



۳۹۱۲۳

از دانشکده مکانیک
دانشگاه علم و صنعت ایران

به نام خدا

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مکانیک

016507

تحلیل و پیش بینی تنش های پسماند ناشی از جوشکاری
چند پاس در مقاطع ضخیم به روش المان محدود.

افشین جمشیدی باندری

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

استاد راهنما: دکتر علیرضا گوهری انارکی

اسفند ماه ۱۳۷۹

۳۹۸۲۳

تقدیم به پدر و مادرم

که امروز و فردای فرزندان دغدغه پیوسته خاطرشان است

چکیده

اگر طی فرایند جوشکاری، کرنش های حرارتی غیر خطی حاصل از بار دمایی گذرا، از حد الاستیک تجاوز نمایند، باعث کرنش های پسماند و در نتیجه تنش های پسماند می شوند. این تنش ها در مقاطع ضخیم سه بعدی اند و دارای توزیع پیچیده ای هستند. در این تحقیق روش و اسلوب تحلیل و پیش بینی عددی (المان محدود) حوزه های انتقال حرارت گذرا و تنش های پسماند ناشی از فرایند جوشکاری ارائه می شود. در اینجا تعیین توزیع تنش های پسماند دوبعدی، در طول ضخامت یک ورق فولاد متوسط ضخیم با جوش چند پاس مورد نظر می باشد. جوشکاری با گاز محافظ (MIG) و جوش از نوع لب به لب X شکل است، ولی روش تحلیل برای حالت ها و جنس های دیگر نیز قابل تعمیم است.

تحلیل و پیش بینی تنش های پسماند جوش یک تحلیل حرارتی - مکانیکی (ترمو مکانیکی) است، ولی چون حرارت ناشی از کرنش الاستو-ویسکو-پلاستیک قطعه کار، در مقایسه با حرارت قوس الکتریکی جوشکاری که به قطعه کار وارد می شود بسیار کم و قابل صرف نظر است، دو تحلیل مستقل حرارتی و مکانیکی صورت گرفته است. ابتدا تحلیل انتقال حرارت گذرا انجام و تاریخچه دمایی محاسبه و ذخیره شده است. سپس نتایج تحلیل اول بصورت بار دمایی گذرا روی مدل مکانیکی اعمال و یک تحلیل استاتیک غیر خطی انجام شده و در نتیجه تنش های پسماند جوش بدست آمده است. این تحلیل ها به کمک نرم افزار تحلیل مهندسی NISA انجام شده است.

تقدیر و تشکر

بعد سپاس بسیار از الطاف و عنایات پیوسته و روز افزون الهی ، در انجام این تحقیق و نگارش پایان نامه از راهنمایی و مساعدت " دکتر علیرضا گوهری انارکی " بعنوان استاد راهنما بهره جسته ، از ایشان سپاسگزارم . همچنین سپاسگزارم از " دکتر امیر حسین کوبی " عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف ، چه ، استفاده از توصیه و مساعدت ایشان موجب افتخار است و مسرت، و نیز از " مهندس محسن هاشمی " مولف کتاب طراحی و تحلیل مهندسی به کمک NISA ، چه ، راهنمایی های این دوست فروتن برایم غنیمتی بود . ضمناً از " دکتر رضا معدولیت " ، استاد مدعو داخلی و " دکتر رحمت ... قاجار " عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی ، استاد مدعو خارجی که قبول زحمت فرمودند در جلسه بررسی و دفاع از این پایان نامه حضور داشتند تشکر و قدردانی می شود . در انتها - ولی نه کمتر از سایرین بلکه بیشتر و صمیمانه - سپاسگزارم از خواهرم " ماندانا جمشیدی " چه ، در اوایل راهی که بدین جا ختم شد عملاً دلگرم تر و امیدوارترم ساخت .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
فصل اول - آشنایی با جوشکاری.....	۴
۱-۱- مقدمه.....	۴
۱-۲- جوش و طبقه بندی فرآیند های جوشکاری.....	۵
۱-۳- تاریخچه جوشکاری.....	۸
۱-۴- اتصالات جوش - مزایا و معایب.....	۱۰
فصل دوم - گذاری بر متالورژی جوشکاری.....	۱۲
۱-۲- پیرامون متالورژی جوشکاری.....	۱۲
۲-۲- ساختار میکروسکوپی و خواص مکانیکی فلز جوش.....	۱۴
۲-۳- قابلیت جوشکاری.....	۱۶
فصل سوم - مبانی جوشکاری با الکتروود فلزی و گاز محافظ.....	۱۸
۱-۳- مقدمه.....	۱۸
۲-۳- ابداع جوشکاری MIG (GMAW).....	۲۱
۳-۳- امتیازات و محدودیت های جوشکاری MIG.....	۲۲
۳-۴- مبانی فرآیند جوشکاری MIG.....	۲۳
۳-۴-۱- اصول عملکرد.....	۲۳
۳-۴-۲- مکانیزم های انتقال فلز و مشخصات فنی GMAW.....	۲۶
۳-۴-۳- متغیرهای فرآیند GMAW.....	۲۹
۳-۴-۴- مواد مصرفی فرآیند جوشکاری MIG.....	۳۰

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۲.....	فصل چهارم - تنش های پسماند.....
۳۲.....	۴-۱- مقدمه.....
۳۳.....	۴-۲- تنش پسماند و عوامل آن.....
۳۴.....	۴-۳- چگونگی ایجاد تنش های پسماند.....
۳۴.....	۴-۳-۱- تنش های پسماند حاصل از عدم تطابق ساختاری.....
۳۵.....	۴-۳-۲- تنش های پسماند حاصل از توزیع نامناسب کرنش های غیرالاستیک.....
۴۰.....	۴-۴- معادلات بنیادی تنش های پسماند (دوبعدی).....
۴۲.....	۴-۵- تنش های حرارتی در جوشکاری.....
۴۵.....	۴-۶- روند تغییرات دما و ایجاد تنش های پسماند جوشی.....
۴۷.....	۴-۷- شرط تعادل تنش های پسماند.....
۴۷.....	۴-۸- توزیع تنش های پسماند در صفحه جوش لب به لب.....
۵۰.....	فصل پنجم - آشنایی با روش اجزای محدود در مهندسی.....
۵۰.....	۵-۱- مفاهیم اولیه.....
۵۱.....	۵-۲- سابقه تاریخی.....
۵۲.....	۵-۳- کاربردهای مهندسی روش اجزای محدود (FEM).....
۵۳.....	۵-۴- بسته های نرم افزاری اجزای محدود.....
۵۴.....	۵-۵- مقدمه ای بر انتقال حرارت در روش اجزای محدود.....
۵۵.....	۵-۶- معادلات اصلی انتقال حرارت.....
۵۵.....	۵-۶-۱- معادله تعادل انرژی.....
۵۶.....	۵-۶-۲- معادلات نرخ انتقال حرارت.....
۵۶.....	۵-۶-۲-۱- هدایت.....
۵۸.....	۵-۶-۲-۲- جابجایی.....

عنوان

صفحه

۵۹.....	۳-۲-۶-۵- تشعشع
۶۰.....	۴-۲-۶-۵- انرژی ایجاد شده در جسم جامد
۶۱.....	۷-۵- مقدمه ای بر تحلیل استاتیکی در روش اجزای محدود
۶۳.....	فصل ششم - مدلسازی و تحلیل مسأله به روش اجزای محدود
۶۳.....	۱-۶- سابقه تاریخی تحلیل تنش پسماند به روش اجزای محدود
۶۵.....	۲-۶- فهرستی از روش های تجربی اندازه گیری تنش های پسماند
۶۶.....	۳-۶- اهمیت و مزیت روش اجزای محدود در تحلیل مسأله مورد تحقیق
۶۷.....	۴-۶- آشنایی با نرم افزار NISA
۶۹.....	۵-۶- مسیر مدلسازی و تحلیل
۷۰.....	۶-۶- شرح و تبیین مسأله
۷۱.....	۷-۶- مدل حرارتی و تحلیل حرارتی
۷۳.....	۱-۷-۶- مشخصات مدل حرارتی (و مکانیکی)
۷۴.....	۲-۷-۶- خواص ماده در تحلیل حرارتی
۷۴.....	۳-۷-۶- اعمال حرارت ورودی (شار حرارتی) جوشکاری
۷۸.....	۴-۷-۶- معادله انرژی و شرایط مرزی انتقال حرارت
۷۹.....	۵-۷-۶- تغییر فاز
۸۰.....	۶-۷-۶- درجه حرارت بین پاس
۸۰.....	۷-۷-۶- چشم پوشی از برخی واقعیات
۸۱.....	۸-۶- مدل مکانیکی و تحلیل تنش
۸۱.....	۱-۸-۶- مشخصات مدل مکانیکی
۸۱.....	۲-۸-۶- خواص ماده در تحلیل تنش
۸۳.....	۳-۸-۶- دمای برش یا دمای انقطاع

صفحه

عنوان

۸۴.....	۶-۸-۴- شرایط مرزی مکانیکی
۸۴.....	۶-۸-۵- تحلیل تنش
۸۵.....	۶-۸-۵-۱- مدل های غیر خطی در NISA و در تحلیل
۸۶.....	۶-۸-۵-۲- رفتارهای پلاستیک ماده در NISA و در تحلیل
۸۷.....	۶-۸-۶- واقعیات چشم پوشی شده
.....	
۸۸.....	فصل هفتم - نتایج تحلیل ها
۸۸.....	۷-۱- نتایج تحلیل حرارتی
۹۶.....	۷-۲- دو نکته
۱۰۰.....	۷-۳- نتایج تحلیل مکانیکی
.....	
۱۱۹.....	فصل هشتم - نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۱۹.....	۸-۱- نتیجه گیری
۱۲۰.....	۸-۲- پیشنهادات
۱۲۱.....	منابع و مراجع

به نام خداوند بخشنده مهربان

الا ای کسانی که (به زبان) ایمان آورده اید چرا (با خدا و خلق دو رنگی و نفاق می ورزید و) چیزی به زبان می گوئید که در مقام عمل خلاف آن می کنید ؟
(آیه ۲- سوره صف)

با نگاهی گذرا و اجمالی به سرگذشت بشر میتوان دریافت ، بشر که از نیستان مالوف خویش دور افتاده ، پیوسته در حال گشودن روزنه ای است تا هستی را جلوه و صورت قابل تحمل تری دهد و کیفیت زندگی را رونقی بخشد ، و شاید اگر کیفیت و تلطیف هستی و زندگی دغدغه جدی اش نمی شد هرگز از پلکان ها و نردبان های متنوعی چون هنر ، صنعت ، پرستش و ... که هر یک را انواع و شاخ و برگهای متعددی است ، بالا نمی رفت و اکنون این چنین بر اوج و فراز نایستاده بود . حال این سؤال مطرح است که ما ایرانیان در کدام پله ها از این پلکانها ایستاده ایم ؟ نگاهمان به فراز است یا به فرود ؟

از پلکانهای دیگر درگذریم . در پلکان صنعت و فن آوری بنظر میرسد که معلوم نیست نگاهمان به چه سوی است ، معطلیم و مردد ، بی اراده ایم و بی تفاوت ، سرخورده ایم و نا امید . در واقع اینها همه خود معلومند و طبیعی ، زیرا هر یک از افراد جامعه در جای خود و به نوبه خود بر دیگر افراد بگونه ای موثرند که نتیجه مستقیم یا غیر مستقیم آن این عوارض و آفات اجتماعی است ، چه ، میتوان گفت در مقابل هر کار عظیم و جمعی ، تک تک افرادی که باید وظیفه ای انجام دهند و گوشه ای از کار را بگیرند ، همچون یک کودکند در مقابل یک کار کوچک ، و همانگونه که کودک بشدت تحت تاثیر تشویق و تعجیزهای اطرافیان ذهنیت و تفکرش و در نتیجه عزم و اراده اش تقویت و تضعیف می گردد ، ذهنیت ، تفکر و حتی تخیل تک تک افراد جامعه نیز برای انجام آن کار عظیم یا سازندگی جمعی تحت تاثیر و نفوذ روح نگرش ، روح تفکر و روح تخیل غالب جامعه قرار می گیرد و بدین ترتیب اراده جمعی اجتماع در یک تاثیر متقابل و دوسویه شکل و فرم می یابد . آری، هر نگرش ، تفکر و موج مثبتی بر تفکر و عزم و اراده دیگران اثر مستقیم مثبت و فزاینده دارد و در حکم امید دهنده و تقویت کننده است و اثر هر نگرش ، تفکر و موج منفی بر عکس است .

بدین قیاس امروزه تقریباً همه افراد جامعه ما که دست اندرکار کاری می باشند با روح تفکر و نگرش و کلام و نگاه و روحیه و جهت گیرهای ذهنی منفی و نا امید کننده خود برای دیگران در حکم داوری مخدر و رخوت زا و سیاه بی تفاوتی و نا امیدی اند ، تحت تاثیر این

فرآیند و این دارویی که برای دیگران تجویز می کنیم و برایمان تجویز می شود، جوانی با پتانسیل قابل توجه علمی و امیدوار و با انگیزه در بدو ورود به عرصه صنعت کشور، رفته رفته تخریب و از همت و عزم و اراده و گاه از سرمایه های معنوی چون نعدوستی، میهن دوستی، ایثار و... تخلیه می شود و تبدیل به عنصری بی تفاوت و منفی نگر. فرصت طلب و خود محور، منفعل و نا امید، و در یک کلمه تبدیل به عضوی بی مسئولیت و خستی از پیکره صنعت می شود که اغلب جز به خود و شادکامی خود و بیرون کشیدن گلیم خود از آب نمی اندیشد احتمالاً این دسته از جوانان، ناخودآگاه از یاد برده اند که به گفته گزیده و درسای فخرالدین گرگانی:

جهان نیمی زبهر شادکامی است

دگر نیمی زبهر نیکنامی است

و اندکند آنان که اینگونه مسخ نمی شوند و به ابتدالی که چون در همه جامعه سرپال یافته، زشتی و بی قدریش از یاد رفته، خو نمی کنند. آنان اگرچه کار موثری نتوانند کرد اما چراغ لرزان امید را آگاهانه و عاشقانه در دل و جان روشن نگاه میدارند و همواره آماده پویش و برخاستند.

نا گفته پیداست که با این بستر و زمینه غالب نه زایش و پرورش مدیری موثر و کارآمد را شاهد خواهیم بود - چه، تخصص مفید و کارا بطور تدریجی در سایه تعهد کامل به فن و حرفه و مردم است که بدست می آید و حال آنکه در جامعه ما این تعهد (نه تعهد شعاری که هنوز تا حدودی متداول و در جریان است و تنها باید جزئی از آن تعهد کامل به حساب آید) تحت تاثیر روح نا امیدی و بی تفاوتی جمعی فراموش شده و مرده است - و نه اگر مدیر و رهبری مفید و کارآمد پیدا شد هیچ برنامه و هدفی بدون اراده و حمایت جمعی بدرستی دنبال خواهد شد و به انجام خواهد رسید.

بنابراین ای هم میهن، ای هم پیمان، ای هم مقصود اکنون که کاری هر چند کوچک را قادریم، دریغ نورزیم و با تکیه بر پیشینه فرهنگی و سرمایه اعتماد به نفس و اتکا به استعداد والای ایرانی چراغ امید و انگیزه سازندگی را صبورانه در قلب ها بیفروزیم تا در نگاه داوران آتی این مرز و بوم از سیاهکاران منفعت طلب و خود محور نباشیم، در غیر اینصورت بطور حتم از محکومانیم چه، در حد توان و امکان گامی برداشته ایم، استیون هاوکینگ نابغه مفلوج فیزیک نظری جمله تکان دهنده ای دارد که برای همگان مصداق می یابد، این مرد عجیب و با اراده انگلیسی که اکنون سرش، تنها عضو قابل حرکتش است می گوید: "تنها با

بالا رفتن سن ، انسان متوجه می شود که زندگی عادلانه نیست ، باید در هر وضعی که هستید بهترین کاری را که از عهده شما بر می آید بکنید " با نگرشی چنین است که در خبرها می خوانیم اغلب کشورهای اروپایی یا حتی برخی کشورهای آسیایی ۴ تا ۷ برابر ما ایرانیان کار می کنند ، اما نباید از این نکته غافل بود که بی عشق و امید و انگیزه این تلاش مجدانه ممکن نیست و انتظاری غیر از وضع موجود معقول نیست . برآستی چه بر سر جامعه ای که به علی (ع) - او که نومیادی را بزرگترین بلا و کار را بزرگترین تفریح خوانده است - منسوب است آمده یا آورده شده که بدین فلاکت خاکستری دچار شده است .

بباید در سایه همدلی آگاهانه شور امید و انگیزه را در اراده قلب ها زنده کنیم تا کار و تلاشی چنین را شاهد باشیم تا از نیکنامانی باشیم که قلبشان برای مردم و میهن می تپد چه ، به تعبیر شادروان دکتر محمود حسابی " قلبی که برای ایران تپد هرگز نپسند " و این نخستین و مهمترین گام در عشق به ایران و سرنوشت ایران است مگر نه اینکه پیغمبر اسلام (ص) فرمودند : " حب الوطن من الایمان "

به امید آنکه خدای رحمان به همه ملت ما قلبی آن چنین و ایمانی این چنین مرحمت فرماید .

مقدمه

اگرچه به زعم برخی از صاحب نظران، تنظیم دستورالعمل جوشکاری^۱ (WPS) و گواهی کیفیت جوشکاری^۲ (PQR)، و به زعم برخی دیگر ایجاد مراکز معتبر برای آموزش و تأیید مهندسين، سرپرستان و تجهیزات جوشکاری مطابق استانداردهای فنی از بهترین روش‌هایی است که می‌تواند یک جوش استاندارد و قابل قبول را باعث شود، ولی در هر حال فرآیند جوشکاری مشکلات ناگزیری را بدنبال دارد که حتی در حال حاضر نیز صنایع کشورهای صنعتی دنیا، با آن مواجه‌اند و محور اصلی پیشرفت این کشورها یعنی دانشگاه‌ها و مراکز علمی-تحقیقاتی که مکمل و پشتیبان صنایع نیز هستند در ارتباطی تنگاتنگ به این گونه مشکلات می‌پردازند. از جمله این مشکلات، تحلیل و پیش‌بینی تنش پسماند ناشی از فرآیند جوشکاری است. نظری گذرا بر کتب و مقالات جدید و معتبر علمی - صنعتی در این زمینه، گواهی بر صدق این مدعاست.

عجب آنکه در این کشور عزیز، که سالها بسیاری جهات، عقب نگاه داشته شده است، و صنعتش بسی کندتر و عقب‌تر از دانشگاهش گام برمی‌دارد- که همین نقیصه در کنار عدم برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد و پویا، دلیل اصلی عدم ارتباط درست و ثمربخش این دو محور اصلی پیشرفت و توسعه کشور است - و با نرخ تند تغییرات اخیر سطح فن‌آوری، عقب‌تر نیز خواهد افتاد، تحلیل تنش‌های پسماند جوش، یک مشکل صنعتی است و قدمی در راستای حل و تخفیف آن مایه سرفرازی تهیه‌کننده، چه، به گواهی آقای دکتر امیرحسین کوبکی "پروژه‌ای است مفید و نتایج آن در صنعت کشور می‌تواند قابل استفاده باشد".

تنش پسماند جوشی نتیجه کرنش‌های حرارتی غیرخطی ناشی از بار دمایی گذرای فرآیند جوشکاری است. در واقع چنانچه این کرنش‌ها از حد الاستیک فراتر روند (وارد منطقه پلاستیک شوند) باعث کرنش‌های پسماند و در نتیجه تنش‌های پسماند می‌شوند.

¹ WPS : Welding Procedure Specification

² PQR : Procedure Qualification Records

بزرگی و توزیع تنش‌های پسماند جوش بستگی به عواملی چون جنس و هندسه قطعه، شکل اتصال، نوع فرآیند جوشکاری و پارامترهای آن، تغییرات فازی صورت گرفته حین جوشکاری و درجه مهار یا درگیری قطعه دارد. از عوامل مؤثر در این زمینه تغییرات فازی صورت گرفته در فلز پایه و منطقه متأثر از جوش در حین خنک شدن جوش می‌باشد. در مقاطع نازک این تنش‌ها عمدتاً دو بعدی (در امتداد طول و عرض جوش) و مؤلفه تنش در جهت ضخامت ناچیز است، ولی در مقاطع ضخیم، این تنش‌ها سه‌بعدی‌اند و توزیع پیچیده‌ای بهمراه دارند [15].

تنش‌های پسماند کششی بزرگ، خطر ایجاد ترک، شکست ترد، خوردگی تنشی و خستگی را در سازه‌های جوشی افزایش می‌دهد در این موارد تنش‌های پسماند فشاری اهمیت چندانی ندارد ولی باعث کاهش مقاومت کماتشی می‌شود.

مشکل اصلی، که در سالهای اخیر، توانایی پرداختن به آن از روش عددی المان محدود، این روش نسبتاً قوی را ممتاز نموده است، پیش‌بینی شکل نهایی قطعه تحت جوشکاری، با داشتن ابعاد اولیه می‌باشد. تصحیح ابعاد اینگونه قطعات بوسیله ماشینکاری نه تنها وضعیت را بهبود نمی‌بخشد بلکه برداشت بخشی از قطعه ممکن است موجب بهم خوردن بیشتر تعادل داخلی تنش شده و در نهایت پیچش بیشتری را در قطعه کار باعث شود.

همچنین، با داشتن اطلاع قبلی از تنش‌های پسماند و انحراف جوش به کمک مدل عددی یک طراح می‌تواند در مورد نحوه و ترتیب جوشکاری یا عملیات تنش‌زدایی بعد از جوشکاری برای بدست آوردن شکل مطلوب و مقاومت بهینه محصول نهایی تصمیم بگیرد.

موضوع و هدف این تحقیق ارائه یک روش و اسلوب برای تحلیل و پیش‌بینی عددی حوزه‌های انتقال حرارت گذرا و تنش پسماند حاصل از فرآیند جوشکاری است و نمونه‌ای که مطابق این اسلوب کلی تحلیل شده است یک ورق ضخیم با جوش چند پاس است که تعیین توزیع دمای گذرا و تنش پسماند در طول ضخامت آن مورد نظر بوده است.

پیش‌بینی و تحلیل تنش‌های پسماند جوش یک تجلیل حرارتی - مکانیکی (ترمو مکانیکی) است که به روش عددی المان محدود صورت می‌گیرد. چون حرارت ناشی از تغییر شکل پلاستیک (کرنش الاستو-ویسکو - پلاستیک) در مقایسه با

حرارت قوس الکتریکی جوشکاری که به قطعه کار وارد می‌شود بسیار کم و قابل چشم‌پوشی است، از تأثیر متقابل رفتارهای حرارتی و مکانیکی برهمدیگر صرفنظر شد و بجای یک تحلیل حرارتی - مکانیکی، دو تحلیل مستقل حرارتی و مکانیکی صورت گرفت، یعنی ابتدا یک تحلیل انتقال حرارت گذاری غیرخطی انجام و تاریخچه حرارتی جوش محاسبه و ذخیره شد. سپس نتایج تحلیل اول بصورت بار دمایی گذرا روی مدل مکانیکی که همانند مدل دمایی است اعمال و یک تحلیل استاتیک غیرخطی از نوع تحلیل ترمو-الاستو-پلاستیک گذرا انجام شد و در نتیجه تنش‌های پسماند جوش بدست آمد. برای این تحلیل‌ها از نرم‌افزار تحلیل مهندسی NISA استفاده شد و در نهایت نتایج عددی با نتایج تجربی موجود مقایسه شد.