



انجمن مهندسی
ساخت و تولید ایران

انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

مقاله کامل شفاهی

مهندسی هندسه گرده جوش در لوله‌های انتقال گاز با روش‌های هوشمند - مطالعه موردی شرکت گاز استان خراسان رضوی

مصطفی حیدری^۱، احمد خسروی کارشک^۲، سید مصطفی حیدری^۳

^۱ دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، kolahan@um.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، آموزشکده عالی شهید منتظری مشهد

^۴ کارشناس شرکت گاز استان خراسان رضوی

روش‌های الکتریکی یا گاز محافظ (GMAW) از فرآیندهای مهم در ایجاد اتصالات
در صنایع مختلف از جمله صنعت انتقال گاز است. هندسه گرده جوش
در این روش‌ها تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار دارد. در این مقاله، با استفاده از داده‌های آزمایشات تجربی و
روش‌های هوشمند، پارامترهای تنظیمی جوشکاری شامل ولتاژ، سرعت جوشکاری، نرخ تغذیه سیم، فاصله
نوک الکترود از جوش و میزان تأثیر پارامترهای تنظیمی بر هندسه گرده جوش در فرآیند جوشکاری
از جنس فولاد API-5L-52x تعیین گردیده است. همچنین
بهترین مدل صحت‌گذاری و تأیید شده است. مدل پیشنهادی می‌تواند
پارامترهای جوشکاری بکار گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ - تحلیل واریانس -



بهینه سازی هندسه گرده جوش در لوله های انتقال گاز با استفاده از الگوریتم های هوشمند - مطالعه موردی شرکت گاز استان خراسان رضوی

فرهاد کلاهان^{۱*}، مهدی حیدری^۲، احمد خسروی کارشک^۳، سید مصطفی حیدری^۴

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، kolahan@um.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، آموزشکده عالی شهید منتظری مشهد

۴- کارشناس شرکت گاز استان خراسان رضوی

چکیده

روش جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ^۱ (GMAW) از فرآیندهای مهم در ایجاد اتصالات دائمی فلزی با کیفیت بالا در صنایع مختلف از جمله صنعت انتقال گاز است. هندسه گرده جوش^۲ (شامل ارتفاع، پهنا و عمق نفوذ گرده جوش) مشخصه اصلی نشان دهنده کیفیت اتصال در این نوع جوشکاری است که بطور مستقیم تحت تاثیر شرایط و پارامترهای تنظیمی جوشکاری قرار دارد. مهمترین پارامترهای تنظیمی فرآیند جوشکاری شامل ولتاژ، سرعت جوشکاری، نرخ تغذیه سیم، فاصله نازل تا صفحه و زاویه نازل، می باشند. در این مقاله، با استفاده از داده های آزمایشات تجربی و مدلسازی ریاضی، نوع و میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی بر هندسه گرده جوش در فرآیند جوشکاری GMAW برای لوله های انتقال گاز از جنس فولاد API-5L-52x تعیین گردیده است. همچنین بکمک آزمون فرضیات آماری، بهترین مدل صحه گذاری و تأیید شده است. مدل پیشنهادی می تواند به عنوان زیر بنای بهینه سازی پارامترهای جوشکاری بکار گرفته شود.

واژه های کلیدی: مدلسازی آماری - جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ - تحلیل واریانس - هندسه گرده جوش

۱- مقدمه

امروزه جوشکاری یک تکنیک مهم و حساس در زمینه اتصال دائم قطعات در جامعه صنعتی می باشد. در این میان جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ و الکتروود مصرفی، جزء فرآیندهای پر کاربرد برای ایجاد اتصالات با کیفیت بالا، محسوب می گردد. قابلیت جوشکاری اکثر آلیاژها، کاهش اعوجاج و تنش پسماند در قطعات، کاهش مصرف الکتروود مصرفی، قابلیت جوشکاری پیوسته و بدون توقف و قابلیت اتوماسیون بسیار خوب این روش، باعث افزایش روزافزون و کاربرد وسیع آن در صنایع به خصوص صنعت نفت و گاز، که مهمترین صنعت در کشور ما محسوب می شود، شده است. مانند سایر روش های جوشکاری، کیفیت اتصال در این تکنیک مستقیماً تحت تاثیر هندسه گرده جوش (شکل ۱) قرار دارد. بنابراین ایجاد یک گرده با مشخصات

1 - Gas Metal Arc Welding

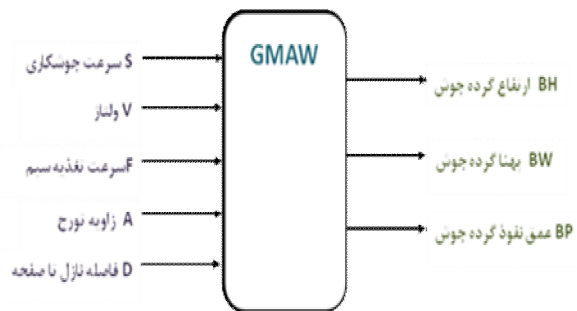
2 - Weld Bead Geometry



هندسی مطلوب (ارتفاع، پهنا و عمق نفوذ)، بسیار با اهمیت است. برای دستیابی به هندسه گرده مناسب، باید پارامترهای ورودی شامل سرعت جوشکاری، ولتاژ، نرخ تغذیه سیم، نرخ جریان گاز، فاصله نازل تا صفحه و زاویه نازل نسبت به صفحه، به بهترین نحو تعیین شوند. بنابراین همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، چگونگی تنظیم پارامترهای ورودی فرآیند، تعیین کننده مقادیر مشخصه‌های خروجی آن خواهد بود. در گذشته برای تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی فرآیند، عمولا از تجربه کاربر و یا روش‌های مبتنی بر سعی و خطا استفاده می‌شده است. این روش‌ها علاوه بر دقت کم اغلب بر هزینه می‌باشند. بنابراین شناخت نحوی تاثیر هر یک از پارامترهای تنظیمی و انتخاب مناسب مقادیر آنها، نقش مهمی در افزایش راندمان فرآیند و بهبود کیفیت و استحکام اتصال دارد.



شکل ۲- هندسه گرده جوش



شکل ۱- پارامترهای ورودی و خروجی فرایند

از این رو، اخیرا رویکردهای ریاضی و آماری برای این منظور پیشنهاد شده‌اند. رگرسیون خطی و غیر خطی، روش سطوح پاسخ^۱، و طراحی آزمایشات^۲ (DOE) در زمره این روش‌ها قرار دارند. در این ارتباط، یانگ و همکاران [۱] معادله رگرسیون منحنی الخطی را بدست آوردند که توسط آن ارتباط بین ضرایب همبستگی و انحراف استاندارد خطا در مورد جوشکاری قوس الکتریکی پیش بینی شده است. کیم و همکاران [۲] معادلات چند گانه خطی و غیر خطی برای مدلسازی جوشکاری اتومات قوس الکتریکی CO₂ ارائه دادند. این توابع، پارامترهای فرآیند جوشکاری را با مشخصه‌های هندسه گرده جوش ارتباط می‌دهند. آنها همچنین نتایج حاصل از مدل را با نتایج تجربی مقایسه کرده و دقت مناسبی را برای روش خود گزارش نموده‌اند. زهو و همکاران [۳] تلاش کردند تا بکمک مدلسازی آماری، بین هندسه گرده جوش و استحکام آن، تحت بارگذاری کششی، ارتباط برقرار کنند. آنتونی و راولندس [۴] کاربرد DOE را در شناخت صحیح پارامترهای مهم فرآیند جوشکاری نقطه ای و تاثیر آنها در استحکام کششی متوسط اتصالات جوشکاری را نشان دادند. مارکلج و توسک [۵] از توابع چند جمله‌ای ریاضی برای مدلسازی پارامترهای جریان و ولتاژ جوشکاری در مورد اتصالات T شکل، در روش قوس الکتریکی با الکتروود تنگستنی^۳ (GTAW) استفاده نمودند، سپس آنان نتایج خود را برای بهینه‌سازی توسط الگوریتم‌های ابتکاری بکار بردند. با

1 - Surface Response Method

2 - Design of Experiment

3 - Gas Tungsten Arc Welding



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

بکارگیری ابزار طراحی آزمایشات، یانگ و تارنگ [۶] تاثیر پارامترهای تنظیمی را بر هندسه گرده جوش در جوشکاری با الکتروود تنگستنی را بررسی نمودند. آنها از روش تاگوچی برای طراحی ماتریس انجام آزمایشات بهره گرفتند. اخیراً، کلاهان و حیدری [۷] با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی فرآیند جوشکاری MIG را مدلسازی کردند، آن‌ها چند نوع مدل را بررسی نمودند و با استفاده از تحلیل‌های آماری بهترین مدل را ارائه دادند.

علیرغم انجام تحقیقات گسترده در زمینه مدلسازی و بهینه‌سازی جوشکاری، هنوز در بسیاری از مواقع نیاز به رویکرد جامعی بمنظور مدلسازی و بهینه‌سازی این گروه از فرآیندها احساس می‌شود. در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های تجربی اخذ شده توسط نویسندگان، مدل ریاضی دقیقتری از فرآیند جوشکاری GMAW طراحی و پیشنهاد می‌گردد. مدل ریاضی، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد فرآیند و دستیابی به پارامترهای صحیح در کنترل خروجی‌های مطلوب است. بمنظور تعیین ارتباط بین متغیرهای ورودی و مشخصات هندسه گرده جوش، انواع توابع رگرسیونی بر داده‌های موجود برازش داده شده است. این مدل‌ها اطلاعاتی را در زمینه فهم بهتر از فرآیند و اثرات پارامترهای ورودی بر خروجی‌ها را فراهم می‌آورند. سپس با انجام تحلیل‌های آماری لازم، بهترین مدل پیشنهاد می‌شود. مدل پیشنهادی همچنین می‌تواند بعنوان یکی از مراحل اصلی در بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری مورد استفاده قرار گیرد.

۲- طرح مسئله و ارائه مدل‌های ریاضی

در جوشکاری MAG و انواع فرآیندهای جوشکاری هندسه گرده جوش مستقیماً از مقادیر پارامترهای تنظیمی تاثیر می‌پذیرد. مهمترین پارامترهای تنظیمی شامل سرعت جوشکاری (S)، ولتاژ (V)، سرعت تغذیه سیم (F)، فاصله نازل تا سطح (D) و زاویه مشعل (A) می‌باشند. از طرفی یکی از معیارهای مهم در ارزیابی کیفیت یک اتصال جوشکاری شده هندسه گرده جوش است؛ که خود شامل ارتفاع^۱، پهنا^۲ و عمق^۳ گرده جوش می‌باشد. هر گونه تغییری در پارامترهای تنظیمی باعث تغییر در مولفه‌های گرده جوش خواهد شد.

هدف اصلی در این بخش تعیین نوع و میزان تاثیر این پارامترها بر هندسه گرده جوش از طریق مدلسازی ریاضی است. بدین منظور از نتایج حاصل از آزمایشات تجربی (انجام شده توسط نویسندگان) استفاده شده است.

1 - Bead Height (BH)

2 - Bead Width (BW)

3 - Bead penetration (BP)



جدول ۱- سطوح پارامترهای ورودی فرآیند جوشکاری MAG

شماره	فاکتور	واحد	نماد	- سطح	0 سطح	+ سطح
۱	سرعت جوشکاری	cm/m	S	۱۰	۱۷	۲۴
۲	ولتاژ قوس	V	V	۲۷	۳۲	۳۷
۳	نرخ تغذیه سیم	m/min	F	۴	۵/۵	۷
۴	زاویه تورچ	degree	A	۷۰	۸۵	۱۰۰
۵	فاصله صفحه تا نازل	cm	D	۱	-	۱/۵

بازه تغییرات مقادیر پارامترهای تنظیمی برای انجام آزمایشات در جدول ۱ نشان داده شده است. بمنظور مدلسازی ریاضی فرآیند جوشکاری MAG، از رویکرد میانمایی ریاضی استفاده شده است. برای گردآوری داده‌های تجربی، ۵ پارامتر ورودی در نظر گرفته شده‌اند. بدین ترتیب تعداد ۵۴ آزمایش، با توجه به ماتریس طرح آزمایش تاگوچی، ایجاد خواهد شد. با در نظر داشتن خروجی‌های فرآیند (سه مولفه هندسه گرده جوش)، در هر مدل ریاضی سه معادله وجود خواهد داشت. بمنظور مدلسازی، سه تابع استاندارد درجه اول، درجه دوم و درجه دوم تعدیل یافته با استفاده از روش رگرسیون، بر داده‌های موجود برازش داده شده است. تهیه مدل‌های ریاضی و تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) در محیط نرم افزار آماری MINITAB انجام گردید. بمنظور انتخاب مدل مناسب و همچنین تشخیص میزان موثر بودن هر پارامتر، سطح اطمینان ۹۵٪ تعیین گردید. نتایج محاسباتی و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهند که مدل‌های "توانی مرتبه دوم" بهترین انطباق را بر فرآیند واقعی دارد. شکل نهایی مدل‌های درجه دوم، ارتباط دهنده پارامترهای ورودی و خروجی (هندسه گرده جوش)، بصورت زیر است:

$$BH = 4.08 - 0.00184SV - 0.000707AV + 0.00271AF + 0.646 DD - 0.0535 DS + 0.00144 SS \quad (1)$$

$$BW = 2.07 + 0.0169 VV - 0.0211 SV - 0.183 DV + 0.0172 SS + 0.710 DF - 0.0309 FS \quad (2)$$

$$BP = - 1.55 + 0.0834 V + 0.00596 FS - 0.257 DD \quad (3)$$

با استفاده از مدل‌های ارائه شده، می‌توان نوع و نحوه تاثیر پارامترهای تنظیمی را بر خروجی‌های فرآیند تعیین نمود. برای شناخت بیشتر پارامترهای جوشکاری، بررسی میزان تاثیرگذاری هر پارامتر بر خروجی، امری ضروری می‌باشد. با دانستن چنین اطلاعاتی می‌توان درک بهتری از فرآیند پیدا کرده و زمینه بهتری را برای اجرای فرآیند جوشکاری فراهم کرد.

در ادامه به منظور اعتبارسنجی و انتخاب مدل برتر، از ابزار آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شده است. معیار مقایسه در این بررسی فاکتور ضریب همبستگی می‌باشد. ضریب همبستگی در واقع نشان دهنده میزان وابستگی و انطباق داده‌های تجربی با مدل رگرسیونی بدست آمده است. هر مقدار وابستگی متغیرهای خروجی به متغیرهای ورودی بیشتر باشد، ضریب همبستگی



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



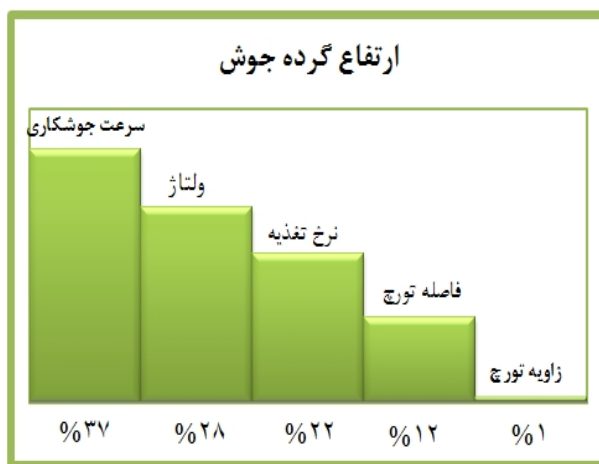
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تابع به عدد یک نزدیک تر می شود. سطح اطمینان نیز نمایان گر میزان اعتماد به صحت تابع بدست آمده است، که با معیار عدم قطعیت سنجیده می شود. در این مقاله از سطح اطمینان بسیار بالای (۰.۹۵٪) استفاده شده است. بنابراین مقدار عدم قطعیت کمتر از ۰/۰۵ مطلوب است. در جدول ۲، بر اساس تحلیل های آماری، ضرایب همبستگی مدل ها مختلف ارائه شده است.

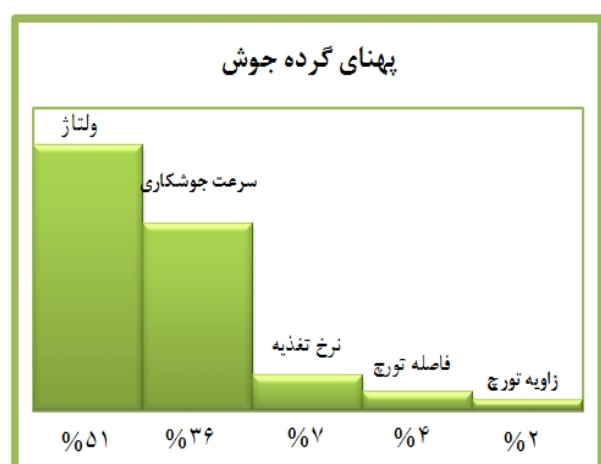
جدول ۲- ضریب همبستگی معادلات [۸]

جواب معادله خروجی	BH	BW	BP
مدل درجه اول	94.1%	94.7%	83.9%
مدل درجه دوم	95.6%	98.3%	91.9%
مدل درجه دوم تعدیل یافته	94.4%	97.8%	84.4%

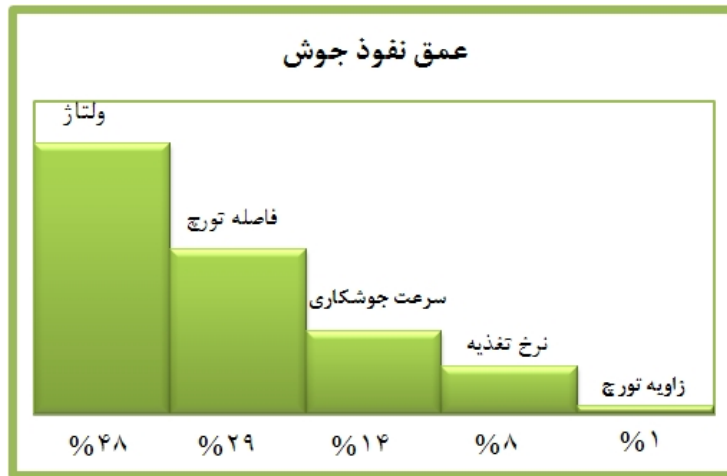
همانطور که مشاهده می شود، توابع درجه دوم بالاترین ضریب همبستگی را در میان سایر مدل ها دارا بوده و انطباق بهتری را بر داده های تجربی نشان می دهند. ضرایب همبستگی هر سه مدل این تابع، بالاتر از ۰.۸۵٪ بوده و رابطه قوی تری را بین پارامترهای تنظیمی و خروجی های فرآیند برقرار می کنند. بنابراین توابع مزبور، بعنوان مدل برتر نشان دهنده فرآیند جوشکاری GMAW لوله های انتقال گاز معرفی شده و سایر ارزیابی های انجام شده در این تحقیق بر اساس این مدل انجام خواهد گرفت. شکل ۳، ۴، ۵، اطلاعات مربوط به میزان تاثیر گذاری هر یک از پارامترهای تنظیمی را بر سه مولفه هندسه گرده جوش نشان می دهد. این مقادیر از جداول تحلیل های آماری مربوط به مدل های ارائه شده، استحصال گردیده اند.



شکل ۴- میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی بر ارتفاع گرده جوش

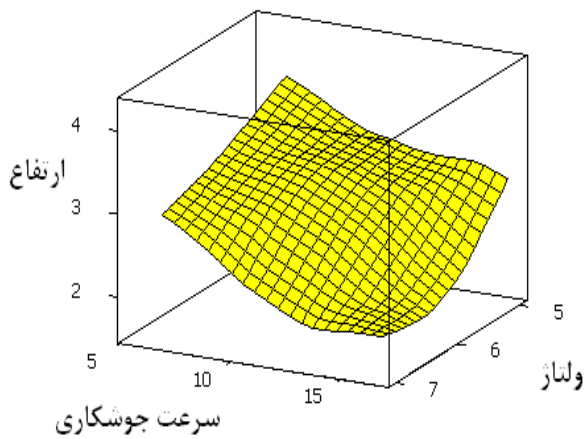


شکل ۳- میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی بر پهنای گرده جوش

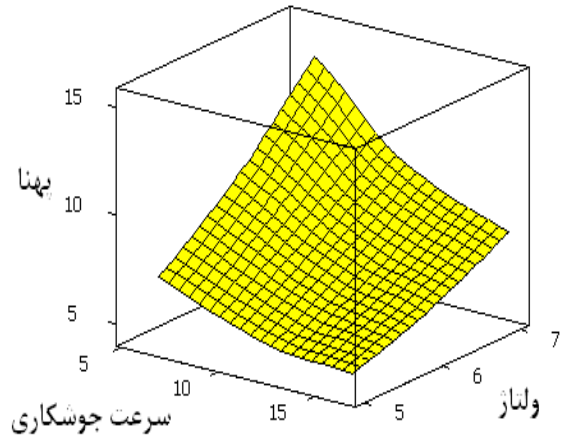


شکل ۵- میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی بر عمق نفوذ جوش

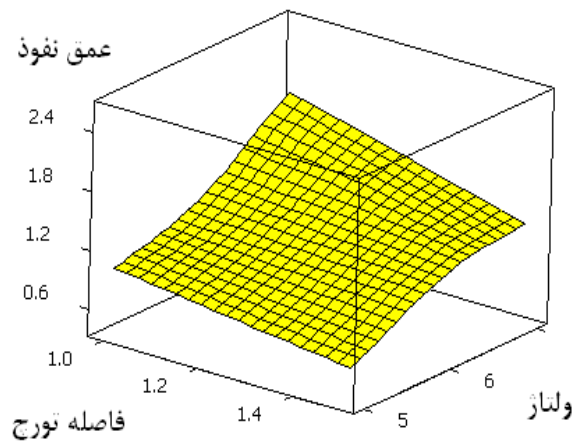
نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای ولتاژ و سرعت جوشکاری بیشترین و زاویه تورچ (نسبت به سطح جوشکاری) کمترین میزان تاثیر را بر هندسه گرده جوش دارند. همچنین در شکل ۶، ۷، ۸، تاثیر متقابل پارامترهایی مهم تنظیمی بر هر یک از خروجی‌های فرآیند مشاهده می‌شود [۹].



شکل ۷- تاثیر متقابل پارامترهای مهم تنظیمی بر ارتفاع گرده جوش



شکل ۶- تاثیر متقابل پارامترهای مهم تنظیمی بر پهناي گرده جوش



شکل ۸- تاثیر متقابل پارامترهای مهم تنظیمی بر عمق نفوذ گرده جوش

۳- نتیجه گیری

کاربرد وسیع روش‌های جوشکاری در صنایع مختلف از یک طرف و تعدد پارامترهای تنظیمی در این روش‌ها از طرف دیگر، شناخت و مدل‌سازی آنها را از اهمیتی خاص برخوردار کرده است. تحقیق حاضر در ادامه مطالعات انجام شده در زمینه جوشکاری GMAW بر روی خانواده فولادهای APT 5LX42 که همان فولاد مورد استفاده در صنایع انتقال گاز می‌باشد. در این راستا، ابتدا آزمایشات طبق طرح انتخابی در طراحی آزمایشات انجام و پس از اخذ نتایج، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، ارتباط دقیق و معنی‌دار بین پارامترهای ورودی و متغیرهای خروجی جوشکاری GMAW برقرار گردیده است. مدل‌سازی فرآیند با برازش انواع توابع ریاضی شامل چند جمله‌ای خطی، درجه دوم و درجه دوم تصحیح شده بر داده‌های آزمایشگاهی موجود، انجام گرفته است. سپس بمنظور تعیین مدل اصلاح از بین این مدل‌ها، از رویکرد آماری آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شد. نتایج تحلیل‌های آماری مبین اینست که مدل درجه دوم انطباق بسیار خوبی بر شرایط واقعی داشته و قادر است نوع و میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی را بر هندسه گرده جوش بخوبی پیش‌بینی نماید. بررسی‌های آماری این مدل همچنین نشان می‌دهد که از میان ۵ پارامتر مورد مطالعه، پارامترهای ولتاژ و سرعت جوشکاری بیشترین تاثیر و زاویه تورچ کمترین تاثیر را بر هندسه گرده جوش دارند.

مراجع

- 1- Yang, L. J., Chandel, R. S., and Bibby, M. J., "An analysis of curvilinear regression equations for modeling the submerged-arc welding process", J Mater Process Technol, Vol. 37, pp.601-611, 1993.
- 2- Kim, I.S., Son, J.S., Kim, I.G., Kim, J.Y., and Kim O.S., "A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO2 arc welding", J Mater Process Technol, Vol.136, pp.139-145, 2003).
- 3- Zhou, M., Zhang, H., and Hu, S.J., "Relationship between quality and attributes of spot welds", Weld J Suppl, pp.72s-79s, 2003.
- 4- Rowlands, H., and Antony, F., "Application of design of experiments to a spot welding process", Assembly Autom, Vol.23, pp.273-279, 2003.



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

- 5- Markelj, F., Tusek, J., " Algorithmic optimization of parameters in tungsten inert gas welding of stainless-steel sheet", Sci Technol Weld Join, Vol.6, pp.375-382, 2001.
- 6- Tarng, Y.S., Yang, W.H., and Juang, S.C., " The use of fuzzy logic in the Taguchi method for the optimisation of the submerged arc welding process", Inter J Adv Manuf Technol, Vol.16, pp.688-694, 20008, pp.2015-2023, 2007.
- ۷- کلاهان، ف.، حیدری، م.، " مدلسازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ با استفاده از روش های آماری و عددی "، نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی ساخت و تولید ایران، اسفند ۱۳۸۷.
- ۸- حیدری، م.، "تعیین پارامترهای تنظیمی جوشکاری MIG/MAG توسط الگوریتم‌های هوشمند به منظور بهینه‌سازی هندسه جوش در صنایع انتقال گاز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (ساخت و تولید)، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸.
- ۹- خسروی، ا.، "بررسی و مدلسازی پارامترهای تنظیمی جوشکاری MIG/MAG با رویکرد طراحی آزمایشات در صنایع انتقال گاز"، پروژه کارشناسی ساخت و تولید، آموزشکده عالی شهید منتظری، دانشکده فنی مشهد، ۱۳۸۸.