٢٧٩٥٤

مرکز اطلاعات ... علمی ایران
۱۳۹۵ /۱۰/ ۲۲

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مکانیک - طراحی کاربردی

تحلیل و ارزیابی تنش‌های پسماند جوش به روش اجزاء محدود

توحید پیرصمدی

استاد راهنما:

دکتر مجید میرزایی

4838

۲۷۹۵۴

تیرماه ۷۸

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای توحید پیرصمدی پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تحلیل و ارزیابی تنش‌های پسماند جوش به روش FEM در تاریخ ۷۸/۴/۳۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش طراحی کاربردی پیشنهاد می‌کنند. ۲۸ب۴

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر میرزائی	
۲ـ استاد مشاور :	—	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر معرفت	
	آقای دکتر هادیان	
۴ـ مدیر گروه : (یا نمایندهٔ گروه تخصصی)	آقای دکتر محمدی مقدم	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

بسمه‌تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ ..... است که در سال ..... در دانشکدهٔ ..... دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... ، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب توحید سرصمدی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: توحید سرصمدی

تاریخ و امضا:

تقدیر

بدینوسیله از استاد محترم جناب آقای دکتر مجید میرزایی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و سعهٔ صدرشان تشکر و قدردانی می‌کنم. همچنین از خانوادهٔ عزیزم که مشوق اینجانب برای ادامهٔ تحصیلم بوده‌اند و نیز تمامی دوستانی که در انجام این پروژه یاریم رساندند، صمیمانه سپاسگذاری نموده، آرزوی سلامتی و موفقیتشان را دارم.

توحید پیرصمدی

تیر ماه ۱۳۷۸

تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوارم

چکیده

فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی منجر به ایجاد تغییرات پیچیدهٔ فیزیکی و متالورژیکی در قطعه‌کار می‌شود. در این فرآیند همچنین عوامل غیرخطی کنندهٔ ماده نظیر پارامترهای فیزیکی وابسته به دمای جوش باعث پیچیده‌تر شدن بیشتر مسأله می‌شوند. به همین جهت ارائهٔ یک مدل ریاضی دقیق حرارتی و تنشی در این شرایط بسیار مشکل است.

در این تحقیق یک آنالیز حرارتی- مکانیکی گذرای سه‌بعدی برای جوشکاری قوسی با گاز محافظ به روش اجزاء محدود انجام شده است. به خاطر اینکه حرارت تولید شده در اثر کرنش الاستو- پلاستیک در جوشکاری نسبت به حرارت ایجاد شده توسط قوس الکتریکی ناچیز می‌باشد؛ لذا آنالیز حرارتی- مکانیکی به دو بخش تقسیم می‌شود. در بخش اول یک آنالیز انتقال حرارت گذرای سه‌بعدی انجام شده و تاریخچهٔ حرارتی جوش محاسبه می‌گردد. در بخش دوم با استفاده از نتایج دمایی به‌دست آمده از بخش نخست، یک آنالیز ترمو- الاستو- پلاستیک گذرای سه‌بعدی برای محاسبهٔ انحراف‌ها، کرنش‌ها و تنش‌های گذرا و پسماند جوش انجام می‌گردد. در این پایان‌نامه تمامی خواص ترموفیزیکی و مکانیکی ماده به صورت تابعی از دما لحاظ می‌شوند. مادهٔ به‌کار رفته فولاد متوسط(۰/۲۲ درصد کربن) است ولی روش کار کلی بوده و می‌تواند به مواد دیگر نیز تعمیم داده شود.

نتیجه‌ای که از این پایان‌نامه حاصل می‌شود این است که در جوشکاری میگ با فلز پرکننده، تنش پسماند عرضی بزرگتر از تنش پسماند طولی است به همین جهت اکثر ترک‌ها در امتداد جوش پدید می‌آید. همچنین در جوشکاری تیگ بدون فلز پرکننده به دلیل اینکه گرادیان‌های دمایی در دو جهت طولی و عرضی تفاوت زیادی ندارند تنش‌های پسماند طولی و عرضی تقریباً دارای یک اندازه‌اند. در هر دو مدل، اندازهٔ تنش‌های پسماند برشی یک مرتبه پایین‌تر از اندازهٔ تنش‌های پسماند نرمال است. در این تحقیق از کد اجزاء محدود LUSAS استفاده شده است.

کلمات کلیدی : تنش‌های پسماند، جوش لب‌به‌لب، ورق، انحراف، روش اجزاء محدود، جوشکاری میگ، جوشکاری تیگ، LUSAS

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول : مقدمه ۱

فصل دوم : مقدمه ای بر جوشکاری ۶

۲-۱) تعریف جوش ۷

۲-۲) تقسیم بندی روش‌های جوشکاری ۸

۲-۳) جوشکاری قوس‌الکتریکی با گاز محافظ ۹

۲-۴) اصول فرآیند جوشکاری قوس‌الکتریکی با گاز محافظ ۱۰

۲-۵) انواع روش‌های جوشکاری با گاز خنثی ۱۱

۲-۶) جوشکاری قوسی گاز فلز (میگ) ۱۲

۲-۶-۱) مشخصهٔ فرآیند جوشکاری میگ ۱۲

۲-۶-۲) تاریخچهٔ فرآیند جوشکاری میگ ۱۳

۲-۶-۳) مزایا و محدودیت های فرآیند جوشکاری میگ ۱۴

۲-۷) اصول فرآیند جوشکاری میگ ۱۵

۲-۷-۱) اصول کارکرد ۱۵

۲-۷-۲) مکانیزم های مختلف انتقال فلز در جوشکاری میگ ۱۷

۲-۷-۲-۱) انتقال به‌روش اسپری یا ذره‌پاشی (پاششی) ۱۸

۲-۷-۲-۲) انتقال به‌روش مدار اتصال کوتاه ۲۰

۲-۷-۲-۳) روش انتقال گلوله‌ای ۲۲

۲-۷-۲-۴) انتقال جوش به‌صورت اسپری ـ پالسی ۲۳

۲-۷-۳) تجهیزات لازم برای جوشکاری میگ ۲۴

۲-۷-۳-۱) تفنگ جوشکاری ۲۴

عنوان | صفحه

۲-۷-۳-۲) واحد تغذیهٔ الکترود ۲۵

۲-۷-۳-۳) مکانیزم کنترل جوشکاری ۲۶

۲-۷-۳-۴) منبع قدرت جوشکاری ۲۶

۲-۷-۳-۵) منبع الکترود ۲۷

۲-۷-۳-۶) مواد مصرف شونده ۲۷

۲-۷-۳-۷) گاز محافظ ۲۸

فصل سوم : اصول حرارتی جوشکاری با قوس الکتریکی ۲۹

۳-۱) مقدار حرارت خروجی از منابع حرارتی جوشکاری ۳۰

۳-۲) بازدهی قوس الکتریکی ۳۳

۳-۳)اهمیت میدان‌های دمایی جوش ۳۵

۳-۴) بیان مدل ریاضی برای حرارت وارد شده به منطقهٔ جوشکاری ۳۶

۳-۵) اثر جریان گاز محافظ ۴۱

۳-۶) اثر دبی گاز محافظ و ضریب صدور فلز ۴۲

۳-۷) تأثیر زاویهٔ مشعل بر مشخصات جوش ۴۳

۳-۸) منابع حرارتی مورد استفاده برای شبیه‌سازی ریاضی فرآیندهای جوشکاری .. ۴۴

۳-۸-۱)روش تحلیلی برای به‌دست آوردن توزیع دمای جوش ۴۴

۳-۹) میدان دمایی حاصل از منبع حرارتی نقطه‌ای لحظه‌ای ساکن در روی جسم نیمه بی نهایت ۴۶

۳-۱۰) منبع حرارتی نقطه‌ای متحرک بر روی جسم نیمه بی نهایت ۴۸

عنوان | صفحه

فصل چهارم : تنش های پسماند ۵۱

۴-۱) تنش پسماند ۵۲

۴-۲) عوامل ایجاد کنندهٔ تنش‌های پسماند ۵۲

۴-۲-۱) تنش‌های پسماند ایجاد شده با مکانیزم عدم تطابق ۵۳

۴-۲-۱-۱) سیستم سه میله‌ای با طول‌های متفاوت ۵۳

۴-۲-۱-۲) آزمایش ساتوچ ۵۴

۴-۲-۱-۳) سیستم سه میله ای تحت‌اثر سیکل حرارتی ۵۵

۴-۲-۱-۴) نتیجه‌گیری از سیستم سه میله‌ای ۵۷

۴-۲-۲) تنش‌های پسماندایجاد شده در اثرتوزیع نامناسب کرنش‌های غیرالاستیک ۵۸

۴-۳) روابط اساسی برای یک میدان تنش پسماند صفحه‌ای دو بعدی ۵۸

۴-۴) شرط تعادل تنش‌های پسماند ۶۰

۴-۵) روش‌های تجربی برای اندازه‌گیری تنش‌های پسماند در قطعات مهندسی ۶۱

۴-۶) اهمیت روش‌های عددی در تحلیل تنش‌های پسماند ۶۳

۴-۷) بیان مکانیزم ایجاد تنش‌های پسماند جوشکاری ۶۳

۴-۸) تنش‌های جوشی پسماند و تنش‌های عکس‌العملی ۶۷

۴-۹) تنش‌های پسماند در یک جوش لب به لب ۶۸

۴-۱۰) حرکت فلز در زمان جوشکاری ۶۹

فصل پنجم : مدل اجزاء محدود جوش ۷۲

عنوان | صفحه

۵-۱) تاریخچه تحلیل تنش های پسماند جوش به روش اجزاء محدود ۷۳

۵-۲) مدل ترمو دینامیکی فرآیند جوشکاری ۷۷

۵-۳) مدل حرارتی فرآیند جوشکاری میگ ۷۸

۵-۳-۱) هندسه قطعه کار ۷۸

۵-۳-۲) ملاحظاتی در موردمدل حرارتی فرآیند جوشکاری میگ ۸۰

۵-۳-۳) روش های موجود برای در نظر گرفتن ماده پرکننده ۸۴

۵-۳-۴) انتخاب المان برای مدل حرارتی ۸۸

۵-۳-۵) رابطه ریاضی برای بیان شار حرارتی ناشی از قوس جوشکاری ۹۰

۵-۳-۶) شرایط مرزی ۹۳

۵-۴) مدل حرارتی فرآیند جوشکاری تیگ ۹۵

۵-۴-۱) هندسه قطعه کار ۹۵

۵-۴-۲) ملاحظاتی در موردمدل حرارتی فرآیند جوشکاری تیگ ۹۵

۵-۴-۳) انتخاب المان برای مدل حرارتی ۹۷

۵-۴-۴) رابطه ریاضی برای بیان شار حرارتی ناشی از قوس جوشکاری ۹۸

۵-۵) مدل مکانیکی فرآیند جوشکاری میگ ۹۹

۵-۵-۱) انتخاب المان برای مدل مکانیکی ۹۹

۵-۵-۲) خواص ماده در تحلیل مکانیکی ۱۰۰

۵-۵-۳) اعمال تاریخچه دمایی در مدل مکانیکی ۱۰۲

۵-۵-۴) دمای برش ۱۰۳

عنوان | صفحه

۵-۵-۵) شرایط مرزی مکانیکی ۱۰۳

۵-۶) آنالیز میدانی یکنواخت ۱۰۵

۵-۷) آنالیز حرارتی گذرا ۱۰۶

۵-۸) آنالیز گذرای غیرخطی ۱۰۷

۵-۹) تغییرفاز ۱۰۸

۵-۱۰) اصول تحلیل مکانیکی در روش اجزاء محدود ۱۱۲

۵-۱۰-۱) تکنیک حل مسائل غیر خطی در روش اجزاء محدود ۱۱۳

۵-۱۱) ملاحظاتی در مورد ایجاد مدل المان محدود در تحلیل غیرخطی ۱۱۶

فصل ششم : نتایج مدل اجزاء محدود ۱۱۹

۶-۱) نتایج مدل حرارتی ۱۲۰

۶-۱-۱)نتایج حرارتی مدل جوشکاری میگ ۱۲۰

۶-۱-۲) نتایج حرارتی مدل جوشکاری تیگ ۱۲۷

۶-۲)نتایج تحلیل مکانیکی ۱۳۳

۶-۲-۱) نتایج مکانیکی مدل جوشکاری میگ ۱۳۳

۶-۲-۲)نتایج مکانیکی مدل جوشکاری تیگ ۱۳۷

۶-۳) نتیجه گیری ۱۴۷

۶-۴) پیشنهادات ۱۴۹

ضمائم ۱۵۱

مراجع

فصل اول

مقدمه

امروزه صنعت جوشکاری از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در ساخت و تعمیر قطعات کاربرد فراوانی دارد. گسترهٔ استفاده از فرآیند جوشکاری نیز وسیع بوده و از قطعات کوچک تا قطعات و سازه‌های عظیم را شامل می‌گردد. این فرآیند در موارد بسیاری جای پرچکاری را گرفته و به جرأت می‌توان گفت که در حال حاضر نمی‌توان فرآیندی را جایگزین جوشکاری نمود.

سازه‌های جوشکاری شده به هیچوجه خالی از اشکال نیستند و مشکلات زیادی به همراه دارند. به‌عنوان مثال در صورتی‌که ترکی در یک سازهٔ جوشی شروع به پیشروی کند، جلوگیری از آن بسیار مشکل خواهد بود. بنابراین مطالعهٔ شکست در سازه‌های جوشی موضوعی مهم است. درحالیکه اگر ترکی در یک سازهٔ پرچکاری شده ایجاد شود تا محل پرچ رشد کرده و متوقف می‌شود و تا موقعی که ترک جدیدی جوانه نزده بطور موقت شکست اتفاق نمی افتد. به‌همین‌دلیل اتصال‌های پرچی در بعضی موارد به‌عنوان متوقف کنندهٔ ترک [1] در سازه‌های‌جوشی به کار می‌روند[۵].

جوش‌ها اغلب دچار انواع مختلف عیوب می‌شوند؛ از جمله : تخلخل[2]، ایجاد ترک و غیره که از مطلوبیت جوش می‌کاهند. همچنین در عمل، جوشکاری برخی فلزات نسبت به فولاد معمولی دارای مشکلات بیشتری است. برای مثال جوشکاری فولادهای مقاوم بدون ایجاد ترک بسیار پیچیده است. این نوع فولادها حتی نسبت به عیوب کوچک نیز حساسند. همچنین آلیاژهای آلومینیوم نسبت به پدیدآمدن تخلخل در فلز جوش مستعد هستند .

به دلیل گرمایش و سرمایش موضعی طی جوشکاری، تنش‌های حرارتی پیچیده‌ای در زمان‌جوشکاری ایجاد شده و پس از جوشکاری نیز تنش‌پسماند و انحراف پدید می‌آید. این پدیده که موضوع تحقیق حاضر است از مهمترین مسائل جوش بوده و باعث به‌وجود آمدن مشکلات گسترده‌ای می‌گردد که در قسمت‌های بعدی پایان‌نامه توضیح داده خواهد شد.

---

1. *Crack arresters*

2. *Porosity*

هنگام طراحی سازهٔ جوشی می‌بایست پارامترهای طراحی و ساخت از قبیل ضخامت ورق، طرح اتصال، شرایط جوشکاری، ترتیب جوشکاری و روش جوشکاری را به‌نحوی تغییر داد که اثرات زیان‌آور عیوب جوشکاری از جمله تنش‌های پسماند به میزان قابل‌قبولی کاهش یابد. نائل شدن به این هدف در مرحلهٔ اولیهٔ طراحی خیلی بهتر از مواجهه با مشکلات آتی در مرحلهٔ ساخت است. برای این منظور، انجام حداقل دو نوع آنالیز ضروری است:

۱) آنالیز تنش‌های حرارتی گذرا، تنش‌های‌پسماند و انحراف جوش

۲) آنالیز اثرات تنش‌های حرارتی، تنش‌های‌پسماند و انحراف بر روی کارکرد (سرویس‌دهی) سازه‌های جوشی.

همان‌طور که اشاره شد جوشکاری، اغلب با استفاده از حرارت گذرای موضعی بالایی انجام می‌شود. به همین سبب تنش‌های قابل‌ملاحظه و تغییرشکل‌های بزرگی (یعنی انحراف جوش، انقباض جوش، تاب جوش) در زمان جوشکاری و نیز پس از اتمام آن و خنک‌شدن کامل قطعه‌کار پدید می‌آید؛ که تنش‌های به‌وجود آمده در حالت نهایی به تنش‌های‌پسماند جوش معروف است. این تنش‌ها حاصل انبساط و انقباض غیریکنواخت جسم و ایجاد تغییرشکل‌پلاستیک در مجاورت جوش است. برخلاف تنش‌های ناشی از بارخارجی که مجموع اثراتشان بر روی جسم با نیروهای خارجی خنثی می‌شود؛ تنش‌های‌پسماند بدون دخالت نیروهای خارجی پدید می‌آیند. در مرحلهٔ طراحی، لازم است تنش‌های‌پسماند به‌عنوان شرایط اولیهٔ تنشی سازه منظور شود.

ممکن است جوش‌ها به خاطر تنش‌های‌پسماند ایجاد شده ضی جوشکاری دچار گسیختگی جزئی یا کامل شوند. همچنین امکان دارد تنش‌های‌پسماند جوش باعث شکست ترد در سازهٔ جوشکاری شده شوند. تنش‌های‌پسماند کششی باعث کاهش مقاومت‌های خستگی و خوردگی شده و احتمال شکست ترد را نیز افزایش می‌دهد. کرنش‌ها و تنش‌های عمود بر جوش