دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری لیزر CO_2

نگارش

یونس جاوید

استاد راهنما

دکتر مجید قریشی

تابستان ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخت تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و در سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند. دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند. حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

تأسیس۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

تائیدیه هیأت داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت درجلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: " **شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری لیزر CO_2**" توسط آقای **یونس جاوید** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته: **مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید** در تاریخ **۱۳۸۹/۴/۱۴** بارتبه ..... مورد تائید قرار می‌دهند.

۱- استاد راهنما	آقای دکتر مجید قریشی	امضاء.....
۲- ممتحن داخلی	آقای دکتر مهدی ظهور	امضاء.....
۳- ممتحن داخلی	آقای دکتر مهرداد آقایی	امضاء.....
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	آقای دکتر مهدی ظهور	امضاء.....

اظهارنامه‌ی دانشجو

موضوع پایان نامه :

شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری لیزر CO_2

استاد راهنما: آقای دکتر مجید قریشی

نام دانشجو: آقای یونس جاوید

شماره دانشجوئی: ۸۶۰۴۱۴۴

اینجانب یونس جاوید دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است . بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

فرم حق چاپ، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیر و تشکر

زکردار هر کس که دارم سپاس　　بگویم به یزدان نیکی شناس

(فردوسی)

با حک کردن این نوشته در ابتدای پایان‌نامه، سپاس خود را از جناب آقای دکتر مجید قریشی، به دلیل راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ ایشان که باعث به ثمر نشستن پایان‌نامه شد، و نیز آقای مهندس سلمان شمسایی به دلیل همراهی در انجام آزمایشات شبیه‌سازی، ابراز می‌دارم.

چکیده

جوشکاری یک روش مطمئن و با صرفه در اتصال قطعات و سازه‌ها می‌باشد که از طریق ذوب موضعی مواد در محل جوش به‌وجود می‌آید. بین روش‌های موجود برای جوشکاری، جوشکاری لیزر قابلیت جوش دادن قطعات و ساختارهای کوچک را دارا می‌باشد. حرارت دهی موضعی همراه با سرد شدن سریع، باعث ایجاد تنش‌های پسماند در ساختار اصلی قطعه و منطقه جوش می‌گردد. تنش‌های پسماند می‌توانند باعث ایجاد اثرات زیان‌آوری مانند ترک‌های خوردگی، ترک هیدروژنی و کاهش مقاومت خستگی قطعه‌کار گردند. بنابراین بایستی این تنش‌ها قبل از جوشکاری توسط روش‌هایی تخمین زده شوند.

در این پژوهش، یک مدل اجزای محدود غیر کوپل برای شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری لیزر فولاد ضدزنگ AISI ۳۰۴ و تخمین توزیع حرارت و توزیع تنش‌های پسماند ارایه می‌گردد. سپس این مدل توسط کارهای تجربی پیشین اعتبارسنجی می‌گردد. در مرحله بعد، از نتایج توزیع حرارت گذرا برای تحلیل مکانیکی فرآیند جوشکاری لب‌به‌لب لیزری استفاده شده و توزیع تنش‌های پسماند به‌دست می‌آید. حرارت ورودی با توزیع گوسی توسط زیربرنامه با زبان برنامه‌نویسی فرترن به مدل وارد گردید. با توجه به دمای بسیار بالای فرآیند و تغییر فازهای ایجاد شده در طی فرآیند، تمامی خواص حرارتی و مکانیکی به‌صورت وابسته به حرارت به مدل معرفی شدند. تمامی پدیده‌های فیزیکی مرتبط با فرآیند جوشکاری، مثل انتقال حرارت از طریق جابجایی، تابش و هدایت در مدل ایجاد شده اعمال گردیدند. در نهایت نتایج به‌دست آمده برای توزیع تنش‌های پسماند با نتایج پژوهش‌های پیشین مقایسه گردید. تطابق خوب نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی نشان می‌دهد که مدل ارایه شده برای شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری لب‌به‌لب لیزری مناسب می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که توزیع حرارت در قطعه‌کار وابستگی زیادی به انرژی منبع و قابلیت انتقال حرارت قطعه‌کار دارد.

فهرست مطالب

۱-مقدمه و معرفی ۱
۲- روش تحقیق ۴
۳- محتوای پایان‌نامه ۴

۱- پیشینه تحقیق ۶

۱-۱- مقدمه ۷
۱-۲- تاریخچه‌ی شبیه‌سازی جوشکاری لیزر ۸

۲- فرآیندهای جوشکاری و اثرات ناشی از آنها ۱۲

۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- تعریف جوش ۱۳
۲-۳- انواع روش‌های جوشکاری ۱۴
۲-۴- اصول فرآیند جوشکاری لیزر ۱۶
۲-۴-۱- لیزرهای جوشکاری ۱۷
۲-۴-۱-۱- لیزرهای Nd : YAG ۱۸
۲-۴-۱-۲- لیزرهای CO_2 ..... ۲۰
۲-۵- اثرات ناشی از فرآیند جوشکاری ۲۳
۲-۵-۱- تنش‌های پسماند ۲۳
۲-۵-۲- انواع تنش‌های پسماند ۲۴
۲-۵-۳- عوامل ایجاد کننده تنش‌های پسماند ۲۶
۲-۵-۳-۱- تنش‌های پسماند ایجاد شده با مکانیزم عدم انطباق ۲۸
۲-۵-۳-۲- تنش‌های پسماند ایجاد شده در اثر توزیع نامناسب کرنش‌های غیرالاستیک ۳۱
۲-۵-۴- روش‌های اندازه‌گیری تنش‌های پسماند ۳۱
۲-۵-۵- شرط تعادل تنش‌های پسماند ۳۲
۲-۵-۶- تنش‌های پسماند در یک جوش لب‌به‌لب ۳۲
۲-۵-۷- راه‌های کاهش تنش‌های پسماند ۳۴
۲-۵-۸- تغییر شکل‌های جوشکاری ۳۴
۲-۵-۹- مکانیزم شکل‌گیری تنش‌های پسماند طولی ۳۵
۲-۵-۱۰- مکانیزم شکل‌گیری تنش‌های پسماند عرضی ۳۹
۲-۵-۱۱- اهمیت روش‌های عددی در تحلیل تنش‌های پسماند ۴۰

۳- مدل ترمومکانیکی فرآیند جوشکاری ۴۲

۳-۱- مقدمه ۴۳
۳-۲- بررسی اثر میدان‌های مختلف مؤثر در جوشکاری ۴۴
۳-۳- انواع روش‌های تحلیل جوشکاری در نرم‌افزارهای اجزای محدود ۴۵
۳-۴- فرمول‌بندی اجزای محدود فرآیند جوشکاری ۴۶
۳-۴-۱- فرمول‌بندی اجزای محدود برای تحلیل حرارتی ۴۸
۳-۴-۲- فرمول‌بندی اجزای محدود برای تحلیل مکانیکی ۵۱
۳-۵- روش تحلیل کرنش ذاتی ۵۶
۳-۶- روش تحلیل کرنش ویژه ۵۷

۴- مدل اجزای محدود جوشکاری لیزر ۵۹

۴-۱- مقدمه ۶۰
۴-۲- مدل‌سازی حرارتی جوشکاری لیزر ۶۱
۴-۲-۱- هندسه مدل سه‌بعدی ۶۲
۴-۲-۲- مدل منبع حرارتی ۶۲
۴-۲-۳- بازدهی حرارتی ۶۳
۴-۲-۴- انتخاب المان برای مدل حرارتی ۶۴
۴-۲-۵- مدل‌کردن خواص حرارتی ماده ۶۵
۴-۲-۶- شرایط مرزی حرارتی ۶۶
۴-۲-۶-۱- اتلاف حرارت از طریق جابجایی ۶۷
۴-۲-۶-۲- اتلاف حرارت از طریق تابش ۶۷
۴-۲-۷- چند رابطه تجربی مربوط به تحلیل حرارتی ۶۹
۴-۲-۸- پارامترهای جوشکاری لیزر ۷۰
۴-۲-۹- مدل مکانیکی جوشکاری لیزر ۷۰
۴-۲-۱۰- تکنیک حل مسائل غیر خطی در روش اجزای محدود ۷۱
۴-۲-۱۱- ملاحظاتی در مورد ایجاد مدل اجزای محدود در تحلیل مسائل غیر خطی ۷۵
۴-۲-۱۲- مدل خواص مکانیکی ماده ۷۶
۴-۲-۱۳- انتخاب المان برای مدل‌سازی مکانیکی ۷۸
۴-۲-۱۴- شرایط مرزی مکانیکی ۷۸
۴-۲-۱۵- اعمال تاریخچه دمائی در مدل مکانیکی ۷۸

۵- تحلیل نتایج ۸۰

۵-۱- مقدمه ۸۱
۵-۲- نتایج تحلیل حرارتی ۸۱

۵-۲-۱- تغییرات دما در نقاط مختلف ۸۲
۵-۲-۲- بررسی صحت مدل حرارتی ۸۵
۵-۲-۳- تأثیر قدرت لیزر بر روی شکل حوضچه جوش ۸۷
۵-۲-۴- تأثیر سرعت جوشکاری بر روی شکل حوضچه جوش ۹۰
۵-۳- نتایج تحلیل مکانیکی ۹۱
۵-۳-۱- بررسی صحت مدل مکانیکی ۹۳
۵-۳-۲- توزیع تنش‌های پسماند طولی ۹۴
۵-۳-۳- توزیع تنش‌های پسماند عرضی ۹۷
۵-۳-۴- توزیع تنش‌های پسماند در جهت ضخامت ورق ۱۰۰
۵-۳-۵- بحث در نتایج ۱۰۱

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۰۵

۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۶
۶-۲- پیشنهادها برای کارهای آتی ۱۰۸

مراجع ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: الف) سوراخ کلید جوش لیزر ب) حرکت پرتو لیزر در راستای اتصال ۱۷
شکل ۲-۲: شمایی از لیزر N d : YAG ۱۹
شکل ۲-۳: شمایی از لیزر CO2 ..... ۲۱
شکل ۲-۴: تنش‌های پسماند نوع اول، دوم و سوم در جهت y ۲۶
شکل ۲-۵: ایجاد تنش‌های پسماند در اتصال میله‌های با طول یکسان ۳۰
شکل ۲-۶: توزیع تنش‌های پسماند در یک جوش لب‌به‌لب ۳۳
شکل ۲-۷: تغییرشکل‌های جوشکاری ۳۵
شکل ۲-۸: رشد تنش طولی در فرآیند جوشکاری ۳۶
شکل ۲-۹: مکانیزم شکل‌گیری تنش پسماند طولی در جوشکاری ورق ۳۸
شکل ۲-۱۰: شکل‌گیری تنش‌های عرضی در فرآیند جوشکاری ۴۰
شکل ۳-۱: الگوریتم تحلیل متوالی در تحلیل مسأله جوشکاری ۴۷
شکل ۴-۱: توزیع گوسین حرارت پرتو لیزر ۶۳
شکل ۴-۲: مش‌بندی مدل در تحلیل حرارتی و مکانیکی ۶۵
شکل ۴-۳: روش‌های مرحله‌ای- تکراری نیوتن- رافسون ۷۲
شکل ۴-۴: روش‌های طول قوس و تکرار مرحله‌ای نیوتن- رافسون ۷۳
شکل ۵-۱: توزیع دما در قطعه حین فرآیند جوشکاری لیزر ۸۱
شکل ۵-۲: تغییرات دما در روی خط مرکزی جوش ۸۲
شکل ۵-۳: تغییرات دما در فاصله ۱ میلی‌متری از خط مرکزی جوش ۸۳
شکل ۵-۴: تغییرات دما در فاصله ۲ میلی‌متری از خط مرکزی جوش ۸۴
شکل ۵-۵: تغییرات دما در فاصله ۳/۵ میلی‌متری از خط مرکزی جوش ۸۴
شکل ۵-۶: تغییرات دما در عمق قطعه‌کار ۸۵
شکل ۵-۷: مقایسه نتایج شبیه‌سازی با آزمایش ۸۶
شکل ۵-۸: تغییرات عمق نفوذ در اثر تغییرات قدرت لیزر ۸۸
شکل ۵-۹: تغییرات عرض حوضچه جوش در اثر تغییرات قدرت لیزر ۸۸
شکل ۵-۱۰: تغییرات عمق نفوذ در اثر تغییرات قدرت لیزر ۸۹
شکل ۵-۱۱: تأثیر سرعت جوشکاری بر روی عمق نفوذ (قدرت لیزر برابر با ۴۵۰ وات) ۹۰
شکل ۵-۱۲: توزیع تنش‌های حرارتی گذرای طولی در حین جوشکاری ۹۲
شکل ۵-۱۳: توزیع تنش‌های حرارتی گذرای عرضی در حین جوشکاری ۹۲
شکل ۵-۱۴: توزیع تنش‌های پسماند طولی در امتداد عمود بر خط مرکزی جوش ۹۴
شکل ۵-۱۵: توزیع تنش‌های پسماند طولی در امتداد خط مرکزی جوش ۹۶
شکل ۵-۱۶: توزیع تنش‌های پسماند طولی در امتداد عمق ورق ۹۷
شکل ۵-۱۷: توزیع تنش‌های پسماند عرضی در امتداد عمود بر خط مرکزی جوش ۹۸
شکل ۵-۱۸: توزیع تنش‌های پسماند عرضی در امتداد خط مرکزی جوش ۹۹

شکل ۵-۱۹: توزیع تنش‌های پسماند عرضی در امتداد عمق ورق ۱۰۰
شکل ۵-۲۰: توزیع تنش‌های پسماند در راستای عمق و در امتداد عمود بر خط مرکزی جوش..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۱: توزیع تنش‌های پسماند فون مایسز در روی سطح بالایی ورق و در امتداد عمود بر خط مرکزی جوش ۱۰۳
شکل ۵-۲۲: توزیع تنش‌های پسماند فون مایسز در عمق ورق ۱۰۴

۱- مقدمه و معرفی

جوشکاری یک روش ساده و مؤثر در اتصال قطعات و اجزای صنعتی می‌باشد. امروزه فرآیند جوشکاری از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و در ساخت و تعمیر قطعات کاربرد فراوانی دارد. گستره استفاده از جوشکاری در صنایع بسیار وسیع بوده و از قطعات کوچک تا قطعات و سازه‌های عظیم را شامل می‌گردد. احتیاجات بشر به اتصالات مدرن، سبک، محکم و مقاوم در حدود سی سال اخیر سبب توسعه‌ی فرآیند جوشکاری گردیده است و باعث پیشرفت‌های چشم‌گیری در این زمینه شده است. در حال حاظر به جرأت می‌توان گفت که هیچ فرآیندی قابلیت جایگزینی جوشکاری را ندارد.

از نقطه نظر مکانیکی، انتقال بار در سازه‌های مختلف از طریق اتصالات بین اجزای آن صورت می‌گیرد[۱] . اتصالات عمدتاً از دو گروه مکانیکی و غیر مکانیکی تشکیل شده‌اند. اتصالات مکانیکی، نظیر پرچ و پیچ، را می‌توان اتصالات موقتی نیز نامید، بدین معنا که پس از ایجاد اتصال، امکان جدا کردن قطعات از یکدیگر وجود خواهد داشت. در روش‌های غیر مکانیکی، اتصال از طریق ایجاد پیوند بین اتم‌ها (مولکول‌ها) در سطوح بین قطعات حاصل شده و شامل روش‌های متالورژیکی (جوشکاری و لحیم‌کاری) و روش‌های شیمیایی (چسبی) می‌باشد[۲- ۵].

جوشکاری امروزه از مهمترین و رایج‌ترین فرآیندهای اتصال فلزات (و بعضاً غیر فلزات) می‌باشد. با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در این صنعت در دهه‌های اخیر، روش‌های توسعه یافته در جوشکاری بالغ بر یکصد روش شده است [۶]. اتصال جوشکاری عمدتاً از طریق ایجاد مذاب موضعی مشترک بین دو قطعه به‌وجود می‌آید. با انجماد چنین مذابی، یک شبکه فلزی از مرز حوضچه مذاب به طرف مرکز ذوب توسعه می‌یابد. روش‌های مبتنی بر این طریق، تحت عنوان جوشکاری ذوبی[۱] نامیده می‌شود [۷]. یکی از روش‌های جوشکاری ذوبی، جوشکاری با پرتو لیزر[۲] است که در آن حرارت از برخورد پرتو لیزر به سطح

۱- Fusion Welding

۲- Laser Beam Welding

قطعه تامین می‌گردد. جوشکاری لیزر یک روش جوشکاری ذوبی سوراخ کلیدی[۱] می‌باشد که با دانسیته انرژی بسیار بالا بدست می‌آید که حاصل تمرکز نور لیزر بر یک نقطه‌ی بسیار دقیق می‌باشد. اخیراً استفاده از جوشکاری لیزر در صنعت به علت مزایای مختلف آن روبه گسترش است. سرعت جوشکاری بالا، منطقه متأثر از حرارت باریک، پیچش کم، قابلیت اتوماسیون بالا و انعطاف پذیری در طراحی از جمله مزایای جوشکاری لیزر می‌باشند[۸]. در جوشکاری لیزر امکان جوشکاری بدون استفاده از مواد پرکننده وجود دارد که باعث حذف هزینه آن می‌شود [۹]. سطح صاف و گرده جوش ناچیز در جوشکاری لیزر در مقایسه با سایر روش‌های جوشکاری، منجر به زیبایی محل اتصال و سبک‌تر شدن مجموعه می‌شود. کاربرد جوشکاری لیزر در صنایع مختلفی مانند هواپیمایی، خودروسازی، کشتی‌سازی، هسته‌ای و سایر صنایع روبه گسترش است.

سازه‌های جوشکاری شده به هیچ‌وجه عاری از اشکال نیستند و دارای عیوب گوناگونی می‌باشند. عمل جوشکاری باعث ایجاد تنش‌های پسماند و تغییر شکل‌های ناخواسته می‌شود که نقش مهمی در کیفیت قطعه‌ی تولید شده دارند. این تنش‌ها باعث بروز ترک درست بعد از جوشکاری یا بعضی مواقع بعد از جوشکاری و هنگام سرویس‌دهی قطعه می‌شوند. در جوشکاری ذوبی، محل جوش توسط منبع حرارتی جوشکاری، به‌طور موضعی حرارت داده می‌شود. در نتیجه‌ی حرارت دادن محلی و غیر یکنواخت قطعه کار در طول سیکل حرارتی و سرد شدن غیر یکنواخت بعد از آن و نیز غیرخطی بودن خصوصیات مواد، کرنش‌های حرارتی و تغییرشکل‌های پلاستیک محلی ایجاد می‌گردد. این کرنش‌های حرارتی که ناشی از تغییرات ابعادی حاصل از انجماد فلز جوش، استحاله‌های متالوژیکی و تغییرشکل پلاستیک محلی است منبع ایجاد تنش‌های پسماند و اعوجاج در قطعات می‌باشد. اندازه تنش‌های پسماند کششی در مواردی تا حد تنش تسلیم ماده بالا می‌رود. این تنش‌های کششی در نقطه‌ی دیگری از سازه با تنش‌های تسلیم فشاری متعادل می‌گردد. تنش‌های پسماند کششی حساسیت ماده را در اطراف ناحیه جوش افزایش داده

[۱] - keyhole

و باعث ایجاد عیوب خستگی، ایجاد و رشد ترک و خوردگی در سازه‌ها و نهایتاً شکست آن سازه می‌شوند. تنش‌های پسماند فشاری عموماً سودمند هستند، ولی سبب کاهش بار کمانشی می‌گردند[۱۰].

تخمین صحیح تنش‌های پسماند جوش می‌تواند کمک زیادی برای اطمینان از یک طراحی سالم و ساختار سالم باشد. ولی پیش‌گوئی دقیق تنش‌های پسماند جوشی بدلیل پیچیدگی‌های فرآیند جوشکاری که شامل گرم شدن موضعی، انتقال حرارت گذرا با شرایط مرزی پیچیده، خواص حرارتی و مکانیکی وابسته به حرارت مواد، منبع گرمای متحرک و . . . بسیار مشکل می‌باشد. در مجموع بیشتر مشکلات پیش‌بینی‌ها در مسائل جوشکاری ناشی از ارتباط تنگاتنگ آن با سایر علوم مهندسی می‌باشد. به‌عنوان مثال بررسی جریان سیال، ترمودینامیک، الکترومغناطیس، توان الکتریکی و علم مواد همگی در محاسبات جوشکاری نقش مهمی را ایفا می‌کنند. به این دلیل پیشگوئی مسائل مربوط به جوشکاری مستلزم صرف دقت زیادی می‌باشد.

روش حل عددی که روش اجزای محدود زیر مجموعه آن می‌باشد، جزء یکی از پرکاربردترین روش-های مورد استفاده در حل مسائل مهندسی است. از این رو مدل‌سازی کامپیوتری و روش حل عددی برای تحلیل صحیح فرآیند جوشکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گشته و راه را برای تحلیل‌های دقیق‌تر و صحیح‌تر هموار نموده است. مدل‌سازی جوشکاری از نظر تکنولوژی و محاسبات در حال رشد است و ساده‌سازی و ایده‌آل سازی بعضی از خواص ماده، پارامترهای فرآیند و هندسه اجتناب ناپذیر است. مدل-سازی عددی یک روش قدرتمند برای پیش‌بینی تنش پسماند می‌باشد، ولی سنجش درستی آن با نتایج آزمایشگاهی بایستی انجام گیرد. اهمیت مدل کردن و شبیه‌سازی در طی چند دهه‌ی اخیر بسیار افزایش یافته است. شبیه‌سازی امروزه به عنوان ابزار مهمی برای توسعه‌ی فرآیند تولید شناخته شده است.

در طراحی سازه جوشی می‌بایست پارامترهای جوشکاری را طوری تنظیم نمود که اثرات زیان‌آور ناشی از جوشکاری، مثل تنش‌های پسماند، تا میزان قابل قبولی کاهش یابند. برای این منظور بایستی توسط روش‌های مناسب، تحلیل‌هایی برای تخمین و بهینه‌سازی اثرات ناشی از جوشکاری صورت گیرد.

روش‌های عددی و مخصوصاً روش اجزای محدود قابلیت خوبی برای تخمین این اثرات دارند. در این روش‌ها موارد زیر قابل بررسی می‌باشند:

۱- تحلیل میدان دمای گذرا و غیریکنواخت جوشکاری

۲- تحلیل مکانیکی برای تخمین اثرات مکانیکی ناشی از جوشکاری

بعد از انجام این مراحل، بایستی پارامترهای جوشکاری طوری بهینه گردند که تنش‌های پسماند در محدوده مجاز قرار گیرند.

۲- روش تحقیق

هدف از انجام این پروژه، استفاده از قابلیت‌های روش اجزا محدود در شبیه‌سازی جوشکاری لیزر و به‌دست آوردن توزیع دما و تنش‌های پسماند در قطعه جوشکاری شده می‌باشد. به منظور نیل به این هدف، با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS ابتدا مدلی برای محاسبه توزیع حرارتی حاصل از جوشکاری لیزر ارائه می‌گردد. در مرحله بعد از نتایج تحلیل حرارتی برای محاسبه تنش‌های پسماند ایجاد شده در قطعه-کار استفاده می‌گردد. سپس با استفاده از این مدل، اثرات پارامترهای مختلف جوشکاری لیزر بر روی شکل حوضچه مذاب حاصل از جوشکاری و تنش‌های پسماند ناشی از جوشکاری بررسی می‌گردد.

۳- محتوای پایان‌نامه

این پایان‌نامه از پنج فصل تشکیل شده است. در فصل اول، شماری از کارهایی که تاکنون در زمینه‌ی شبیه‌سازی جوشکاری انجام شده و مدل‌های عددی ارائه شده توسط دیگر محققان بررسی گردیده است. در فصل دوم به معرفی انواع روش‌های جوشکاری و بخصوص جوشکاری لیزر پرداخته می‌شود. در فصل سوم مدل ترمومکانیکی فرآیند جوشکاری توضیح داده شده است. فصل چهام به تشریح نحوه‌ی مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری لیزر در نرم‌افزار اجزای محدود اختصاص یافته است. در فصل

پنجم نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای تحلیل حرارتی و مکانیکی ارائه شده و سپس در فصل ششم نتیجه‌گیری نهایی از پایان‌نامه و پیشنهاداتی جهت کارهای آتی آورده شده است.

فصل اول

پیشینه‌ی تحقیق

۱-۱- مقدمه

با استفاده از شبیه‌سازی المان محدود سازه‌های جوشی می‌توان تغییر شکل‌ها، مناطق تغییر ساختار و میزان تنش‌های پسماند در نقاط مختلف اتصالات جوشی را بدست آورده، اثر تغییر پارامترهای مختلف ورودی مثل قدرت منبع، سرعت جوشکاری، جنس فلز پایه و فلز پرکننده، تعداد پاسهای جوشکاری، هندسه‌ی اتصال، اثر قیدهای جوشکاری و سایر عوامل مؤثر را بررسی نمود و در هزینه‌های ناشی از سعی و خطا برای بدست آوردن یک اتصال خوب در موارد حساس جلوگیری نمود. بعضی از اثرات جوشکاری شامل تنش‌های پسماند و ناحیه‌ی متأثر از حرارت[۱] می‌باشد که در جوشکاری لیزری توان دستگاه و سرعت حرکت کلگی دستگاه نقش مهمی در ایجاد آنها دارند.

در سال‌های اخیر روش اجزای محدود به‌عنوان ابزاری نسبتاً قوی برای حل حرارتی و به‌دست آوردن توزیع تنش پسماند جوش مورد توجه واقع شده است. در گذشته به‌خاطر محدودیت منابع محاسباتی، از جمله محدودیت سخت‌افزاری و هزینه بالای محاسبات، اکثر کارهای انجام شده در این زمینه به‌صورت مدل سطح مقطعی دوبعدی می‌باشند[۱۱]. در مدل‌های دوبعدی فرض بر این است که تنش برشی هیچ مؤلفه خارج از صفحه ندارد و در صفحه‌ی سطح مقطع، طی چرخه گرمایش و سرمایش جوشکاری تاب[۲] به‌وجود نمی‌آید. بنابراین طبق این فرضیات، مدل‌های دوبعدی در حالاتی قابل استفاده است که در امتداد جوش تشابه هندسی وجود داشته باشد. به‌عنوان مثال در نواحی اطراف مقطع میانی جوش‌های تک‌پاس و چندپاس دراز و مستقیم[۱۲- ۱۷]. در چنین حالت‌هایی تنش‌های پسماند محاسبه شده مطابقت معقولی با اندازه‌گیری‌های تجربی دارند. اما ترک‌های جوش اغلب در دو انتهای جوش شروع به جوانه‌زنی می‌کنند. بنابراین یک مدل اجزای محدود خوب بایستی بتواند تنش‌های پسماند را در این موقعیت‌های بحرانی به‌صورت واقع‌بینانه‌ای پیش‌بینی کند. انتظار می‌رود که در ناحیه‌ی اطراف دو انتهای جوش، مؤلفه‌های تنش برشی عمود بر سطح مقطع قابل توجه باشند. بنابراین مدل‌های سطح مقطعی

۱- Heat Affected Zone (HAZ)

۲- wrap