Archive of SID

1st International Conference on new achievements in Science & Technology
24th August 2017
اولین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در علوم و تکنولوژی
۲ شهریور ماه ۱۳۹۶ – تهران

بررسی آنتروپی تولیدی جوش بر اثر ترتیب جوشکاری روی اعوجاج و تنش پسماند در کشتی

محسن خسروی بابادی ۱، سینا زندی، و امین رضوان پور ۳

۱ دکتری مهندسی دریا،دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)،تهران،ایران

m.khosravibabadi@Aut.ac.ir

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک،دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز،.تهران، ایران

ar.marineeng@gmail.com

۳ کارشناس مهندسی دریا،دانشگاه صنعتی مالک اشتر،اصفهان، ایران

amin.rezvanpour.90@gmail.com

چکیده

در هر فرآیند جوشکاری حرارت ورودی باعث تغییراتی در قطعه فلز جوشی می شود که این امر منجر به ایجاد تنشهای پسماند و تغییر شکلهای ناخواسته می شود. این تغییر شکلها و تنشهای پسماند باعث بروز مشکلات مهمی در صنایع سنگین کشتی سازی می شود. در حال حاضر متداول ترین روش در صنعت برای جلوگیری از این تغییر شکلها، استفاده از قید و بندها حین عملیات جوشکاری است. اما استفاده از قید و بندها باعث ایجاد تنش های پسماند می شود. این مشکل با توجه به پایین بودن ضخامت ورقها (ضخامت زیر ۱۰ میلیمتر) در صنایع کشتی سازی به شدت محدود کننده است. روش های دیگر عملیات حرارتی قبل و بعد از جوشکاری مثل حرارت دهی موضعی و یا چکشی کاری و ... بسیار پرهزینه و وقت گیر می باشند. یکی از روشهای کنترل شده و کم هزینه نسبت به سایر روش ها استفاده از ترتیب مناسب جوشکاری است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر ترتیب جوشکاری بر روی کاهش میزان اعوجاج در سازه های پرکاربرد صنایع کشتی سازی با استفاده از آنتروپی تولیدی می باشد تا بتوان نوع و اندازه تغییرشکلهای جوشی را پیش بینی کرد و در نتیجه با اصلاح پارامترهای جوش و ترتیب جوش دادن قطعات مسیرهای جوشکاری را به گونه ای تعریف کرد که نتیجه آن ایجاد حداقل تغییرشکل ها و تنشهای پسماند باشد.

واژه‌های کلیدی: ترتیب جوشکاری، میدان حرارتی، تغییرشکل، تنش پسماند، آنتروپی تولیدی.

www.SID.ir

Archive of SID

1st International Conference on new achievements in Science & Technology
24th August 2017
اولین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در علوم و تکنولوژی
۲ شهریور ماه ۱۳۹۶ – تهران

Study of Welding Productivity Entropy on Welding Sequence on Distortion and Residual Stress in Ship

Mohsen, Khosravi Babadi [1]; SinaZandi [2] ;Amin, Rezvanpour [3]

1- Amirkabir University of technology(Tehran Polytechnic), Tehran,Iran
m.khosravibabadi@Aut.ac.ir
2- Islamic Azad University, Tehran,Iran
ar.marineeng@gmail.com
3-Malek Ashtar University of technology, Isfahan,Iran
amin.rezvanpour.90@gmail.com

Abstract

Abstract In each welding process, the heat input leads to changes in the weld metal which leads to the formation of residual stress and unwanted distortions. These residual stress and distortions are causing major problems in shipbuilding industry. Currently, the most commonly used technique in the industry to prevent these distortions is the use of fasteners during welding operations. But the use of fasteners creates stress. This problem is intensified severely in the shipbuilding industry due to the low thickness of the sheets (thickness below 10 mm). Other heat treatment methods before and after welding, such as local heating or hammering and etc. are very costly and time-consuming. One of the controlled and low cost ways in comparison with other methods is to use a suitable welding arrangement. The purpose of this study is to investigate the effect of the welding arrangement on reducing distortions in the structures used in the shipbuilding industry by applying production entropy in order to predict the type and size of welding distortions, as a result, by modifying the welding parameters and welding arrangement, the weld paths were defined in such a way as to result in minimal distortions and residual stresses.

Keywords: *Welding Sequence, Heat field, deformation, Residual Stress, Welding Productivity Entropy*

www.SID.ir

مقدمه

جوشکاری فرایندی صنعتی است که نقش بسیار مهمی را در ایجاد اتصالات در صنعت ایفا می کند. امروزه مهمترین روش ایجاد اتصالات در کلیه صنایع از قبیل صنایع اتومبیل سازی، صنایع هوا فضا، صنایع کشتی سازی و ساخت سازه های فرا ساحلی، اتصال جوشی است. اگر بدون در نظر گرفتن مشکلات و ایرادات ناشی از جوشکاری، به این پدیده نگاه کنیم، بدون تردید می توان به ان به دید یک واسطه کلیدی در صنعت نگریست. ولی متأسفانه این پدیده نیز مشکلات و معایبی را به دنبال خود می آورد که معلول اجتناب ناپذیر این فرآیند هستند .

در بین ایرادات ناشی از جوشکاری در سازه ها، تغییر شکل ها مسئله ایست که از سویی هر ساله هزینه های قابل توجهی در سراسر دنیا، جهت کنترل و رفع آن پرداخت می شود، و از سوی دیگر موضوع قابل توجهی برای مطالعه و پیگیری علمی است. با توجه به رویکرد صنایع مختلف فلزی، به استفاده از قطعات و ورق های با ضخامت پایین و سبک، که کاهش هزینه های ساخت و نگهداری را برای کلیه مجامع صنعتی به دنبال دارد، پدیده اعوجاج جوشکاری نمود بیشتری پیدا می کند .

صنایع کشتی سازی و ساخت سازه های فراساحلی نیز که مبتنی بر مواد فلزی می باشد، جدا از این موضوع نیست. در صنایع کشتی سازی نیز به منظور دستیابی به نسبت بالای استحکام به وزن سازه، استفاده از ورق های نازک و استحکام بالا و آلیاژهای فلزی متفاوت، مدت مدیدی است که در دستور کار قرار گرفته است. با پایین آمدن ضخامت ورق ها، و پایین آمدن سختی و درجه صلبیت آنها (که البته به دلیل پایین آمدن ضخامت و وزن قطعات است)، شاهد مقاومت کمتری در قطعات در مقابل تغییر شکلهای ناشی از جوشکاری هستیم. هر ساله در کارخانجات کشتی سازی، هزینه های هنگفتی جهت جبران خسارات ناشی از تغییر شکل بوجود آمده از پروسه های جوشکاری و یا ترفندهای جلوگیری از تشکیل این تغییر شکلها تحمیل می شود.

شناخت کافی و صحیح پدیده اعوجاج ناشی از جوشکاری این امکان را پدید می آورد که کم هزینه ترین روش جهت کنترل اعوجاج ناشی از جوشکاری در حین اجرای پروسه به کار گرفته شود چرا که این اعوجاج، علاوه بر تأثیر مستقیم و غیر قابل چشم پوشی بر استحکام نهایی سازه ها، از نظر ظاهری نیز تأثیر نامطلوبی بر سازه های جوشکاری شده دارد. پروسه جوشکاری همواره با ورود مقدار حرارت زیادی به صورت محلی داخلی قطعه جوشکاری همراه می باشد. علاوه بر حجم زیاد حرارت ورودی به قطعه، توزیع غیر یکنواخت حرارت حاصل از پروسه جوشکاری و همچنین تغییرات شدید حرارت هنگام سرد شدن قطعه باعث بوجود آمدن تنش های حرارتی پیچیده و در نتیجه تنش پسماند و پیچیدگی هایی در قطعه جوشکاری ایجاد می شود که ورق های نازک بیشتر در معرض این معضلات می باشد.

۱- قبل از جوشکاری: مانند انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری، قیود، خم اولیه و ...

۲- بعد از جوشکاری: این روش ها بیشتر فیزیکی هستند مانند: استفاده از دستگاه پرس و صاف کردن به وسیله گرمادهی با شعله. اما مشکلی اساسی وجود دارد که روش پرس برای ورق هایی که اسمبل شده است کاربرد ندارد و روش شعله نیز نیاز به کارشناسان باتجربه دارد که خیلی پرهزینه است. زیرا در واقع حل مشکل اعوجاج حاصل از جوشکاری یک هنر است که سال ها تجربه نیاز دارد.

مروری بر کارهای گذشته

الف) بررسی روش های کاهش تنش پسماند و تغییرشکل های حاصل از جوشکاری

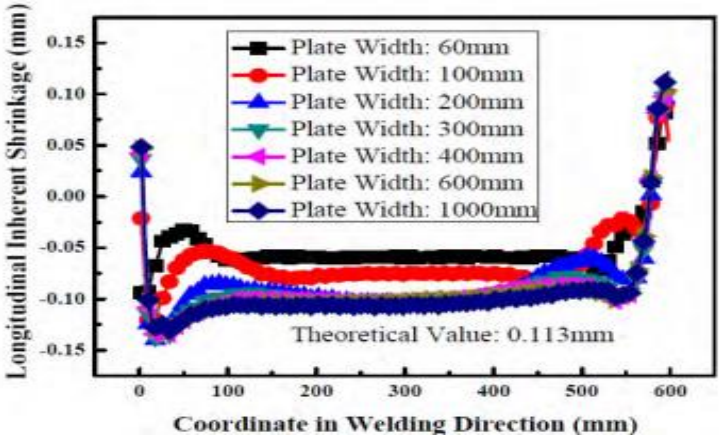
ژیانگچاو وانگ و همکاران[۱] [۲] مطالعات گسترده ای را درباره تحقیقات اخیر پیرامون تغییر شکل های ایجاد شده در پروسه جوشکاری انجام داده اند که نتایج مفیدی در این زمینه بدست آمده است. تحلیل به روش المان محدود به منظور پیش بینی تغییرشکل های حاصل از جوشکاری بوسیله انتخاب المان مناسب یک روش کارا می باشد. منبع ایجاد تغییرشکل های بوجود آمده در قطعه جوشکاری را می توان به دو بخش تقسیم کرد، اول نیروهای انقباضی طولی که به دلیل صلبیت ذاتی بالا

۱ Jiangchao Wang et. Al.

www.SID.ir

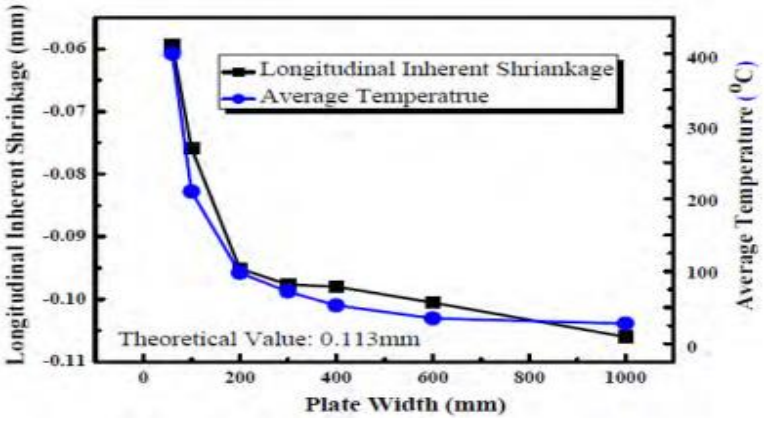
Archive of SID

بوجود می آید و دوم نیروهای انقباضی عرضی که به دلیل صلبیت ذاتی پایین در قطعه بوجود می آید. شکل ۱ تأثیر عرض ورق را روی نیروهای انقباضی طولی نشان می دهد.



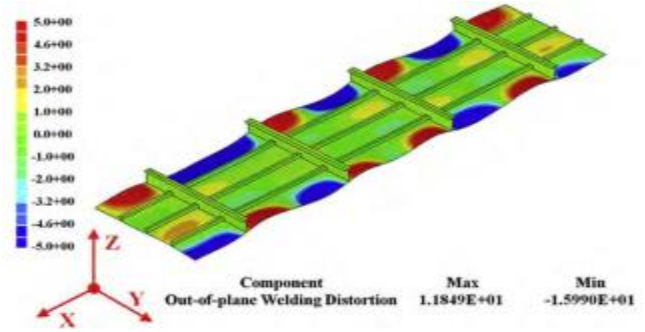
شکل ۱: تأثیر عرض ورق روی نیروهای انقباضی طولی [۲]

نتیجه مذکور می تواند برای هر قطعه جوشی مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیقات پیشنهاد شده بود تا مقدار میانگین دما به منظور ارتباط بین عرض قطعه و مقدار تغییر شکل های ایجاد شده جایگزین تعیین صلبیت ذاتی مسیرهای جوشکاری بمنظور پیش بینی تغییر شکل ها شود. شکل ۲ تأثیر عرض ورق روی نیروهای انقباضی طولی و متوسط دما را نشان می دهد.



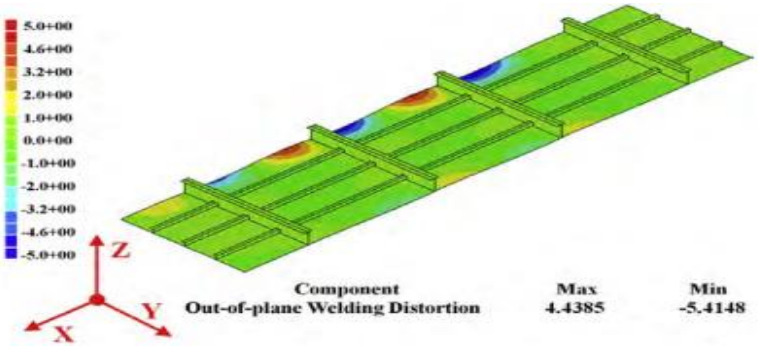
شکل ۲: تأثیر عرض ورق روی نیروهای انقباضی طولی و دوای متوسط [۲]

مقدار کمانش حاصل از جوشکاری در ورق های نازک کشتی سازی بسیار زیاد می باشد که استفاده از پروسه زیگزاگ در جوشکاری تغییرشکل ها را تا حد زیادی کاهش خواهد داد. انتخاب یک پروسه مناسب جوشکاری می تواند تا حد زیادی باعث کاهش هزینه ها شود. شکل های زیر تغییرشکل های حاصل از جوشکاری با دو تکنیک جوشکاری مسیر ممتد و زیگزاگ را نشان می دهد.



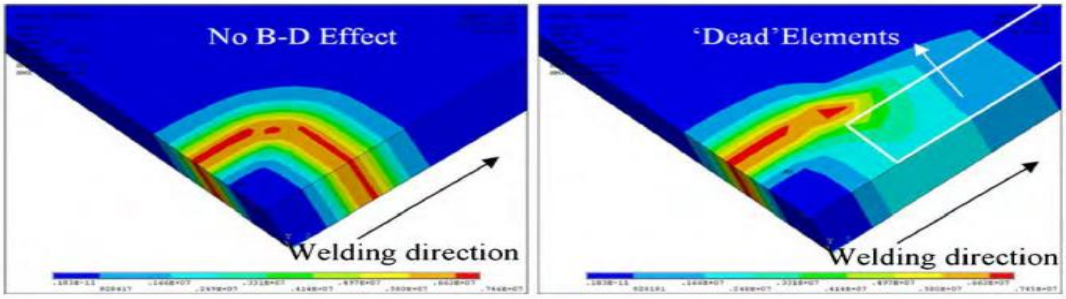
شکل ۳: تغییرشکل حاصل از جوشکاری به وسیله جوشکاری در مسیر ممتد [۲]

www.SID.ir



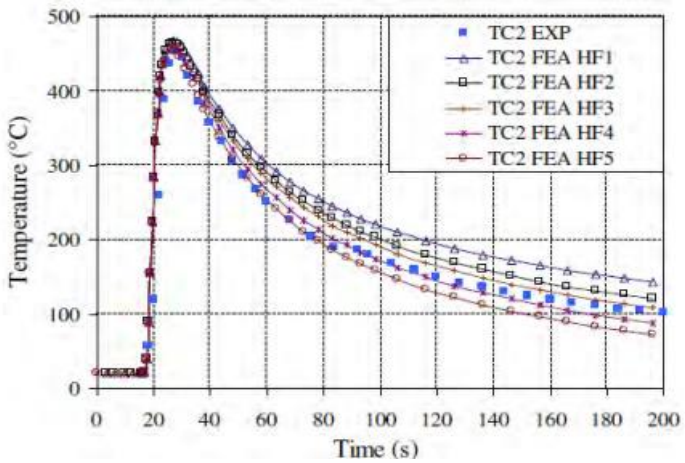
شکل ۴: تغییرشکل حاصل از جوشکاری به وسیله جوشکاری در مسیرهای زیگزاگ[۲]

بایی چن و همکاران[۱] [۳] توانستند مطابقت خوبی بین نتایج حرارتی و مکانیکی با نتایج آزمایشگاهی برقرار نمایند. در این مطالعه که بوسیله المان محدود انجام شده است زمانی که از روش تولد و مرگ المان استفاده می شود، مقدار ماکزیمم دما در ورق همانگونه که در شکل ... مشاهده می شود حدود ۸,۷۶ درصد افزایش می یابد.



شکل ۵: تأثیر روش تولد و مرگ المان روی توزیع دما [۳]

زمانی که منبع حرارتی از یک نقطه عبور می کند آن نقطه پس از مدت کوتاهی به سرعت سرد می شود. حساسیت سنجی در مش بندی خیلی به درستی نتایج کمک کرده است. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، ضریب همرفتی روی ماکزیمم دما تأثیر کمی دارد اما روی تغییرات دما هنگام سرد شدن بسیار موثر است. همچنین مشخص گردیده است که تغییر شکل ها از وسط ورق به لبه ها به صورت خطی کاهش می یابد.



شکل ۶: تأثیر ضریب همرفتی بر روی توزیع دما بر حسب زمان [۳]

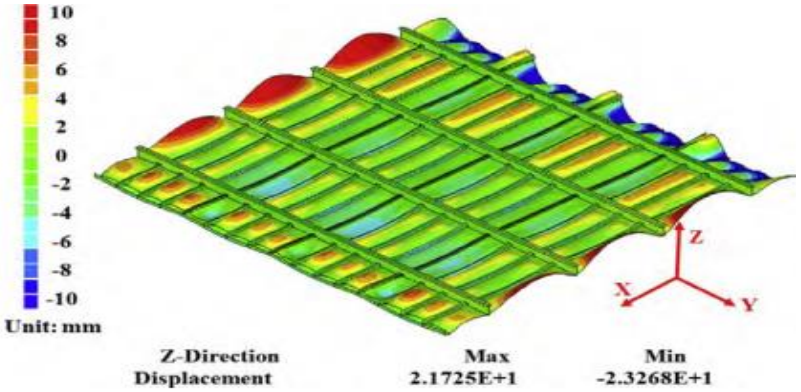
هاشم زاده و همکاران [۴] به منظور بررسی اعوجاج حاصل از جوشکاری با قیود مختلف شبیه سازی و تحلیل انجام داده اند. به منظور پوشش حالت های مختلف هفت مورد قید مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این هفت مورد در سه دسته کلی

۱ Bai-Qiao Chen, Marzieh Hashemzadeh, C. Guedes Soares

www.SID.ir

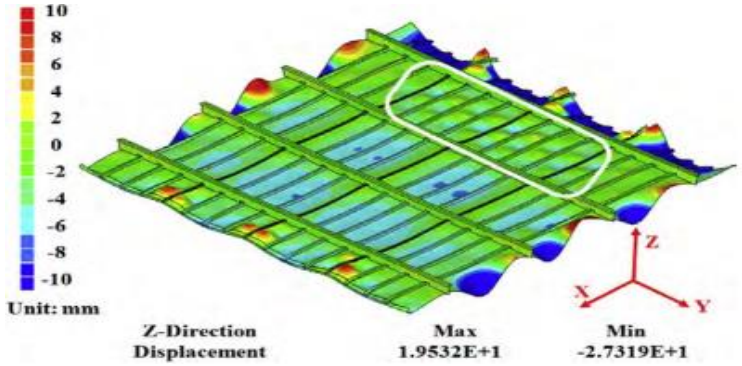
قید سطحی، قید خطی و قید نقطه ای به منظور کاهش اعوجاج حاصل از جوشکاری تقسیم بندی شده است. در تمام موارد، قید گذاری تأثیر مهمی بر روی کاهش اعوجاج بر روی ورق داشته است. در میان انواع قیدگذاری های استفاده شده، قید سطحی به منظور کاهش اعوجاج بسیار تأثیرگذار است و پس از آن قید گذاری نقطه ای بیشتر از قید خطی تأثیر می گذارد.

جیانگ چاو وانگ و همکاران[۱] [۵] به این نتیجه رسیدند که هرگاه تمامی اجزا تغییر شکل های ذاتی در تحلیل المان محدود توصیف شود کمانش حاصل از جوشکاری در ورق ها به سختی بدست می آید. به همین دلیل کمانش می تواند در برابر خمش نادیده گرفته شود. تحلیل ها نشان می دهد که کمانش نزدیک لبه ورق و خمش در نواحی میانی اتفاق می افتد.



شکل ۷: تغییر شکل حاصل از جوشکاری محاسبه شده با استفاده از تئوری تغییر شکل های بزرگ [۵]

در نواحی میانی عملیات گرمادهی خطی برای صاف کردن ورق و از بین بردن اعوجاج زاویه ای بسیار موثر است. تغییرشکلی حاصل از جوشکاری به وسیله عملیات گرمادهی خطی کاهش می یابد ولی کامل از بین نمی رود.



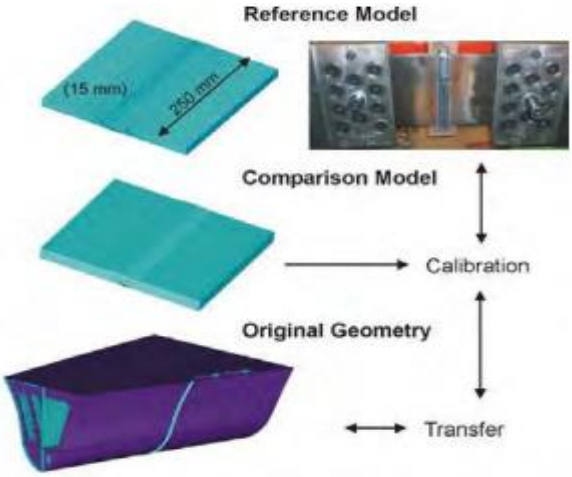
شکل ۸: صاف کردن تغییرشکلهای خمشی در تئوری تغییرشکلهای بزرگ [۵]

هدف از پژوهش ولفگانگ و سنجا[۲] [۶] محاسبه تنش پسماند کلی است که با استفاده از یک سری ساده سازی هایی که صحت آن با مدل المان محدود چک شده است انجام گرفته است. شکل ۹ پروسه انتخاب شده در این تحقیق را نشان می دهد که ابتدا به وسیله یک ورق ساده صحت سنجی شده سپس یک بلوک از شناور مدل شده است.

۱ Giangchao Wang et al.

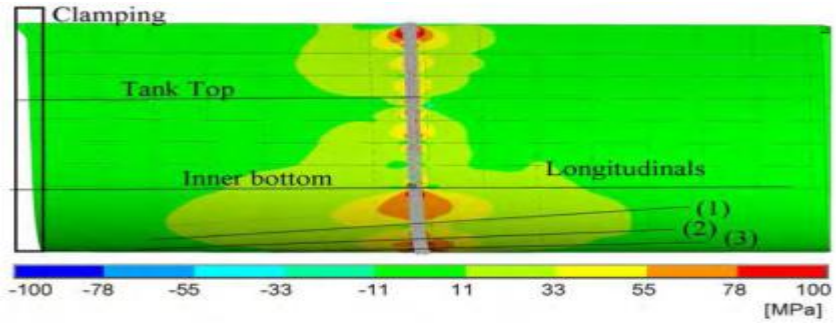
۲ Wolfgang Fricke and Sonja Zacke

www.SID.ir



شکل ۹: پروسه انتخاب شده در این پژوهش [۶]

یکی از این ساده سازی ها استفاده از یک پاس با تکنیک ویوینگ[۱] به جای چهار پاس، استفاده از مش بندی های درشت تر و یک ساده سازی در حرارت ورودی می باشد. این ساده سازی ها باعث می شود که تمام اتصالات بلوک به صورت عددی شبیه سازی شود. توزیع تنش پسماند بسیار متاثر از نواحی با سختی بالا می باشد یعنی در مکان شاه تیرها و طولی ها به تنش تسلیم نمی رسد.



شکل ۱۰: توزیع تنش پسماند عمومی در مسیر طولی [۶]

در نهایت می توان ثابت کرد که این ساده سازی ها برای بدست آوردن تنش های پسماند و اعوجاج کلی جواب درست می دهد. این ساده سازی ها باعث می شود تا در مدل های پیچیده نیز بوسیله شبیه سازی عددی تنش های پسماند را بدست آورد.

در نهایت می توان ثابت کرد که این ساده سازی ها برای بدست آوردن تنش های پسماند و تغییر شکل های کلی جواب تا حدودی درست می دهد. این ساده سازی ها باعث می شود تا در مدل های پیچیده نیز بوسیله شبیه سازی عددی تنش های پسماند را با تقریب مناسبی بدست آورد.

ب) بررسی اثر ترتیب جوشکاری بر تنش پسماند و تغییر شکل های حاصل از جوشکاری

از کاتالباس و همکاران[۲] [۷] در این مقاله به روش تجربی تأثیر ترتیب جوشکاری روی شبکه تیر[۳] را مورد بررسی قرار داده است و به این نتیجه رسیده است که ترتیب های جوشکاری که از انتها به مرکز آمده است دارای کمترین مقدار اعوجاج می باشد. انتخاب ترتیب جوشکاری مناسب می تواند تا حد زیادی اعوجاج و تنش پسماند حاصل از جوشکاری را کاهش دهد. نقاط جوش باید از هم فاصله داشته باشند زیرا در غیر اینصورت اعوجاج زیادی در پروسه سرد شدن اتفاق می افتد. همچنین توصیه می شود که نقاط پایانی جوش در انتها باشد.

---

۱ Weaving technique

۲ Yusuf OzCatalbas et al.

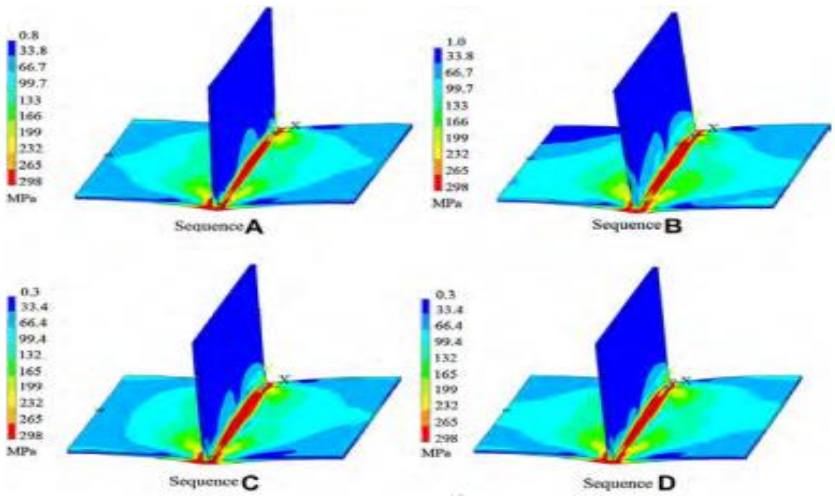
۳ Lattice beam

www.SID.ir

Archive of SID

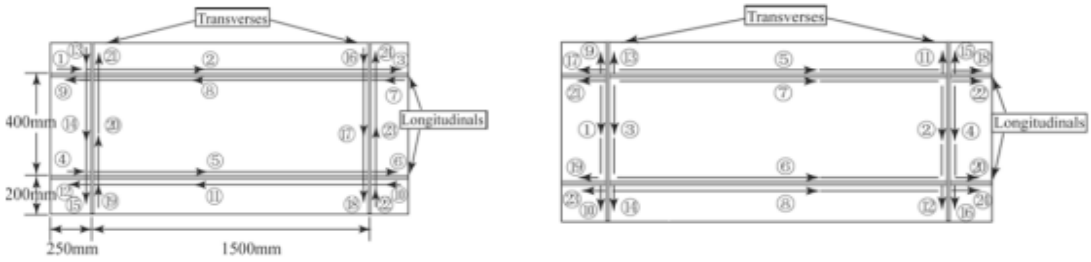
ایساک هرناندز[۱] [۸] در تحقیق خود که با روش تجربی و عددی انجام داده است به این نتیجه رسیده است که ترتیب های مختلف جوشکاری تأثیر بیشتری روی اعوجاج نسبت به تنش های پسماند دارد. تقسیم مسیر جوشکاری به قسمتهای کوچک تر باعث کاهش اعوجاج می شود. همچنین به کار بردن مسیرهای جوشکاری از داخل به بیرون با استفاده از خال جوش باعث کاهش اعوجاج در سازه جوشکاری می شود.

لیام گنون و همکاران[۲] [۹] با بررسی تأثیر ترتیب جوشکاری به روش تجربی و عددی روی تنش پسماند و اعوجاج روی ورق تقویت شده به این نتیجه رسیده اند که ترتیب های جوشکاری تأثیر زیادی روی توزیع تنش پسماند طولی ندارد ولی مقدار بیشینه تنش پسماند را به شدت کاهش می دهد.



شکل ۱۱: توزیع تنش ون مایز[۳] برای ترتیب های مختلف جوشکاری [۹]

پانکاج بیسواس و همکاران[۴] [۱۰] بر روی تأثیر ترتیب جوشکاری روی تغییر شکل های ورق های تقویت شده بزرگ برای دو مورد متفاوت مطالعاتی انجام دادند که به نتایج مناسبی رسیدند.



شکل ۱۲: ترتیب های مختلف جوشکاری انتخاب شده [۱۰]

یک مدل المان محدود سه بعدی برای پیش بینی تغییر شکل ها به دلیل ترتیب های مختلف جوشکاری در ورق تقویت شده بزرگ بصورت شبه استاتیکی انجام شده است. نتایج عددی و آزمایشگاهی حدود ۵ تا ۱۵ درصد با یکدیگر تفاوت دارند. نتایج تغییرشکل ها برای مدل استفاده شده می تواند برای ورق های تقویتی با تیرچه های عمود برهم دیگر نیز قابل تعمیم می باشد.

۱ Isaac Hernandez Arriaga

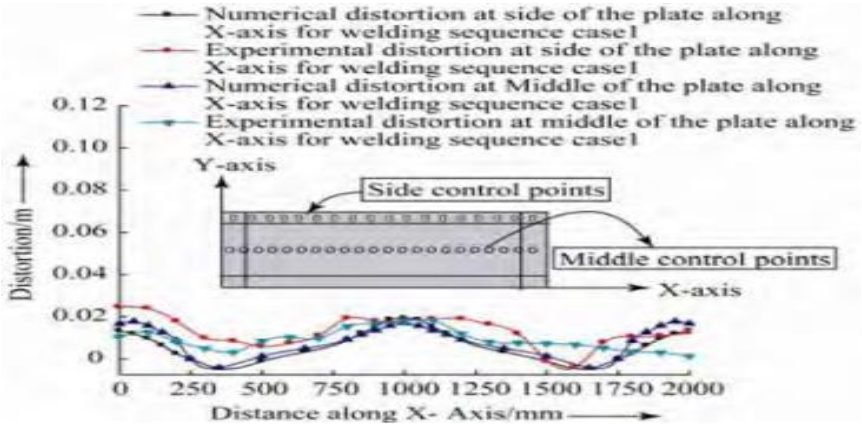
۲ Liam Gannon et al.

۳ Von mises

۴ Pankaj Biswas

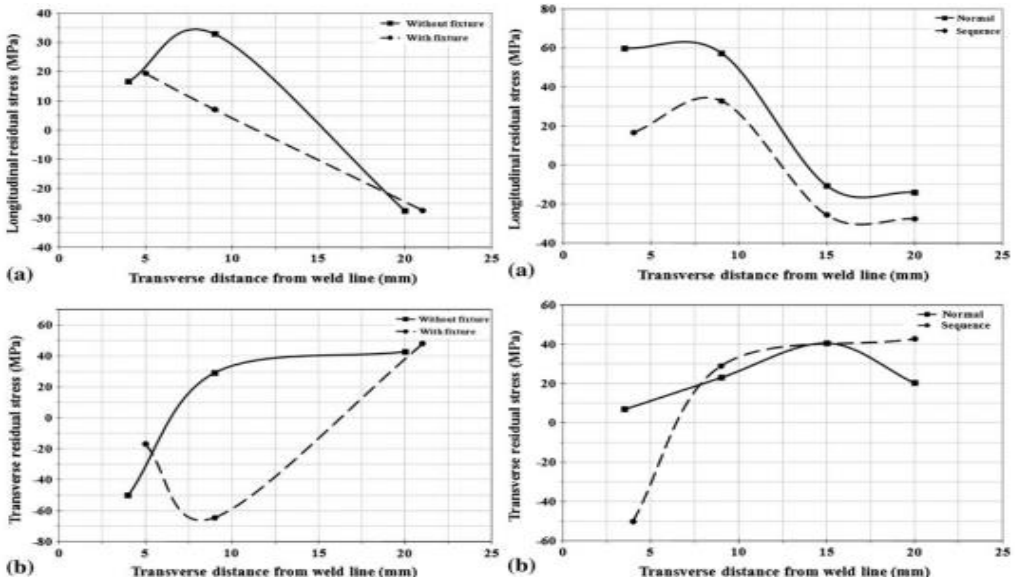
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳: مقایسه مقادیر تغییرشکلها در نتایج عددی و تجربی [۱۰]

کوهندهقان و همکاران [۱۱] در این مطالعه آزمایشاتی را انجام دادند تا تأثیر قیدها و ترتیب جوشکاری را روی توزیع تنش پسماند در ناحیه جوشکاری شده بررسی نمایند. به کاربردن قیود و ترتیب های مناسب جوشکاری تأثیر مهمی روی مقدار و توزیع تنش های پس ماند طولی و عرضی دارد. استفاده از قیود جوشکاری اثرات متفاوتی بر روی تنش های پسماند طولی و عرضی دارد. همچنین زمانی که قید جوشکاری استفاده می شود، هندسه حوضچه مذاب تغییر می کند.

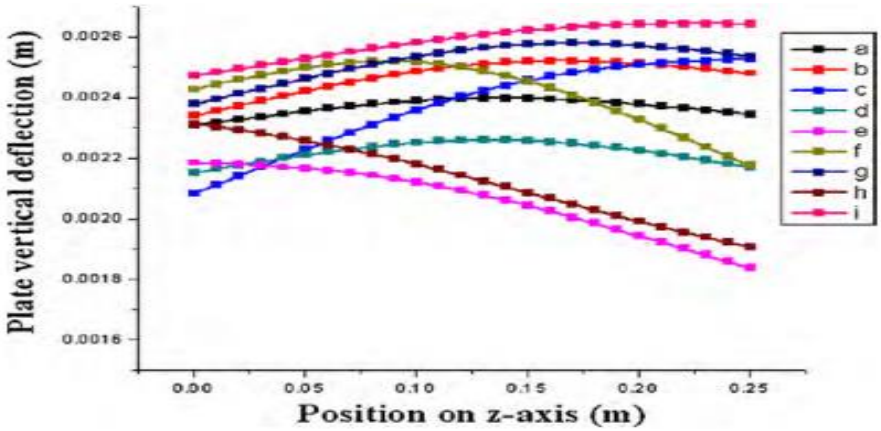


شکل ۱۴: a) تأثیر ترتیب جوشکاری روی توزیع و مقدار تنش پسماند [۱۱] b) تأثیر قید گذاری روی توزیع و مقدار تنش پسماند [۱۱]

کیوانی و همکاران [۱۲] در بررسی های خود به این نتیجه رسیدند که پیش بینی تغییرشکل های با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد. انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری باعث تولید کمینه تغییر شکل ها در هر دو طرف ورق تی شکل می شود. بهترین وضعیت زمانی اتفاق می افتد که جوشکاری به صورت همزمان در هر دو سمت انجام می شود. ترتیب های مختلف جوشکاری تأثیر زیادی روی مقدار بیشینه تنش پسماند در وسط ورق دارد.

شکل ۱۵ تغییرشکل های عمودی ورق برای ترتیب های مختلف جوشکاری را نشان می دهد.

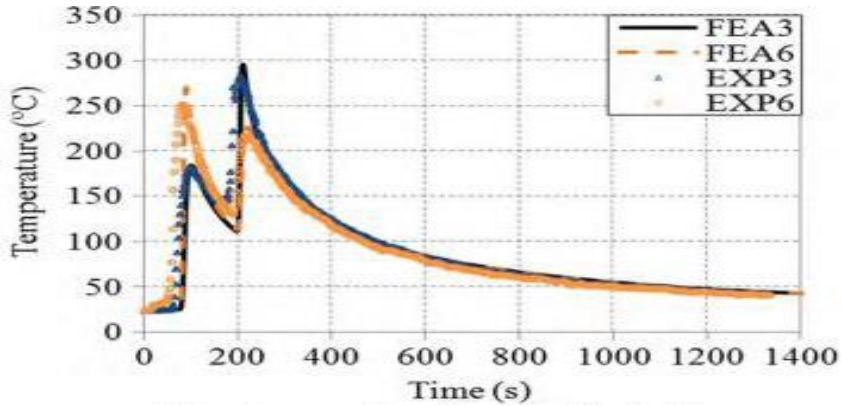
www.SID.ir



شکل ۱۵: تغییر شکل های عمودی ورق در ترتیب های مختلف جوشکاری [۱۲]

مهیار اسدی و همکاران [۱۳] یک تکنیک بهینه سازی ترکیبی به منظور بهینه سازی ترتیب جوشکاری در چهار ورق تقویت شده استفاده شده است. این روش محدود به این مدل نمی باشد و برای سازه های دیگر نیز کاربردی می باشد. همه ترتیب های جوشکاری ممکن بوسیله این الگوریتم می تواند تخمین زده شود.

بایی چن و همکاران[۱] [۱۴] در این مقاله توزیع دما، تغییر شکل های جوشکاری و تنش پسماند را در یک ورق تقویت شده به صورت تجربی و عددی بررسی کرده اند. همان گونه که در شکل ... مشاهده می شود، نتایج عددی تطابق مناسبی با اندازه های تجربی دارد که این نشان می دهد روش عددی کاربرد مناسبی برای شبیه سازی و پیش بینی های جوشکاری دارد.



شکل ۱۶: مقایسه توزیع دما بین نتایج عددی و تجربی [۱۴]

ترتیب های مختلف جوشکاری توزیع دما را در سازه های جوشکاری شده تغییر می دهد. تغییرشکل های کوچکتر در ورق های ضخیم اتفاق می افتد. سرعت جوشکاری تأثیر زیادی روی چگونگی تغییر شکل ها در ورق تقویت شده دارد. تنش های کششی بالایی با مقدار تقریبی برابر با تنش تسلیم مواد در ناحیه مذاب مشاهده می شود. ترتیب جوشکاری تأثیر مهمی روی توزیع تنش طولی در ورق ها دارد. براساس نتایج بدست آمده در یک ورق تی شکل دو پاس کوتاه جوشی که از وسط به سمت لبه های ورق حرکت می کند نسبت به باقی نتایج از لحاظ تغییر شکل ها و تنش پسماند بهتر است.

جیانگ چاو وانگ و همکاران[۲] [۱۷] تغییر شکل های ایجاد شده در قطعه جوشکاری بین مسیرهای جوشی که همزمان جوشکاری می شوند و مسیرهایی که پشت سر هم جوشکاری می شوند بسیار متفاوت است. نتایج محاسبات برای مقدار و مد تغییر شکل ها با استفاده از تئوری تغییر شکل بزرگ و کوچک با یکدیگر متفاوت می باشد. ترتیب های متفاوت مسیرهای جوشکاری تأثیر به سزایی روی تغییر شکل ها دارد. روش پیشنهادی برای پیش بینی کمانش حاصل از جوشکاری سازه های

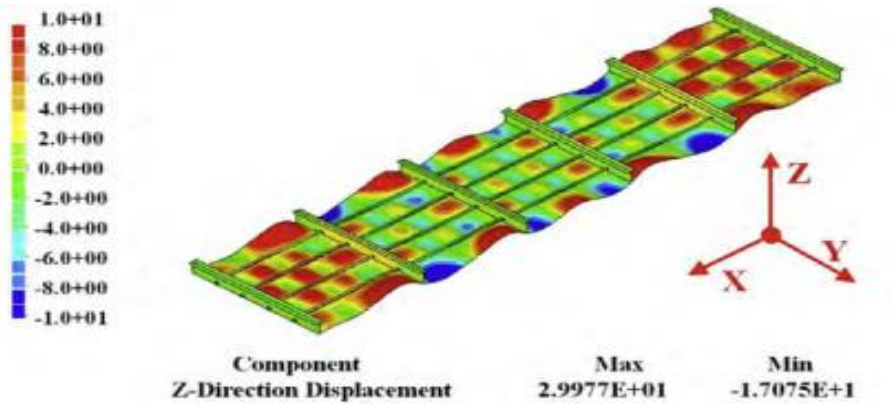
۱ Bai-Qiao Chen et. Al.

۲ Giangchao Wang et al.

www.SID.ir

Archive of SID

بزرگ کشتی بسیار کاربردی می باشد. در شکل ۱۷ تغییر شکل های حاصل از جوشکاری در یک پانل کشتی نشان داده شده است.



شکل ۱۷: تغییر شکل های حاصل از جوشکاری در یک پنل کشتی [۱۷]

جئونگ پارک و ژیو باک[۱] [۱۸] ترتیب جوشکاری مناسب را بوسیله روش جدید صلبیت اتصال[۲] انجام انتخاب نمودند و سپس نمونه کار آزمایشگاهی صورت گرفته و به روش بار برابر[۳] تحلیل اعوجاج حاصل از جوشکاری انجام شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که نتایج با یکدیگر مطابقت دارد. با استفاده از روش صلبیت اتصال ترتیب جوشکاری که بیشترین و کمترین مقدار اعوجاج را در قطعات کوچک بوجود می آورد تعیین گشت. تأثیر ترتیب جوشکاری بگونه ایست که می توان ماکزیمم مقدار اعوجاج را از ۱۰ میلیمتر به ۵ میلیمتر کاهش داد. میزان و شکل اعوجاج به شدت متاثر از محل نصب و راستای تیرچه ها می باشد.

ژن چن و همکاران[۴] [۱۹] نتایج اعوجاج حاصل از جوشکاری در اتصال T شکل با استفاده از المان شل[۵] و نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی داشت. ترتیب جوشکاری تأثیر به سزایی روی مقدار اعوجاج حاصل از جوشکاری گذاشته است. تنش پسماند طولی در سطوح میانی برای ترتیب های مختلف جوشکاری تأثیر ندارد. تنش پسماند عرضی در سطوح بالایی در ترتیب های مختلف جوشکاری تغییر زیادی دارد. یک روش روشن و عملی برای بهبود اعوجاج حاصل از جوشکاری بهینه کردن ترتیب های جوشکاری می باشد.

گوانگ مینگ فو و همکاران[۶] [۲۰] به این نتیجه رسیدند که توزیع تنش پسماند نزدیک خط جوش در میانه ورق متاثر از ترتیب های جوشکاری مختلف می باشد به خصوص برای تنش های پسماند عرضی که برای ترتیب های مختلف جوشکاری مقدار آن بسیار متفاوت می باشد. توزیع تنش پسماند طولی و عرضی برای ترتیب های مختلف جوشکاری در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

---

۱ Jeong-ung Park and Gyu Baek An

۲ Joint Rigidity

۳ Equivalent load

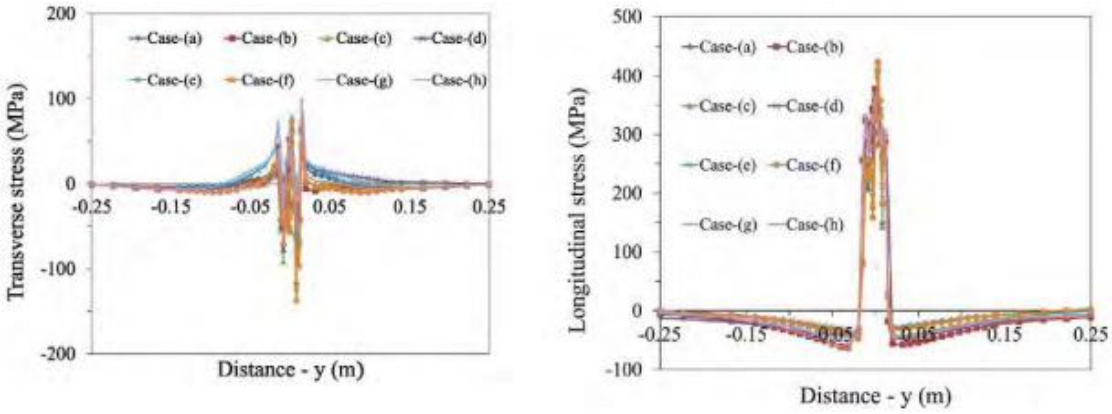
۴ Zhen Chen et al.

۵ Shell

۶ Guangming Fu et al.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۸: توزیع تنش پسماند طولی و عرضی برای ترتیب های مختلف جوشکاری [۲۰]

در قطعاتی که مسیرهای جوشکاری با هم به صورت همزمان جوشکاری شوند اعوجاج حاصل از جوشکاری کمتری به وجود می آید. جوشکاری پاس دوم باعث اعوجاج بیشتری برای هر دو حالت تک مسیر و دو مسیر همزمان[۱] در قطعه جوشکاری می شود.

ج) بررسی اثر ترتیب جوشکاری بر تنش پسماند و تغییر شکل های حاصل از جوشکاری بر مبنای آنتروپی تولیدی

واژه آنتروپی در لغت به معنای بی نظمی و آشفتگی است و در ترمودینامیک به عنوان یک خاصیت مهم برای ماده معرفی می شود. ایجاد آنتروپی در ارتباط با فرایندهای برگشت ناپذیر ترمودینامیک است. در حالت کلی در تمامی موارد همراه با انتقال گرما، آنتروپی ایجاد می شود که باعث از دست رفتن کار می گردد. بنابراین هرچه آنتروپی تولیدی کمتر باشد، فرآیند پربازده تر است و اثرات نامطلوب آن کمتر می شود [۲۱].

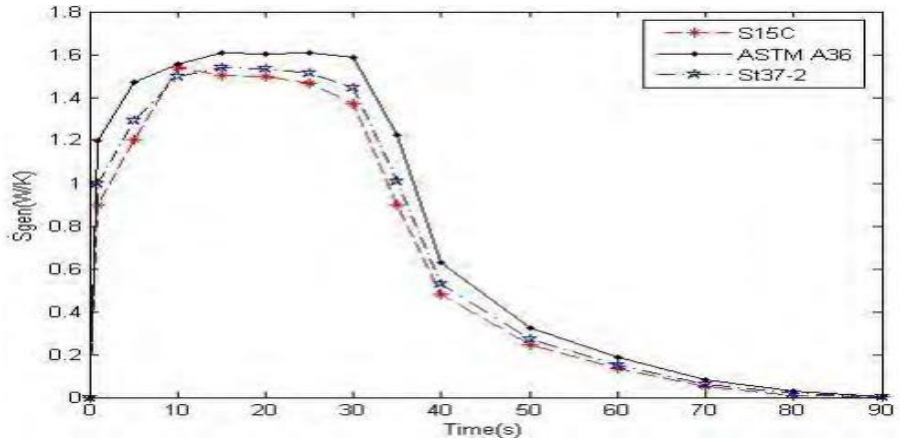
در میان فاکتورهای گوناگونی همچون میدان حرارتی، خصوصیات مواد، شرایط مرزی مکانیکی و ...، میدانهای حرارتی به عنوان مهمترین عامل ایجاد تنش های پسماند و اعوجاج معرفی می شوند. که این میدانهای حرارتی نقش بسزایی در تولید آنتروپی دارند. همچنین می توان نرخ آنتروپی را به عنوان معیاری برای بررسی تأثیرات پارامترهایی از جمله توالی های مختلف بر رفتار تنش های پسماند بکار گرفت [۳۰].

فلاحی و همکاران [۳۱] اثر خنک کاری بر روی میزان تنش پسماند در فرایند جوشکاری را مورد بررسی قرار دادند. آنها میزان تنش پسماند را نمونه هایی که با ضرایب رسانایی متفاوت خنک کاری شده بودند مورد بررسی قرار دادند و همچنین میزان آنتروپی را در این شرایط محاسبه نمودند. با مقایسه نتایج بدست آمده می توان دریافت که میزان کاهش و یا افزایش تنش پسماند رابطه مستقیم با میزان آنتروپی تولیدی خواهد داشت که می تواند ابزاری برای پیش بینی شرایط تنش در نمونه باشد. پژوهش دیگری تحت عنوان آنتروپی تولیدی، مبنایی برای بررسی ترتیب جوشکاری بر میزان تنش پسماند در ورق های تحت جوشکاری توسط فلاحی و همکاران [۳۰] انجام شد. در این پژوهش اثر ترتیب جوشکاری بر میزان تنش پسماند در سه نوع ترتیب جوشکاری مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه پژوهش با استفاده از محاسبه آنتروپی تولیدی رابطه ای مستقیم بین تنش های پسماند و میزان آنتروپی تولیدی مشاهده شد.

فلاحی و همکاران [۳۲] بر روی تأثیر ویژگی های مواد قطعه جوشکاری که یکی از مهمترین پارامترها برای بررسی تنش پسماند ایجاد شده در سازه جوشکاری می باشد، فعالیت هایی انجام داده اند. ایشان روند تغییرات آنتروپی تولیدی و تنش های پسماند با تغییر جنس ماده قطعه جوشکاری بسیار مشابه همدیگر می باشد. شکل زیر تغییرات آنتروپی برای سه نوع فولاد مختلف را ارائه می کند:

۱ Single- and double-side welding

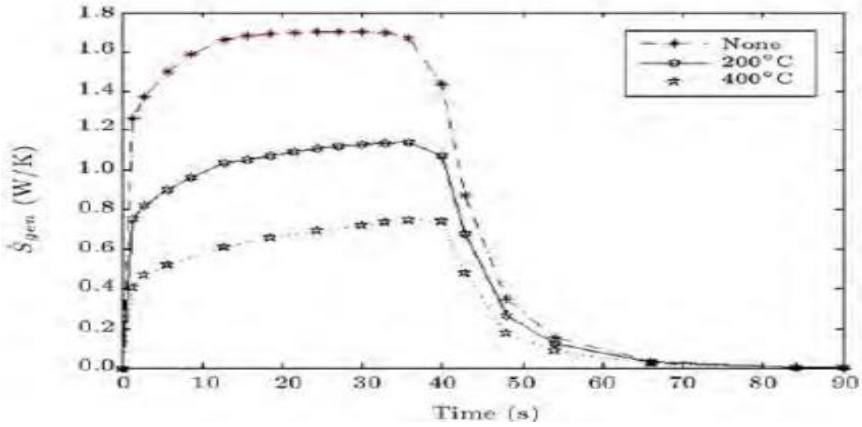
www.SID.ir



شکل ۱۹: تغییرات آنتروپی تولیدی برای سه نوع فولاد مختلف [۳۲]

ترابی و همکاران [۳۳] یک ترکیبی از روش های عددی و تحلیلی به منظور مطالعه دما و آنتروپی تولیدی برای سیلندرهای کامپوزیتی تو خالی با هدایت حرارت وابسته به دما و تولید گرما داخلی انجام داده اند. دو مورد از شرایط مرزی حرارتی بررسی شده است: الف) دمای ثابت ب) سرد شدن برای سطوح داخلی و بیرونی. افزایش مقدار دمای سطح خارجی آنتروپی تولیدی را در هر دو مورد کاهش می دهد.

فلاحی و همکاران [۳۵] دریافتند که میدان حرارتی نقش به سزایی در تولید آنتروپی و تنش پسماند بازی می کند. پیش گرمایش و انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری در کاهش تنش پسماند بسیار موثر است. رفتار آنتروپی تولیدی و تنش پسماند با شرایط جوشکاری مختلف در ترتیب های مختلف جوشکاری شبیه همدیگر است. با مطالعه رفتار آنتروپی تولیدی متوجه شده است که دمای پیش گرم بالا تنش پسماند را کاهش می دهد. ترتیب های جوشکاری متقارن تنش پسماند و آنتروپی تولیدی را کاهش می دهد. میزان آنتروپی تولیدی به عنوان معیار مناسبی برای مقایسه تنش پسماند در پیش گرم های متنوع و ترتیب های مختلف استفاده شود. شکل ۱۹ تأثیر عملیات پیش گرم را بر روی آنتروپی تولیدی نشان می دهد.



شکل ۲۰: تأثیر عملیات پیش گرم روی میزان آنتروپی تولیدی [۳۵]

روش پیشنهادی در این پژوهش در آنالیز حرارتی با روش متعارف موجود اشتراک دارد. اما پس از آن دیگر لازم نیست که خود را درگیر مدل سازی مکانیکی کرده و تنش های پسماند را به طور مستقیم بدست آوریم. بدین گونه که با بهره گیری از تابع توزیع دمای بدست آمده از آنالیز حرارتی می توان به راحتی آنتروپی تولیدی را حساب کرده و به علت رفتار مشابهی که آنتروپی تولید شده در طول پروسه با رفتار تنش های پسماند دارد به عنوان معیار و مبنایی برای انتخاب پارامتر مناسب معرفی شده و مورد بهره برداری حتی در شرایط عملی قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

جمع بندی:

با توجه به مطالعات انجام شده، می توان توزیع یکنواخت حرارت تولیدی در پروسه جوشکاری را با استفاده از بهینه سازی ترتیب های مختلف جوشکاری و همچنین براساس تئوری ساختاری انجام داد. همچنین پیش بینی مقدار اعوجاج حاصل از پروسه جوشکاری براساس محاسبه حرارت ورودی به سازه جوشکاری شده بوسیله نرخ آنتروپی تولید شده قابل انجام می باشد به خصوص برای سازه های پیچیده که در سازه کشتی مورد استفاده قرار می گیرد. موارد زیر را می توان به عنوان نتیجه گیری برای کاربرد آنتروپی تولیدی و تئوری ساختاری در انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری ذکر نمود:

۱- در ترتیب های مختلف جوشکاری می توان پارامترها را نیز متغیر در نظر گرفت که به این صورت برای هر ترتیب جوشکاری میزان تغییر شکل ها متفاوت می باشد، یعنی به ازای هر ترتیب جوشکاری پارامترهای بهینه متفاوت است و با یک بررسی جامع می توان در بین تمامی ترتیب ها بهینه ترین پارامترهای جوشکاری را بدست آورد.

۲- بررسی و تحلیل تغییرات آنتروپی تولید شده در طول فرآیند جوشکاری و ترتیب های مختلف جوشکاری برای یافتن معیاری به منظور کنترل پارامترهای مذکور.

۳- مقایسه رفتار آنتروپی تولیدی در اثر تغییرات پارامترهای یاد شده با رفتار تنش های پسماند در مدلهای تحلیلی و عددی.

۴- تحلیل تأثیر کاربرد تئوری ساختاری در سازه های جوشکاری به منظور توزیع یکنواخت حرارت و کاهش مقدار تغییر شکل ها.

۵- استخراج مسیرهای بهینه جوشکاری براساس تئوری ساختاری با هدف کاهش تنش پسماند و تغییر شکل ها.

۶- ارائه الگوریتم موثر و بهینه برای کاهش میزان اعوجاج در سازه های جوشی با استفاده از نرخ آنتروپی تولیدی.

۷- بررسی تأثیر سرعت سرد شدن بر توزیع تنش پسماند و مقدار اعوجاج حاصل از جوشکاری

۸- محاسبات و بررسی صاف سازی[1] قطعات جوشکاری بعد از اعوجاج.

[1] straightening

www.SID.ir

Archive of SID

منابع:

[1] Davenport.T., "Ship Weld Sequence Optimization Moving Manufacturing to the Left",esi-group, 2014.

[2] Wang, J., Yuan, H., Ma, N., Murakawa, H.,"Recent research on welding distortion prediction in thin plate fabrication by means of elastic FE computation" Marine Structures, 2016.

[3] Chen, B.Q., Hashemzadeh, M., Soares, G., "Numerical and experimental studies on temperature and distortion patterns in butt-welded plates".IntJ Adv ManufTechnol, 2014.

[4] Hashemzadeh, M., Garbatov Y., Soares G." Reduction in weld induced distortions of butt welded plates subjected to preventive measures", Analysis and Design of Marine Structures, 2015.

[5] Wang, J., Rashed, sh., Murakawa, H., "Numerical prediction and mitigation of out-of plane welding distortion in ship panel structure by elastic FE analysis" Marine Structures.2013.

[6] Fricke, W., Zacke, S.,"Application of welding simulation to block joints in shipbuilding and assessment of weldinginduced residual stresses and distortions".Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng., 2014.

[7] Ozcatalbas,Y., Vural, H.I. "Determineation of optimum welding Sequence and distortion forces in steel lattice beams", journal of materials processing technology, 2009.

[8] Hernandez Arriaga, I." Welding Sequence Analysis", PHD. Thesis, 2009.

[9] Gannon, L., Liu,Y., Pegg, N., Smith M.,"Effect of Welding Sequence on Residual Stress and Distortion in Flat-bar Stiffened Plates", Marine Structures, 2010.

[10] Biswas, P., Anil Kumar, D., Mandal, N. R., and Mahapatra M. M., "A Study on the Effect of Welding Sequence in Fabrication of Large Stiffened Plate Panels", J. Marine. Sci. Appl, 2011.

[11] Kohandehghan, A.R., Serajzadeh, S.,"Experimental Investigation into the Effects of Weld Sequence and Fixture on Residual Stresses in Arc Welding Process", Journal of Materials Engineering and Performance, 3122.

[12] Keivani, R., Jahazi, M., Pham, T., Khodabandeh, A.R., Afshar, M. R. "Predicting residual stresses and distortion during multisequence welding of large size structures using FEM" Int J Adv. Manuf Technol, 3122.

[13] Asadi, M., Alsoruji, Gh."A Method to define the best weld sequence using a limited number of welding simulation analysis" Proceedings of the ASME Pressure Vessels and Piping Conference, 2015.

[14] Chen, B.Q., Soares, G., "Effect of welding sequence on temperature distribution, distortions, and residual stress on stiffened plates" IntJ Adv. Manuf Technol,3122.

[15] Hashemzadeh, M., Garbatov Y., Soares, G.,"Analysis of butt-weld induced distortion accounting for the welding sequences and Weld toe geometry, Maritime Technology and Engineering, 2015.

[16] Hashemzadeh M., Garbatov Y., Soares, G..."Numerical investigation of the thermal fields due to the welding sequences of butt-welds" Maritime Technology and Engineering, 2015.

[17] Wang, J., Ma, N., Murakawa, H.,"An efficient FE computation for predicting welding induced buckling in production of ship panel structure" Marine Structures, 2015.

[18] Park, J.u., Baek, G.,"Effect of welding sequence to minimize fillet welding distortion in a ship's small component fabrication using joint rigidity method" Journal of Engineering Manufacture.2015.

[19] Chen, Zh., Chen, Zh., Shenoi, R.A." Influence of welding sequence on welding deformation and residual stress of a stiffened plate structure" Ocean Engineering, 2015.

[20] Guangming, Fu., Lourenço, M.I., Duan, M., Estefen, S.F." Influence of the welding sequence on residual stress and distortion of fillet welded structures".Marine Structures.2016.

[21] Schajer, G. S., "Practical residual stress measurement methods", John Wiley & Sons, 2013.

[22] Kolenda, Z., Donizak J., Hubert J."on minimum Entropy Production in Steady State Heat Conduction Processes", Energy, 2004.

[23] Bejan, A.,"Entropy Generation Minimization" New York:CRC Press, 1995.

www.SID.ir

[24] Bejan, A.,"Entropy Generation through Heat and Fluid Flow.New York:John Wiley and Sons, 1982.

[25] Bejan, A., "Advanced Engineering Thermodynamics" New York: John Wiley and Sons, 1997.

[26] Bartoli, C., "Analysis of Thermal Irreversibilities in A Homogeneous and Isotropic Solid" International Journal of Thermal Science, 2005.

[27] Strub, F., Castaining-Lasvignottes, J., Strub M., Pons M., Monchoux F.,"Second Law Analysis of Periodic Heat conduction Through A Wall." International Journal of Thermal Sciences, 2005.

[28] Badescu V.,"Optimal Paths for Minimization Lost Available Work During Usual Heat Transfer Processes" NonEquilibrium Thermodynamic Journal, 2004.

[29] Bautista O., Mendez F., Martinez-Meyer J. L."Early Vs. Late Regimes Method Applied to Entropy Generation in On-Dimensional Conduction" International Journal of Thermal Science, 2005.

[30] Fallahi, A., jafarpur, K., Nami, M.R., “A Basis to investigate the Effect of Different Welding Sequences on Residual Stresses in Welded Plates' 9th Iranian Conference on Manufacturing Engineering, Iran, Birjand, 1387.

[31] Fallahi, A., jafarpur, K., Nami, M.R., “An investigation of the Effect of coolants on Residual Stresses in Weldments Based on Entropy Generation', ISME Conference, Tehran, 2010.

[32] Fallahi, A., Razavi, A., Jafarpour, K., Pourabdollah, H., " Analysis of the Effect of Weldment Material on Residual Stresses Based on Entropy Generation"National Conference on Mechanical Engineering, February 22-23, 2012, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran.

[33] Torabi, M, Zhang, K, Yang, G. Wang, J, Wu, P." Temperature distribution, local and total entropy generation analyses in asymmetric cooling composite geometries with multiple nonlinearities: Effect of imperfect thermal contact" Energy, 2014.

[34] Ziaee, S., Jafarpur, Kh., " Effect of Shell Dimensions on Buckling Behavior and Entropy Generation of Thin Welded Shells", World Academy of Science, Engineering and Technology,2011.

[35] Fallahi, A., jafarpur, K., Nami, M.R., "Analysis of welding conditions based on induced thermal irreversibilities in welded structures: Cases of welding sequences and preheating treatment," Scientia Iranica, 2011.

www.SID.ir