بسمه تعالی

3rd National Conference
on the Mechanical Systems
and Industrial Innovations

سومین کنفرانس ملی
سیستم های مکانیکی و نوآوری های صنعتی

۲۹و۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۳

گواهی ارائه مقاله

پژوهشگران / نگارندگان ارجمند:

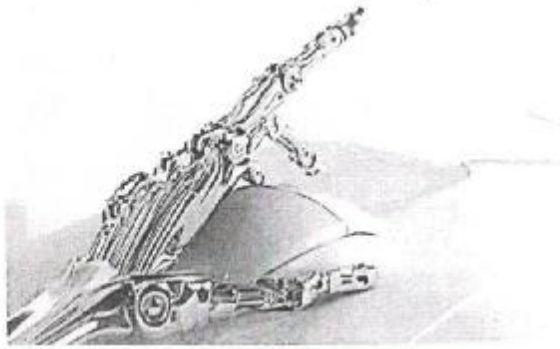
فرهاد کلاهان، مسلم نجفی بیرکانی

گواهی می شود مقاله با عنوان:

بهینه سازی پارامترهای جوشکاری جهت دستیابی به حداقل اعوجاج زاویه ای و اعوجاج طبله ای به روش تاگوچی

از سوی کمیته علمی کنفرانس مورد پذیرش قرار گرفته و در مجموع مقالات کنفرانس منتشر شده است.

کمیته برگزاری کنفرانس از ارائه این مقاله توسط نویسندگان قدردانی نموده و آرزومند توفیق روزافزون ایشان در پیشبرد علم و فناوری میهن عزیزمان ایران می باشد.



دکتر فرید حاجی شیخی
دبیر کنفرانس و معاونت پژوهش
دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

انجمن علمی مهندسی مکانیک اهواز

دکتر شهرام شهروئی
دبیر علمی کنفرانس

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

سومین کنفرانس ملی سیستم های مکانیکی و نوآوری های صنعتی
اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز،
۲۹و۳۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۳

بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری جهت دستیابی به حداقل اعوجاج زاویه‌ای و اعوجاج طبله ای به روش تاگوچی

فرهاد کلاهان[۱]، مسلم نجفی بیرگانی[۲]

[۱]دانشیار گروه مهندسی مکانیک ، دانشگاه فردوسی مشهد، kolahan@um.ac.ir
[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد ، mnbn66@gmail.com

چکیده

یکی از روش‌های پرکاربرد در صنایع جهت اتصالات دائم، جوشکاری با الکترود تنگستنی با گاز محافظ[۱] است که دستیابی به اتصالی با کمترین عیب ابعادی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه انتخاب مناسب پارامترهای ورودی فرایند تأثیر مهمی در کم کردن اعوجاج دارند بنابراین انتخاب سطوح بهینه پارامترهای از اهمیت فوق‌العاده‌ای در کیفیت نهایی اتصال برخوردار است. در این مقاله از روش تاگوچی برای یافتن سطوح بهینه چهار پارامتر ورودی(قطر الکترود، شدت‌جریان، سرعت جوشکاری و گپ) استفاده شده است. متغیرهای خروجی نیز شامل اعوجاج زاویه‌ای[۲] و اعوجاج طبله‌ای[۳] می‌باشند. با استفاده از تحلیل سیگنال به نویز[۴] مقادیر بهینه برای دستیابی به حداقل اعوجاج زاویه‌ای و اعوجاج طبله ای به‌صورت همزمان موردبررسی قرارگرفته‌اند. علاوه بر این با استفاده از تحلیل واریانس[۵] میزان تأثیر هریک از پارامترها بر روی اعوجاج زاویه‌ای و طبله کردن موردبررسی قرارگرفته است. و در نهایت از مقایسه نتایج بهینه‌سازی روش تاگوچی با رگرسیون درجه ۲، دقت مدل ارزیابی شده است.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی، جوشکاری با الکترود تنگستنی، اعوجاج زاویه‌ای و طبله‌ای، تاگوچی

مقدمه

در جوش آرگون یا تیگ(TIG)، برای ایجاد قوس جوشکاری از الکترود تنگستن استفاده می‌شود که این الکترود برخلاف دیگر فرایندهای جوشکاری، حین عملیات جوشکاری مصرف نمی‌شود. در حین جوشکاری گاز خنثی هوا را از ناحیه جوشکاری بیرون رانده و از اکسید شدن الکترود جلوگیری می‌کند. در جوشکاری تیگ(TIG)، الکترود فقط برای ایجاد قوس بکار برده می‌شود و خود الکترود در جوش مصرف نمی‌شود. در این مقاله روش تاگوچی[۶] برای دستیابی به ترکیب بهینه‌ای از پارامترهای جوشکاری آرگون به منظور به حداقل رساندن اعوجاج زاویه‌ای و اعوجاج طبله ای اعمال‌شده است. بسته به احتیاجات کاربردی، یک جوش قابل‌قبول باید بیشترین نفوذ، کمترین اعوجاج، کمترین منطقه متأثر از حرارت، کمترین اندازه مهره جوش و ... را دارا باشد. از این‌رو تقاضاها برای دستیابی به تنظیمات بهینه متغیرهای جوشکاری، برای رسیدن به یک جوش باکیفیت مناسب روزبه‌روز در حال افزایش است. این موضوع می‌تواند به بهینه‌سازی متغیرهای جوشکاری منجر شود. در روش تاگوچی از روش‌های آماری برای بهینه‌سازی در فرایندهای مهندسی استفاده می‌شود. در این مقاله نیز سعی شده است که با استفاده از این روش، متغیرهای بهینه‌ای از فرایند جوشکاری آرگون را برای دستیابی به حداقل اعوجاج زاویه‌ای و طبله ای، جستجو کنیم.

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه کاهش اعوجاج در فرایندهای مختلف جوشکاری و بر روی فلزات مختلف انجام‌شده است که در اغلب آن‌ها با استفاده از شبیه‌سازی با نرم‌افزار و شبکه عصبی به مدل‌سازی فرایند پرداخته‌اند. از محققانی که در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند می‌توان به لیانگ تیان[۱] و همکاران اشاره نمود، آن‌ها با استفاده از روش‌های تجربی، اجزا محدود و مدل‌سازی شبکه عصبی توانستند اعوجاج زاویه‌ای و انقباض عرضی را در فولاد زنگ نزن ۳۰۴ پیش‌بینی کنند. آکلا و همکاران[۲] نیز به کنترل اعوجاج در جوشکاری تیگ فولاد آرام با استفاده از روش تاگوچی پرداخته‌اند. آن‌ها در تحقیق خود با استفاده از آنالیز واریانس به این نتیجه رسیدند که فاصله ریشه به میزان ۴۳ درصد، جریان جوشکاری به میزان ۳۶ درصد، سرعت جوشکاری به میزان ۱۴ درصد و نرخ شار گاز نیز به میزان ۶ درصد بر روی اعوجاج تأثیر دارند. سیدیان و همکاران[۳] نیز به پیش‌بینی اعوجاج زاویه‌ای در ورق‌های نازک فولاد زنگ نزن ۳۰۴ برای جوش تک پاسه پرداخته‌اند. به این نتیجه رسیدند که شبیه‌سازی با شبکه عصبی می‌تواند با دقت قابل‌قبولی اعوجاج زاویه‌های را در جوشکاری تک پاسه ورق پیش‌بینی کند. لانگ و همکاران[۴] نیز به بررسی اعوجاج‌ها و تنش‌های پسماند در اتصال سربه‌سر ورق در جوشکاری میگ پرداختند. آن‌ها در تحقیق

---

[۱] Tungsten inert gas welding (TIG)
[۲] Angular distortin
[۳] Bowing distortion
[۴] S/N ratio
[۵] ANOVA(Analyses of variance)
[۶] Taguchi Method

خود با استفاده از شبیه‌سازی ترمو الاستیک-پلاستیک، اعوجاج زاویه‌ای، انقباض طولی و عرضی و تنش‌های پسماند را پیش‌بینی کردند و درنهایت به این نتیجه رسیدند که سرعت جوش و ضخامت ورق تأثیر بسزایی در اعوجاج و تنش پسماند حاصل از جوشکاری دارد. گردآوری مروری جامع این مقالات را می‌توان در مرجع [۵] یافت. در ادامه این تحقیقات، هدف از پژوهش حاضر تعیین سطوح بهینه پارامترهای جوشکاری تیگ با استفاده از تحلیل سیگنال به نویز ، برای دستیابی به حداقل اعوجاج جوشکاری و همچنین تعیین درصد تأثیر هر پارامتر در کاهش اعوجاج می‌باشد.

پارامترهای فرآیند و سطوح آن‌ها

پارامترهای مورد موردبررسی در این مقاله شامل قطر الکترود تنگستنی، شدت‌جریان جوشکاری، سرعت جوشکاری و گپ جوشکاری(فاصله نوک الکترود تنگستنی تا سطح قطعه کار) می‌باشد که سطوح آن‌ها نیز در جدول ۱ آمده است. متغیرهای خروجی نیز اعوجاج زاویه‌ای و اعوجاج طبله‌ای می‌باشند که برای بهینه‌سازی مجموع آن‌ها پس از بی مقیاس سازی، در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱: پارامترهای فرایند و سطوح آن‌ها

عامل	علامت اختصاری	سطوح		
		پایین	متوسط	بالا
قطر الکترود	D	۱,۶	-	۲,۴
شدت‌جریان	C	۷۰	۸۰	۹۰
سرعت	S	۱۱	۱۳,۳	۱۴,۵
گپ	G	۲	۲,۵	۳

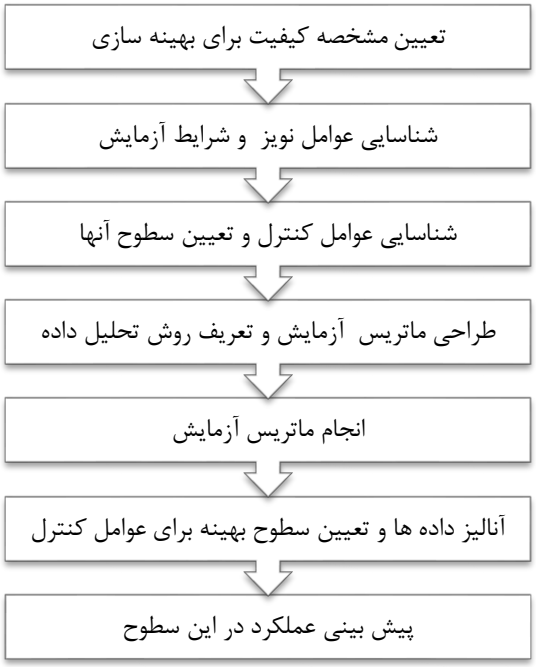
طراحی آزمایشات با تاگوچی

تاگوچی برای بیان اصول خود عوامل تأثیرگذار بر فرآیند را به دو دسته متغیرهای کنترل (قابل کنترل)[۷] و متغیرهای نویز (غیرقابل کنترل)[۸] تقسیم‌بندی می‌کند.

روش تاگوچی یک ابزار مؤثر برای طراحی دستگاه‌های تولید باکیفیت بالاست. دکتر جینیچی تاگوچی، مشاور مدیریت کیفیت ژاپنی، یک روش توسعه یافته مبتنی بر آزمایشات آرایه‌های متعامد دارد که واریانس را برای آزمایشات، با تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی فرایند به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. بنابراین ادغام روش طراحی آزمایشات با بهینه‌سازی پارامتریک، در تاگوچی فراهم شده است.

یک آرایه متعامد مجموعه‌ای از آزمایشات و نسبت سیگنال به نویز را ارائه می‌دهد که با استفاده از توابع لگاریتمی خروجی‌های مطلوب را پیش‌بینی می‌کند. در شکل ۱ مراحل روش تاگوچی نشان داده‌شده است.

طرح آزمایش انتخابی برای پژوهش حاضر نیز آرایه متعامد $L18(3^3\ 2^1)$ می‌باشد که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، زیرا این طرح متناسب با شرایط آزمایش برای سه پارامتر با سه سطح و یک پارامتر با دو سطح می‌باشد. آرایه متعامد با توجه به درجات آزادی تمام فاکتورهای کنترلی انتخاب می‌شود آرایه متعامد ماتریس مخصوصی است که شامل سطوح مختلف پارامترهای ورودی می‌باشد و هر ماتریس شرایط منحصربه‌فردی از آزمایش را نشان می‌دهد. در هر ستون تمامی سطوح مربوط به یک پارامتر ورودی وجود دارد که به تعداد مساوی تکرار می‌شود. [۷]



شکل ۱: مراحل روش تاگوچی[۸]

انجام آزمایشات و اخذ نتایج

پارامترهای مورد موردبررسی در این مقاله شامل یک عامل دوسطحی قطر الکترود تنگستنی و سه عامل سه سطحی شدت‌جریان جوشکاری، سرعت جوشکاری و گپ جوشکاری(فاصله نوک الکترود تنگستنی تا سطح قطعه کار) می‌باشد که سطوح آن‌ها نیز در جدول ۱ آمده است. ورق مورد استفاده برای انجام آزمایش فولاد زنگ نزن[۹] آستنیتی ۳۱۶AISI ، باضخامت ۲ میلی‌متر و ابعاد ۴۷*۲۰۰ میلی‌متر انتخاب گردید که خواص شیمیایی آن نیز در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲: ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن ۳۱۶[۶]

عنصر	Cr	Ni	Mn	Mo	C	Si
%	۱۶-۱۸	۱۰-۱۴	۲	۲-۳	۰,۰۸	۱

همچنین از گاز محافظ آرگون با درصد خلوص بالا(۹۹,۹۹٪) با نرخ شار $20\ ft^3/h$ برای حفاظت از قوس استفاده گردید. زاویه نازل نیز ۷۵ درجه نسبت به خط افق در نظر گرفته شد. جوشکاری نمونه‌ها توسط دستگاه جوش ساخت شرکت گام الکتریک با مدل AC/DC PSQ ۲۵۰ انجام گردید.

[۷] Signal factor
[۸] Noise factor
[۹] Stainless steel 316

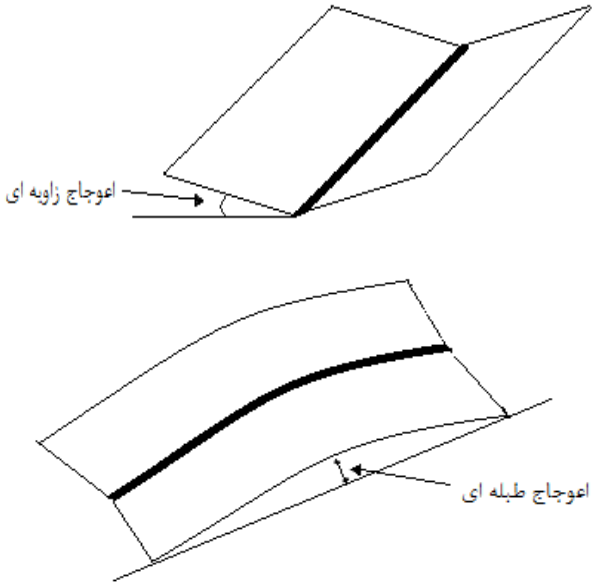
پس از انجام آزمایشات، خروجی‌ها مطابق جدول استخراج شدند، ذکر این نکته ضروری است که برای سادگی کار با خروجی‌ها و همچنین به دلیل اینکه واحدهای خروجی باهم تفاوت دارند، خروجی‌های اندازه‌گیری شده مطابق رابطه ۱ بی‌بعد شدند.

$$n_{ij} = \frac{\min(a_{ij})}{a_{ij}} \qquad (۱)$$

a_{ij} : مقدار اصلی هر خروجی

n_{ij} : خروجی بی‌بعد شده

برای اندازه‌گیری اعوجاج زاویه‌ای، میانگین زاویه ایجادشده ورق با افق در ابتدا و انتهای خط جوش ثبت گردید و همچنین اعوجاج طبله ای نیز با اندازه‌گیری بیشترین تحدب ایجادشده در طول خط جوش به دست آمد که در شکل۲ نشان داده‌شده است.



شکل ۲: اعوجاج‌های زاویه‌ای و طبله ای در جوش

تحلیل نسبت سیگنال به نویز

به منظور ارزیابی تنظیمات پارامترهای بهینه، روش تاگوچی از یک معیار آماری عملکردی که نسبت سیگنال به نویز نامیده شده است، استفاده می‌کند. نرخ سیگنال به نویز یک معیار عملکردی برای انتخاب سطوح کنترلی که بهترین تقابل را با نویز دارد، می‌باشد. نرخ سیگنال به نویز هر دو مقدار میانگین و تغییرپذیری را باهم لحاظ می‌کند. نسبت سیگنال به نویز در واقع نسبت میانگین به انحراف معیار است. این نسبت به مشخصه‌های فرایند بستگی دارد، نرخ سیگنال به نویز استاندارد به‌طور کلی ، نسبت سیگنال به نویزهای استانداردی که استفاده می‌شوند بر سه نوع‌اند: هر چه کمتر، بهتر، هر چه به مقدار اسمی نزدیک‌تر، بهتر و هر چه بزرگ‌تر، بهتر .

در این آزمایش هرچه مقادیر متغیرهای اعوجاج کمتر باشند نتیجه بهتری حاصل می‌شود، اما با توجه به این‌که خروجی‌ها بی‌بعد شده‌اند و بهترین خروجی عدد یک را به خود اختصاص می‌دهد و بقیه خروجی‌ها مقادیری بین صفر و یک هستند، از این‌رو از ویژگی "هرچه بزرگ‌تر، بهتر " برای بهینه‌سازی استفاده می‌کنیم. که از رابطه ۲ برای به دست آوردن نسبت سیگنال به نویز استفاده شده است.

$$S/N = -10\log_{10}(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{yi^2}) \qquad (۲)$$

جدول۳ : ورودی‌ها و خروجی‌های آزمایشات

	ورودی‌ها				خروجی			
No	D	C	S	G	Ang	Bow	Sum	SNR
۱	۲	۱۱	۷۰	۱,۶	۰,۶۸	۲,۳	۶,۶	۴,۵۴
۲	۲,۵	۱۳,۳	۷۰	۱,۶	۰,۷۳	۳,۷۲	۶,۲	۲,۶۲
۳	۳	۱۴,۵	۷۰	۱,۶	۰,۸۵	۴,۱۵	۵,۳	۲,۹۹
۴	۲	۱۱	۸۰	۱,۶	۰,۶	۲,۸۶	۷,۵	۲,۹۷
۵	۲,۵	۱۳,۳	۸۰	۱,۶	۰,۷۱	۴,۱۱	۶,۳	۲,۱۴
۶	۳	۱۴,۵	۸۰	۱,۶	۰,۶۸	۴,۴	۶,۶	۱,۶۶
۷	۲,۵	۱۱	۹۰	۱,۶	۰,۶۵	۳,۴	۶,۹	۲,۵۳
۸	۳	۱۳,۳	۹۰	۱,۶	۰,۶۹	۴,۱۵	۶,۵	۱,۹۴
۹	۲	۱۴,۵	۹۰	۱,۶	۰,۸	۴,۴۱	۵,۶	۲,۴۶
۱۰	۲,۵	۱۱	۷۰	۲,۴	۰,۶۷	۲,۶	۶,۷	۳,۸۸
۱۱	۲	۱۳,۳	۷۰	۲,۴	۱	۲,۸	۴,۵	۵,۲۱
۱۲	۲,۵	۱۴,۵	۷۰	۲,۴	۰,۹۴	۴,۷۷	۴,۸	۳,۰۷
۱۳	۲,۵	۱۱	۸۰	۲,۴	۰,۷۶	۳,۴۴	۵,۹	۳,۱۳
۱۴	۳	۱۳,۳	۸۰	۲,۴	۰,۷۷	۳,۶	۵,۷	۳,۱۹
۱۵	۲	۱۴,۵	۸۰	۲,۴	۰,۸	۴	۵,۶	۲,۸۰
۱۶	۲,۳	۱۱	۹۰	۲,۴	۰,۶۶	۲,۴۸	۶,۸	۴,۰۵
۱۷	۲	۱۳,۳	۹۰	۲,۴	۰,۷۵	۳,۵	۶	۳,۰۰
۱۸	۲,۵	۱۴,۵	۹۰	۲,۴	۰,۷۷	۴,۴	۵,۷	۲,۴۰

محاسبه مقدار SNR برای هر پارامتر در سطوح مختلف

با توجه به آرایه استاندارد تاگوچی و مقادیر SNR محاسبه‌شده برای هریک از ۱۸ آزمایش انجام گرفته، مقدار میانگین SNR برای هر پارامتر ورودی و در سطوح مختلف با توجه به رابطه ۳ محاسبه می شود.[۵]

$$\bar{n} = n_m + \sum_{n=1}^{o}(n_m - n_i) \qquad (۳)$$

در رابطه ۲ مقدار n_i و n_m به ترتیب نسبت S/N برای هر مرحله و نسبت S/N برای تمامی مراحل می‌باشد. با استفاده از نرم‌افزار مینی تب ۱۷[۱۰] مقادیر SNR برای هر آزمایش و همچنین مقدار میانگین آن برای هر پارامتر به دست آورده شده است. بر این اساس در شکل ۳ سطوح بهینه پارامترها برای خروجی مجموع اعوجاج‌ها به دست آورده شده است.

همان‌طور که از جدول۴ و شکل۳ ملاحظه می‌شود برای دستیابی به کمترین مقدار ممکن از مجموع اعوجاج‌ها، باید الکترود با قطر بیشتر را انتخاب کرد و همچنین سرعت و شدت‌جریان و میزان گپ هم در سطح اولیه خود قرار بگیرند. به این ترتیب بیشترین مقدار به‌دست‌آمده برای هر پارامتر ورودی به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که سطوح بهینه به‌دست‌آمده برای حداقل اعوجاج ممکن در ورق فولاد زنگ نزن ۳۱۶ باضخامت ۲ میلی‌متر عبارت‌اند از: $D_2\ C_1\ S_1\ G_1$. ضمن اینکه تمامی محاسبات آماری استفاده شده در این مقاله از نرم‌افزار مینی تب۱۷ استفاده شده است.

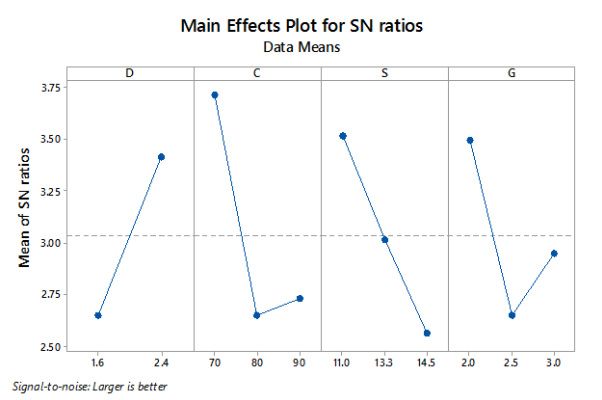
جدول۴: میانگین SNR برای هر پارامتر ورودی و سطوح مختلف

سطح	D	C	S	G
۱	۲,۶۵	**۳,۷۱**	**۳,۵۱**	**۳,۵**
۲	**۳,۴۱**	۲,۶۴	۳,۰۱	۲,۶۵
۳		۲,۷۳	۲,۵۶	۲,۹۵
Rank	۴	۱	۲	۳

در شکل ۳ تأثیر هر سطح از پارامترهای ورودی بر خروجی آزمایش‌ها نشان داده‌شده است.

تحلیل واریانس برای اعوجاج

تحلیل واریانس یک تکنیک رایج آماری است که برای تعیین میزان تأثیر هر پارامتر بر خروجی از آن استفاده می‌شود.[۱۰] از این روش برای محاسبه مجموع مربعات (SS)، درجه آزادی (D)، واریانس (V)، و درصد سهم هر عامل (P) استفاده می‌شود که نتایج ان در جدول ۵ آورده شده است.



شکل ۳: ترکیب سطوح بهینه پارامترها

همان‌طور که از نمودار هم مشاهده می‌شود، شدت‌جریان جوشکاری با تأثیر بیش از ۳۰ درصد، بیشترین تأثیر، و پس از آن به ترتیب عوامل سرعت، قطر و گپ جوشکاری با ۲۰، ۱۹ و ۱۶ درصد بر اعوجاج پس از جوشکاری نقش داشته‌اند. دلیل تأثیر بالای پارامتر سرعت را می‌توان با نقش آن در انرژی حرارتی که به قطعه کار می‌دهد، توجیه کرد.

در آنالیز واریانس اگر درصد تأثیر خطا کمتر از ۱۵ درصد باشد، نشان‌دهنده این است که عامل مهمی در طراحی آزمایشات تجربی از دست داده نشده است[۹] با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که درصد تأثیر خطا کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد و عامل مهمی در طراحی آزمایشات از دست داده نشده است.

جدول ۵: آنالیز واریانس داده‌ها

Source	DF	SS	V	F	PC(%)
D	۱	۲,۶۳۷	۲,۶۳۷	۱۲,۸۷	۱۹
C	۲	۴,۲۲۳	۲,۱۱۲	۱۰,۲۳	۳۰,۴
S	۲	۲,۷۴۲	۱,۳۷۰	۶,۶۴	۱۹,۷
G	۲	۲,۲۲۱	۱,۱۱۰	۵,۳۸	۱۶
Error	۱۰	۲,۰۶۴	۰,۲۰۶۴		
total	۱۷	۱۳,۸۸۷			

بررسی مقادیر بهینه به‌دست‌آمده با استفاده از روش تاگوچی و مقایسه با خروجی فرایند

برای بررسی جواب بهینه به‌دست‌آمده مقادیر خروجی با استفاده از مدل درجه ۲ رگرسیونی[۱۱] نشان داده در رابطه ۴ که با استفاده از نرم‌افزار مینی تب ۱۷ استخراج شده است، محاسبه می‌شود که برای مجموع اعوجاج‌ها مقدار ۱,۷۷ حاصل شد. پیش‌بینی الگوریتم تاگوچی نیز ۱,۷۶ را نشان می‌دهد که مشاهده می‌شود که SNR

[۱۰] Minitab 17

[۱۱] Regression

برای دو روش تطابق بسیار بالایی دارند. در جدول ۷ مقادیر حاصل از تاگوچی و مدل رگرسیونی نشان داده‌شده است. در این جدول همچنین بین نسبت S/N بهینه مدل با مقدار متناظر در آزمایش شماره یک مقایسه‌ای صورت گرفته است که مشاهده می‌شود که این پارامتر به میزان ۰,۴۱ واحد افزایش داشته است.

جدول ۷: مقایسه نتایج بهینه حاصل از الگوریتم تاگوچی و مدل رگرسیونی

مقادیر بهینه خروجی			
مدل	تاگوچی	آزمایش اول	
$D_2C_1S_1G_1$	$D_2C_1S_1G_1$	$\mathbf{D_1C_1S_1G_1}$	ترکیب ورودی‌ها
۱,۷۷	۱,۷۶	**۱,۶۸**	مجموع اعوجاج
۴,۹۶	۵,۰۵	**۴,۵۴**	SNR
۰,۴۱	مقدار بهبود در SNR نسبت به آزمایش شماره۱		

نتیجه گیری:

در این پژوهش روش تاگوچی برای ارزیابی ترکیب سطوح بهینه پارامترهای جوش الکترود تنگستنی با گاز محافظ به منظور دستیابی همزمان به حداقل اعوجاج زاویه‌ای و اعوجاج طبله‌ای در اتصال ورق فولاد زنگ نزن ۳۱۶ اعمال شد. روش تاگوچی یک روش بسیار مؤثر برای بهینه‌سازی فرایندهایی که می‌توانند با تعداد محدودی آزمایش انجام شوند، می‌باشد. این روش اغلب برای کارهایی که دامنه آزمایش آن‌ها زیاد است پیشنهاد می‌شود. از مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی با روش تاگوچی با نتایج حاصل از مدل رگرسیونی مشاهده شد که تفاوت بسیار کمی بین این دو روش وجود ، که نشان‌دهنده دقت بالای روش تاگوچی می‌باشد. همان طور که در جدول ۷ نیز نشان داده شده است، الگوریتم تاگوچی با سطوح بهینه ای که بدست آورده بود، خروجی ۱,۷۶ را نیز برای این سطوح پیش بینی کرد و با قرار دادن همین سطوح در مدل رگرسیونی برازش داده شده بر خروجی ها و ورودی های مساله، خروجی ۱,۷۷ بدست آمد. از مقایسه این دو مشاهده می شود که اختلاف ناچیزی(حدود ۱ درصد) بین پیش بینی تاگوچی و مدل وجود داشت، که نشان دهنده دقت بالای الگوریتم تاگوچی است.

فهرست علائم

Ang	اعوجاج زاویه‌ای،degree
Bow	اعوجاج طبله ای،mm
C	شدت‌جریان، Amper
D	قطر الکترود، mm
Dist	اعوجاج
G	گپ جوشکاری، mm
R2	ضریب همبستگی مدل
S	سرعت جوشکاری،mm/min
SS	فولاد زنگ نزن

مراجع

[1] Liang Tian, Yu Luo, Yang Wang, Xiao Wu, 2114, "*Prediction of transverse and angular distortions of gas tungsten arc bead-on-plate welding using artificial neural network*". Journal of Materials and Design, 54, 458-452

[2] S.Akella, B. Ramesh Kumar, 2013, "*Distortion Control in TIG Welding Process with Taguchi Approach*". Journal of Advanced Materials Manufacturing & Characterization, Vol 3 Issue 1

[3] M. Seyyedian Choobi, M. Haghpanahi, M. Sedighi, 2012, "*Prediction of welding-induced angular distortions in thin butt-welded plates using artificial neural networks*". Journal of Computational Materials Science, 62, 152–159

[4]. H. Long, D.Gery, A. Carlier, P.G. Maropoulos, 2009, "*Prediction of welding distortion in butt joint of thin plates". Journal of Materials and De*sign, 30, 4126–4135

[5] Benyounis, K.Y., Olabi, A.G., "*Optimization of different welding processes using statistical and numerical approaches – A reference guide*", Advances in Engineering Software 39, 483–496, 2008

[۶] مرجع کامل تکنولوژی جوشکاری/لاری جفوس مترجم شهرام قلی زاده میانکوه

[۷] امام، سید محمد، دانش، مهدی و امیرآبادی ، حسین، بهینه‌سازی همزمان زبری سطح و نرخ براده برداری در ماشین‌کاری توسط تخلیه الکتریکی با استفاده از روش تاگوچی، دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ۱۰-۱۲ اسفند ۸۸

[8] Unal R, Dean Edwin B (1991) Taguchi approach to design optimization for quality and cost: an overview. Presented at the 13th annual conference of the international society of parametric analysis, New Orleans, LA, 21–24 May

[9] Yousefieh M, Shamanian M, Saatchi A. "*Optimization of the pulsed current gas tungsten arc welding (PCGTAW) parameters for corrosion resistance of super duplex stainless steel (UNS S32760) welds using the Taguchi method"* .J Alloys Compd 2011;509(3):782e8.

[10] M. Yousefieh .M. Shamanian . A. R. Arghavan"*Analysis of Design of Experiments Methodology for Optimization of Pulsed Current GTAW Process Parameters for Ultimate Tensile Strength of UNS S32760 Welds". Metallogr. Microstruct. Anal. (2012) 1:85–91*