مجله مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1395، دوره 16، شماره 11، ص‌ص 143-153

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی المان محدود توزیع دما و تنش‌های پسماند ناشی از جوش‌کاری تیگ پوسته کروی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V

سعید شاخصی[1*]، یاسین نظری[2]، احمد حاتمی[1]، محمد نوقابی[3]

1- استادیار، مهندسی مکانیک، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران
2- کارشناس ارشد، مهندسی هوافضا، پژوهشگاه هوافضا، تهران
3- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران
* تهران، صندوق پستی 754-13445، s.shakhesi@isrc.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 14 شهریور 1395
پذیرش: 31 شهریور 1395
ارائه در سایت: 01 آبان 1395

کلید واژگان:
آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V)
جوش‌کاری تیگ
تنش‌های پسماند
روش المان محدود
پوسته کروی

چکیده

ایجاد تنش‌های پسماند و اعوجاج از مهمترین معایب فرایند جوش‌کاری می‌باشد که تعیین مقادیر و توزیع آن‌ها اهمیت زیادی در طراحی سازه‌ها به خصوص در صنایع فضایی دارد. در این تحقیق، از روش المان محدود برای تحلیل رفتار حرارتی- مکانیکی ناشی از جوش‌کاری تیگ در یک پوسته کروی استفاده شده است. پوسته کروی مورد مطالعه از جنس آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) و با ضخامت 2 میلی‌متر بوده است. مدل‌سازی فرایند جوش‌کاری، به‌صورت کوپل غیرمستقیم حرارتی- مکانیکی صورت گرفت. جوش‌کاری تیگ براساس تغییرات مشخصه‌های شدت جریان و سرعت پیش‌روی جوش و در شش حالت مختلف بررسی شد و مقدار ولتاژ در همه حالت‌ها برابر با 12 ولت در نظر گرفته شد. توزیع دما، تنش‌های پسماند و اعوجاج ناشی از جوش‌کاری تیگ پوسته کروی تیتانیومی برای شش حالت مختلف جوش‌کاری استخراج و با یکدیگر مقایسه گردید. تاثیر مشخصه‌های شدت جریان و سرعت جوش‌کاری بر اعوجاج و تنش‌های پسماند جوشی بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزایش شدت جریان و کاهش سرعت پیش‌روی بیشترین تاثیر را روی تنش پسماند محیطی طولی دارد که میزان افزایش این تنش حداکثر به 44% برای کاهش سرعت پیش‌روی گردید. اعوجاج ناشی از جوش‌کاری نیز با افزایش شدت جریان و کاهش سرعت پیش‌روی حداکثر مقدار 132% افزایش را نشان داد.

Temperature and Residual Stresses Distribution due to TIG Welding of Ti-6Al-4V Titanium Alloy Spherical Shell by Finite Element Analysis

Saeid Shakhesi [1*], Yasin Nazari [2], Ahmad Hatami [1], Mohammad Noghabi[3]

1-Department of System Eng., Space Transportation Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran
2- Aerospace Research Institute, Tehran, Iran.
3- Department of System Eng., Space Transportation Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran
*P.O.B. 13445-754, Tehran, Iran, s.shakhesi@isrc.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 04 September 2016
Accepted 21 September 2016
Available Online 22 October 2016

Keywords:
Titanium alloy (Ti-6Al-4V)
TIG welding
Residual stresses
Finite element method
Spherical shell

ABSTRACT

ual stresses and distortion are of the main disadvantages of welding process which determining the amount and distribution of them have great importance in the design of structures, especially in the space industry. In this study, a finite element method is used to analyze the thermo- mechanical behavior of a spherical shell due to TIG welding. The spherical shell is made of titanium alloy (Ti-6Al-4V) with 2 mm thickness. The modeling of welding process is based on an uncoupled thermo-mechanical coupling. TIG welding is examined for six cases based on current intensity and welding progress speed setting the voltage on 12 V in all cases. Distribution of temperature and residual stresses caused by TIG welding of the titanium spherical shell have been extracted and compared among the six different cases. The effects of current intensity and welding progress speed on shell distortion and residual stress have been investigated. The results showed that increasing the current intensity and decreasing the welding progress speed have the most effects on longitudinal residual stresses which the amount of this increasing reached to %44 for decreasing the welding progress speed. Welding distortion increases to maximum %132 by increasing current and decreasing welding progress speed.

1-مقدمه

استفاده از مخازن کروی به‌عنوان مخازن سوخت و اکسنده و همچنین سازه‌های فضایی در صنایع هوافضا کاربرد گسترده‌ای دارد. برای ساخت مخازن کروی جدار نازک، از فرایند جوش‌کاری که متداول‌ترین و موثرترین روش اتصال قطعات مختلف به یکدیگر است، استفاده می‌شود. در این روش با وجود مزایای قابل توجه، توزیع دما و ایجاد تنش‌های پسماند و اعوجاج حاصل از آن امری اجتناب‌ناپذیر، و تعیین مقادیر و شکل توزیع آن در طراحی سازه‌ها، خصوصا سازه‌های فضایی از اهمیت بالایی برخوردار است. تیتانیوم و آلیاژهای آن با خواص منحصر به‌فردی مانند مقاومت به خوردگی و خستگی عالی، نسبت استحکام به وزن بالا و چقرمگی خوب در صنایع هوافضا به عنوان

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
S. Shakhesi, Y. Nazari, A. Hatami, M. Noghabi, Temperature and Residual Stresses Distribution due to TIG Welding of Ti-6Al-4V Titanium Alloy Spherical Shell by Finite Element Analysis, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 11, pp. 143-153, 2016 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

یک ماده استراتژیک در بدنه و موتور هواپیماها و سفینه‌های فضایی کاربرد گسترده‌ای دارند [1]. چنان‌چه عناصر آلیاژی پایدارکننده فاز آلفا و فاز بتا در آلیاژ وجود داشته باشند، منجربه تولید ساختار دوفازی می‌گردند، که این آلیاژ را Ti-6Al-4V می‌نامند. در این آلیاژ وجود حدود 6 درصد آلومینیوم منجر به پایداری فاز آلفا و 4 درصد وانادیوم باعث پایداری فاز بتا می‌شود [2]. جوش‌کاری مخازن کروی دستورالعمل‌های خاصی دارد و تقسیم ناموزون تنش‌های حرارتی و تنش‌های پسماند جوش‌کاری باعث به هم خوردن اتصال سایر قسمت‌ها و حتی ایجاد ترک در بعضی از قسمت‌های جوش شده، می‌گردد. همان‌گونه که در جدول 1 مشاهده می‌شود، جوش‌کاری تیتانیوم و آلیاژهای آن به روش‌های مختلفی از جمله جوش‌کاری قوس الکتریکی تنگستن با گاز خنثی[1] (تیگ)، جوش‌کاری قوس الکتریکی فلزی با گاز خنثی[2]، جوش‌کاری قوس الکتریکی پلاسما[3] و در نهایت جوش‌کاری باریکه الکترونی[4] انجام می‌پذیرد [3].

یکی از معایب جوش‌کاری ایجاد تنش‌های پسماند و اعوجاج است. تنش‌های پسماندی که در اثر جوش‌کاری ایجاد شده است، در شرایط عملی بسیار مهم و قابل توجه هستند. این تنش‌ها گاهی ممکن است بیشتر از حد الاستیک شده و سبب تغییر شکل پلاستیک شود. تنش پسماند باعث تغییر خواص مکانیکی ماده شده و سبب می‌شود که ماده به ترک حساس شود [3].

در این زمینه مطالعات عددی و تجربی زیادی صورت گرفته است. ومانابوینا و همکاران در مطالعه‌ای یک مدل شار حرارتی استوانه‌ای برای شبیه‌سازی فرآیند جوش‌کاری ورق فولاد SUS304 ارائه کرده‌اند که این مدل نسبت به مدل گاوسی دارای دقت بیشتری است. از نتایج این مقاله در مطالعات پارامتریک برای کاهش اعوجاج در سازه استفاده شده است [4]. در تحقیق دیگری یک روش المان محدود براساس نرم‌افزار Quick Welder برای شبیه‌سازی میدان دمایی و توزیع تنش پسماند در لوله‌های SUS304 توسط دنگ و کیوشیما ارائه شده است، که نتایج نشان می‌دهد تنش‌های محوری و شعاعی در نزدیکی محل ابتدا و انتهای جوش دارای گرادیان شدیدی بوده و به‌طور محسوسی با محدوده پایای جوش‌کاری متفاوت است [5]. همچنین اثر هندسی جوش بر توزیع تنش پسماند توسط اکبری موسوی و میراسماعیلی روی این نوع فولاد توسط یک تحلیل سه بعدی و با استفاده از معادلات بقای ترموالاستوپلاستیک پیش‌بینی و با روش انکسار اشعه ایکس به‌صورت عددی و تجربی مقایسه شده و نشان داده شده است که ماکزیمم تنش پسماند کششی در حالت شیاردار U کمتر از حالت شیاردار V شکل است [6]. اکبری و ستاری‌فر نیز اثر جوش‌کاری دو نوع فولاد را به‌صورت المان محدود بررسی کردند، که تنش پسماند در محل جوش بیشتر از تنش تسلیم فلز پایه تعیین گردید و همچنین تغییر میزان حرارت ورودی تاثیر چندانی بر حداکثر تنش پسماند نداشت [7]. ون‌یالی و همکاران در مقاله‌ای جوش اصطکاکی تیتانیوم را با استفاده از یک مدل ترمومکانیکی دو بعدی به صورت المان محدود بررسی کردند. نتایج این مقاله نشان داد که گرادیان دما در محل اتصال بسیار بالا بوده و دما در کمتر از یک ثانیه به مقدار 1000 درجه سانتیگراد می‌رسد. این اختلاف دمای بین مرکز جوش‌کاری و لبه کار موجب ایجاد اعوجاج در سازه گردید [8]. از طرفی تنش پسماند داخلی در جوش‌کاری اصطکاکی صفحات تیتانیوم با استفاده از روش کانتور توسط لیو و دانگ بررسی شد که نشان می‌دهد حداکثر تنش پسماند کششی در مرکز خط جوش قرار دارد و این تنش در راستای ضخامت یکنواخت نبوده و سطوح بالا و پایین از تنش کمتری نسبت به سطح داخلی برخوردار است [9]. لسینوسکی و آمبروزیاک هم در طی مطالعه‌ای جوش‌کاری اصطکاکی تیتانیوم-تنگستن را با روش المان محدود بررسی نمودند. در این مطالعه از تحلیل ترمومکانیک کوپل و همچنین مدل جانسون برای تعریف مواد استفاده شده است. بر طبق نتایج این مطالعه در ابتدا اختلاف دمای بسیاری در توزیع شعاعی دیده شده است که این اختلاف در طول فرآیند کمتر می‌شود [10].

با بررسی منابع مشخص شد که در گذشته کارهای زیادی بر روی جوش‌کاری ورق‌ها و تا حدودی لوله استوانه‌ای انجام شده است، که عمدتا از جنس فولاد بوده است. در این مطالعه، به بررسی توزیع دما، تنش‌های پسماند و اعوجاج ناشی از جوش‌کاری تیگ در یک مخزن کروی از جنس آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V در هندسه کره و با شعاع، ضخامت، فشار و شرایط دمایی مشخص پرداخته شده است.

جدول 1 مشخصات روش‌های جوش‌کاری مورد استفاده برای آلیاژهای تیتانیوم [3]

Table 1 Specification of welding methods used for titanium alloys [3]

حالت	EB	PAW	GMAW	GTAW
محدوده ضخامت (اینچ)	تا 3 اینچ	1/8–3/8	1/4–3	1/32–1/4
سهولت جوش‌کاری	عالی	خوب	نسبتا خوب	خوب
نیاز به شیار برای اتصال	خیر	خیر	همیشه	غالبا
اتوماتیک یا دستی	اتوماتیک	هر دو	اتوماتیک	هر دو
خواص مکانیکی	عالی	خوب	نسبتا خوب	نسبتا خوب
کیفیت اتصال	عالی	عالی	نسبتا خوب	خوب
هزینه تجهیزات	خیلی بالا	در حد متوسط	بالا	پایین
نیاز به فیلر	خیر	گاه‌گاهی	همیشه	غالبا
اعوجاج	پایین	در حد متوسط	بالا	پایین

[1] Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)
[2] Gas Metal Arc Welding (GMAW)
[3] Plasma Arc Welding (PAW)
[4] Electron Beam (EB)

2-تئوری حاکم بر مسئله

2-1- تحلیل حرارتی

برای تحلیل حرارتی قطعه در زمان جوشکاری، قطعه را می‌توان به صورت یک حجم محدود با سطح S در نظر گرفت. طبق اصل بقای انرژی، معادله انتقال حرارت برای حجم مرزی مذکور را می توان به‌صورت معادله (1) نوشت [11]:

$$-\nabla\vec{q}\left(x,y,z,t\right)+Q\left(x,y,z,t\right)=\rho C\,\frac{\partial T\left(x,y,z,t\right)}{\partial t} \qquad (1)$$

که در آن، $\vec{q}$ بردار شار حرارتی وارد بر سطح، Q مقدار گرمای ناشی از منبع داخلی، ρ چگالی، C ظرفیت گرمای ویژه و T دمای قطعه در هر لحظه می‌باشد. قانون فوریه برای شار حرارتی به‌صورت معادله (2) است:

$$\vec{q}=-k\nabla T \qquad (2)$$

با جای‌گذاری معادله (2) در معادله (1) و پس از ساده‌سازی، رابطه زیر حاصل می‌شود [12,11]:

$$\rho C\,\frac{\partial T}{\partial t}=Q+[\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x\,\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y\,\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_z\,\frac{\partial T}{\partial z}\right)] \qquad (3)$$

این رابطه یک معادله غیرخطی است و برای حل نیاز به شرایط مرزی و اولیه دارد. شرایطی که می‌توان برای معادله (3) در نظر گرفت عبارتند از:

دمای اولیه قطعه قبل از شروع جوش‌کاری، برابر با دمای محیط می‌باشد. به عبارت دیگر [11]:

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

$$T = T_\infty \quad \text{برای} \quad t = 0 \tag{4}$$

معادله‌ای که برای شار حرارتی روی سطح قطعه در نظر گرفته شده، با توجه به توزیع گلداک [13] به‌دست آمده است (معادلات 5 و 6):

$$q_f = \frac{6\sqrt{3}\eta Q f_f}{\pi\sqrt{\pi}abc}\exp\left\{-3\left(\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}\right)\right\} \tag{5}$$

$$q_r = \frac{6\sqrt{3}\eta Q f_r}{\pi\sqrt{\pi}abc}\exp\left\{-3\left(\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}\right)\right\} \tag{6}$$

که در آن، q_f و q_r مقدار شار حرارتی است که حین فرایند جوش‌کاری بر واحد سطح قطعه در نیمه جلویی و پشتی توزیع می‌شود. a ، b و c ثابت‌های ابعادی مدل گلداک بوده و به ترتیب برابر نصف عرض منبع حرارتی، عمق منبع حرارتی و نصف طول نیم بیضی می‌باشد. f_f و f_r به ترتیب ضریب توزیع حرارت در نیمه جلویی و پشتی می‌باشد که رابطه آن‌ها به‌صورت معادله (7) است [14,13].

$$f_f + f_r = 2 \tag{7}$$

Q مقدار گرمای ورودی است که برابر $Q = VI$ می‌باشد. V ولتاژ و I شدت جریان جوش‌کاری است. η ضریب بازدهی جوش‌کاری است و مقدار آن بسته به نوع جوش‌کاری به‌صورت تجربی به دست می‌آید، که این مقدار برای جوش‌کاری تیگ برابر با 0.7 است [16,15].

با توجه به تماس سطح قطعه با هوای اطراف، انتقال حرارت از طریق جابجایی نیز صورت می‌گیرد. این تبادل حرارتی برای تمام سطوح حجم مرزی وجود دارد، به جز سطوحی که به هم جوش داده می‌شوند. از طرفی، حرارت ناشی از تشعشع قوس الکتریکی به‌صورت انتقال حرارت تابشی را نیز می توان برای تمامی سطوح در نظر گرفت. بر این اساس، معادلاتی که می‌توان برای این دو نوع انتقال حرارت نوشت عبارتند از (معادلات 8 و 9) [11].

$$q_c = h_c(T - T_\infty) \quad \text{برای انتقال حرارت جابجایی} \tag{8}$$

$$q_r = h_r(T - T_r) \quad \text{برای انتقال حرارت تشعشع} \tag{9}$$

$$h_r = \sigma\epsilon F(T^2 + T_r^2)(T + T_r)$$

که در آن‌ها، q_c گرمای منتقل شده از طریق جابجایی، h_c ضریب انتقال حرارت جابجایی، T_∞ دمای محیط اطراف، q_r گرمای منتقل شده از طریق تشعشع، h_r ضریب انتقال حرارت تشعشع، T_r دمای منبع تشعشع، σ ثابت استفان– بولتزمن، ϵ ضریب صدور و F ضریب شکل یا فاکتور سطح می‌باشد. بنابراین، معادله شرط مرزی را می‌توان به صورت رابطه (10) نوشت [11]:

$$-K\frac{\partial T}{\partial n} = -q_c \text{،} \quad -K\frac{\partial T}{\partial n} = -q_r \tag{10}$$

معادله انتقال حرارت جوش‌کاری را می‌توان با شرایط مرزی مذکور و استفاده از روش‌های حل عددی حل کرد. کافی است برای تحلیل حرارتی و رسیدن به توزیع دما، شرایط مرزی ذکر شده تعریف شوند و اطلاعاتی از قبیل خصوصیات فیزیکی ماده که وابسته به دما هستند نیز مشخص شوند.

2-2- تحلیل مکانیکی

در تحلیل مکانیکی الاستیک- پلاستیک، کرنش کل از رابطه زیر به دست می‌آید [15,11]:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon^{th} \tag{11}$$

که در آن ε_{ij}^e کرنش الاستیک، ε_{ij}^p کرنش پلاستیک و ε_{ij}^{th} کرنش حرارتی می‌باشد.

برای یک ماده همسانگرد تنش و کرنش طبق رابطه (12) به یکدیگر وابسته است [15,11].

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}^e\left(\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^p - \varepsilon_{ij}^{th}\right) \tag{12}$$

که در آن C_{ijkl}^e ماتریس سفتی الاستیک ماده می‌باشد.

همان‌طور که مشخص است برای به دست آوردن تنش باید کرنش‌های موردنظر به‌دست آیند. برای این منظور باید خواص مکانیکی از جمله نسبت پواسون، مدول الاستیک، خواص پلاستیک و ضریب انبساط حرارتی وارد تحلیل گردند.

3-شبیه‌سازی المان محدود

1-3 - مدل‌سازی

برای ساخت کره از جوش‌کاری دو نیم‌کره به‌صورت لب به لب به یکدیگر استفاده شده است. به‌دلیل تقارن کره و برای کاهش زمان محاسبات، مدل مورد مطالعه در این تحقیق نیم‌کره‌ای به قطر خارجی 600 میلی‌متر و ضخامت 2 میلی‌متر خواهد بود.

جنس مدل از آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V می‌باشد. لذا با توجه به این‌که خواص متالورژیکی مواد با تغییرات دما، تغییر می‌کنند، به منظور مدل‌سازی دقیق‌تر نیاز است که، خواص متناسب با دمای ماده مورد استفاده قرار بگیرد. از بین این خواص استحکام تسلیم و مدول الاستیسیته بیشترین تاثیر را دارا هستند. سایر خواص تاثیر شدیدی بر روی نتایج مدل‌سازی ندارند [18].

خواص مکانیکی و حرارتی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) براساس استاندارد ASM در دماهای مختلف، در "شکل‌های 1 و 2" نشان داده شده است [19]. مدل‌سازی المان محدود توانایی پیش‌بینی توزیع دما و تنش پسماند ناشی از فرآیند جوش‌کاری تیگ را با دقت بالا دارد. در این تحقیق مدل‌سازی به‌صورت کوپل غیرمستقیم حرارتی- مکانیکی انجام شده است. این مدل‌سازی شامل یک تحلیل حرارتی و یک تحلیل مکانیکی است که نتایج تحلیل حرارتی به‌عنوان ورودی برای تحلیل مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد که این کار موجب کاهش زمان لازم جهت مدل‌سازی می‌گردد [20].

مش‌بندی مدل که در "شکل 3" مشاهده می‌شود پس از انجام آنالیز حساسیت مش بدست آمده است، که شامل حدود 22000 المان از نوع المان C3D8 می‌باشد. همچنین در خط جوش و منطقه نزدیک به خط جوش از مش‌ریزی ریزتری استفاده می‌شود. از طرفی مش‌بندی هر دو تحلیل یکسان

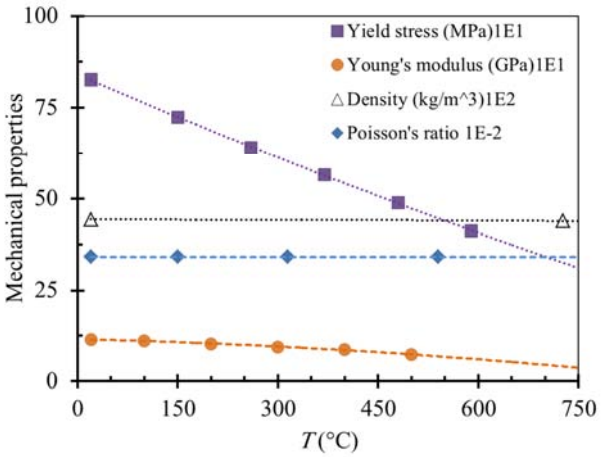

Fig.1 Mechanical properties of titanium alloy (Ti-6Al-4V) at different temperatures [19]

شکل 1 خواص مکانیکی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) در دماهای مختلف [19]

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

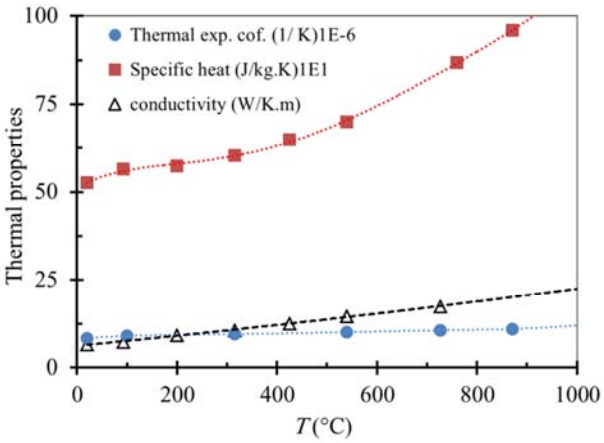

Fig. 2 Thermal properties of titanium alloy (Ti-6Al-4V) at different temperatures [19]

شکل 2 خواص حرارتی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) در دماهای مختلف [19]

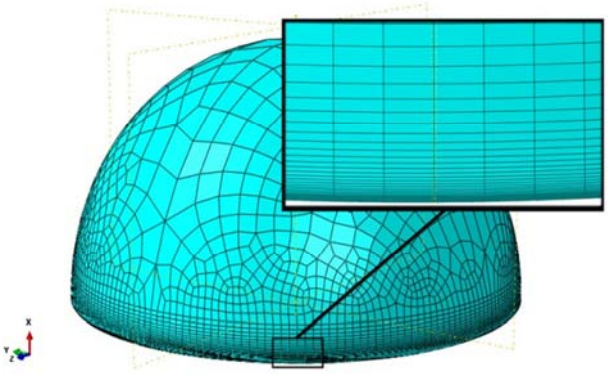

Fig. 3 Model meshing

شکل 3 مش‌بندی مدل

است، تا نتایج تحلیل حرارتی به‌عنوان ورودی برای تحلیل مکانیکی قابل اعمال باشند.

برای مدل‌سازی منبع حرارت جوش‌کاری که به صورت متحرک می‌باشد، زیر برنامه‌ای در زبان برنامه نویسی فرترن نوشته شده است.

مطابق "شکل 4" در تحلیل مکانیکی، مدل از پنج نقطه گیردار ثابت شده است، این نقاط گیردار به صورت یک نقطه در روی و چهار نقطه در اطراف نیم‌کره است که به‌صورت متقارن می‌باشند.

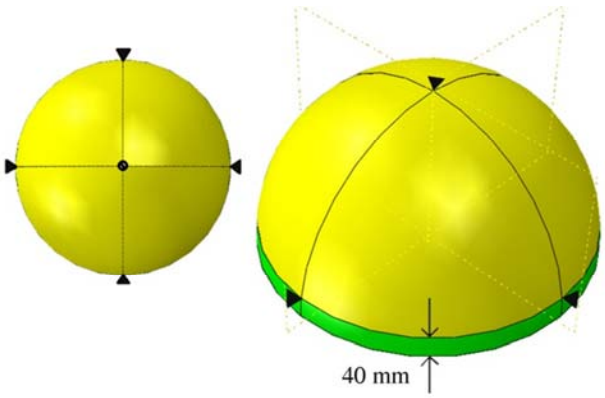

Fig. 4 Mechanical constraints

شکل 4 قیدهای مکانیکی

برای مدل‌سازی جوش‌کاری تیگ مشخصه‌های اساسی که مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: شدت جریان، ولتاژ و سرعت پیش‌روی جوش، که این مشخصه‌ها برای تیتانیوم و آلیاژهای آن براساس ضخامت‌های مختلف مشخص می‌شود، و به یکدیگر وابسته هستند [21,3]. در این تحقیق براساس بازه تعریف شده برای مشخصه‌های جوش‌کاری تیگ، شش حالت برای جوش‌کاری آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) در نظر گرفته شده است، که مقدار ولتاژ در همه حالت‌ها برابر 12 ولت خواهد بود. نتایج حاصل از این شش حالت بر اساس توزیع دما، تنش‌های پسماند و اعوجاج استخراج و با یکدیگر مقایسه شده است. خصوصیات منبع حرارتی جوش‌کاری در جدول 2 نشان داده شده است.

3-2- اعتبار سنجی

به‌علت عدم وجود مقالاتی که شامل اطلاعات و پارامترهای کامل برای شبیه‌سازی (خواص ماده، هندسه کروی و ...) باشد، اعتبارسنجی تنها برای یک مقاله موجود [22] انجام گرفته شده است. در این مقاله جوش‌کاری تیگ برای یک لوله استوانه‌ای از جنس فولاد زنگ نزن انجام شده است. مدل‌سازی المان محدود برای این استوانه انجام شد و نتایج حاصل از آن با نتایج تجربی این مقاله مورد مقایسه قرار گرفت. همان‌طور که در "شکل‌های 5 و 6" مشخص است نتایج تطابق خوبی با مدل مرجع دارد. این تطابق نشان‌دهنده صحت و اعتبار اصول مدل‌سازی فرآیند جوش‌کاری است و می‌توان برای هندسه کروی نیز با اطمینان از نتایج آن شبیه‌سازی را انجام داد و به نتایج آن استناد نمود.

جدول 2 خصوصیات منبع حرارتی جوش‌کاری

Table 2 Characteristics of welding heat source

شماره حالت	ولتاژ (V)	شدت جریان (A)	سرعت پیش‌روی (mm/Min)	گرمای ورودی مخصوص (J/mm)
1	12	100	400	127.3
2	12	120	400	152.7
3	12	140	400	178.2
4	12	100	300	168
5	12	120	300	201.6
6	12	140	300	235.2

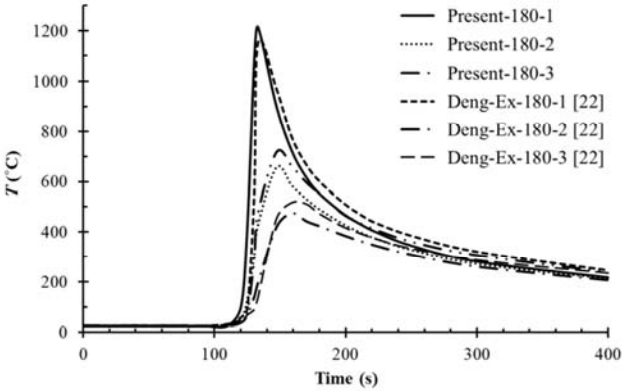

Fig. 5 Comparing thermal Analysis results of the present study with experimental results [22]

شکل 5 مقایسه نتایج تحلیل حرارتی حاصل از شبیه‌سازی این تحقیق با نتایج تجربی مقاله [22]

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

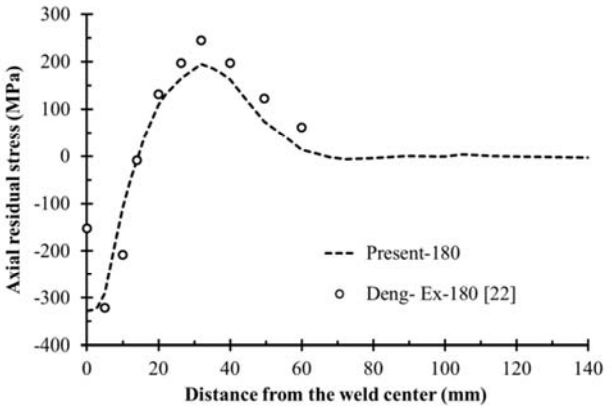

Fig. 6 Comparing axial residual stresses of present simulation with experimental result [22]

شکل 6 مقایسه نتایج تنش‌های پسماند محوری حاصل از شبیه‌سازی این تحقیق با نتایج تجربی مقاله [22]

4-بحث و بررسی نتایج

4-1- نتایج حرارتی

با انجام آنالیز حرارتی، نمودار دما- زمان در دو نقطه و سه زاویه 90، 180 و 270 درجه برای شش حالت مختلف جوش‌کاری استخراج شده است. نقطه اول در مرکز جوش و نقطه دوم در فاصله حدود 6 میلی‌متری از مرکز جوش است. در "شکل 7" جهت جوش‌کاری و نقاط محاسبه دما نشان داده شده است.

4-1-1- تاثیر شدت جریان

نمودار دما برحسب زمان برای شش حالت مختلف جوش‌کاری در "شکل‌های 8 تا 13" نشان داده شده است. در حالت کلی و با در نظر گرفتن دمای حداکثر در شش حالت مختلف جوش‌کاری می‌توان گفت که در سرعت پیش‌روی 400 میلی‌متر بر دقیقه با افزایش شدت جریان، حداکثر دمای حالت

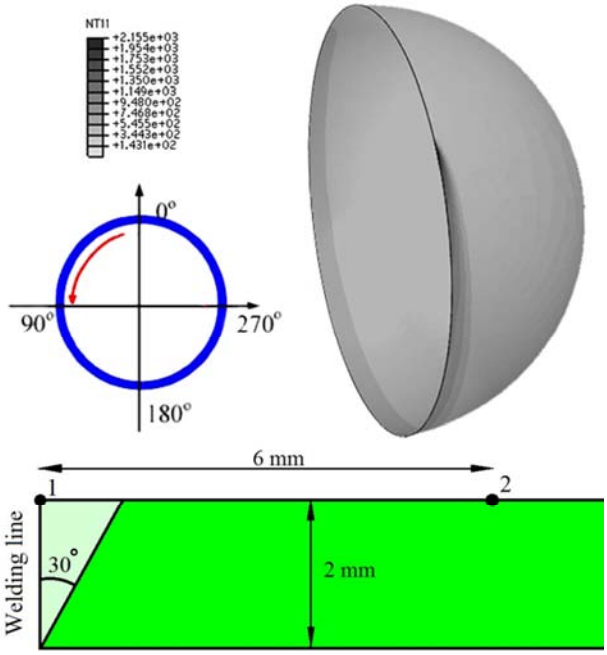

Fig. 7 Welding sequence and temperature calculation points

شکل 7 جهت جوش‌کاری و نقاط محاسبه دما

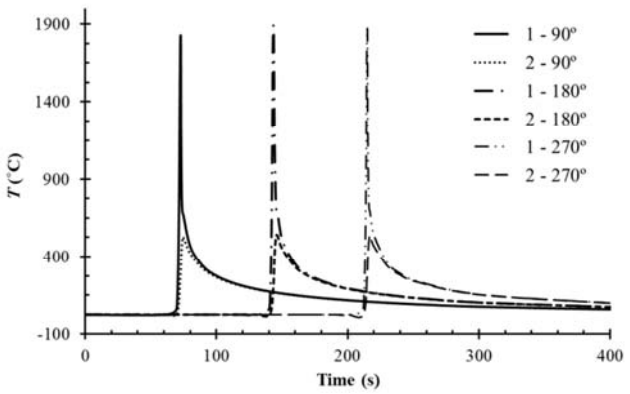

Fig. 8 Temperature versus time in the first case welding

شکل 8 دما برحسب زمان در حالت اول جوش‌کاری

دوم (شکل 9) در نقاط اول و دوم به ترتیب برابر با 2300 و 660 درجه سانتی‌گراد است که در مقایسه با حداکثر دمای حالت اول (شکل 8) در نقاط اول و دوم که برابر با 1862 و 539 درجه سانتی‌گراد است، افزایشی در حدود 438 و 121 درجه سانتی‌گراد (معادل 23.5% و 22.4%) را نشان می‌دهد. حداکثر دمای حالت سوم (شکل 10) نیز در نقاط اول و دوم به ترتیب برابر با 2610 و 730 درجه سانتی‌گراد است که در مقایسه با حداکثر دمای حالت دوم در نقاط اول و دوم افزایشی در حدود 310 و 70 درجه سانتی‌گراد (معادل 13.47% و 10.6%) را نشان می‌دهد. از طرفی با افزایش شدت جریان در سرعت پیش‌روی 300 میلی‌متر بر دقیقه، حداکثر دمای حالت پنجم (شکل 12) در نقاط اول و دوم به‌ترتیب برابر با 2723 و 775 درجه سانتی‌گراد است که در مقایسه با حداکثر دمای حالت چهارم (شکل 11) در نقاط اول و دوم که برابر با 2380 و 698 درجه سانتی‌گراد است افزایشی در حدود 343 و 77 درجه سانتی‌گراد (معادل 14.41% و 11%) را نشان می‌دهد. حداکثر دمای حالت ششم (شکل 13) در نقاط اول و دوم نیز به ترتیب برابر با 3178 و 888 درجه سانتی‌گراد است که در مقایسه با حداکثر دمای حالت پنجم افزایشی در حدود 455 و 113 درجه سانتی‌گراد (معادل 16.7% و 14.6%) را نشان می‌دهد.

4-1-2- تاثیر سرعت پیش‌روی

با کاهش سرعت پیش‌روی جوش در شدت جریان 100 آمپر، حداکثر دمای حالت چهارم در نقاط اول و دوم در مقایسه با حداکثر دمای حالت اول در این نقاط، افزایشی در حدود 518 و 159 درجه سانتی‌گراد (معادل 27.8% و 29.5%) را نشان می‌دهد. در شدت جریان 120 آمپر نیز حداکثر دمای حالت پنجم در نقاط اول و دوم در مقایسه با حداکثر دمای حالت دوم در این نقاط، افزایشی در حدود 423 و 115 درجه سانتی‌گراد (معادل 18.4% و 17.4%) را نشان می‌دهد. از طرفی در شدت جریان 140 آمپر حداکثر دمای حالت ششم در نقاط اول و دوم در مقایسه با حداکثر دمای حالت سوم در این نقاط، افزایشی در حدود 568 و 158 درجه سانتی‌گراد (معادل 21.77% و 21.64%) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، کاهش سرعت پیش‌روی بیشترین تاثیر را بر روی افزایش دمای ناحیه جوش دارد به‌طوری‌که این مقدار در شدت جریان 100 آمپر بیشترین تغییرات را دارد.

4-2- نتایج تنش‌های پسماند

پس از انجام تحلیل حرارتی و با استفاده از نتایج آن به عنوان ورودی در تحلیل مکانیکی، تحلیل مکانیکی انجام و نتایج آن استخراج شده است. با

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

توجه به جدار نازک بودن مخزن کروی، از تغییرات تنش در جهت ضخامت صرف‌نظر شده است. تنش‌های پسماند ناشی از جوش‌کاری در زاویه 180 درجه برای شش حالت مختلف جوش‌کاری استخراج شده است.

4-2-1- تاثیر شدت جریان

در سرعت پیش‌روی 400 میلی‌متر بر دقیقه (شکل 14) و با افزایش شدت جریان، حداکثر تنش پسماند فون میسز تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد و در حالت‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برابر با 756، 774 و 774 مگاپاسکال است.

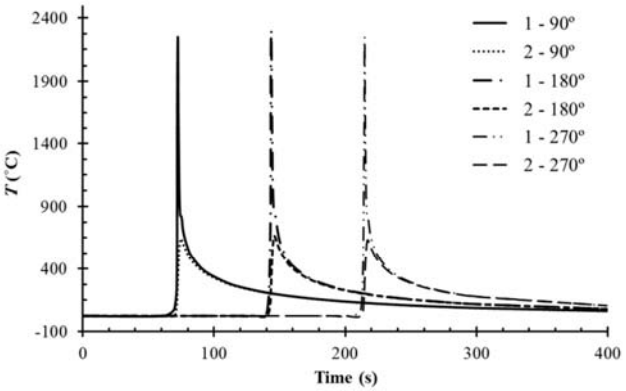

Fig. 9 Temperature versus time in the second case welding

شکل 9 دما برحسب زمان در حالت دوم جوش‌کاری

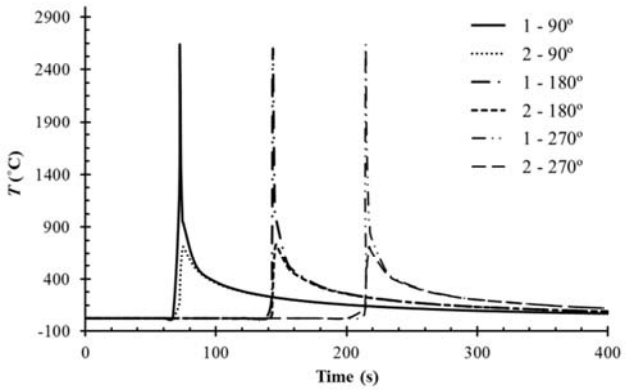

Fig. 10 Temperature versus time in the third case welding

شکل 10 دما برحسب زمان در حالت سوم جوش‌کاری

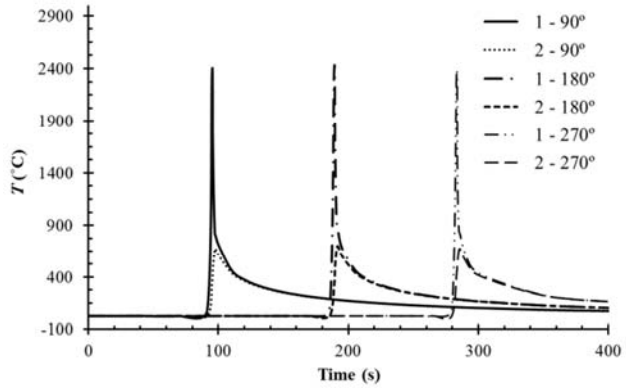

Fig. 11 Temperature versus time in the fourth case welding

شکل 11 دما برحسب زمان در حالت چهارم جوش‌کاری

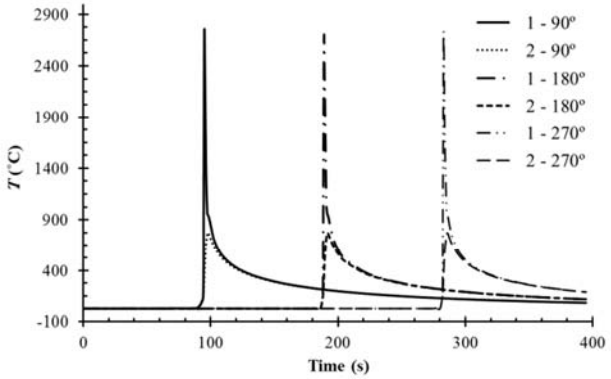

Fig. 12 Temperature versus time in the fifth case welding

شکل 12 دما برحسب زمان در حالت پنجم جوش‌کاری

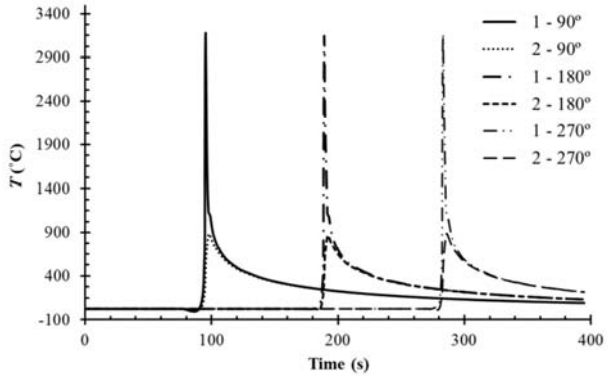

Fig. 13 Temperature versus time in the sixth case welding

شکل 13 دما برحسب زمان در حالت ششم جوش‌کاری

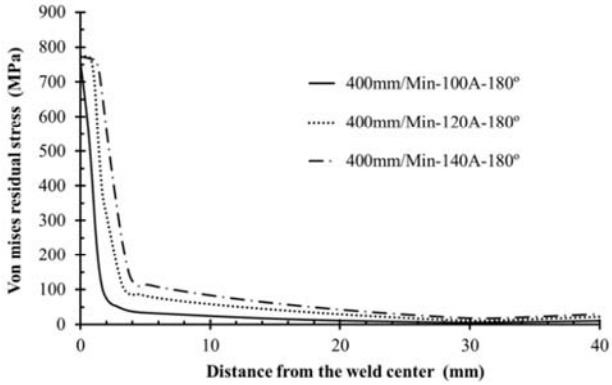

Fig. 14 Von Mises residual stress in the welding progress speed of 400mm/Min

شکل 14 تنش پسماند فون میسز در سرعت پیش‌روی 400 میلی‌متر بر دقیقه

در سرعت پیش‌روی 300 میلی‌متر بر دقیقه (شکل 15) نیز با افزایش شدت جریان تغییر محسوسی در تنش پسماند فون میسز دیده نمی‌شود و حداکثر این تنش در حالت‌های سوم، چهارم و پنجم به‌ترتیب برابر با 776، 769 و 762 مگاپاسکال است. در واقع می‌توان بیشترین تاثیر ناشی از افزایش شدت جریان بر این تنش را، کشیده شده آن به مناطق نزدیک جوش دانست و این‌که در فاصله دورتری از مرکز جوش شروع به کاهش می‌کند.

تنش پسماند محیطی طولی که دارای ماهیت فشاری می‌باشد، در ناحیه جوش شدت بیشتری دارد که با دور شدن از این ناحیه از شدت آن کاسته می‌شود. این تنش در فاصله حدود 20 میلی‌متری از خط جوش تغییر ماهیت داده و حالت کششی به خود می‌گیرد و دوباره شروع به کاهش و به مقدار صفر میل می‌کند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

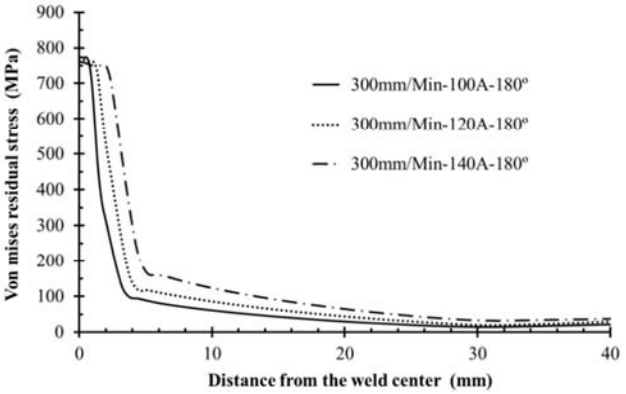

Fig. 15 Von Mises residual stress in the welding progress speed of 300mm/Min

شکل 15 تنش پسماند فون میسز در سرعت پیش‌روی 300 میلی‌متر بر دقیقه

با توجه به "شکل‌های 16 و 17" می‌توان مشاهده کرد که با افزایش شدت جریان از 100 به 120 آمپر، حداکثر تنش پسماند محیطی طولی در حالت‌های دوم و پنجم نسبت به حالت‌های اول و چهارم در حدود 45 و 1 مگاپاسکال (معادل 25.6% و 0.4%) افزایش را نشان می‌دهند. این مقدار با افزایش شدت جریان از 120 به 140 آمپر، در حالت‌های سوم و ششم نسبت به حالت‌های دوم و پنجم در حدود 36 و 52 مگاپاسکال (معادل 16.3% و 20.3%) افزایش را نشان می‌دهند. با افزایش شدت جریان ناحیه نزدیک جوش از تنش پسماند محیطی طولی بیشتری برخوردار است. حداکثر تنش در مرکز جوش است که با دور شدن از آن تنش شروع به کاهش می‌کند. با خارج شدن از خط جوش تنش مقداری افزایش را نشان می‌دهد و دوباره شروع به کاهش می‌کند. در فاصله 20 تا 23 میلی‌متری تنش تغییر ماهیت داده و حالت کششی به خود می‌گیرد و سپس به مقدار صفر همگرا می‌شود.

حداکثر تنش پسماند محیطی عرضی نیز که دارای ماهیت کششی است، با افزایش شدت جریان در فاصله دورتری از مرکز جوش مشاهده می‌شود (شکل‌های 18 و 19). این تنش با دور شدن از خط جوش شروع به کاهش می‌کند که در ناحیه نزدیک به خط جوش، شدت کاهش تنش زیاد است. سپس تنش در فاصله حدود 3 تا 5 میلی‌متری از خط جوش تغییر ماهیت داده و حالت فشاری به خود می‌گیرد و دوباره شروع به کاهش کرده و به صفر میل می‌کند. با افزایش شدت جریان از 100 به 120 آمپر، حداکثر تنش پسماند محیطی عرضی در حالت‌های دوم و پنجم نسبت به حالت‌های اول و

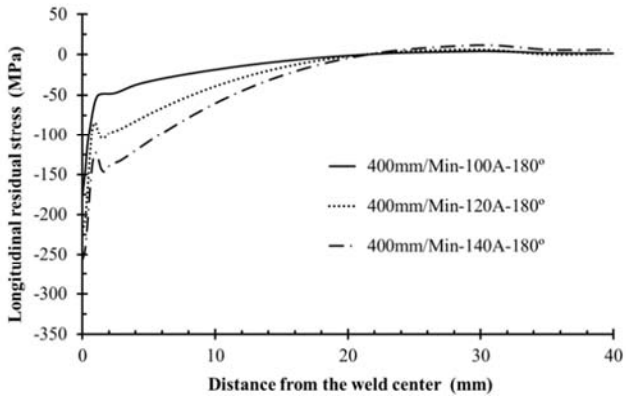

Fig. 16 Longitudinal residual stress in the welding progress speed of 400mm/Min

شکل 16 تنش پسماند محیطی طولی در سرعت پیش‌روی 400 میلی‌متر بردقیقه

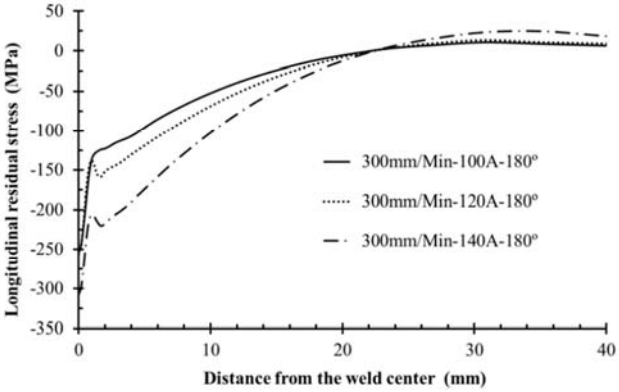

Fig.17 Longitudinal residual stress in the welding progress speed of 300mm/Min

شکل 17 تنش پسماند محیطی طولی در سرعت پیش‌روی 300 میلی‌متر بردقیقه

چهارم در حدود 115 و 25 مگاپاسکال (معادل 17.7% و 3.2%) افزایش را نشان می‌دهند. این مقدار با افزایش شدت جریان از 120 به 140 آمپر، در حالت‌های سوم و ششم نسبت به حالت‌های دوم و پنجم حدود 32 و 13 مگاپاسکال (معادل 4.18% و 1.6%) افزایش را نشان می‌دهند.

شدت جریان بیشترین تاثیر را بر روی تنش پسماند محیطی طولی دارد. این تاثیر در افزایش شدت جریان از 100 به 120 آمپر محسوس‌تر است، در واقع زمانی که شدت جریان از 100 به 120 آمپر افزایش پیدا می‌کند، گرمای ورودی مخصوص ناشی از جوش‌کاری افزایشی در حدود 19.7% را از خود نشان می‌دهد، که این مقدار با افزایش شدت جریان از 120 به 140 آمپر به حدود 16.3% می‌رسد.

4-2-2- تاثیر سرعت پیش‌روی

کاهش سرعت پیش‌روی موجب می‌شود حداکثر مقدار تنش پسماند فون میسز در فاصله دورتری از مرکز جوش ایجاد شود، در حالیکه بر مقدار حداکثر تنش اثر محسوسی ندارد. در واقع می‌توان گفت، که شدت تنش به نواحی مجاور کشیده می‌شود و منطقه بیشتری تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرند. در شدت جریان 100 آمپر برای حالت‌های چهارم و اول (شکل 20) و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، حداکثر تنش پسماند فون میسز درحالت چهارم نسبت به حالت اول در حدود 20 مگاپاسکال (معادل 2.64%) افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در شدت جریان 120 آمپر حداکثر تنش پسماند فون میسز در حالت پنجم نسبت به

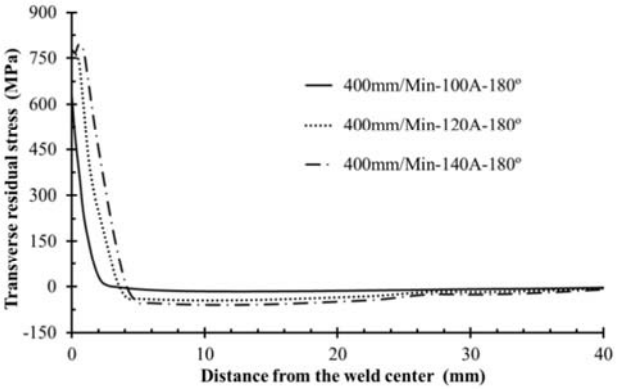

Fig. 18 Transversal residual stress in the welding progress speed of 400mm/Min

شکل 18 تنش پسماند محیطی عرضی در سرعت پیش‌روی 400 میلی‌متر بر دقیقه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

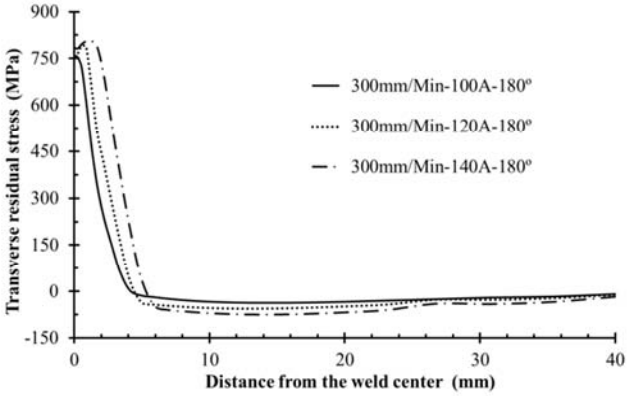

Fig. 19 Transversal residual stress in the welding progress speed of 300mm/Min

شکل 19 تنش پسماند محیطی عرضی درسرعت پیش‌روی 300 میلی‌متر بردقیقه

حالت دوم در حدود 5 مگاپاسکال (معادل 0.65%) کاهش پیدا می‌کند. در شدت جریان 140 آمپر نیز برای حالت‌های ششم و سوم در حدود 12 مگاپاسکال (معادل 1.55%) کاهش را نشان می‌دهد (شکل‌های 21 و 22).

تاثیر تغییر سرعت پیش‌روی جوش بر تنش پسماند محیطی طولی در شدت جریان‌های 100، 120 و 140 آمپر در شکل‌های 23، 24 و 25 در زاویه 180 درجه نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با کاهش سرعت پیش‌روی منطقه نزدیک به مرکز جوش تحت تاثیر تنش بیشتری قرار می‌گیرد و شدت کاهش تنش نیز تا حدودی افزایش پیدا می‌کند. در شدت جریان‌های 120 و 140 آمپر، با کاهش سرعت پیش‌روی کاهش تنش با شیب بیشتری صورت می‌گیرد، همچنین با خارج شدن از خط جوش تنش مقداری افزایش (پرشی) پیدا می‌کند و دوباره به کاهش خود ادامه می‌دهد. سپس تغییر ماهیت داده و حالت کششی به خود می‌گیرد تا این که به صفر میل کند.

در شدت جریان 100 آمپر برای حالت‌های چهارم و اول و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، حداکثر تنش پسماند محیطی طولی درحالت چهارم نسبت به حالت اول در حدود 79 مگاپاسکال (معادل 44%) افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در شدت جریان 120 آمپر و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، مشخص می‌شود حداکثر تنش پسماند محیطی طولی درحالت پنجم نسبت به حالت دوم در حدود 35 مگاپاسکال (معادل 15.83%) افزایش پیدا می‌کند. در شدت جریان 140 آمپر برای حالت‌های ششم و سوم این مقدار

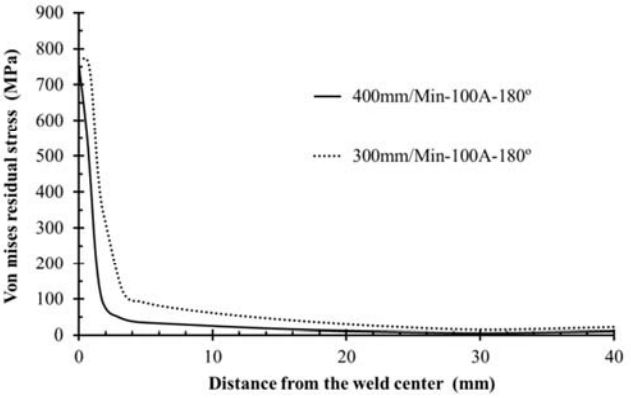

Fig. 20 Von Mises residual stress in the 100A current

شکل 20 تنش پسماند فون میسز در شدت جریان 100 آمپر

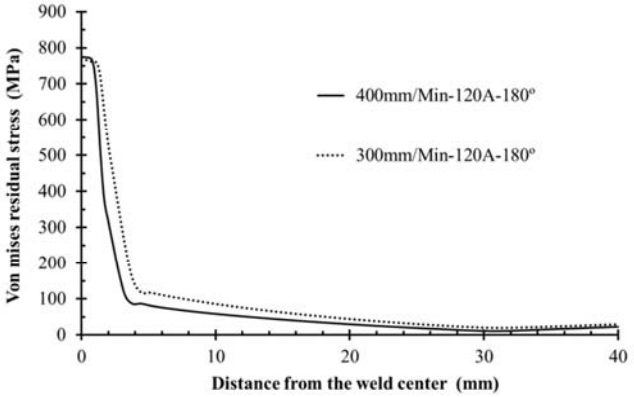

Fig. 21 Von Mises residual stress in the 120A current

شکل 21 تنش پسماند فون میسز در شدت جریان 120 آمپر

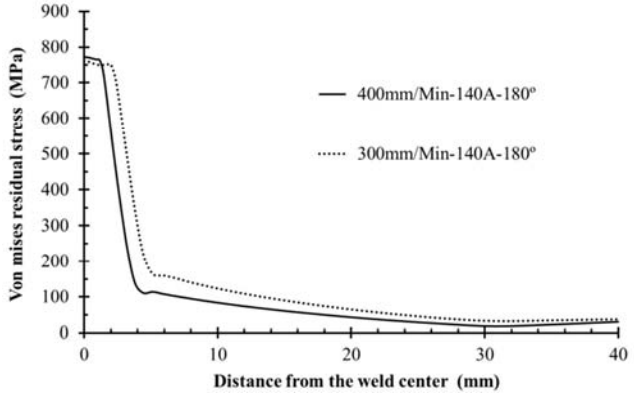

Fig. 22 Von Mises residual stress in the 140A current

شکل 22 تنش پسماند فون میسز در شدت جریان 140 آمپر

با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه در حدود 51 مگاپاسکال (معادل 19.84%) افزایش را نشان می‌دهد.

تاثیر تغییر سرعت پیش‌روی جوش بر تنش پسماند محیطی عرضی نیز در شدت جریان‌های 100، 120 و 140 آمپر در شکل‌های 26، 27 و 28 در زاویه 180 درجه نشان داده شده است. می‌توان مشاهده کرد که با کاهش سرعت پیش‌روی، مقدار حداکثر تنش افزایش و در فاصله دورتری از مرکز جوش به وجود می‌آید و به تبع آن تنش به نواحی کناری کشیده می‌شود و منطقه بیشتری تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد. این تنش با دور شدن از خط جوش تغییر ماهیت داده و حالت فشاری به خود می‌گیرد و سپس به صفر همگرا می‌شود. سرعت همگرا شدن در سرعت پیش‌روی 300 میلی‌متر بر دقیقه بیشتر است.

در شدت جریان 100 آمپر برای حالت‌های چهارم و اول و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، حداکثر تنش پسماند محیطی عرضی درحالت چهارم نسبت به حالت اول در حدود 136 مگاپاسکال (معادل 21%) افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در شدت جریان 120 آمپر و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، مشخص می‌شود حداکثر تنش پسماند محیطی عرضی درحالت پنجم نسبت به حالت دوم در حدود 46 مگاپاسکال (معادل 6%) افزایش پیدا می‌کند. در شدت جریان 140 آمپر برای حالت‌های ششم و سوم این مقدار با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه در حدود 27 مگاپاسکال (معادل 3.4%) افزایش را نشان می‌دهد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

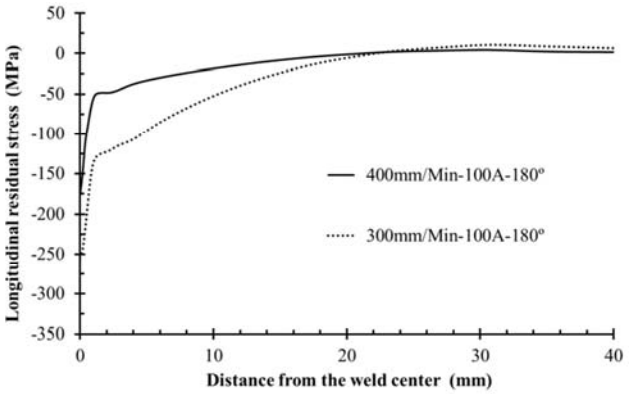

Fig. 23 Longitudinal residual stress in the 100A current

شکل 23 تنش پسماند محیطی طولی در شدت جریان 100 آمپر

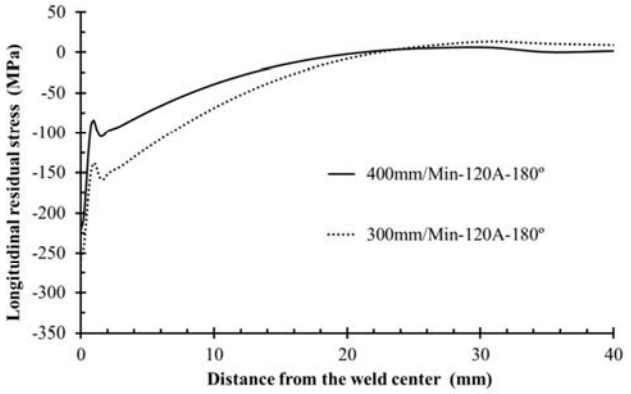

Fig. 24 Longitudinal residual stress in the 120A current

شکل 24 تنش پسماند محیطی طولی در شدت جریان 120 آمپر

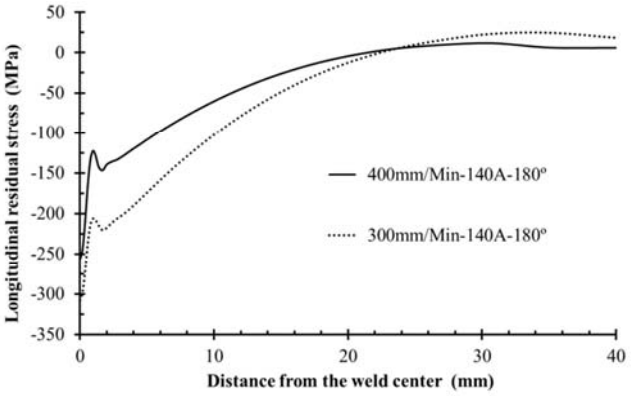

Fig. 25 Longitudinal residual stress in the 140A current

شکل 25 تنش پسماند محیطی طولی در شدت جریان 140 آمپر

سرعت پیش‌روی جوش نیز بیشترین تاثیر را بر روی تنش پسماند محیطی طولی دارد. کاهش سرعت پیش‌روی موجب افزایش 33 درصدی گرمای ورودی مخصوص به منطقه جوش می‌شود. به‌صورتی‌که این گرمای ورودی مخصوص در شدت جریان 100 آمپر بیشترین تاثیر را بر افزایش تنش پسماند محیطی طولی خواهد داشت.

4-3- نتایج اعوجاج

در ادامه اعوجاج ناشی از جوش‌کاری نیز با توجه به تغییرات شدت جریان و سرعت پیش‌روی مورد بررسی قرار گرفته است.

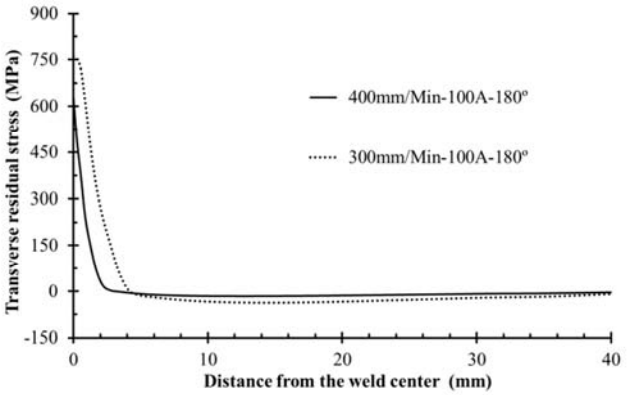

Fig. 26 Transversal residual stress in the 100A current

شکل 26 تنش پسماند محیطی عرضی در شدت جریان 100 آمپر

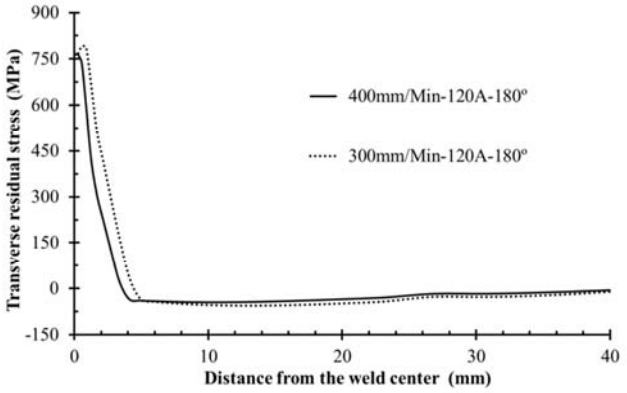

Fig. 27 Transversal residual stress in the 120A current

شکل 27 تنش پسماند محیطی عرضی در شدت جریان 120 آمپر

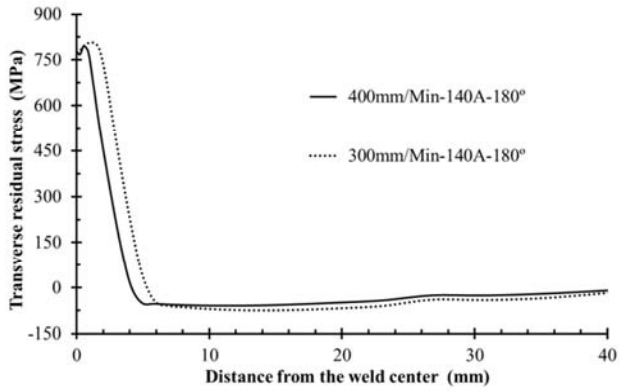

Fig. 28 Transversal residual stress in the 140A current

شکل 28 تنش پسماند محیطی عرضی در شدت جریان 140 آمپر

4-3-1- تاثیر شدت جریان

اعوجاج ناشی از جوش‌کاری در دو سرعت 400 و 300 میلی‌متر بر دقیقه در شدت جریان‌های مختلف ارائه شده است. همان‌طور که در "شکل‌های 29 و 30" مشاهده می‌شود، مقدار اعوجاج برحسب شدت جریان در حالت‌های مختلف جوش‌کاری مقایسه شده است. با دور شدن از مرکز جوش مقدار اعوجاج شروع به افزایش می‌کند، سپس با رسیدن به بیشترین مقدار اعوجاج شروع به کاهش می‌کند. سرعت کاهش اعوجاج با دور شدن از مرکز جوش کمتر می‌شود و در فاصله حدود 40 میلی‌متری از آن به حداقل مقدار ممکن می‌رسد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

از طرفی با افزایش شدت جریان، اعوجاج ناشی از جوش‌کاری بیشتر می‌شود و مقدار حداکثر آن در فاصله دورتری از مرکز جوش مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش شدت جریان شیب افزایش اعوجاج بیشتر می‌شود و با سرعت بیشتری به مقدار حداکثر می‌رسد، پس از رسیدن به مقدار حداکثر اعوجاج نیز با سرعت بیشتری شروع به کاهش می‌کند.

در حالت دوم نسبت به حالت اول و با افزایش شدت جریان از 100 به 120 آمپر، حداکثر اعوجاج در حدود 0.086 میلی‌متر (معادل132%) افزایش را نشان می‌دهد. در حالت سوم نسبت به حالت دوم نیز با افزایش شدت جریان از 120 به 140 آمپر، حداکثر اعوجاج در حدود 0.092 میلی‌متر (معادل 61%) افزایش را نشان می‌دهد. در حالت پنجم نسبت به حالت چهارم و با افزایش شدت جریان از 100 به 120 آمپر، حداکثر اعوجاج حدود 0.1 میلی‌متر (معادل66%) افزایش می‌یابد. همچنین در حالت ششم نسبت به حالت پنجم با افزایش شدت جریان از 120 به 140 آمپر، حداکثر اعوجاج در حدود 0.089 میلی‌متر (معادل35%) افزایش خواهد داشت.

4-3-2- تاثیر سرعت پیش‌روی

تاثیر تغییر سرعت پیش‌روی جوش بر اعوجاج در شدت جریان‌های 100، 120 و 140 آمپر در شکل‌های 31، 32 و 33 در زاویه 180 درجه نشان داده شده است. در شدت جریان 100 آمپر برای حالت‌های چهارم و اول و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، حداکثر اعوجاج درحالت چهارم نسبت به حالت اول در حدود 0.086 میلی‌متر (معادل 132%) افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در شدت جریان 120 آمپر و با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه، مشخص می‌شود

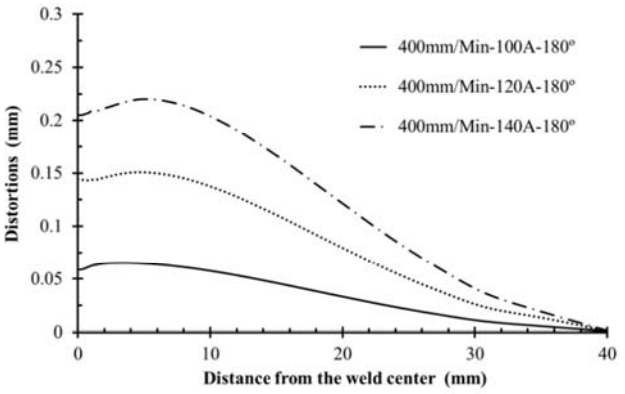

Fig. 29 Distortion in the welding progress speed of 400mm/Min

شکل 29 اعوجاج در سرعت پیشروی جوش 400 میلی‌متر بر دقیقه

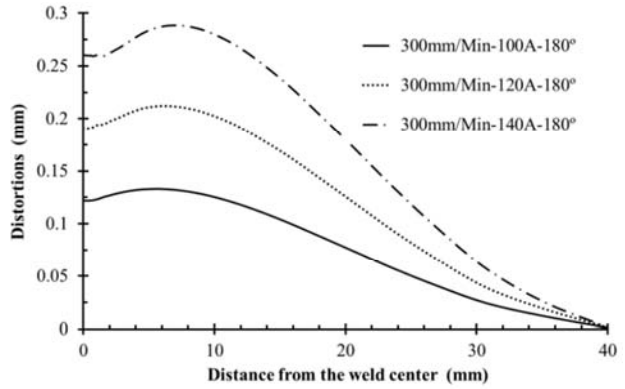

Fig. 30 Distortion in the welding progress speed of 300mm/Min

شکل 30 اعوجاج در سرعت پیشروی جوش 300 میلی‌متر بر دقیقه

حداکثر اعوجاج درحالت پنجم نسبت به حالت دوم در حدود 0.1 میلی‌متر (معادل 67%) افزایش پیدا می‌کند. در شدت جریان 140 آمپر برای حالت‌های ششم و سوم این مقدار با کاهش سرعت پیش‌روی جوش از 400 به 300 میلی‌متر بر دقیقه در حدود 0.097 میلی‌متر (معادل 40%) افزایش را نشان می‌دهد.

5-نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش المان محدود تاثیر مشخصه‌های جوش‌کاری تیگ در شش حالت مختلف جوش‌کاری بر روی توزیع دما، تنش‌های پسماند و اعوجاج ناشی از جوش کاری یک مخزن کروی از جنس آلیاژ تیتانیوم

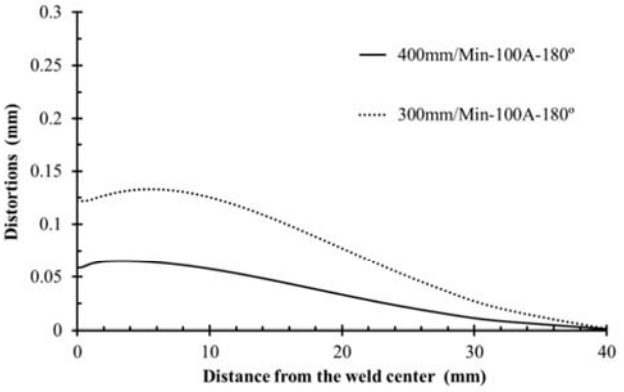

Fig. 31 Distortion in the 100A current

شکل 31 اعوجاج در شدت جریان 100 آمپر

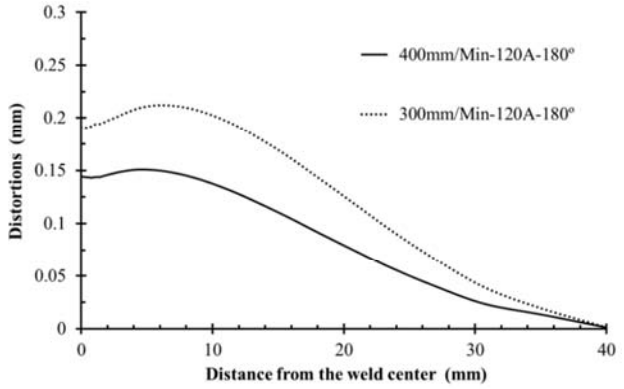

Fig. 32 Distortion in the 120A current

شکل 32 اعوجاج در شدت جریان 120 آمپر

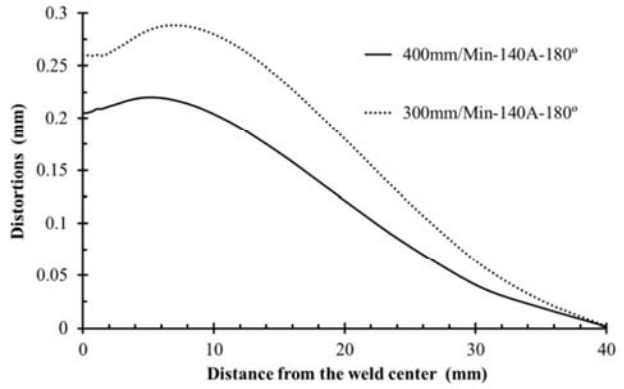

Fig. 33 Distortion in the 140A current

شکل 33 اعوجاج در شدت جریان 140 آمپر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]

(Ti6Al4V) بررسی شده است.

پس از بررسی نتایج زیر بدست آمده است:

- افزایش شدت جریان موجب افزایش دمای حداکثر به میزان حدود 13.47% تا 23.5% می‌شود که مقدار این افزایش دمای حداکثر، با کاهش سرعت پیش‌روی جوش بین 18.4% تا 27.8% است.
- مشخصه‌های جوش‌کاری بر روی حداکثر تنش پسماند فون‌میسز اثر محسوسی ندارند (کمتر از 2.64%)، ولی با افزایش مقدار گرمای ورودی ناشی از جوش‌کاری تنش پسماند فون‌میسز در فاصله دورتری از خط جوش کاهش پیدا می‌کند.

مشخصه‌های شدت جریان و سرعت پیش‌روی بیشترین تاثیر را روی تنش پسماند محیطی طولی دارند. حداکثر مقدار این تنش که دارای ماهیت فشاری می‌باشد، با افزایش شدت جریان و کاهش سرعت پیش‌روی به ترتیب، حداکثر بین 25.6% و 44% افزایش پیدا می‌کند.

- تنش پسماند محیطی عرضی که دارای ماهیت کششی است و مقدار آن در بیشترین حالت در حدود تنش تسلیم فلز پایه می‌باشد، با افزایش شدت جریان، حداکثر به میزان 17.7% افزایش را از خود نشان می‌دهد در حالی‌که با کاهش سرعت پیش‌روی، افزایش این تنش حداکثر به حدود 21% می‌رسد.
- اعوجاج ناشی از جوش‌کاری تیگ نیز با افزایش شدت جریان در حدود 35% تا 132% افزایش پیدا می‌کند که این مقدار با کاهش سرعت پیش‌روی بین 40% تا 132% می‌رسد.

6- مراجع

[1] R. R. Boyer, Attributes, characteristics, and applications of titanium and its alloys, *Journal of Materials*, Vol. 62, No. 5, pp. 21-24, 2010.

[2] G. Lutjering, J. C. Williams, *Titanium 2th edition*, Berlin Heidelberg, NewYork, Springer-Vereg, pp. 87-104, 2007.

[3] T. Otani, Titanium Welding Technology, *Nippon Steel Tecnichal Report*, No. 95, pp. 88-92, USA,2007.

[4] H. Vemanaboina, S. Akella, R. K. Buddu, Welding process simulation model for temperature and residual stress analysis, *Procedia Materials Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 1539-1546, 2014.

[5] D. Deng, Sh. Kiyoshima, FEM prediction of welding residual stresses in a SUS304 girth-welded pipe with emphasis on stress distribution near weld start/end location, *Computational Materials Science*, Vol. 50, No. 3, pp. 612–621, 2010.

[6] S. A. A. Akbari Mousavi, R. Miresmaeili, Experimental and numerical analyses of residual stress distributions in TIG welding process for 304L stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 208, No. 1, pp. 383–394, 2008.

[7] D. Akbari, I. Sattari-Far, Effect of the welding heat input on residual stresses in butt-welds of dissimilar pipe joints, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 86, No. 11, pp. 769-776, 2009.

[8] W. Li, T. Ma, J. Li, Numerical simulation of linear friction welding of titanium alloy Effects of processing parameters, *Materials and Design*, Vol. 31, No. 3, pp. 1497–1507, 2010.

[9] C. Liu, C. L. Dong, Internal residual stress measurement on linear friction welding of titanium alloy plates with contour method, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 24, No. 5, pp. 1387−1392, 2014.

[10] J. Lesniewski, A. Ambroziak, Modelling the friction welding of titanium and tungsten pseudoalloy, *Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 142-150, 2014.

[11] P. Chang, T. Teng, Numerical and experimental investigations on the residual stresses of the butt-welded joints, *Computational Materials Science*, Vol. 29, No. 4, pp. 511-522, 2004.

[12] M. Ghassabzadeh, H. Ghassemi, M. Nahali, Study of welding temperture history by dual reciprocity boundary element method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 3, pp. 95-103, 2011. (in Persian فارسی)

[13] J. Goldak, A. Chakaravarti, M. Bibby, A new finite element model for welding heat sources, *Metallurgical Transaction*, Vol. 15B, pp. 299-305, 1984.

[14] V. Kariminia, I. Satarifar, Investigating the influence of effective parameters on the residual stresses in circumferentially arc welded thin walled cylinders of aluminume alloy series 5000, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 3, pp. 377-386, 2014. (in Persian فارسی)

[15] S. Nokhodchi, S. Akbari Iraj, A. Shokuhfar, H. Rezazadeh, Numerical and experimental study of temperature and residual stress in multi-pass welding of two stainless steel plates having different thicknesses, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 9, pp. 81-89, 2014. (in Persian فارسی)

[16] E. Nateghi, A. Gorji Volukola, Study on the effect of weld configuration geometry to distribution of residual stress and and temperature in the welded patrs of stainless steel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 11, pp. 105-116, 2015. (in Persian فارسی)

[17] S. H. Zargar, M. Farahani, M. K. Besharati Givi, Investigation on the effects of welding parameters on the submerged arc welding efficiency, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No. 12, pp. 79-87, 2014. (in Persian فارسی)

[18] X. K. Zhu, Y. J. Chao, Effects of temperture dependent material propeties on welding simulation, *Computers and Structures*, Vol. 80, No. 11, pp. 967-976, 2002.

[19] R. Boyer, G. Welsch, E. W. Colling, Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, *ASM International, Materials Park*, OH, 1994.

[20] M. R. Farahani, I. Satarifar, Study the effect of number of welding passes on the residual stresses in butt-welded plates, *2thinternatinal and 8th national conference on manufacturing engineering*, Tehran, Iran, 2006. (in Persian فارسی)

[21] *ERTi-5(6Al-4V) Welding Wire and Rod, U.S.ALLOY Co &* AWS, Washington, USA, 2009, Accessed on 25 April 2015; http://www.weldingwire.com.

[22] D. Deng, H. Murakawa, Numerical simulation of temperature field and residual stress in multi-pass welds in stainless steel pipe and comparison with experimental measurements, *Computational Materials Science*, Vol. 37, No. 3, pp. 269-277, 2006.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.19.2]