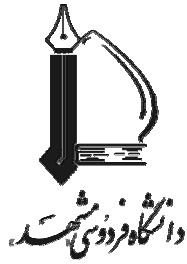


تجربہ



دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

عنوان پایان نامه:

مدلسازی و بهینه سازی جوشکاری با الکتروود غیر مصرفی تنگستنی
ورق نازک فولاد زنگ نزن ۳۰۴
به کمک مدلسازی آماری و الگوریتم تبرید تدریجی

نگارنده: هاشم تالانه

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر فرهاد کلاهان

مهرماه ۱۳۹۲

تأییدیه اصالت اثر

گواهی می‌شود که این پایان‌نامه تاکنون برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده است و تمامی مطالب آن به جز مواردی که نام مرجع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی اینجانب هاشم تالانه می‌باشد.

امضاء دانشجو

هاشم تالانه

تاریخ

امضاء استاد راهنما

فرهاد کلاهان

تاریخ

صور تجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه آقای هاشم تالانه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید در ساعت ۱۰ روز ۱۳۹۲/۷/ در محل دفتر گروه مکانیک دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی های لازم، هیأت داوران پایان نامه نامبرده را با نمره به عدد به حروف و با درجه مورد تأیید قرار داد.

عنوان رساله:

مدلسازی و بهینه سازی جوشکاری با الکتروود غیر مصرفی تنگستنی ورق نازک فولاد زنگ نزن ۳۰۴ به کمک مدلسازی آماری و الگوریتم تبرید تدریجی

امضا

هیئت داوران

داور: دکتر

استادیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر

دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

استاد راهنما: دکتر

دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر گروه: دکتر

دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که هر چه دارم از مهر و تلاش آنهاست.

و

تقدیم به

همسرم

تقدیر و تشکر

اکنون که در انتهای نگارش این پایان‌نامه قرار دارم، لازم است مراتب تقدیر و تشکر خود را از استاد محترم جناب آقای دکتر کلاهان به جای آورم. همچنین از کلیه اساتید و دانشجویانی که با کمک‌های خود انجام بهتر این پژوهش را فراهم آوردند، کمال تشکر را دارم. همچنین به صورت ویژه از پرسنل آزمایشگاه‌های متالوگرافی و خواص مکانیکی و نیز کارگاه جوشکاری به واسطه همکاری‌هایشان تشکر می‌کنم.

 <p>بسمه تعالی مشخصات پایان نامه تحصیلی مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد</p>		
<p>عنوان پایان نامه: مدل‌سازی و بهینه‌سازی جوشکاری با الکتروود غیر مصرفی تنگستنی ورق نازک فولاد زنگ نزن ۳۰۴ به کمک مدل‌سازی آماری و الگوریتم تبرید تدریجی</p>		
<p>نام نویسنده: هاشم تالانه نام استاد راهنما: دکتر فرهاد کلاهان</p>		
دانشکده: مهندسی	گروه: مکانیک	رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک (ساخت و تولید)
تاریخ تصویب:		تاریخ دفاع:
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد ● دکتری ○		تعداد صفحات: ۱۲۷
<p>چکیده پایان نامه:</p> <p>فرآیند جوشکاری الکتروود غیرمصرفی با گاز محافظ (تیگ) به سبب کیفیت بالای اتصال یکی از فرآیندهای پرکاربرد جوشکاری محسوب می‌گردد. یکی از کاربردهای مهم این فرآیند در جوشکاری ورق‌های نازک است. در پژوهش حاضر اثر پارامترهای مختلف جوشکاری تیگ بر روی کیفیت اتصال ورق نازک بررسی شده است. ورق مورد استفاده دارای ضخامت ۰.۵ میلی‌متر و از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ می‌باشد. به منظور گردآوری داده‌های مورد نیاز تعدادی آزمایش هدفمند به کمک روش طراحی آزمایشات تاگوچی طراحی و اجرا گردید. سپس به کمک مدل‌های برازشی، مدل‌سازی فرآیند برای دو خروجی عرض ناحیه متأثر از حرارت و استحکام کششی صورت گرفت. بعد از صحت‌گذاری مدل‌های ریاضی، مجموعه مدل‌های اصلاح فرآیند انتخاب گردید. این مدل‌ها سپس برای بهینه‌سازی تک معیاره و چند معیاره پارامترهای جوشکاری برای دستیابی به اتصال جوشی با استحکام کششی بالا و عرض ناحیه متأثر از حرارت کم مورد استفاده قرار گرفتند. بهینه‌سازی تک معیاره توسط تحلیل تاگوچی و بهینه‌سازی چند معیاره به کمک الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه‌سازی انجام پذیرفت. نتایج محاسباتی و مقایسه آنها در مقابل داده‌های تجربی، عملکرد مناسب روش‌های آماری و بهینه‌سازی پیشنهادی را تصدیق می‌کند</p>		
کلید واژه:		امضای استاد راهنما:
<ol style="list-style-type: none"> ۱. جوشکاری الکتروود غیرمصرفی با گاز محافظ ۲. طراحی آزمایشات ۳. مدل‌سازی برازشی ۴. منطقه متأثر از حرارت جوش ۵. الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده 		تاریخ:

فهرست مطالب

۱۰.....	فصل اول : مقدمه.....
۱۱.....	فصل دوم: اصول جوشکاری.....
۱۵.....	(۱-۲) مکانیزم جوشکاری قوسی گاز محافظ با الکتروود غیر مصرفی.....
۱۷.....	(۲-۲) بخش‌های مختلف تجهیزات جوشکاری TIG.....
۱۹.....	(۱-۲-۲) منبع قدرت.....
۲۰.....	(۲-۲-۲) گاز محافظ.....
۲۲.....	(۳-۲-۲) الکتروود تنگستنی.....
۲۵.....	(۴-۲-۲) مشعل.....
۲۶.....	(۵-۲-۲) فلز پرکننده.....
۲۹.....	(۳-۲) پارامترهای مؤثر در فرآیند جوشکاری با الکتروود غیر مصرفی.....
۲۹.....	(۱-۳-۲) قطبیت، نوع و مقدار جریان.....
۳۱.....	(۲-۳-۲) دبی و ترکیب گاز محافظ.....
۳۲.....	(۳-۳-۲) جنس و فرم نوک الکتروود و نحوه تیز کردن.....
۳۳.....	(۴-۳-۲) فاصله و زاویه الکتروود با قطعه کار.....
۳۳.....	(۵-۳-۲) سرعت و جهت حرکت خطی الکتروود.....
۳۴.....	(۶-۳-۲) تمیزکاری و لبه‌سازی قطعه کار.....
۳۴.....	(۴-۲) مزایا و معایب.....
۳۵.....	(۵-۲) جوشکاری ورق نازک فولاد زنگ نزن ۳۰۴.....
۴۰.....	فصل سوم: طراحی آزمایشات.....
۴۱.....	(۱-۳) تاریخچه طراحی آزمایشات.....
۴۲.....	(۲-۳) تعاریف اولیه.....
۴۶.....	(۳-۳) مراحل طراحی آزمایشات.....
۴۶.....	(۱-۳-۳) شناسایی و بیان مسئله.....
۴۷.....	(۲-۳-۳) انتخاب عامل‌ها، سطوح و دامنه آنها.....
۴۸.....	(۳-۳-۳) انتخاب متغیر پاسخ.....
۴۸.....	(۴-۳-۳) انتخاب طرح آزمایش.....

۴۸	.....	اجرای آزمایش (۵-۳-۳)
۴۹	.....	تحلیل آماری (۶-۳-۳)
۴۹	.....	نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد (۷-۳-۳)
۵۰	.....	انواع طرح‌های آزمایشی (۴-۳)
۵۰	.....	طرح عاملی کامل (۱-۴-۳)
۵۱	.....	طرح عاملی کسری (۲-۴-۳)
۵۲	.....	طرح آزمایش به روش سطح پاسخ (۳-۴-۳)
۵۶	.....	طرح دترمینان بهینه (۴-۴-۳)
۵۸	.....	طرح تاگوچی (۵-۴-۳)
۶۰	.....	انتخاب طرح مناسب (۵-۳)
۶۲	.....	فصل چهارم: اجرای آزمایشات
۶۳	.....	نمونه‌های آزمایش (۱-۴)
۶۴	.....	تجهیزات مورد استفاده (۲-۴)
۶۴	.....	دستگاه جوشکاری (۱-۲-۴)
۶۶	.....	مواد مصرفی (۲-۲-۴)
۶۷	.....	میز اتوماتیک و ملحقات (۳-۲-۴)
۷۰	.....	انتخاب عامل‌ها و حدود آنها (۳-۴)
۷۲	.....	تهیه ماتریس طرح آزمایش (۴-۴)
۷۳	.....	اجرای آزمایشات (۵-۴)
۷۵	.....	اندازه‌گیری خروجی‌های آزمایش (۶-۴)
۷۵	.....	اندازه‌گیری عرض ناحیه متأثر از حرارت (۱-۶-۴)
۷۸	.....	اندازه‌گیری استحکام کششی (۲-۶-۴)
۸۰	.....	فصل پنجم: مدلسازی آماری
۸۱	.....	مدل برازشی (۱-۵)
۸۲	.....	کاربرد مدل برازشی (۲-۵)
۸۲	.....	مفهوم برازش (۱-۲-۵)
۸۵	.....	انواع توابع برازشی (۲-۲-۵)

۸۶	..... تحلیل واریانس (۳-۲-۵)
۹۲	..... تحلیل باقیمانده‌ها (۴-۲-۵)
۹۴	..... مدل‌سازی فرآیند مورد بررسی (۳-۵)
۹۵	..... مدل‌سازی عرض ناحیه متأثر از حرارت (۱-۳-۵)
۹۹	..... مدل‌سازی تنش کشش نهایی (۲-۳-۵)
۱۰۲	..... نتیجه‌گیری (۴-۵)
۱۰۵	..... فصل ششم : بهینه‌سازی
۱۰۶	..... روش‌های بهینه‌سازی (۱-۶)
۱۰۷	..... الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (۲-۶)
۱۱۳	..... بهینه‌سازی فرآیند (۳-۶)
۱۱۳	..... بهینه‌سازی تک هدفه (۱-۳-۶)
۱۱۷	..... بهینه‌سازی چند معیاره (۲-۳-۶)
۱۲۱	..... فصل هفتم : نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات
۱۲۲	..... فرآیند انجام تحقیق (۱-۷)
۱۲۳	..... نتایج و دستاوردهای تحقیق (۲-۷)
۱۲۴	..... پیشنهادات برای تحقیقات آینده (۳-۷)

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ تقسیم بندی روش‌های جوشکاری از نظر منبع انرژی ۱۳
- شکل ۲-۲ فرآیند جوشکاری تیگ ۱۶
- شکل ۳-۲ شماتیک جزئیات مشعل فرآیند جوشکاری تیگ ۱۸
- شکل ۴-۲ تجهیزات فرآیند تیگ ۱۸
- شکل ۵-۲ آغاز قوس به روش قوس بالابر ۲۰
- شکل ۶-۲ اجزای مختلف مشعل جوشکاری تیگ ۲۵
- شکل ۷-۲ استفاده از پرکننده به صورت دستی ۲۷
- شکل ۸-۲ شماتیک سیستم پرکننده سیم گرم ۲۸
- شکل ۹-۲ مقایسه عمق نفوذ جوش در حالت الکتروود منفی و الکتروود مثبت ۳۰
- شکل ۱۰-۲ مقایسه جوش حاصل از قطبیت و نوع جریان‌های مختلف ۳۱
- شکل ۱۱-۲ پارامترهای جریان پالسی ۳۱
- شکل ۱۲-۲ اثر نحوه تیز کردن الکتروود بر روی قوس ۳۲
- شکل ۱۳-۲ روش پیش‌دستی و پس‌دستی ۳۴
- شکل ۱۴-۲ نواحی مختلف یک جوش ۳۷
- شکل ۱۵-۲ کمبود کروم در مجاورت مرزدانه‌ها ۳۸
- شکل ۱۶-۲ خوردگی در فولاد زنگ نزن ۳۹
- شکل ۱-۳ مدل عمومی یک فرآیند یا یک سیستم ۴۳
- شکل ۲-۳ ایجاد طرح کسری 2^{3-1} از طرح 2^3 ۵۱
- شکل ۳-۳ مقایسه گرافیکی طرح‌های آزمایش ۵۶
- شکل ۱-۴ دستگاه جوش تیگ گام الکترونیک مدل PSQ 250 AC/DC ۶۴
- شکل ۲-۴ نمای صفحه کنترل دستگاه جوش تیگ ۶۵
- شکل ۳-۴ مشعل جوشکاری تیگ ۶۶
- شکل ۴-۴ تجهیزات کپسول گاز ۶۷
- شکل ۵-۴ میز اتوماتیک و فیکسچرهای نصب شده بر روی آن ۶۹

- شکل ۴-۶ میکروسوئیچ های تنظیم موقعیت کورس ۶۹
- شکل ۴-۷ اینورتر تنظیم سرعت میز ۶۹
- شکل ۴-۸ یک نمونه قطعه جوشکاری شده در این پژوهش ۷۴
- شکل ۴-۹ دستگاه الکتروپولیش ۷۵
- شکل ۴-۱۰ نمایشگر دستگاه الکتروپولیش در حال اجرای برنامه ۷۶
- شکل ۴-۱۱ میکروسکوپ نوری مورد استفاده ۷۷
- شکل ۴-۱۲ اندازه گیری عرض ناحیه متأثر از حرارت ۷۷
- شکل ۵-۱ داده های اولیه برای مدل برازشی ۸۲
- شکل ۵-۲ تقریب برازشی با مدل درجه یک ۸۴
- شکل ۵-۳ تقریب برازشی با مدل درجه دو ۸۴
- شکل ۵-۴ تقریب برازشی با مدل درجه هفت ۸۵
- شکل ۵-۵ توزیع Z و مقدار بحرانی Z_{α} ۸۸
- شکل ۵-۶ نمودار هیستوگرام باقیمانده ها با توزیع نرمال ۹۲
- شکل ۵-۷ نمودار احتمال نرمال بودن باقیمانده ها ۹۳
- شکل ۵-۸ نمودار تغییر باقیمانده ها بر اساس مقدار خروجی ۹۴
- شکل ۵-۹ فرم های غیرقابل قبول برای باقیمانده ها ۹۴
- شکل ۵-۱۰ نمودار هیستوگرام باقیمانده ها برای مدل خطی درجه دو عرض ناحیه متأثر از حرارت ۹۷
- شکل ۵-۱۱ نمودار احتمال نرمال بودن باقیمانده ها برای مدل خطی درجه دو عرض ناحیه متأثر از حرارت ۹۸
- شکل ۵-۱۲ نمودار تغییر باقیمانده ها بر اساس مقدار خروجی مدل خطی درجه دو عرض ناحیه متأثر از حرارت ۹۸
- شکل ۵-۱۳ نمودار هیستوگرام باقیمانده ها برای مدل خطی درجه دو استحکام کششی ۱۰۱
- شکل ۵-۱۴ نمودار احتمال نرمال بودن باقیمانده ها برای مدل خطی درجه دو استحکام کششی ۱۰۱
- شکل ۵-۱۵ نمودار تغییر باقیمانده ها بر اساس مقدار خروجی مدل خطی درجه دو استحکام کششی ۱۰۱
- شکل ۵-۱۶ نمودارهای اثر متقابل فرکانس پالس و جریان پایه بر روی عرض ناحیه متأثر از حرارت ۱۰۲
- شکل ۵-۱۷ نمودارهای اثر متقابل جریان پالس و فرکانس پالس بر روی استحکام کششی ۱۰۳
- شکل ۶-۱ فلوجارت الگوریتم SA ۱۱۱

- شکل ۶-۲ نمودار سیگنال به نویز منطقه متأثر از حرارت برای سطوح مختلف پارامترها..... ۱۱۴
- شکل ۶-۳ نمودار سیگنال به نویز استحکام کششی برای سطوح مختلف پارامترها..... ۱۱۶
- شکل ۶-۴ نمودار همگرایی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده..... ۱۱۸

فصل اول : مقدمه

در صنعت امروز تولید یک محصول به تنهایی ضامن موفقیت یک واحد تولیدی نیست، بلکه بقای یک واحد تولیدی وابسته به فرآیند بهینه و ارائه محصولی با کیفیت و قیمت تمام شده پایین می‌باشد. بنابراین تحقیقات در رشته‌های مختلف به سمت بهینه‌سازی فرآیندها و افزایش بازدهی معطوف گردیده است. در تمامی این زمینه‌ها ابتدا به شناخت فرآیند و عوامل مؤثر در آن پرداخته می‌شود. این شناخت اغلب منجر به ایجاد یک مدل می‌گردد که ممکن است همراه با آن یک فرمول ریاضی برازش گردد. این مدل کمک می‌کند تا محقق بتواند اثر این عوامل را به نحوی کنترل و هدایت نماید که نتیجه حاصل به محصولی با خواص مورد احتیاج منجر گردد. استقبال حوزه‌های مختلف علوم از این روش سبب گسترش روش‌هایی گردیده است که امروزه با اصطلاحات طراحی آزمایشات^۱ و بهینه‌سازی شناخته می‌شوند.

حوزه ساخت و تولید یکی از حوزه‌هایی است که به فراوانی از روش‌های طراحی آزمایشات و بهینه‌سازی بهره برده است. از جمله می‌توان به کاربردهایی در فرآیندهای تراشکاری، فرزکاری، ماشینکاری با تخلیه الکتریکی، ماشینکاری الکتروشیمیایی و انواع روش‌های جوشکاری نام برد. وجه مشترک همه این فرآیندها ماهیت پیچیده آنها و تأثیر درهم‌تنیده عوامل مختلف در نتیجه این فرآیندها می‌باشد. لذا لازم است در تمامی این فرآیندها به صورت جداگانه تحقیقاتی برای شناسایی و مدل‌سازی صورت گیرد.

از میان روش‌های اتصال دائم، جوشکاری یکی از پرکاربردترین و مهم‌ترین روش‌ها محسوب می‌گردد. این روش با به کار بردن منبعی از انرژی موجب ذوب شدن محل اتصال شده و بین دو یا چند قطعه پیوندی دائمی ایجاد می‌نماید. از میان روش‌های جوشکاری دسته روش‌های قوسی^۲ از اهمیت خاصی برخوردار است. در این نوع جوشکاری که پرکاربردترین نوع جوشکاری محسوب می‌شود، انرژی لازم بوسیله یک قوس الکتریکی بین الکترود و قطعه کار تامین می‌گردد. این الکترود ممکن است ذوبی یا غیرذوبی باشد. چنانچه الکترود ذوبی باشد، ممکن است سبب ورود ناخالصی به محل جوش گردد و سبب به وجود آمدن عیوب بعدی و کاهش خواص مورد انتظار جوش شود. این مسئله سبب شده است که چنانچه به جوش با

^۱ DOE (Design Of Experiments)

^۲ Arc welding

کیفیت بالا نیاز باشد، از روش‌های با الکتروود غیرذوبی استفاده گردد. یکی از مهمترین روش‌های جوشکاری قوسی با الکتروود غیرذوبی، روش جوشکاری با قوس الکتروود تنگستنی تحت حفاظت گاز^۱ و یا به نام مشهور تیگ^۲ می‌باشد. در این روش از یک الکتروود تنگستنی برای ایجاد قوس الکتریکی استفاده شده و خروج گاز خنثی از مشعل از ورود هوا و ناخالصی به جوش جلوگیری می‌کند. قوس حاصل از این فرآیند به خوبی قابل کنترل بوده و تمرکز حرارت تولیدی آن نیز بالاست. به همین علت جوشکاری تیگ به طور گسترده برای جوشکاری فولاد زنگ نزن، فلزات رنگین، ورق‌های نازک و جوشکاری پاس ریشه در مخازن و لوله‌ها به کار برده می‌شود.

همانند دیگر فرآیندهای جوشکاری قوسی نتیجه فرآیند جوشکاری تیگ وابسته به پارامترهای زیادی است که تغییر در هر کدام از آنها می‌تواند کیفیت جوش حاصله را تغییر دهد. هر چه شرایط جوشکاری خاص‌تر و حساس‌تر باشد، اثرگذاری این پارامترها در کیفیت جوش محسوس‌تر و قابل توجه‌تر خواهد بود. یکی از این شرایط خاص، جوشکاری ورق‌های نازک^۳ می‌باشد. در جوشکاری ورق‌های نازک مقدار کم تغییر در پارامترهای ورودی ممکن است به ناپیوستگی جوش و یا در سوی دیگر به سوختگی و سوراخ شدن محل اتصال گردد. بنابراین با توجه به شرایط خاص این نوع اتصال مدل‌های عادی جوشکاری تیگ نمی‌تواند پاسخگو باشد. لذا بررسی این فرآیند می‌تواند بسیار راهبردی و مفید باشد و جوش ورق نازک را ممکن ساخته و حتی مسیر را در یافتن جوش بهینه هموار سازد. با توجه به اینکه تابحال در تحقیقات کمتر به بررسی این نوع شرایط خاص در جوشکاری تیگ پرداخته شده است، نوشتار حاضر گامی در جهت مدل‌سازی و بهینه‌سازی این فرآیند می‌باشد.

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد مدل‌سازی و بهینه‌سازی روش‌های جوشکاری صورت گرفته است. اگر از حیث خواص مورد مطالعه تقسیم‌بندی صورت گیرد، می‌توان دو دسته عمده را نام برد. دسته‌ای به بررسی هندسه گرده جوش پرداخته‌اند و دسته‌ای خواص مکانیکی و متالورژیکی را مدنظر قرار داده‌اند. دسته-

^۱ GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)

^۲ TIG (Tungsten Inert Gas)

^۳ Thin sheet welding

بندی دیگری که می‌توان انجام داد، از حیث روش مدل‌سازی و بهینه‌سازی است که می‌توان از انواع روش‌های برازشی، سطح پاسخ، تاگوچی و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی و از انواع الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی نام برد. از این میان تنها دسته‌ای از آنها که مربوط به جوشکاری تیگ بوده و یا روش آماری و بهینه‌سازی و خواص مورد مطالعه آن در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است، بیان می‌گردد:

تارنگ^۱ و همکارانش [۱] در تحقیقی به بررسی اثر پارامترهای مختلف جوشکاری تیگ بر روی ورق‌های آلومینیوم پرداختند. در این پژوهش به کمک روش طراحی آزمایشات تاگوچی تأثیر پارامترهای فاصله الکتروود تا قطعه کار، دبی گاز، شدت جریان، سرعت خطی جوشکاری و درصد تمیزکاری بر روی هندسه جوش را در طرحی با ۱۶ آزمایش بررسی گردیده است. پس از انجام آزمایشات به کمک خروجی‌های به دست آمده مدل شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شده است. پس از تشکیل و آموزش شبکه عصبی، مدل عصبی حاصله برای بهینه‌سازی توسط الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده^۲ استفاده شده است.

سنتھیل کومار^۳ و همکارانش [۲] در سال ۲۰۰۷ به بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری تیگ پالسی بر روی خواص کششی صفحات آلومینیومی پرداخته است. در این پژوهش به کمک طرح آزمایش فاکتوریل کامل، اثر جریان اوج، جریان پایه، فرکانس پالس و درصد روشنایی قوس بررسی گردیده است. پس از اخذ نتایج مدل‌سازی به کمک مدل‌های برازشی^۴ برای چهار خروجی تنش تسلیم، تنش نهایی، افزایش طول و تنش تسلیم ناچ (شیاردار) انجام گردیده است. در نهایت از مدل‌ها برای تفسیر تأثیر پارامترها بر خروجی‌ها استفاده گردیده است.

تغییرات ساختار ورق آلیاژ آلومینیومی در جوشکاری تیگ توسط نرم‌ن^۵ و همکارانش [۳] مورد بررسی قرار گرفته است. آنها در این تحقیق با تغییر در پارامترهای ورودی فرآیند جوشکاری تیگ شامل سرعت

¹ Tarng

² Simulated Annealing (SA)

³ Senthil Kumar

⁴ Regression Model

⁵ Norman

جوشکاری، شدت جریان، گرمای ورودی و چگالی توان ساختار حاصله را مورد مطالعه قرار دادند. تحقیق حاضر که بر روی ورقی از جنس AA2024 و در حالت جوشکاری لب به لب بدون ماده پرکننده انجام پذیرفته است، نشان می‌دهد که افزایش سرعت و افزایش گرمای ورودی ساختار دانه‌بندی فلز جوش را از حالت محوری به حالت پراکنده و بالاخره به صورت دانه‌های بدون جهت تبدیل می‌کند.

در تحقیقی توسط اندرسن^۱ و همکارانش [۴] به کارگیری شبکه عصبی برای مدلسازی و کنترل فرآیند جوشکاری قوسی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق گام‌های رسیدن به شبکه عصبی مناسب برای فرآیند جوشکاری قوسی بیان گردیده است. سپس از داده‌های جوشکاری تیگ برای آموزش و تست شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردیده است. نتیجه نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی با دیگر مدل‌های رایج ریاضی و آماری به خوبی قابل رقابت است.

ترکیب چند شبکه عصبی مصنوعی در پژوهشی توسط مانی^۲ و همکارانش [۵] مورد آزمون قرار گرفته است. در این مقاله ابتدا ۷ شبکه عصبی برای شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری استفاده گردیده است. سپس آموزش و آزمون تمامی این شبکه‌ها توسط داده‌های آزمایشگاهی صورت گرفته است. در نهایت ترکیب خطی آنها در حالات ضرایب مقید و نامقید صورت گرفته است. نتیجه نشان می‌دهد که ترکیب خطی چند شبکه عصبی می‌تواند به بهبود دقت مدل و کم شدن خطا بیانجامد.

یان^۳ و همکارانش [۶] در سال ۲۰۱۰ به پژوهشی مقایسه‌ای در مورد خواص مکانیکی و ساختار میکروسکوپی جوش حاصل از جوشکاری تیگ، لیزر و فرآیند هیبریدی این دو روش پرداخته‌اند. در این پژوهش نمونه‌هایی از ورق ۳ میلی‌متری از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ توسط این سه روش جوشکاری شده و توسط میکروسکوپ اسکن الکترونی^۴ و پراش سنج اشعه ایکس^۵ مقطع آنها تصویر برداری گردیده است. همچنین نمونه‌ها تحت تست کشش قرار گرفته‌اند تا مقاومت کششی آنها بدست آید. در این پژوهش

¹ Andersen

² Mani

³ Yan

⁴ Scanning Electron Microscopy (SEM)

⁵ X-ray diffractometer (XRD)

توصیه گردیده است که چنانچه سرعت جوشکاری بیشتر و حرارت ورودی کمتر گردد، منطقه متأثر از حرارت^۱ کوچکتر گردیده و شاخه‌های آهن دلتا^۲ موجود در ساختار میکروسکوپی کوچکتر می‌شوند.

مددی و همکارانش [۷] در سال ۲۰۱۲ از فرآیند تیگ پالسی به منظور جوشکاری پوششی فولاد کربنی استفاده نموده‌اند. در این پژوهش چهار پارامتر مختلف جریان پالسی شامل جریان پایه، جریان اوج، فرکانس پالس جوش و درصد جریان اوج در پنج سطح تغییر داده شده‌اند. طرح آزمایش مورد نظر به روش سطح پاسخ^۳ با ۳۱ آزمایش ایجاد گردیده‌است. خروجی‌های اندازه‌گیری شده شامل درصد ترقیق^۴ و میکرو سختی ویکرز^۵ سطح حاصله به کمک مدل‌های برازشی شبیه‌سازی شده‌اند. در نهایت به کمک تکنیک آنالیز واریانس^۶ آماره‌های مؤثر تعیین گردیده و روایی مدل تأیید گردیده است. نتیجه نشان می‌دهد که روش به کار رفته و مدل نهایی بدست آمده با دقت خوبی با داده‌های واقعی انطباق دارد.

کومار^۷ و همکارانش [۸] در سال ۲۰۱۰ به کمک تمیزکاری پرتو لیزر به بهبود کیفیت جوشکاری تیگ لوله‌های تیتانیوم پرداخته‌اند. در این پژوهش لبه‌های داخلی و خارجی لوله‌هایی با قطر خارجی ۹.۵ میلیمتر و ضخامت ۰.۸۳ میلیمتر از یک آلیاژ تیتانیوم ابتدا به کمک اشعه لیزر از اکسیدهای سطحی پاکسازی گردیده‌اند. نمونه‌ها سپس به کمک فرآیند جوشکاری تیگ پالسی جوش داده شده و از آنها به کمک اشعه ایکس تصویربرداری صورت گرفته است. در پایان مقایسه‌ای بین جوش بدون پاکسازی و با پاکسازی انجام گرفته‌است. نتیجه نشان می‌دهد که در جوشکاری بدون تمیزکاری تخلخل وجود دارد، در حالی که در نمونه تمیزکاری شده هیچ گونه خلل و فرجی دیده نمی‌شود. همچنین با توجه به تست میکروسختی انجام شده نشان می‌دهد که سختی فلز جوش از فلز پایه بیشتر بوده است. در حالی که در منطقه متأثر از حرارت به علت تأثیر بازپخت^۸ حین جوشکاری مقدار سختی کمتر از فلز پایه می‌باشد.

¹ Heat Affected Zone (HAZ)

² δ -Fe

³ Response surface method (RSM)

⁴ Dilution

⁵ Vickers

⁶ Analysis Of Variance (ANOVA)

⁷ Kumar

⁸ Annealing

در پژوهشی تأثیر ترکیب گاز محافظ و مقادیر عناصر جزئی در جوشکاری ورق فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ توسط هسیه^۱ و همکارانش [۹] مطالعه گردیده است. در این پژوهش مقادیر عناصر آلیاژی نمونه‌های فولاد به مقدار کم تغییر داده شده و تحت سه ترکیب مختلف گاز محافظ جوشکاری گردیده است. سپس به کمک میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ اسکن الکترونی از نمونه‌ها تصویربرداری صورت گرفته است. نتیجه نشان می‌دهد که عناصر جزئی مانند اکسیژن، گوگرد و آلومینیوم تأثیر معناداری بر روی نسبت عمق به عرض جوش^۲ دارند. بر این اساس افزایش اکسیژن و گوگرد سبب افزایش این نسبت گردیده و برعکس افزایش آلومینیوم (به علت میل ترکیبی زیاد آن با اکسیژن و کم کردن اکسیژن حل شده در فولاد) موجب کاهش این نسبت می‌گردد. سیلیسیم و فسفر تأثیر قابل توجهی نداشتند. همچنین به کمک تحلیل برازش خطی فرمولی به منظور پیش بینی نسبت عمق به عرض جوش با توجه به ترکیب عناصر آلیاژی ایجاد گردیده است. همچنین ترکیب گاز مناسب جهت افزایش عمق به عرض جوش از یافته‌های این مقاله بوده است.

حاجبی و همکارانش [۱۰] تحقیقی با رویکرد آزمایشی بر روی تأثیر زاویه رأس الکتروود بر شکل حوضچه مذاب در فرآیند جوشکاری با الکتروود تنگستن انجام داده‌اند. در این پژوهش از ۵ الکتروود از نوع ۲ درصد توریم‌دار با زاویه رأس‌های مختلف ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ درجه برای جوشکاری ورق فولادی استفاده گردیده است. با توجه به نتایج تجربی شکل حوضچه جوش پیش‌بینی‌های مدل ریاضی را تأیید می‌نماید. بر اساس این نتایج با زیاد شدن زاویه رأس الکتروود عرض حوضچه جوش کاهش و عمق آن افزایش پیدا می‌کند. نسبت عمق به عرض حوضچه نیز با زیاد شدن زاویه رأس، در ابتدا افزایش یافته و سپس کمی کاهش پیدا می‌کند.

در پژوهشی توسط فریدوند و همکارانش [۱۱] تأثیر مبرد، فلز پرکننده و پشت بند در جوشکاری ورق فولاد زنگ‌نزن به روش تیگ بررسی گردیده است. در این پژوهش ورق با ضخامت ۲ میلی‌متر از جنس

¹ Hsieh

² d/w ratio