحقیقات جی کا اس اس، آلمان) و رابین پورزال و میکائیل شیمورا از دانشگاه دویسبورگ آلمان به دلیل کمک‌های شایان و بی‌وقفه‌شان به عمل آورند.

پی‌نوشت:

- 1- Friction stir welding
- 2- Tungsten inert gas – Direct electrode negative
- 3- American society of metals
- 4- Rolling direction

مراجع

[1] Kou S, "Welding Metallurgy", 2003, John Wiley & Sons, New Jersey.