بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی- گروه مکانیک

عنوان پایان نامه:

مکان‌یابی بهینه موقعیت دهنده‌های فیکسچر به منظور کاهش اعوجاج کمانشی قطعات نازک در جوشکاری با به کارگیری روش اجزاء محدود، رگرسیون و الگوریتم های فرا ابتکاری

امین اسماعیل زاده

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر فرهاد کلاهان

زمستان ۱۳۸۹

فرم چکیده رساله تحصیلات تکمیلی	
نام دانشجو: **امین**	نام خانوادگی دانشجو: **اسماعیل زاده**
استاد راهنما: **دکتر فرهاد کلاهان**	
دانشکده: **مهندسی** گروه: **مهندسی مکانیک** گرایش: **ساخت و تولید** مقطع: **کارشناسی ارشد**	
تاریخ دفاع:	تعداد صفحات: **۱۴۱**
عنوان پایان‌نامه: **مکان‌یابی بهینه موقعیت دهنده‌های فیکسچر به منظور کاهش اعوجاج کمانشی قطعات نازک در جوشکاری با به کارگیری روش اجزاء محدود، رگرسیون و الگوریتم های فرا ابتکاری.**	
کلمات کلیدی: **طراحی فیکسچر، مدل‌سازی جوشکاری ورق‌های نازک، طراحی آزمایشات، رگرسیون خطی و غیر خطی، بهینه‌سازی، الگوریتم تبرید تدریجی.**	

چکیده:

جوشکاری ورق‌های نازک کاربردهای متعددی در صنایع مختلف از جمله تولید بدنه خودرو، کشتی و مخازن فلزی دارد. در هنگام جوشکاری با حرکت الکترود و توزیع غیر یکنواخت دما تنش‌های پسماند در قطعه‌کار بوجود می‌آید. این تنش‌ها در ورق‌ها منجر به بروز انحرافات مختلف بخصوص انحراف کمانشی می‌شود. از آنجا که این انحرافات با چشم دیده می‌شود، کیفیت قطعه ساخته شده مطلوب نخواهد بود. روش‌های زیادی برای کاهش انحرافات وجود دارد. در این میان یکی از روش‌های کاربردی و ارزان برای کاهش این انحرافات، استفاده از فیکسچر است که می‌تواند کیفیت ورق‌های نازک جوشکاری شده را به طور موثر افزایش دهد. در این تحقیق تاثیر نحوه موقعیت دهی ورق توسط فیکسچر برروی میزان انحرافات نهایی بررسی می‌شود. بدین منظور بایستی بین متغیرهای ورودی و خروجی فرآیند یک ارتباط منطقی برقرار شود. به دلیل پیچیدگی و غیر خطی بودن، بدست آوردن یک رابطه تحلیلی برای پیش‌بینی فرآیند جوشکاری امری دشوار است. از این رو با رویکرد طراحی آزمایشات تعدادی آزمایش طراحی می‌شود، تا با استفاده از آنها و به وسیله روش‌های رگرسیون چند جمله‌ای‌ها و شبکه‌های عصبی، یک مدل ساده بین ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیند برازش شود. نتیجه آزمایشات با شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری توسط یک مدل اجزاء محدود کوپله حرارتی - مکانیکی در برنامه Ansys پیش‌بینی می‌شود. در نهایت با به کارگیری مدل ریاضی برازش شده به عنوان تابع هدف، مکان بهینه موقعیت دهنده‌های فیکسچر توسط الگوریتم‌های فرا ابتکاری به منظور کمینه نمودن انحرافات کمانشی ورق پیدا خواهد شد.

امضای استاد راهنما **تاریخ**

اصالت اثر

اینجانب **امین اسماعیل زاده** تأیید می‌نمایم مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی بنده بوده و در صورت استفاده موردی از دست‌آوردهای پژوهشی دیگران مطابق مقررات با آنها ارجاع شده است. همچنین این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرکی هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است وکلیه حقوق مادی و قانونی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

امضاء دانشجو

امین اسماعیل زاده **تاریخ**

امضاء استاد راهنما

فرهاد کلاهان **تاریخ**

تاییدیه گروه مکانیک

پایان نامه حاضر تحت عنوان :

مکان‌یابی بهینه موقعیت دهنده‌های فیکسچر به منظور کاهش اعوجاج کمانشی قطعات نازک در جوشکاری با به کارگیری روش اجزاء محدود، رگرسیون و الگوریتم های فرا ابتکاری که توسط آقای **امین اسماعیل زاده** تهیه و به هیات داوران ارائه شده، به عنوان کار پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، مورد تایید شورای تحصیلات تکمیلی گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

تاریخ دفاع: نمره: درجه ارزشیابی:

اعضای هیات داوران:

نام ونام خانوادگی	سِمت	امضا
۱- **دکتر فرهاد کلاهان**	استاد راهنما	
۲- **دکتر مسعود طهانی**	استاد مشاور	
۳- **دکتر علیرضا اکبرزاده توتونچی**	استاد ممتحن	
۴- **دکتر عبدالرحمن جامی الاحمدی**	استاد ممتحن	
۵- **دکتر مجید معاونیان**	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

آنان که به امید رضایتشان زندگی می کنم تا رضایت خداوند را کسب نمایم.

تقدیم به همسر عزیزم

او که هر روز به من حس خوشبختی را هدیه می‌دهد.

تشکر و قدردانی

اکنون که باعنایت پروردگار کارنگارش این پایان نامه به سرانجام رسید، وظیفه می دانم مراتب تشکر وسپاس خود را از استادبزرگوارم آقای **دکتر فرهاد کلاهان** بجای آورم. ایشان با دقت، دانش وتجربیات ارزشمند خود در طی مراحل انجام این پژوهش دلسوزانه یاری ام نمودند. همچنین از استاد محترم آقای **دکتر مسعود طهانی** که با ایده ها، نظرات ومشورت های گره گشای خودراه رابرای من روشن نمودند سپاس **فراوان** دارم.

از اساتید محترم دفاع آقایان **دکتر علیرضا اکبرزاده** و **دکتر عبدالرحمن جامی الاحمدی** که زحمت نقد و بررسی این اثر را عهده دار بودند کمال تشکر را دارم. همچنین از دبیرو نماینده محترم تحصیلات تکمیلی آقای **دکترمجید معاونیان** سپاسگزاری می نمایم.

از خداوند متعال برای رهروان علم و معرفت آرزوی موفقیت می نمایم.

امین اسماعیل زاده

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱) مقدمه **۱**

۱-۱) اهمیت موضوع ۲

۱-۲) مرور مقالات و مراجع ۴

۱-۲-۱) بررسی عوامل موثر بر انحرافات جوشکاری و روش‌های کاهش آن‌ها ۴

۱-۲-۲) بررسی‌های انجام شده روی فیکسچر جوشکاری ۵

۱-۲-۳) شبیه‌سازی جوشکاری با استفاده از روش اجزاء محدود ۵

۱-۲-۴) مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی فرآیند جوشکاری ۶

۱-۳) طرح کلی مسئله و هدف از حل آن ۸

فصل۲) فرآیند جوشکاری **۱۲**

۲-۱) تعریف جوشکاری ۱۳

۲-۲) روش‌های متداول جوشکاری ۱۴

۲-۳) جوشکاری قوس الکتریکی ۱۶

۲-۳-۱) جوشکاری با الکترود دستی ۱۸

۲-۳-۲) جوشکاری زیر پودری ۱۹

۲-۳-۳) جوشکاری پلاسما ۲۱

۲-۳-۴) جوشکاری با گاز محافظ و الکترود غیر مصرفی ۲۳

۲-۳-۵) جوشکاری قوس الکتریکی با گاز و الکترود مصرفی ۲۵

فصل۳) انحرافات بوجود آمده در قطعه جوشکاری شده و روش‌های کاهش آن **۲۷**

۳-۱) انواع تغییر شکل‌های پایدار ناشی از جوشکاری ۲۸

۳-۲) عوامل موثر بر اعوجاج ناشی از جوشکاری ۲۹

۳-۳) روش‌های کاهش انحرافات در قطعه جوشکاری شده ۳۳

۳-۴) نوع انحراف مورد بررسی در این تحقیق و روش کاهش آن ۳۵

فصل۴) مدل‌سازی اجزاء محدود کمانش ورق جوشکاری شده **۳۸**

۴-۱) لزوم استفاده از روش‌های عددی ۳۹

۴-۲) مروری اجمالی به روش اجزاء محدود ۳۹

۴-۳) مسائل غیرخطی در اجزاء محدود ۴۳

۴-۳-۱) مسائل با ماده غیرخطی ۴۳

۴-۳-۲) مسائل با هندسه غیرخطی ۴۴

۴-۳-۳) مسائل با بارهای غیرخطی ۴۵

۴-۳-۴) تحلیل مسائل غیرخطی ۴۵
۴-۴) روش‌های تحلیل کمانش در ورق‌های نازک ۴۷
۴-۵) مدل‌سازی اجزاء محدود جوشکاری ورق‌های نازک ۴۹
۴-۵-۱) مشخصات ورق و فیکسچر مورد بررسی ۴۹
۴-۵-۲) مشخصات مدل اجزاء محدود و فرض‌های اتخاذ شده در آن ۴۹
۴-۵-۳) تحلیل حرارتی جوشکاری ۵۲
۴-۵-۴) تحلیل مکانیکی جوشکاری ۵۵
۴-۶) صحه‌گذاری بر مدل اجزاء محدود ۶۱
۴-۶-۱) صحه‌گذاری بر نتایج حرارتی مدل ۶۱
۴-۶-۲) صحه‌گذاری بر نتایج مکانیکی مدل ۶۲

فصل۵) طراحی و انجام آزمایشات **۶۵**
۵-۱) تعریف طراحی آزمایشات ۶۶
۵-۲) چند تعریف در زمینه طراحی آزمایشات ۶۷
۵-۳) دستورالعمل‌هایی برای طراحی آزمایشات ۶۹
۵-۴) طرح و ماتریس آزمایشات ۷۲
۵-۴-۲) طرح عاملی کامل ۷۴
۵-۴-۳) طرح مرکب مرکزی ۷۴
۵-۴-۴) طرح تاگوچی ۷۷
۵-۴-۵) طرح دترمینان بهینه ۸۰
۵-۵) طراحی و انجام آزمایشات برای بررسی موقعیت دهنده‌های فیکسچر ۸۴
۵-۵-۱) تعریف پارامترهای ورودی مسئله ۸۵
۵-۵-۲) تعریف بستر انجام آزمایشات ۸۶
۵-۵-۳) تعریف پارامترهای خروجی مسئله ۸۷
۵-۵-۴) طراحی و انجام آزمایشات ۹۰

فصل۶) مدل‌سازی ریاضی فرآیند جوشکاری **۹۲**
۶-۱) رگرسیون یا مدل‌سازی ریاضی ۹۳
۶-۱-۱) رگرسیون خطی با استفاده از چند جمله‌ای‌ها ۹۴
۶-۱-۲) رگرسیون غیرخطی با استفاده از شبکه‌های عصبی پس انتشار ۹۵
۶-۲) محاسبه وزنه‌ها یا ضرایب تنظیمی در مدل‌های ریاضی ۱۰۰
۶-۲-۱) محاسبه وزنه‌های موجود در رگرسیون خطی ۱۰۱
۶-۲-۲) محاسبه وزنه‌های موجود در رگرسیون غیرخطی ۱۰۱
۶-۳) کنترل و اعتبارسنجی مدل‌های ریاضی ۱۰۴
۶-۳-۱) نرمال بودن باقیمانده‌ها ۱۰۴

۶-۳-۲) هم واریانس بودن یا مستقل بودن باقیمانده‌ها ۱۰۵
۶-۳-۳) معنی‌دار بودن مدل‌ها ۱۰۶
۶-۳-۴) بررسی میزان تبعیت مدل از داده‌های آزمایشی ۱۰۸
۶-۳-۵) بررسی میزان قابلیت مدل در پیش‌بینی فرآیند ۱۰۹
۶-۴) مدل‌سازی ریاضی فیکسچر جوشکاری ۱۰۹
۶-۴-۱) رگرسیون خطی فیکسچر جوشکاری با چند جمله‌ای‌ها ۱۱۰
۶-۴-۲) رگرسیون غیر خطی فیکسچر جوشکاری با شبکه‌های عصبی ۱۱۰
۶-۴-۳) مقایسه مدل چند جمله‌ای و شبکه عصبی فیکسچر جوشکاری ۱۱۱

فصل۷) طراحی فیکسچر بهینه **۱۱۷**
۷-۱) روش‌های طراحی بهینه ۱۱۸
۷-۱-۱) استفاده از روش‌های تحلیلی یا ریاضی در بهینه‌سازی ۱۱۸
۷-۱-۲) استفاده از روش‌های عددی یا فرا ابتکاری در بهینه‌سازی ۱۱۹
۷-۲) بهینه‌سازی فیکسچر جوشکاری ۱۲۲

فصل۸) جمع‌بندی و نتیجه‌گیری **۱۲۶**
۸-۱) بحث و نتیجه‌گیری ۱۲۷
۸-۲) پیشنهاداتی برای فعالیت‌های آینده ۱۲۹

منابع **۱۳۱**

واژه نامه **۱۳۶**
فارسی به انگلیسی ۱۳۷
انگلیسی به فارسی ۱۳۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۵-۱) یک مثال با ۴ ترکیب آزمایشی ۷۲
جدول۵-۲) یک نمونه ماتریس طرح ۷۳
جدول۵-۳) طراحی مرکب مرکزی ۷۶
جدول۵-۴) طرح L_{16} تاگوچی ۷۸
جدول۵-۵) ماتریس طرح الف، ب و ج در شکل ۵-۵ ۸۳
جدول۵-۶) دترمینان و بازدهی طرح‌ها ۸۴
جدول۵-۷) سطوح مربوط به پارامترهای طرح ب ۸۴
جدول۵-۸) بازه تغییر پارامترهای فیکسچر جوشکاری ۸۵
جدول۵-۹) مقدار پارامترها روی سطوح ۸۶
جدول۵-۱۰) مکان موقعیت دهنده‌ها در بررسی اجمالی مسئله ۸۹
جدول۵-۱۱) آزمایشات طراحی شده و پاسخ آن‌ها ۹۱
جدول۶-۱) توابع فعال‌سازی مورد استفاده در نرون‌ها ۹۷
جدول۶-۲) مقایسه میزان تبعیت مدل‌ها از داده‌ها ۱۱۲
جدول۶-۳) آزمایشات مربوط به صحه‌گذاری مدل‌های ریاضی ۱۱۴
جدول۶-۴) خطای پیش‌بینی مدل‌های ریاضی ۱۱۵
جدول۷-۱) نتایج بهینه‌سازی موقعیت فیکسچر جوشکاری ۱۲۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱) راه حل اولیه برای حل مسئله ۸
شکل۱-۲) راه حل قابل اجرا برای حل مسئله ۱۰
شکل۲-۱) تقسیم‌بندی روش‌های مختلف جوشکاری ۱۴
شکل۲-۲) شماتیک جوشکاری ذوبی ۱۵
شکل۲-۳) نمونه‌هایی از جوشکاری فشاری ۱۵
شکل۲-۴) جوشکاری قوس الکتریکی ۱۶
شکل۲-۵) جوشکاری با الکترود دستی ۱۸

شکل۲-۶) شماتیک جوشکاری زیر پودری ۲۰
شکل۲-۷) تغییرات اندازه دانه در جوشکاری ۲۱
شکل۲-۸) اجزاء تشکیل دهنده قوس پلاسما ۲۳
شکل۲-۹) جوشکاری با گاز محافظ و الکترود غیر مصرفی ۲۴
شکل۲-۱۰) جوشکاری با گاز محافظ و الکترود مصرفی ۲۵
شکل۳-۱) دسته‌بندی انحرافات بوجود آمده در ورق جوشکاری شده ۲۸
شکل۳-۲) تاثیر ضخامت ورق در میزان انحرافات ۳۰
شکل۳-۳) تاثیر اندازه حوضچه مذاب در میزان اعوجاج ۳۰
شکل۳-۴) تقارن حرارتی در جوشکاری ۳۰
شکل۳-۵) تاثیر انرژی جوشکاری در میزان انحرافات ۳۱
شکل۳-۶) تقارن در ترتیب جوشکاری چند پاسه ۳۲
شکل۳-۷) مقایسه جوشکاری ساده و جوشکاری گام به عقب ۳۲
شکل۳-۸) تاثیر مکان موقعیت دهنده‌ها در میزان اعوجاج نهایی ورق ۳۳
شکل۳-۹) شش درجه آزادی مهار شده توسط یک فیکسچر ۳۶
شکل۳-۱۰) نقش سیستم n-۲-۱ در مهار قطعه‌کار ۳۶
شکل۴-۱) محاسبه جابجایی یک میله مخروطی تحت بار محوری ۴۳
شکل۴-۲) موارد غیرخطی شدن ماده ۴۴
شکل۴-۳) موارد غیرخطی شدن بار ۴۵
شکل۴-۴) نحوه پیشرفت حل در روش صریح ۴۷
شکل۴-۵) نحوه پیشرفت حل در روش ضمنی ۴۷
شکل۴-۶) نحوه جوشکاری، ابعاد ورق‌ها و اجزاء تشکیل دهنده فیکسچر ۴۹
شکل۴-۷) نمودار انتخاب تنظیمات گسسته‌سازی ۵۱
شکل۴-۸) مدل اجزاء محدود ایجاد شده در Ansys ۵۲
شکل۴-۹) مشخصات هندسی منبع حرارتی اصلاح شده ۵۳
شکل۴-۱۰) نحوه توزیع دما روی یکی از ورق‌ها در زمان ۵۵ ثانیه ۵۴
شکل۴-۱۱) تاریخچه دمای چند نقطه از مسیر Y 60 ۵۵
شکل۴-۱۲) تاریخچه دمای چند نقطه از مسیر Y 60 ۵۵
شکل۴-۱۳) جابجایی صفحه‌ای ورق نسبت به پین و یک فرض ساده شونده برای شرایط مرزی پین ۵۶
شکل۴-۱۴) نحوه شبیه‌سازی پیوستگی دو ورق پس از شکل‌گیری گرده جوش ۵۷
شکل۴-۱۵) شرایط مرزی مربوط به تقارن مسئله ۵۸
شکل۴-۱۶) نحوه تغییر شکل یکی از ورق‌های جوشکاری شده ۵۹

شکل۴-۱۷) تاریخچه تغییر شکل در چند نقطه از مسیر Y 60 ..... ۶۰
شکل۴-۱۸) شکل مود کمانشی ورق در مسیرهای مختلف در زمان ۴۰۰ ثانیه..... ۶۰
شکل۴-۱۹) مسئله بررسی شده در تحقیق دنگ [۲۳] ۶۱
شکل۴-۲۰) مقایسه نتایج دمایی مدل ایجاد شده و تحقیق دنگ [۲۳] ۶۲
شکل۴-۲۱) مقایسه نتایج مکانیکی مدل ایجاد شده و معادلات راجو [۴۵] ۶۴
شکل۵-۱) مدل کلی فرآیند مورد مطالعه ۶۶
شکل۵-۲) نمایش نقاط در طرح مرکب مرکزی ۷۶
شکل۵-۳) فضای نامنظم جواب‌ها..... ۷۹
شکل۵-۴) طرح عاملی کامل..... ۸۲
شکل۵-۵) طرح‌های بررسی شده با معیار دترمینان ۸۲
شکل۵-۶) نحوه جابجایی موقعیت دهنده‌ها روی ورق ۸۵
شکل۵-۷) تعیین سطوح مربوط به پارامترهای موقعیت دهی..... ۸۶
شکل۵-۸) پارامترهای اعوجاج ورق و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها..... ۸۸
شکل۵-۹) بررسی اجمالی اثر مکان موقعیت دهنده‌ها روی تلرانس تختی و میزان پستی و بلندی‌ها..... ۹۰
شکل۶-۱) ساختار شماتیک شبکه‌های عصبی ۹۶
شکل۶-۲) ساختار شماتیک نرون..... ۹۷
شکل۶-۳) چگونگی همگرایی به سمت ریشه..... ۱۰۲
شکل۶-۴) هیستوگرام باقیمانده‌های نرمال..... ۱۰۵
شکل۶-۵) مقایسه نمودارهای احتمال باقیمانده‌ها..... ۱۰۵
شکل۶-۶) باقیمانده‌ها با الگوی قابل قبول ۱۰۶
شکل۶-۷) باقیمانده‌ها با الگوی دو خم ۱۰۶
شکل۶-۸) باقیمانده‌ها با الگوی غیر خطی ۱۰۶
شکل۶-۹) باقیمانده‌ها با الگوی قیفی..... ۱۰۶
شکل۶-۱۰) مقایسه نرمال بودن باقیمانده مدل‌ها..... ۱۱۲
شکل۶-۱۱) مقایسه هم واریانس بودن باقیمانده‌ها ۱۱۳
شکل۶-۱۲) مقایسه قابلیت پیش‌بینی میزان پستی و بلندی ورق‌های جوشکاری شده توسط مدل‌ها..... ۱۱۵
شکل۷-۱) مکان بهینه موقعیت دهنده‌های فیکسچر ۱۲۳
شکل۷-۲) مقایسه فیکسچر بهینه طراحی شده در این تحقیق با فیکسچر استاندارد..... ۱۲۴

فصل ۱

مقدمه

۱-۱) اهمیت موضوع

امروزه فرآیند جوشکاری ورق‌های نازک در صنایع مختلف نظیر تولید بدنه خودرو، واگن، کشتی و مخازن فلزی، رو به گسترش است. از جمله مزایای جوشکاری در ایجاد اتصالات دائمی ورق‌های فلزی می‌توان به آب‌بندی خوب، استحکام بالای اتصالات، کاهش وزن و بهبود عملکرد محصول اشاره کرد. با این حال یکی از چالش‌های موجود در جوشکاری ورق‌ها، انحرافات ناخواسته‌ای است که باعث کاهش شدید دقت ابعادی و کیفیت محصول نهایی می‌شود. مهم‌ترین عامل در ایجاد اعوجاج جوشکاری، توزیع غیر یکنواخت دما در اثر حرکت الکترود جوشکاری و ایجاد تنش‌های پسماند در ورق است (مندل [۱]: ۲۱-۱۵).

تنوع خواسته‌های مشتریان از قبیل درخواست محصولات با کیفیت و اطمینان بالا، صاحبان صنایع را برای ماندن در گردونه رقابت، وادار به ارتقا کیفیت و کاهش هزینه تمام شده تولید نموده است. مواد، نیروی کار و روش تولید سه عامل به هم پیوسته در تولید است، که باید از هرکدام به شکل مناسب خود استفاده کرد تا به قیمت کمتر و کیفیت بهتر دست یافت.

قسمت عمده هزینه تمام شده، مربوط به هزینه‌های تولیدی است که با کیفیت قطعه تمام شده ارتباط تنگاتنگی دارد. قطعات برگشتی و فاقد کیفیت هزینه‌زا هستند. همچنین با افزایش کیفیت تولیدی می‌توان به فروش بیشتر و سود بالاتر دست یافت. عدم توجه به کیفیت قطعات می تواند کل محصول و مجموعه تولیدی را زیر سوال ببرد. به عنوان مثال، در یک مشاهده موردی واگن‌های یکی از شرکت‌های داخلی تولید کننده به دلیل وجود اعوجاج‌های بزرگ ناشی از جوشکاری در بدنه و کیفیت پایین، پس از صادر شدن به خارج کشور برگشت داده شد. این مسئله به یک چالش اساسی در این شرکت تبدیل شده است. این امر لزوم شناخت کافی از فرآیندهای تولیدی و رفتار محصولات در قبال آن‌ها را برای کاربردهای صنعتی و تحقیقاتی بخوبی نشان می‌دهد.

بطور کلی انحرافات جوشکاری به صورت انقباض عرضی و طولی، خمش طولی، انحراف زاویه‌ای و اعوجاج

چرخشی و کمانشی در ورق‌ها دسته‌بندی می‌شوند. در جوشکاری قطعات مختلف معمولا تمامی انحرافات فوق بوجود می‌آید. با این حال بر اساس روش جوشکاری، هندسه و ابعاد قطعه، یکی از انواع اعوجاج‌ها بیشتر به چشم می‌خورد. در ورق‌های نازک، به دلیل پایداری پایین آن‌ها در برابر نیروهای صفحه‌ای[1]، انحرافات کمانشی[2] بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد [۲].

تاکنون روش‌های زیادی برای کاهش انحرافات پیشنهاد شده است. تنظیم پارامترهای جوشکاری، بهینه‌سازی اجرای فرآیند جوشکاری، به کارگیری فیکسچرها برای مهار نمودن قطعه هنگام جوشکاری و کاهش و یکنواخت‌سازی انرژی جوشکاری از جمله روش‌های ارائه شده در کنترل انحرافات است. در این میان فیکسچر جوشکاری، به عنوان شرایط مرزی فرآیند، تاثیر زیادی در میزان اعوجاج ورق‌ها دارد [۳]. از این رو استفاده از فیکسچر می‌تواند یک راه حل موثر و ارزان در جهت کنترل اعوجاج ورق جوشکاری شده باشد.

با تغییر مکان موقعیت دهنده‌ها میزان اعوجاج‌های ناشی از جوشکاری نیز تغییرات زیادی دارد [۴]. از این رو چگونگی مهار کردن و موقعیت دهی در میزان انحرافات ورق‌های جوشکاری شده بسیار موثر است. به منظور بررسی و بهینه‌سازی تاثیر مکان موقعیت دهنده‌های فیکسچر روی میزان اعوجاج کمانشی در فرآیند جوشکاری لب به لب[3] ورق‌های نازک، می‌توان از روش اجزاء محدود [۵]، مدل‌سازی ریاضی [۶-۸] و الگوریتم‌های فرا ابتکاری [۹] استفاده نمود که در ادامه منابع و تحقیقات انجام شده در این زمینه بررسی می‌شود.

[1]- In-plane Forces
[2]- Buckling Distortions
[3]- Butt Welding

۱-۲) مرور مقالات و مراجع

۱-۲-۱) بررسی عوامل موثر بر انحرافات جوشکاری و روش‌های کاهش آن‌ها

به دلیل پیچیده بودن فرآیند جوشکاری، پارامترهای زیادی در اعوجاج ناشی از این فرآیند در قطعات تاثیر دارد، که با بررسی و تنظیم مناسب این پارامترها می‌توان اعوجاج‌ها را کاهش داد. تاکنون بررسی‌های متعددی بر روی پارامترهای فرآیند جوشکاری صورت گرفته است که هدف عمومی آنها تعیین سطوح پارامترها، بمنظور کاهش اعوجاج قطعه بوده است. به عنوان نمونه پال و همکارانش [۱۰] تاثیر پارامترهای مهم جوشکاری فلزی - پالسی همراه با گاز فعال[1] نظیر زاویه مشعل[2]، ولتاژ حداکثر، ولتاژ زمینه، فرکانس پالس و زمان روشنی پالس را روی میزان انحرافات زاویه‌ای بررسی کرده‌اند. علاوه بر این سرعت جوش، اندازه قطعه‌کار، مقاوم‌سازی مکانیکی و پیش گرم کردن نیز در اعوجاج‌های ناشی از جوشکاری موثر است. در این راستا، تنگ و همکارانش [۱۱] پارامترهای فوق را با استفاده از شبیه‌سازی اجزاء محدود در Ansys برای جوش قوس الکتریکی یک پاسه بررسی نموده‌اند. همچنین آن‌ها در تحقیقی دیگر تاثیر ضخامت فلانج و عمق نفوذ در جوش T شکل را روی انحرافات و تنش‌های پسماند مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۲].

علاوه بر این روش‌های زیادی برای کاهش انحرافات ناشی از جوشکاری پیشنهاد شده است. به عنوان مثال بهینه‌سازی ترتیب جوشکاری [۱۳]، به کارگیری مناسب فیکسچر برای مهار نمودن قطعه هنگام جوشکاری [۳]، استفاده از یک منبع حرارتی اضافی برای کم نمودن شیب حرارتی در قطعه [۱۴] و ارتعاش قطعه در حین جوشکاری [۱۵] از جمله روش‌های ارائه شده در کنترل انحرافات است. در این میان فیکسچر جوشکاری، به عنوان شرایط مرزی فرآیند، تاثیر زیادی در میزان اعوجاج ورق‌ها دارد [۴]. از این رو استفاده از فیکسچر می‌تواند یک راه حل موثر و ارزان در جهت کنترل اعوجاج ورق جوشکاری شده باشد.

---

[1]- Pulsed Metal Active Gas (P-MAG)
[2]- Torch

۱-۲-۲) بررسی‌های انجام شده روی فیکسچر جوشکاری

همانگونه که ذکر شد، چگونگی مهار کردن و موقعیت دهی قطعات تاثیر بسزایی در میزان انحرافات کمانشی ورق‌های جوشکاری شده دارد. در این زمینه شی‌یو [۱۶] با سعی و خطا یک فیکسچر n-۲-۱ برای جوشکاری لیزر ورق‌ها طراحی کرده است. همچنین وی در تحقیقاتی دیگر تعداد و مکان بهینه موقعیت دهنده‌های فیکسچر در این نوع جوشکاری را با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل‌سازی اجزاء محدود در نرم‌افزار MSC-Nastran تعیین نموده است [۱۷ و ۱۸]. علاوه بر این به منظور بررسی مکان موقعیت دهنده‌های فیکسچر در جوشکاری نقطه‌ای درِ خودرو، ییِنگ هو [۱۹] با استفاده از شبکه‌های عصبی و روش سطح پاسخ به مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی این سیستم پرداخته است.

۱-۲-۳) شبیه‌سازی جوشکاری با استفاده از روش اجزاء محدود

در تحلیل حرارتی و مکانیکی جوش و بمنظور پیش‌بینی انحرافات و تنش‌های پسماند در جوشکای، علاوه بر آزمایشات تجربی، روش‌های عددی نیز به صورت موثر استفاده می‌شوند. امکان اعمال تغییرات در پارامترهای کنترلی فرآیند، بدون نیاز به انجام آزمایشات عملی و امکان تکرار نامحدود آزمایشات با کمترین هزینه، باعث شده است که روش‌های عددی نسبت به آزمایشات عملی، بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در این میان شبیه‌سازی جوش با استفاده از روش اجزاء محدود، به عنوان یک روش کارآمد و دقیق، از اوایل دهه هفتاد مورد توجه قرار گرفته است [۵].

در اکثر مدل‌های اجزاء محدود ارائه شده، با توجه به ماهیت فرآیند جوشکاری، فرض‌هایی برای ساده‌سازی محاسبات در نظر گرفته شده است. به عنوان نمونه هید و همکارانش [۲۰] جوشکاری لب به لب ورق‌های نازک را به صورت متقارن و دو بعدی شبیه‌سازی کرده‌اند. در برخی از تحقیقات موجود، با صرف نظرکردن از شیب حرارتی در راستای مسیر جوشکاری، منبع حرارتی به صورت یک خط در نظر گرفته می‌شود. اما گری و همکارانش [۲۱] نشان دادند که این فرض دارای اشکالاتی است و دقت محاسبات را

کاهش می‌دهد. به عنوان یک راه حل، گلداک [۲۲] منبع حرارتی را یک بیضوی دو تکه در نظر گرفته است که در مسیر جوشکاری حرکت می‌نماید. تحقیقات نشان می‌دهد، با به کارگیری این مدل در شبیه‌سازی منبع حرارتی جوش، نتایج بدست آمده به واقعیت نزدیک‌تر خواهد شد [۳، ۵، ۲۱ و ۲۳]. علاوه بر این نحوه توزیع انرژی حرارتی در حین جوشکاری تحت تاثیر حوضچه مذاب است. اما به دلیل افزایش حجم محاسبات، معمولا پدیده جابجایی حرارتی در مذاب با افزایش ضریب هدایت حرارتی در منطقه حوضچه جوش معادل‌سازی می‌گردد [۲۳].

۱-۲-۴) مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی فرآیند جوشکاری

در بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای یک فرآیند بایستی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها یک ارتباط منطقی برقرار نمود. فرآیند جوشکاری پدیده‌ای پیچیده و غیر خطی است. از این رو بدست آوردن یک رابطه تحلیلی برای پیش‌بینی این فرآیند امری دشوار و حتی غیر ممکن خواهد بود. یکی از روش‌های کاربردی و مناسب برای ایجاد رابطه بین پارامترهای یک فرآیند، مدل‌سازی ریاضی است. در این رویکرد یک رابطه ریاضی قابل تنظیم، داده‌های بدست آمده از آزمایشات را تخمین می‌زند تا بتوان توسط آن حالت‌های دیگر فرآیند که در آزمایشات بررسی نشده‌اند را نیز پیش‌بینی نمود. همچنین به منظور بهینه‌سازی فرآیند نیز می‌توان از این رابطه استفاده نمود.

در بررسی‌های انجام شده روی فیکسچر جوشکاری فقط ییِنگ هو [۱۹] از مدل‌سازی ریاضی استفاده کرده است. همان طور که در بخش ۱-۲-۲ ذکر شد وی با استفاده از شبکه‌های عصبی و روش سطح پاسخ به مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی فیکسچر جوشکاری نقطه‌ای[1] درهای خودرو پرداخته است. همچنین تنها تحقیق انجام شده در زمینه کمینه‌سازی انحرافات حرارتی با استفاده از روش‌های آماری توسط گرنستد [۲۴]

[1]- Spot Welding