

بررسی تجربی و عددی تأثیر شکل جوش در انتهای اتصال سپری بر تنش‌های پسماند

رحمن سیفی^{۱*}، سید محسن موسوی ریگی^۲، وحید آذری فر^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
واژگان کلیدی: اتصال سپری، جوش کامل و ناقص، تنش پسماند، سوراخ کاری مرکزی، روش المان محدود.	جوش ماهیچه‌ای به شکل اتصالات سپری و لب به لب در سازه‌های فولادی به صورت گسترده استفاده می‌شود. بنابراین تخمین میزان و نحوه توزیع تنش‌های پسماند در این اتصالات ضروری به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر توزیع تنش‌های پسماند مربوط به یک اتصال سپری مورد بررسی قرار گرفته است. انتهای اتصال به سه حالت مختلف ناقص، کامل با انحنا و بدون انحنا جوش کاری شده است. تحلیل عددی با روش اجزاء محدود و تحلیل تجربی با استفاده از روش سوراخ کاری مرکزی انجام شده است. نتایج عددی و تجربی مطابقت مطلوبی دارند. جوش کامل باعث کاهش تنش‌های پسماند طولی در ناحیه میانی اتصال و افزایش تنش‌های پسماند عرضی در ناحیه انتهایی می‌شود.

۱- مقدمه

تاکنون مطالعات زیادی برای بررسی توزیع تنش پسماند در ناحیه جوش در اتصالات سپری انجام شده است. در گذشته بیشتر تحقیقات به صورت تجربی انجام می‌شد که علاوه بر محدودیت‌ها، نیاز به هزینه بالایی هم داشتند. اما امروزه روش‌های عددی توانسته‌اند مسائل را با دقت خوبی تحلیل کنند. از آنجایی که با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی نمی‌توان توزیع کامل تنش‌های پسماند و تغییر شکل را تعیین کرد، بنابراین استفاده از روش‌های المان محدود در شبیه‌سازی فرایند جوش کاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با پیشرفت رایانه‌ها و نرم‌افزارهای عددی تحقیقات کامل‌تر و گسترده‌تری بر روی اتصالات سپری شکل انجام شده است.

گلداک [۲] جهت شبیه‌سازی منبع حرارتی از یک مدل حرارتی دو بیضی‌گون استفاده کرد. آپینگ و وینگ [۳] در اتصال سپری، نواحی که تنش پسماند ماکزیمم در آن‌ها ایجاد می‌شود را مشخص کردند. همچنین اثرات

تنش‌های پسماند، تنش‌هایی هستند که در یک جسم با وجود حذف همه بارهای خارجی، وجود خواهند داشت. تنش‌های پسماند، تنش‌های میکروسکوپی داخل ماده ناشی از تغییر فرم پلاستیک می‌باشند. تنش‌های پسماند در یک جسم که قبلاً در معرض تغییرات دمایی غیریکنواخت نظیر جوش کاری قرار گرفته است، تنش‌های پسماند حرارتی^۱ نامیده می‌شوند [۱]. وجود تنش پسماند کششی در قطعات به علت اضافه شدن به تنش ناشی از بارهای اعمالی، نامطلوب است. برای کاهش اثرات آن، اطلاع از نحوه توزیع آن به خصوص در محل تمرکز تنش می‌تواند مفید باشد.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: rseifi@basu.ac.ir

۱. دانشیار، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲. کارشناس ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

¹ Thermal residual stresses

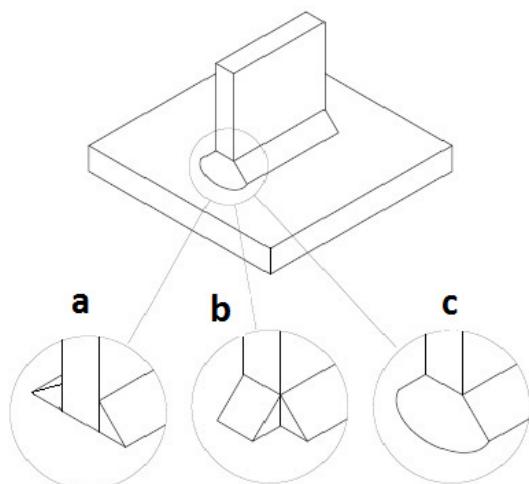
اندازه‌گیری تنش‌های پسماند به روش سوراخ‌کاری مرکزی^۱ یکی از روش‌های تجربی و استاندارد برای تعیین توزیع تنش پسماند در راستای ضخامت می‌باشد و در این تحقیق از آن استفاده شده‌است.

انتهای جوش در یک اتصال سپری (جوش ماهیچه‌ای T شکل) با توجه به ایجاد تمرکز تنش در این نواحی از اهمیت خاصی برخوردار است. در اغلب تحقیقات انجام شده به اثرات نحوه جوش‌کاری انتهای اتصال پرداخته نشده‌است لذا در این تحقیق به بررسی تجربی و عددی اثر نوع انتهای جوش سپری بر توزیع تنش پسماند طولی و عرضی در راستای خط جوش و عمود بر آن بررسی شده‌است.

۲- تحلیل تجربی

۲-۱- نمونه‌ها و روش جوش‌کاری

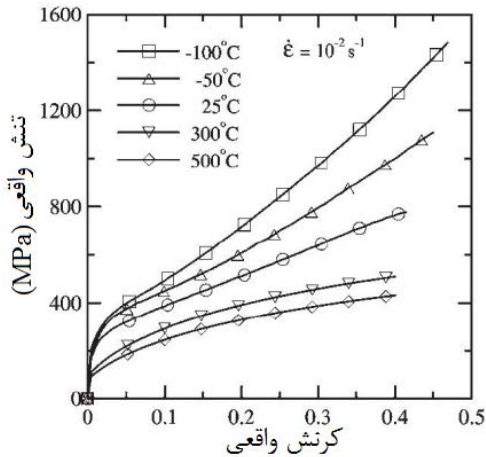
همان‌طور که در شکل ۱ نشان‌دهنده شده‌است، انتهای اتصال سپری معمولاً به سه حالت مختلف جوش‌کاری می‌شود. پیش‌بینی توزیع و مقادیر تنش‌های پسماند برای این حالت‌ها هدف تحقیق حاضر می‌باشد.



شکل ۱- انواع هندسه جوش در انتهای اتصال سپری
(a) جوش ناقص (b) جوش کامل بدون انحنا (c) جوش کامل با انحنا

عواملی مانند ترتیب جوش‌کاری، اثرات پیش‌گرم‌کنندگی و جهت جوش‌کاری را بر ایجاد تنش‌های پسماند مورد تحلیل قرار دادند. تنگ و همکاران [۴] نشان دادند که با افزایش ضخامت فلز پایه مقدار تنش‌های پسماند کششی در نزدیکی ریشه جوش افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین اثرات پارامترهای مختلفی مانند میزان عمق نفوذ و قیود مکانیکی بر تنش‌های پسماند و اعوجاج را بررسی نمودند. گانن و همکارانش [۵] برای یک اتصال سپری، اثرات ترتیب مسیرهای جوش‌کاری را بررسی کرده و نشان دادند که با جوش‌کاری در مسیرهای مخالف هم، مقادیر بیشتری از تنش پسماند ایجاد می‌شود. مصیب نژاد و همکاران [۶] به بررسی عددی و تجربی توزیع تنش پسماند در اتصال لوله-فلنج با جوش چندپاسی پرداختند. آن‌ها از مدل متقارن محوری استفاده نمودند و نشان دادند که توزیع تنش در قسمت لوله به نتایج جوش لب‌به‌لب شباهت دارد. هادی پور و مولوی [۷] توزیع تنش پسماند و انحراف از خط عمود در بال را در جوش ماهیچه‌ای تحلیل نمودند. در این تحقیق اثرات ضخامت، حرارت ورودی و وجود مهاربند بر این دو پارامتر بررسی شده‌است. حافظی و همکاران [۸] از آنالیز المان محدود الاستوپلاستیک حرارتی در تحلیل تنش‌های پسماند حاصل از جوش‌کاری قوسی برای اتصال‌های L شکل و گوشه‌ای از جنس فولاد استفاده کردند. در تحقیق دیگری با استفاده از شبیه‌سازی المان محدود سه‌بعدی، انتقال حرارت گذرا، تنش‌های پسماند تغییرشکل‌های ناشی از جوش‌کاری در اتصال جوش گوشه‌ای به‌دست آمده‌است [۹]. برای ایجاد حوضچه جوش از روش مرگ المان‌های منطقه جوش در ابتدا جوش‌کاری و زنده‌شدن آن‌ها به‌محض رسیدن الکتروود جوش‌کاری به محل استفاده شده‌است. خواص ترمومکانیکی به‌صورت متغیر با دما اعمال شده و پس از انجام تحلیل انتقال حرارت گذرا و با استفاده از تاریخچه حرارتی به‌دست آمده، تحلیل مکانیکی ترموالاستوپلاستیک انجام گرفته‌است.

¹ Central Hole Drilling Method

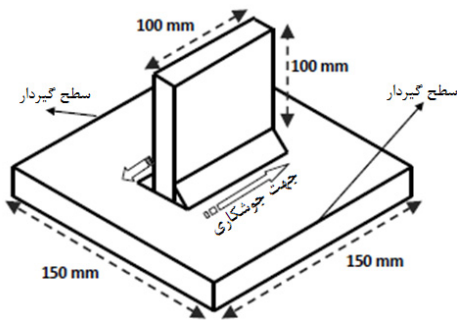


شکل ۲-ب- منحنی تنش-کرنش واقعی فولاد AISI 304 در دما و نرخ کرنش مختلف [۱۰]

ابعاد ورق پایه $150 \times 150 \times 10$ میلی‌متر و ورق بال نیز $100 \times 100 \times 8$ میلی‌متر می‌باشد.

با توجه به شکل ۱ در مدل a، انتهای اتصال به صورت جوش ناقص است. در مدل b انتهای اتصال کامل ولی بدون مسیر انحنائی شکل جوش کاری شده است. انتهای اتصال برای مدل c، دارای جوش کامل و دارای انحنا می‌باشد.

شکل ۳ هندسه مدل، ابعاد، قیدهای اعمال شده و جهت جوش کاری را نشان می‌دهد.



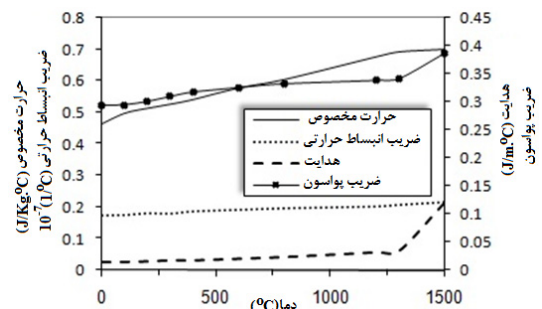
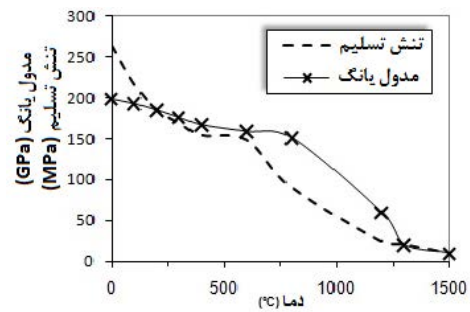
شکل ۳- هندسه، ابعاد، شرایط مرزی و جهت جوش کاری

با توجه به ضخامت ورق‌های استفاده شده، همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده، ضخامت جوش ۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. معمولاً در مورد اتصال قطعات سپری شکل با ضخامت متوسط سعی می‌شود که لبه‌های قطعه عمودی یخ زده شود و پس از مونتاژ، شیار با چند

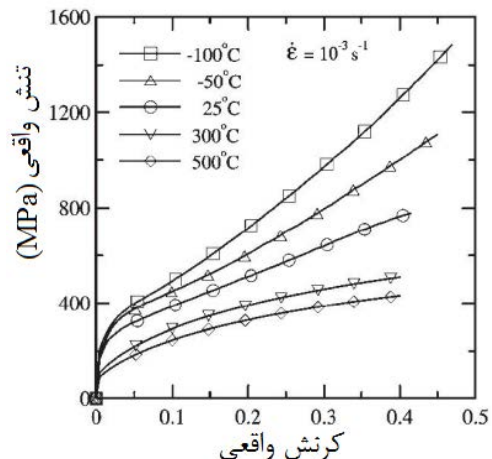
ورق‌ها از جنس فولاد زنگ نزن AISI 304 تهیه شده‌اند. فلز پایه و فلز جوش هم جنس منظور شده‌اند. درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده فولاد AISI 304 در جدول ۱ و خصوصیات مکانیکی و حرارتی آن در شکل ۲ نشان داده شده است [۶ و ۱۰].

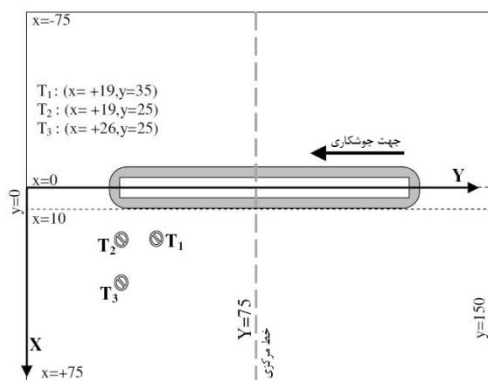
جدول ۱- درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده فولاد زنگ نزن AISI 304 [۶]

عنصر	C	SI	Mn	P	S	Cr	Mo
درصد	۰/۰۷	۱/۰	۲/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۱۸	۲/۲۵
وزنی							



شکل ۲-الف- خصوصیات مکانیکی و حرارتی فولاد AISI304 [۶]



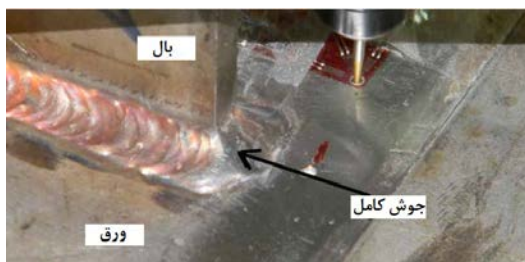


شکل ۵- محل نصب ترموکوپل‌ها جهت اندازه‌گیری دما (مقادیر به میلی‌متر است)

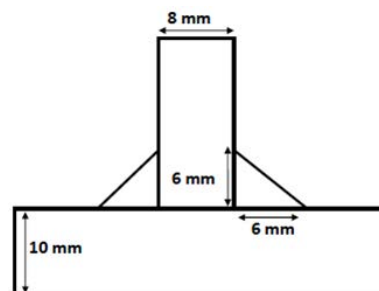
۲-۳- اندازه‌گیری تنش‌های پسماند

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، در این تحقیق جهت اندازه‌گیری تنش‌های پسماند از روش سوراخ‌کاری مرکزی (CHD) استفاده شده است. در این روش، حجمی از ماده به شکل استوانه توسط مته مخصوص برداشته شده و تغییر شکل‌های ناشی از آزاد شدن تنش‌های پسماند توسط کرنش سنج‌هایی که در روی سطح نمونه نصب شده‌اند، اندازه‌گیری می‌گردد. سپس با استفاده از روابط الاستیک بر اساس استاندارد ASTM E837 و با توجه به تمرکز تنش در اطراف سوراخ تنش‌های پسماند بر اساس کرنش‌های اندازه‌گیری شده تعیین می‌شوند.

کرنش‌سنج استفاده شده از نوع رزت سه‌عنصری (FRAS-11-2) و مشخصات فنی آن شامل ابعاد 9×9 میلی‌متر، مقاومت اسمی ۱۲۰ اهم و گیج فاکتور ۲ می‌باشد. شکل ۶ نحوه سوراخ‌کاری را نشان می‌دهد. سوراخ‌کاری تا عمق ۲ میلی‌متری از سطح فلز و در گام‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌متری انجام شده است.



مرحله جوش‌دادن پر شود در این‌صورت بهترین کیفیت جوش با اتصال کامل دو قطعه ایجاد می‌شود.

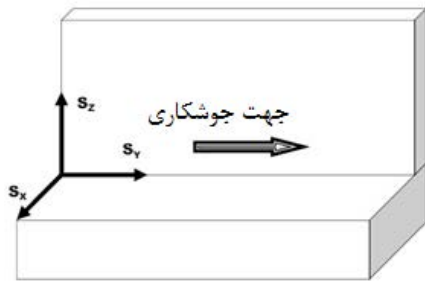


شکل ۴- سطح مقطع و اندازه جوش

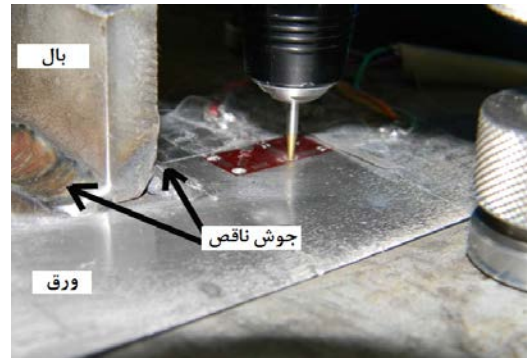
عملیات جوش‌کاری از نوع قوسی با الکتروود تنگستن و محافظ گاز بی‌اثر آرگون (MIG) در دمای محیط و به‌صورت دستی انجام شده است. الکتروود پرکننده از جنس فولاد زنگ‌نزن AISI 304 با قطر $2/6$ میلی‌متر می‌باشد (AWS 5.4). جوش‌کاری با جریان ۱۲۰ آمپر، ولتاژ ۳۰ ولت و با سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه انجام شده است. بازده (η) برای این نوع جوش‌کاری ۷۵ درصد در نظر گرفته شده است [۱۱].

۲-۲- اندازه‌گیری دما

برای اندازه‌گیری دما در هنگام جوش‌کاری از دستگاه دماسنج لیزری مدل DT-8855 که قابلیت اتصال به کامپیوتر را دارد، استفاده شده است. مختصات نقاط اندازه‌گیری در شکل ۵ نشان داده شده است. تغییرات دمایی برای نقاط نشان‌داده برای مدت زمان ۲۰۰ ثانیه ثبت شدند. بدلیل دمای بالا و تاثیرات قوس الکتریکی امکان اندازه‌گیری در نزدیکی خط جوش وجود نداشت.



شکل ۸ - جهات تنش‌های پسماند نسبت به مسیر جوش کاری

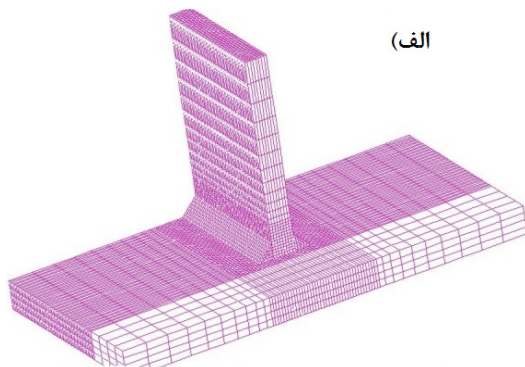


شکل ۶- نحوه سوراخ کاری برای اندازه‌گیری کرنش‌ها

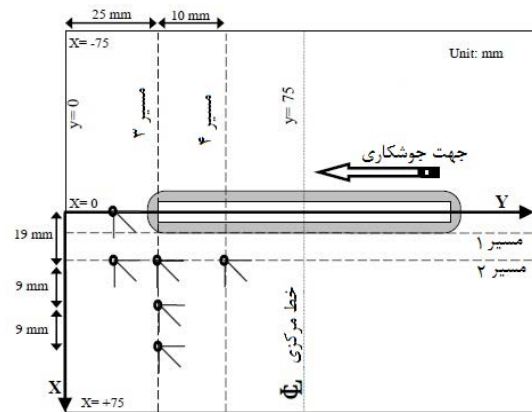
۳- مدل سازی اجزاء محدود

تحلیل عددی به صورت کوپل مستقیم حرارتی مکانیکی به کمک مدل اجزاء محدود سه بعدی در نرم افزار اجزاء محدود SYSWELD ویرایش ۲۰۱۰ انجام شده است. خواص حرارتی و مکانیکی فلز پایه و جوش یکسان فرض شده و در جدول ۲ آورده شده است. برای المان بندی مدل از المان‌های شش وجهی (آجری) سه بعدی با هشت گره استفاده شده است. در شکل ۹-الف المان بندی جوش ناقص (a) با ۳۹۸۰۸ المان آجری و ۳۰۴۹۴ گره نشان داده شده است. این تعداد المان برای اطمینان از صحت نتایج و عدم وابستگی آن به پارامترهای مدل سازی منظور شده است. تغییرات دمای ماکزیمم در این مدل بر حسب تعداد المان در شکل ۹-ب آورده شده است.

المان‌ها در ناحیه جوش ریز هستند و با فاصله گرفتن از ناحیه جوش اندازه المان‌ها بزرگتر می‌شود. تعداد المان‌ها برای مدل‌های b و c به ترتیب ۴۰۳۱۶ و ۴۰۰۰۸ و تعداد گره‌ها نیز ۳۲۸۴۷ و ۳۲۶۱۵ عدد در نظر گرفته شدند.



شکل ۷ محل نصب کرنش سنج‌ها و نیز مسیرهای نمایش نتایج عددی مقادیر تنش‌های پسماند را نشان می‌دهد.



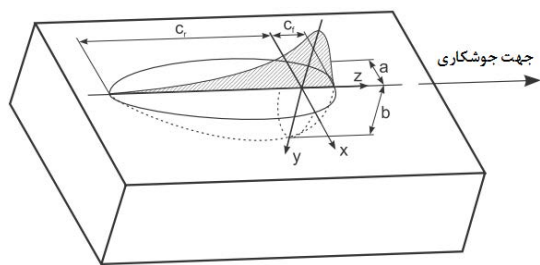
شکل ۷- موقعیت نصب کرنش‌سنج‌ها و مسیرهای نمایش نتایج عددی

مسیر شماره ۱ در امتداد خط جوش و منطبق بر ریشه جوش است. مسیر شماره ۲ در امتداد خط جوش و به فاصله ۹ میلی متری از خط جوش قرار دارد. مسیرهای شماره ۳ و ۴ عمود بر مسیر جوش کاری هستند و در نزدیکی انتهای اتصال قرار گرفته‌اند. همان گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود تنش‌های پسماند در جهت‌های موازی، عمود بر خط جوش و همچنین در جهت ضخامت قطعه ایجاد می‌شوند. این تنش‌ها به ترتیب، تنش‌های طولی^۱ (S_y)، عرضی^۲ (S_x) و ضخامتی^۳ (S_z) نامیده می‌شوند.

¹ - Longitudinal Stresses

² - Transverse Stresses

³ - Through Thickness Stresses



شکل ۱۰- مدل منبع حرارتی دو بیضی گون

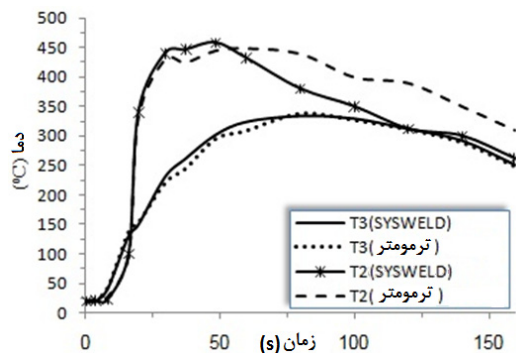
جدول ۲- ضرایب مربوط به منبع حرارتی دو بیضی گون

پارامتر	a_r (mm)	a_f (mm)	b (mm)	c (mm)	f_f	f_r
مقدار	۳	۵	۴/۵	۵	۰/۶	۱/۴

۴- نتایج

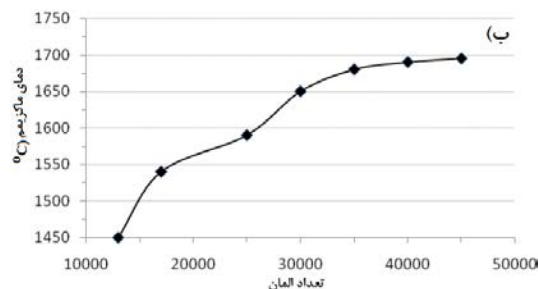
۴-۱- نتایج تحلیل حرارتی

شکل ۱۱ تغییرات دما مربوط به نقاط T_3, T_2 را برای دو حالت تجربی و عددی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، نتایج عددی با تجربی هم‌خوانی مناسبی دارند.



شکل ۱۱- تغییرات دما در نقاط T_2, T_3 (تجربی، عددی)

فاصله نقاط T_3, T_2 از خط جوش به ترتیب برابر با ۹ و ۱۶ میلی‌متر می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۱۱ مشخص است نتایج عددی و تجربی برای نقطه T_3 هم‌خوانی مناسب‌تری دارند. دلیل آن می‌تواند ثابت فرض کردن ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی و منظور نکردن اثر تشعشع در دماهای بالا باشد. همچنین برای مدل a ، تحلیل



شکل ۹- الف) مدل المان محدود (ب) آزمون همگرایی برای مدل a

ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی و تابشی، به صورت ترکیبی برابر 25 W/m^2 و دمای اولیه برابر دمای محیط و 20 درجه سانتیگراد فرض شده است.

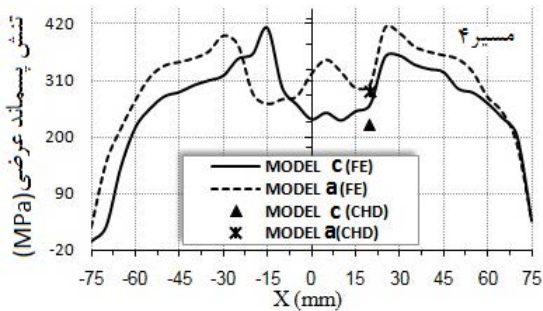
در این تحقیق از مدل حرارتی دوبیضی گون استفاده شده است. باتوجه به شکل ۱۰ حرارت ورودی در دو ناحیه، یکی در جلوی مرکز قوس و دیگری در قسمت پشت مرکز قوس، طبق معادلات ۱ و ۲ به مدل اعمال شده است [۱۱]. معادله ۱ رابطه مقدار شار حرارتی در نیمه جلویی و معادله ۲ رابطه شار حرارتی در نیمه پشتی الکتروود می‌باشد:

$$q_f = \frac{6\sqrt{3}f_f\eta VI}{abc_f\pi\sqrt{\pi}} e^{-3x^2/a^2} e^{-3y^2/b^2} e^{-3z^2/c_f^2}, z > 0 \quad (1)$$

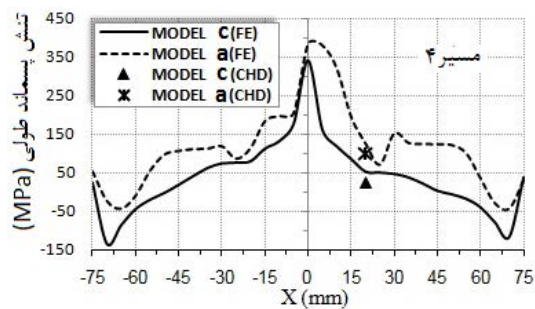
$$q_r = \frac{6\sqrt{3}f_r\eta VI}{abc_r\pi\sqrt{\pi}} e^{-3x^2/a^2} e^{-3y^2/b^2} e^{-3z^2/c_r^2}, z < 0 \quad (2)$$

در این روابط q نرخ شار حرارتی، a, b, c ابعاد حوضچه جوش، V ولتاژ جوش کاری، I جریان جوش کاری، x, y, z فاصله از مبدا مختصات (مرکز قوس) و f_f و f_r ثابت‌های تجربی هستند که برحسب نوع فرایند جوش کاری تعیین می‌شوند. کلیه پارامترهای عددی مربوط به منبع حرارتی دوبیضی گون در جدول ۲ آورده شده است.

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب مقایسه مقادیر تجربی و عددی تنش‌های پسماند عرضی و طولی را در امتداد مسیر ۴ برای مدل‌های a و c نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این مسیر فقط در یک نقطه تنش‌ها اندازه‌گیری شدند.

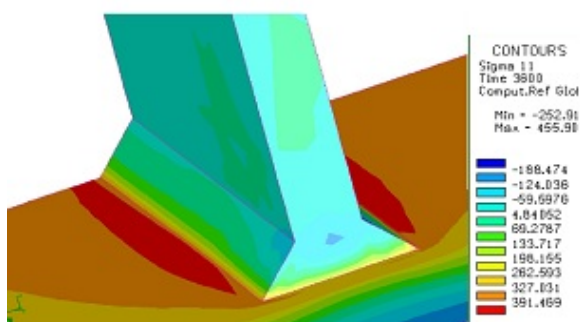


شکل ۱۴- نتایج تجربی در یک نقطه و توزیع تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۴ برای دو مدل a و c



شکل ۱۵- مقایسه نتایج تجربی (یک نقطه) و عددی تنش‌های پسماند طولی در امتداد مسیر ۴ برای دو مدل a و c

شکل ۱۶ کانتور تنش‌های پسماند عرضی را در ناحیه انتهایی اتصال سپری برای مدل a نشان می‌دهد.

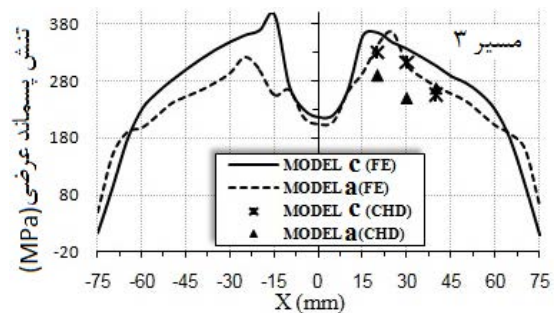


شکل ۱۶- کانتور تنش‌های پسماند عرضی در ناحیه انتهایی اتصال برای مدل a

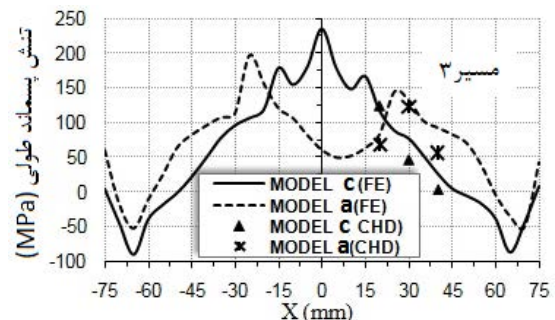
عددی نشان داد که ماکزیمم دما، به حدود ۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

۲-۴- نتایج تحلیل مکانیکی

اندازه‌گیری تنش‌های پسماند در عمق‌های مختلف از سطح فلز و در امتداد مسیرهای نشان داده در شکل ۷، انجام گرفت. جهت مقایسه نتایج عددی و تجربی، عمق ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌است. مقایسه نتایج عددی و تجربی در امتداد مسیر شماره ۳ و ۴ در عمق ۱ میلی‌متری برای مدل‌های a و c انجام گرفته‌است. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب مقایسه مقادیر تجربی (CHD) و عددی اجزاء محدود (FE) برای تنش‌های پسماند عرضی و طولی در امتداد مسیر ۳ برای این مدل‌ها را نشان می‌دهند. همان‌گونه که دیده می‌شود مقادیر عددی بزرگتر از مقدار تجربی است هرچند در نقاط دورتر تطابق بهتر است. به نظر می‌رسد علت اصلی خطا، دیر سرد شدن قطعه در مدل عددی در دماهای بالا به علت منظور نکردن اثر تشعشع باشد.

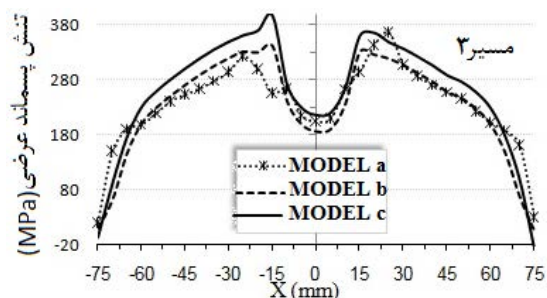


شکل ۱۲- مقایسه نتایج تجربی و عددی تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۳ برای دو مدل a و c



شکل ۱۳- مقایسه نتایج تجربی و عددی تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۳ برای دو مدل a و c

همان‌طور که در شکل ۱۹ نشان داده شده است، حداکثر تنش پسماند عرضی در امتداد مسیر ۳ برای مدل c در نزدیکی ریشه جوش ایجاد شده است و مدل a تنش کمتری را در این مسیر خواهد داشت. در هر سه مدل، تنش در زیر بال کاهش محسوسی خواهد داشت.



شکل ۱۹- نتایج عددی تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۳

تنش‌های طولی در امتداد این مسیر در شکل ۲۰ نشان داده شده است. در این مسیر هرچند که توزیع تنش عرضی در مدل‌ها تفاوت زیادی ندارند ولی تنش‌های طولی تفاوت دارند. به خصوص مدل a توزیع کاملاً متفاوتی دارد و حتی برخلاف دو مدل دیگر توزیع مقارنی هم ندارد.

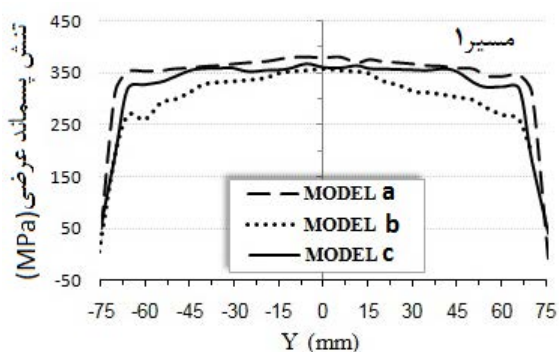
شکل‌های ۲۱ و ۲۲ مقایسه تنش‌های عرضی و طولی را در امتداد مسیر ۴ نشان می‌دهند. حداکثر تنش طولی مربوط به مدل a می‌باشد که در محور مرکزی جوش ایجاد شده است.

در این شکل‌ها دیده می‌شود که در محل جوش تنش‌های عرضی باز هم کاهش دارند و ناحیه کاهشی بزرگتر شده است و سطح تنش نیز بالاتر است.

تنش‌های طولی در مدل‌های a و b در محل جوش افزایش محسوسی دارد.

همان‌طور که از شکل مشخص است، تنش‌های پسماند فشاری در نزدیکی خط جوش دارای بیشترین مقدار خود می‌باشند. این حالت برای هر سه مدل صدق می‌کند. در ادامه تنش‌های پسماند در جهات مختلف باهم مقایسه شده‌اند.

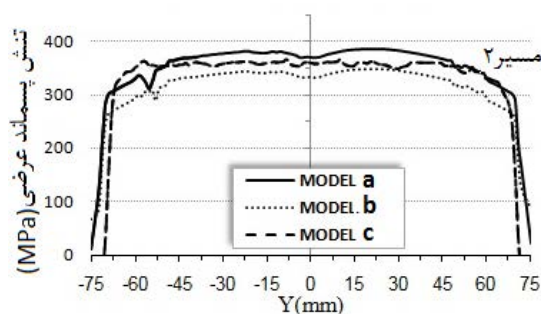
همان‌گونه که در شکل ۱۷ دیده می‌شود حداکثر تنش پسماند عرضی در امتداد مسیر ۱ که منطبق بر ریشه جوش می‌باشد، مربوط به مدل a می‌باشد.



شکل ۱۷- مقایسه نتایج عددی تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۱

نکته مهم دیگر در این شکل آن است که توزیع تنش عرضی در مسیر ۱ در مدل a و c سریعتر از مدل b در طول جوش به حالت یکنواخت می‌رسند. درحالی‌که در نقاط دورتر مانند مسیر ۲ در شکل ۱۸ رفتار هر سه مدل تقریباً یکسان است.

شکل ۱۸ نیز تنش‌های پسماند عرضی را در امتداد مسیر ۲ برای مدل‌های مختلف نشان می‌دهد. تنش‌های حداکثر باز هم مربوط به مدل a می‌باشد.



شکل ۱۸- تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۲ (عددی)

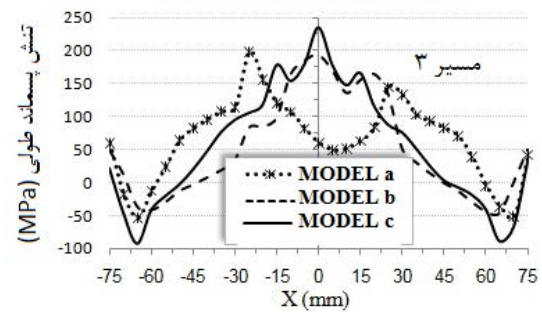
در این مقاله تاثیرات جوش انتهای یک اتصال سپری بر روی تنش‌های پسماند با استفاده از شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی، مورد بررسی قرار گرفت. سه مدل مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های بررسی شده شامل اتصالات سپری بودند که انتهای آن‌ها به صورت‌های مختلف جوش کاری شده بودند. در مدل اول انتهای جوش ناقص در نظر گرفته شد. در دو مدل دیگر جوش کامل بود. یکی دارای انحنا و دیگری بدون انحنا منظور گردید. همچنین آزمایش‌های تجربی جهت اندازه‌گیری دما و تنش‌های پسماند در این مدل‌ها انجام شد. نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد.

- جوش کامل در انتهای یک اتصال سپری باعث افزایش تنش‌های پسماند عرضی در ناحیه انتهای اتصال می‌شود.

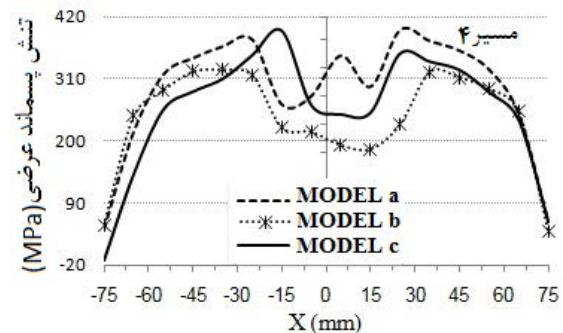
- تنش‌های پسماند عرضی در ریشه جوش و در امتداد مسیر جوش کاری برای حالتی که انتهای اتصال بدون جوش است، بیشتر می‌باشد.

- جوش کامل باعث کاهش تنش‌های پسماند طولی در ناحیه میانی اتصال سپری می‌شود.

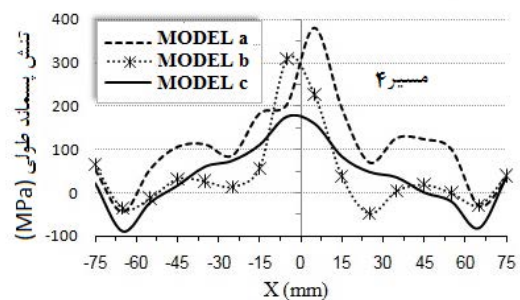
در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که جوش کامل در انتهای یک اتصال سپری باعث افزایش تنش‌های پسماند در ناحیه انتهایی اتصال می‌شود. همچنین جوش انتهای یک اتصال می‌تواند بر تنش‌های پسماند ناحیه میانی اتصال هم تاثیر داشته باشد. اگرچه اتصال سپری با جوش کامل دارای تنش‌های پسماند بزرگتری است ولی به دلیل طول جوش طولانی‌تر از استحکام بیشتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۲۰- مقایسه تنش‌های پسماند طولی در امتداد مسیر ۳



شکل ۲۱- مقایسه تنش‌های پسماند عرضی در امتداد مسیر ۴



شکل ۲۲- مقایسه تنش‌های پسماند طولی در امتداد مسیر ۴

۵- نتیجه گیری

مراجع

- [1] Rosenthal, D. (1941). "Mathematical theory of heat distribution during welding and cutting". Welding Journal, Vol. 20, No. 5, pp. 220s-234s.
- [2] Goldak, J.A., Akhlaghi, M. (2005). "Computational welding mechanics". Springer, USA.
- [3] Aiping, W., Ning, X. (1996). "Effects of welding procedures on residual stress of T-Joint". Joining and Welding Research Institute, Vol. 25, No. 1, pp. 81-89.
- [4] Teng, T.L., Fung, C.P., Chang, P.H., Yang, W.C. (2001). "Analysis of residual stresses and distortions in T-joint fillet welds". International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 78, pp. 523-538.

[5] Gannon, L., Liu, Y., Pegg, N., Smith, M. (2010). "Effect of welding sequence on residual stress and distortion in flat-bar stiffened plates". *Marine Structures*, Vol. 23, No. 3, pp. 385-404.

[۶] مصیب نژاد، ج، سیدیان، م، حق پناهی، م، صدیقی، م، (۱۳۸۷). "شبیه‌سازی المان محدود و تجربی میدان‌های دما و تنش پسماند در یک اتصال لوله به فلنج". نشریه مکانیک و هوافضا، سال ۴، شماره ۳، ص. ۷۱ الی ۸۳.

[۷] هادی‌پور، ش، مولوی، م. (۱۳۸۸). "تحلیل تنش پسماند و انحراف در جوش ماهیچه‌ای". ماهنامه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، سال اول، شماره ۱۰، ص. ۲۰ الی ۲۵.

[۸] حافظی، ف، رضوی، ا، فرهی، غ.ج. (۱۳۸۹). "تحلیل سه‌بعدی و پیش‌بینی توزیع دما و تنش‌های پسماند جوشی به روش المان محدود غیرخطی در دو اتصال گوشه و L شکل". همایش ملی آشنایی با فناوری‌های روز در زمینه مهندسی مکانیک، تهران، ۴ الی ۵ آبان.

[۹] صفیان بلداجی، م، اخلاقی، م. (۱۳۸۶). "شبیه‌سازی سه‌بعدی انتقال حرارت، توزیع تنش‌های پسماند و تغییر شکل‌ها در اتصال جوش گوشه به روش المان محدود". هشتمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی ایران، تهران، ۱۱ الی ۱۳ اردیبهشت.

[10] Moosbrugger, C. (2002). "Atlas of stress-strain curves". Second edition, ASM international.

[11] Masubuchi, K. (1980). "Analysis of welded structures". 1st edition, Pergamon Press.