

برنامه ریزی و شبیه سازی جوشکاری رباتیک اتصالات رویهم افقی ورقها در GMAW



اولین کنگره بین المللی (هفتمین کنگره
ملی) مهندسی ساخت و تولید ایران
آذرماه ۱۳۸۴ تهران - دانشگاه تربیت

محمد گلستانی صحت^۱، خلیل فرهنگدوست^۲

دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی
m.golestan@gmail.com

چکیده

در این مقاله به بررسی جوشکاری رباتیک اتصالات رویهم افقی در GMAW پرداخته شده است. کمینه کردن زمان سیکل جوشکاری رباتیک با ماکزیمم کردن سرعت مشعل، در حالی که کیفیت جوش در حد مطلوب باشد، هدف ما در این بررسی می باشد. لذا پارامترهای مستقل تاثیرگذار در کیفیت جوش را مشخص نموده و با استفاده از داده های آزمایشگاهی برای ترکیبات مختلف این پارامترها، کیفیت جوش را مشخص نموده ایم. در ادامه از دو روش مدلسازی ریاضی و شبکه عصبی، سعی در پیش بینی میزان کیفیت جوش به ازای پارامترهای ورودی کرده ایم. در ادامه با انجام پروسه طراحی بهین، سرعت ماکزیمم مشعل را که به ازای آن جوش دارای کیفیت مطلوبی باشد، در حالت های مختلف بدست آورده و در برنامه ریزی و شبیه سازی بازوی رباتیک جوشکار، از آن استفاده نموده ایم. نتایج حاصل از طراحی بهینه و شبیه سازی ربات، کارایی سیستم ربات و سیستم کنترل مربوطه را برای ارضای شرایط مورد نظر، نشان می دهد. در انجام این مقاله از داده های آزمایشگاهی اتصالات رویهم (lap joint) افقی ورقهای فولادی ۴۰۹ استفاده شده است.

واژه های کلیدی: جوشکاری رباتیک - مدل ریاضی - GMAW - آنالیز رگرسیون - شبکه عصبی

۱- مقدمه

در جوشکاری GMAW پارامترهای مختلفی در کیفیت جوش و شکل گرده جوش تاثیر دارند که از آن جمله می توان به سرعت حرکت مشعل (TS)، ولتاژ (V)، سرعت ذوب شدن الکتروود (WFS)، CTWD یا به عبارتی (contact-tube-to-work distance)، زاویه جوشکاری و زاویه حرکت مشعل، نوع اتصال، و موقعیت جوش از نظر افقی یا عمودی بودن، نوع گاز محافظ، نوع الکتروود و قطر الکتروود می باشد. پارامترهای اغتشاشی مانند دهانه اتصال یا فاصله بین دو قطعه در محل اتصال و انحراف از خط جوش (offset) هم مهم هستند که به ندرت در تحلیلها بکار برده می شوند. هر کدام از این پارامترها در کیفیت جوش و شکل هندسی آن که خود معیاری از کیفیت جوش است، تأثیرگذار می باشد. رابطه بین ترکیبات مختلف این پارامترها و شکل هندسی و کیفیت جوش، بسیار پیچیده و غیرخطی می باشد. بررسی های مختلفی از تأثیر این پارامترها در شکل هندسی جوش و کیفیت آن صورت گرفته است. آقای kim در سال ۲۰۰۲ در مرجع [5] رابطه بین عمق نفوذ جوش و پارامترهای شدت جریان، ولتاژ، سرعت مشعل و زاویه جوشکاری را مورد بررسی قرار داده و برای جوشکاری آلایژی خاص، رابطه ریاضی آن را بدست آورده است. در همین سال Lee در مرجع [9] ارتفاع گرده جوش را در جوشکاری چند پاسی، با گرفتن ولتاژ، سرعت جوشکاری در پاسهای مختلف و شدت جریان بعنوان پارامترهای ورودی، بدست

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی کاربردی

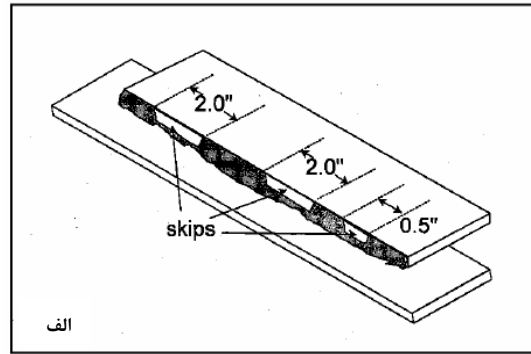
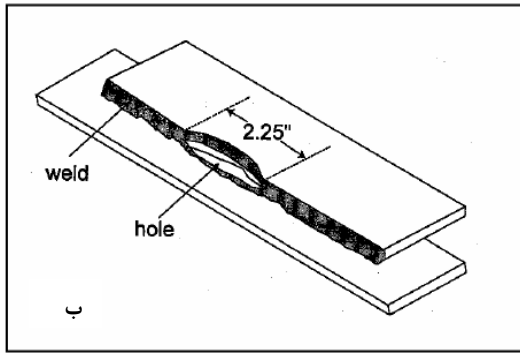
۲- استادیار گروه مکانیک



آورده است و با ترکیب پارامترهای ورودی، ارتفاع گرده جوش را پیشگویی کرده است. kwon در سال ۱۹۹۶ شکل گرده جوش را که شامل پهنا، ارتفاع و عمق نفوذ جوش می باشد بصورت تابعی از پارامترهای ورودی شدت جریان، ولتاژ، سرعت و قطر الکتروود بدست آورده است [7]. ما در این مقاله به بررسی کیفیت جوش در اتصالات رویهم ورقها و تجزیه و تحلیل و آنالیز حرکت بازوی رباتیک برای جوشکاری این اتصالات می پردازیم. در اینجا جوشکاری ورقهای فولادی ۴۰۹ در حالت اتصال رویهم افقی مورد توجه قرار گرفته شده است. از گاز محافظ با ۹۸٪ آرگون و ۲٪ اکسیژن استفاده شده است. همچنین از الکتروود با قطر ۱/۲ میلیمتر و از جنس E409T-2G استفاده شده است [3]. یک مسئله مهم تعیین معیارهایی برای نشان دادن کیفیت جوش می باشد. در جوشکاری ورقها سعی شده کیفیت جوش را با چگونگی ذوب شدن و جوش خوردن دو لبه قطعات با هم که از آن به *fusion rating* نام می بریم و عمق نفوذ در قطعه پایینی که با *melt through* بیان می شود، نشان دهیم. با انجام آزمایشات تجربی نحوه وابستگی این دو پارامتر نشان دهنده کیفیت، به پارامترهای مستقل ورودی را بصورت آرایه ای بدست می آوریم. وابستگی خروجی ها که همان پارامترهای نشان دهنده کیفیت هستند با پارامترهای ورودی خیلی پیچیده و غیر خطی می باشد. روشهای مختلفی برای نشان دادن رابطه حاکم بر این وابستگی وجود دارد که از آن جمله می توان به استفاده از مدل ریاضی و آنالیز داده ها از روی رگرسیون و شبکه های عصبی نام برد [2,5,7,8]. سادگی و کارایی بالای استفاده از رگرسیون برای امر بهینه سازی ما را به استفاده از این روش در این پژوهش ترغیب نموده است.

۲- آزمایشات و داده های تجربی

در بررسی انجام گرفته، پارامترهای سرعت حرکت مشعل (TS)، طول قوس، نسبت سرعت ذوب شدن الکتروود به سرعت حرکت مشعل (WFS/TS)، CTWD یا به عبارتی (contact-tube-to-work distance) و دو پارامتر اغتشاشی دهانه اتصال (Root opening) و انحراف الکتروود مرکز جوش (offset) بعنوان فاکتورهای مستقل تاثیرگذار در کیفیت جوش، در نظر گرفته شده اند [3]. گستره قابل قبول هر یک از این پارامترها برای داشتن جوشی مناسب در جدول (۱) آمده است که این مقادیر بصورت تجربی بدست آمده است [3]. سرعت ذوب شدن الکتروود به شدت جریان بستگی دارد. همچنین ولتاژ هم در طول پروسه جوشکاری طوری تغییر می کند تا طول قوس به اندازه دلخواه بالای قطعه تنظیم شود. پس در حقیقت با گرفتن این شش پارامتر ورودی اثرات ولتاژ و شدت جریان هم لحاظ شده است. برای نشان دادن کیفیت جوش دو معیار *fusion* و *melt through* را مورد بررسی قرار می دهیم همانطوری که در شکل (۱-الف) پیدا است حوزچه مذاب باید طوری تشکیل شود تا هر دو لبه قطعات مورد جوش، ذوب شده و عمل اتصال بخوبی صورت گیرد پس ممکن است در بعضی نقاط، جوشکاری ناصحیح سبب عدم جوش خوردن دو قطعه بهم می شود. همچنین نفوذ در قطعه دوم ممکن است بیش از اندازه باشد و باعث شکل نامناسب جوش و سوراخ شدن قطعه زیرین شود شکل (۱-ب). پس ما این دو عیب مهم را به عنوان معیار کیفیت جوش در نظر گرفته ایم. همانطوری که در جدول (۲) مشخص شده است به میزان و اندازه هر کدام از این عیبه در جوش، درجات ۱ تا ۱۰ داده ایم [3]. آنچه مسلم است جوشی مورد پسند ما است که هم *fusion rating* آن و هم *melt through rating* آن نمرات بالا داشته باشد که در اینجا حداقل نمره برای هر کدام ۸ گرفته شده است. پس برای اینکه جوش مطلوبی داشته باشیم باید هر دوی *fusion rating* و *melt through rating* بالای ۸ باشند یا به عبارتی این عیوب یا در آن نباشد یا ناچیز باشد. حال با شناسایی پارامترهای ورودی و خروجی در آزمایشگاه با ترکیبات مختلفی از شرایط ورودی، کیفیت جوش بررسی شده یا نمرات پارامترهای خروجی مشخص شده است. در اینجا ۵۴ آزمایش در شرایط آزمایشگاهی یکسان ولی با ترکیبات مختلف ورودی ها، انجام گرفته است [3]. با داشتن آرایه ای از ورودی و خروجی ها می توانیم به بررسی داده ها بپردازیم.



شکل ۱: الف: fusion در اتصال رویهم افقی ب: melt through در اتصال رویهم افقی

جدول ۱: گستره مورد قبول برای پارامترهای ورودی

factor	unit	lowest	low	Medium	high	highest
TS	In/min	40	50	60	70	80
Ratio(wfs/ts)	None	5	6	7	8	9
Arc length	$\times 0.8mm$	3	4	5	6	7
CTWD	$\times 1mm$	13	14	15	16	17
Root opening	Wire diameter (WD)	0	0	0.5	1	1.5
offset	Wire diameter (WD)	-1	-0.5	0	0.5	1.5

جدول ۲: نمرات کیفیت جوش

نمره	میزان نفوذ	دولبه fusion میزان هم جوشی
۱	melt-through در طول کل جوش	در کل اتصال دو قطعه به هم جوش نخورده اند
۲	$8in \leq \text{melt-through}$ از سوراخ ناشی از	$10in \leq$ مقدار جوش نخورده دو قطعه بهم $8in \leq$
۳	$5in \leq \text{melt-through}$ از سوراخ ناشی از	$8in \leq$ مقدار جوش نخورده دو قطعه بهم $6in \leq$
۴	$2in \leq \text{melt-through}$ از سوراخ ناشی از	$6in \leq$ مقدار جوش نخورده دو قطعه بهم $4in \leq$
۵	$1/2in \leq \text{melt-through}$ از سوراخ ناشی از	$4in \leq$ مقدار جوش نخورده دو قطعه بهم $2in \leq$
۶	$1/4in \leq \text{melt-through}$ از سوراخ ناشی از	$2in \leq$ مقدار جوش نخورده دو قطعه بهم $1/2in \leq$
۷	$1/4in \leq$ سوراخ ناشی از melt-through	$1/2in \leq$ مقدار جوش نخورده دو قطعه بهم
۸	مشاهده $1in \leq \text{melt-through}$	$1in \leq$ همجوشی ناقص در کل جوش
۹	مشاهده $1in \leq \text{melt-through}$	$1in \leq$ همجوشی ناقص در کل جوش
۱۰	هیچگونه melt-through در کل مسیر جوش مشاهده نشود	همجوشی برای هر دو لبه در کل مسیر کامل باشد



جدول ۳: داده های آزمایشگاهی

شماره آزمایش	سرعت مشعل (TS) $\times 2.54 \text{cm/min}$	سرعت مشعل (TS) $\times 2.54 \text{cm/min}$	In/min (wfs) $\times 2.54 \text{cm/min}$	Wfs/Ts	طول قوس $\times 0.8 \text{mm}$ (1/32in)	CTWD (mm)	Root opening (mm)	Offset (mm)	نمره melt-through	نمره fusion
۱	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۶	۱۶	۱	-۱۵	۸	۳
۲	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۶	۱۴	۰	.۱۵	۵	۵
۳	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۸
۴	۵۰	۴۰۰	۸	۸	۶	۱۴	۰	-۱۵	۹	۸
۵	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۶	۱۴	۰	.۱۵	۱۰	۴
۶	۵۰	۴۰۰	۸	۸	۴	۱۶	۰	-۱۵	۱۰	۱۰
۷	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۶	۱۶	۱	.۱۵	۹	۲
۸	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۸
۹	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۴	۱۴	۱	-۱۵	۸	۳
۱۰	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۶	۱۶	۱	.۱۵	۴	۴
۱۱	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۸
۱۲	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۴	۱۶	۰	.۱۵	۱۰	۸
۱۳	۵۰	۴۰۰	۸	۸	۴	۱۴	۱	-۱۵	۸	۸
۱۴	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۶	۱۴	۰	-۱۵	۹	۸
۱۵	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۸
۱۶	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۴	۱۴	۱	.۱۵	۲	۸
۱۷	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۴	۱۶	۰	-۱۵	۹	۸
۱۸	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۴	۱۴	۱	.۱۵	۹	۳
۱۹	۵۰	۴۰۰	۸	۸	۶	۱۶	۱	-۱۵	۸	۸
۲۰	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۴	۱۶	۰	.۱۵	۵	۸
۲۱	۵۰	۴۰۰	۸	۸	۴	۱۶	۱	.۱۵	۵	۷
۲۲	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۴	۱۴	۰	.۱۵	۷	۷
۲۳	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۴	۱۶	۱	-۱۵	۱۰	۸
۲۴	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۹
۲۵	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۶	۱۶	۰	.۱۵	۸	۶
۲۶	۵۰	۵۶۰	۸	۸	۶	۱۶	۰	-۱۵	۶	۸
۲۷	۵۰	۴۰۰	۸	۸	۶	۱۶	۰	.۱۵	۸	۹
۲۸	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۶	۱۴	۱	-۱۵	۴	۵
۲۹	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۸
۳۰	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۴	۱۴	۰	-۱۵	۴	۸
۳۱	۷۰	۵۶۰	۸	۸	۴	۱۶	۱	-۱۵	۸	۸
۳۲	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۹
۳۳	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۶	۱۴	۱	-۱۵	۹	۲



شماره آزمایش	سرعت مشعل (TS) $\times 2.54 \text{ cm/min}$	سرعت ذوب شدن الکتروود (Wfs) $\text{In/min} \times 2.54 \text{ cm/min}$	Wfs/Ts	طول قوس $1/32 \text{ in} \times 0.8 \text{ mm}$	CTWD (mm)	Root opening (mm)	Offset (mm)	نمره melt-through	نمره fusion
۳۴	۵۰	۴۰۰	۸	۶	۱۴	۱	.۱۵	۵	۷
۳۵	۵۰	۳۰۰	۶	۴	۱۴	۰	-.۱۵	۱۰	۹
۳۶	۷۰	۴۲۰	۶	۶	۱۴	۱	.۱۵	۸	۲
۳۷	۷۰	۴۲۰	۶	۴	۱۶	۱	.۱۵	۸	۲
۳۸	۵۰	۴۰۰	۸	۴	۱۴	۰	.۱۵	۸	۹
۳۹	۵۰	۳۰۰	۶	۶	۱۶	۰	-.۱۵	۹	۷
۴۰	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۸
۴۱	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۸
۴۲	۶۰	۳۰۰	۵	۵	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۸
۴۳	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	-۱	۱۰	۸
۴۴	۶۰	۴۲۰	۷	۳	۱۵	.۱۵	۰	۹	۸
۴۵	۶۰	۵۴۰	۹	۵	۱۵	.۱۵	۰	۸	۱۰
۴۶	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۱	۸	۸
۴۷	۴۰	۲۸۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۹	۸
۴۸	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۳	.۱۵	۰	۵	۸
۴۹	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۸
۵۰	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۷	.۱۵	۰	۸	۸
۵۱	۸۰	۵۶۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۸	۵
۵۲	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۸	۲
۵۳	۶۰	۴۲۰	۷	۵	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۹
۵۴	۶۰	۴۲۰	۷	۷	۱۵	.۱۵	۰	۱۰	۸

۳- آنالیز رگرسیون

استفاده از مدل ریاضی بخاطر ارائه یک تابع بعنوان رابطه بین ورودی و خروجی ها و تخمین تقریباً دقیق کیفیت با دادن هر ورودی دلخواه در محدوده مشخص شده در جدول (۱)، مورد توجه قرار گرفته است. ما تابع چند جمله ای درجه ۲ را برای گرفتن رگرسیون غیر خطی مورد استفاده قرار داده ایم. لذا با استفاده از نرم افزار SAS و استفاده از نتایج آزمایشات موجود در جدول (۳)، پارامترهای خروجی fusion rating و melt through rating را بصورت زیر بدست آورده ایم:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & -185 + .146x_1 + .941x_2 + 4.261x_3 + 24.184x_4 - 1.945x_5 + 5.9x_6 - .004x_1^2 - .239x_2^2 \\
 & - .114x_3^2 - .864x_4^2 - .955x_5^2 - .955x_6^2 - .038x_1x_2 + .013x_1x_3 + .025x_1x_4 + .05x_1x_5 \\
 & + .25x_2x_4 - .5x_2x_5 - .75x_2x_6 - .25x_3x_4 - .25x_3x_5 + .05x_3x_6 + .25x_4x_5 - .25x_4x_6 - x_5x_6
 \end{aligned} \quad (1)$$



$$y_2 = -97.2 + 1.161x_1 + 2.09x_2 - .497x_3 + 8.585x_4 - 4.439x_5 + 2.25x_6 - .006x_1^2 - .028x_2^2 - .222x_3^2 - .222x_4^2 - 3.868x_5^2 - .886x_6^2 - .025x_1x_2 + .012x_1x_3 - .025x_1x_4 - .025x_1x_5 + .012x_1x_6 + .063x_2x_3 - .062x_2x_4 + 1.375x_2x_5 + .5x_2x_6 + .062x_3x_4 - .125x_3x_5 - .125x_4x_5 - .5x_4x_6 \quad (2)$$

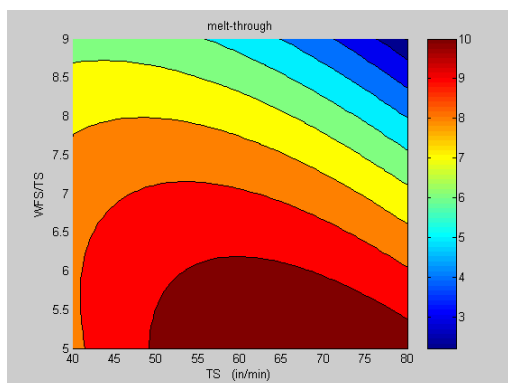
که در آن fusion rating را با y_1 و melt through rating را با y_2 و x_1 نمایانگر سرعت مشعل، WFS/TS را با x_2 ، طول قوس را با x_3 ، CTWD را با x_4 ، دهانه اتصال را با x_5 و offset را با x_6 نشان داده ایم. با داشتن روابط (۱) و (۲) ما توانی که نمرات melt through rating و fusion rating را بدست می آورده، در اختیار داریم. و می توانیم از آنها استفاده کرده به تجزیه و تحلیل کیفیت جوش در جوشکاری اتصالات رویهم افقی ورقها بپردازیم.

برای نمونه ما در حالتی که طول قوس ۳/۲ میلیمتر و CTWD مقدار ۱۵/۵ میلیمتر و دهانه اتصال ۵/۵، برابر قطر الکتروود و اندازه offset صفر باشد، می توانیم کانتورهای melt through rating و fusion rating را از ترکیبات مختلف TS و WFS/TS با استفاده از رابطه های (۱) و (۲) بدست آوریم. این کار را با استفاده از نرم افزار matlab انجام داده ایم که در شکل (۲-الف) و شکل (۲-ج) نشان داده شده است. همانطوری که در شکل (۲-الف) پیداست برای مقادیر wfs/ts کمتر از ۶/۵ در تمامی سرعتها برای مشعل melt through rating مقداری بیشتر از ۸ را داراست و مطلوب می باشد. همچنین در سرعتهای کمتر از ۵۰ in/min مقدار melt through rating بیشتر از ۸ می باشد و نشان دهنده این است که در این سرعتها مقدار wfs هر چقدر باشد melt through rating مطلوب ما می باشد و دو لبه قطعات بخوبی به هم جوش خورده اند. ضمن اینکه مشاهده می کنیم که با افزایش سرعت مشعل و افزایش WFS/TS یا همان افزایش WFS، melt through rating به زیر عدد ۸ کشیده می شود و مقادیر پایین را به خود می گیرد که نشان دهنده عدم جوش خوردن مناسب دو قطعه به هم می باشد. در شکل (۲-ج) کانتورهای fusion rating را به ازای TS و WFS/TS رسم نموده است. مشاهده می کنیم که برای مقادیر WFS/TS کمتر از ۶/۵ در تمامی سرعتها برای مشعل، fusion rating مقداری کمتر از ۸ بخود می گیرد که نشان دهنده جوشی نامطلوب است. همچنین برای سرعتهای مشعل کمتر از ۶۵ in/min، اگر WFS/TS مقداری بیشتر از ۶/۵ بخود بگیرد fusion rating بالاتر از ۸ دارد و از این لحاظ جوش مطلوب می باشد. اما باید توجه داشته باشیم همانطور که قبلا گفتیم باید هر دو مقدار خروجی نمره بالای ۸ داشته باشند تا بگوییم جوشی مطلوب داریم. ممکن است دو لبه اتصال در کل جوش بخوبی به هم جوش خورده باشند اما عمق نفوذ هم بیش از اندازه باشد و در طول خط جوش سوراخهایی در قطعه ایجاد شود که این جوش هم مطلوب نیست. لذا ما باید هر دو کمیت خروجی نشان دهنده کیفیت جوش را با هم بررسی کنیم.

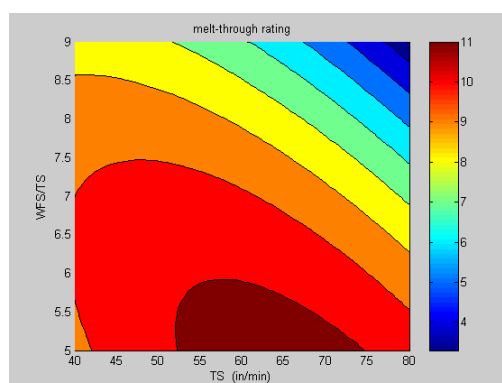
مثلا اگر سرعت مشعل در جوشی در 60 in/min باشد برای مقادیر WFS/TS پایین تر از ۷ اندازه fusion rating کمتر از ۸ می شود و برای WFS/TS بالاتر از ۸ اندازه melt through rating کمتر از ۸ می شود پس برای این سرعت محدوده بین ۷ تا ۸، جوشی با کیفیت مطلوب را به ما می دهد. همچنین برای WFS/TS مساوی ۷/۵ بیشترین سرعت برای fusion rating کمتر از ۸ نشود تقریبا ۶۳ in/min است و بیشترین سرعت برای اینکه melt through rating کمتر از ۸ نشود تقریبا ۶۷ in/min است. پس در این وضعیت بیشترین سرعت برای اینکه کیفیت جوش مطلوب ما باشد ۶۳ in/min می باشد.

این بررسی را می توان برای هر ترکیبی از پارامترهای فیکس گرفته شده انجام داد و به آنالیز کیفیت جوش به ازای شرایط مختلف پارامترهای ورودی پرداخت. مثلا در حالتی که طول قوس ۴ میلیمتر و CTWD مقدار ۱۶ میلیمتر و دهانه اتصال ۵/۵، برابر قطر الکتروود و اندازه offset هم ۵/۵، برابر قطر الکتروود باشد، کانتورهای melt through rating و fusion rating در شکل های (۲-ب) و (۲-د) رسم نموده ایم. همانطوری که روی دو شکل پیداست تقریبا نتایج مشابه حالت اول می باشد. بنابراین در حالت کلی می توانیم بگوییم که با افزایش همزمان سرعت و wfs نمره melt through rating به زیر ۸ می

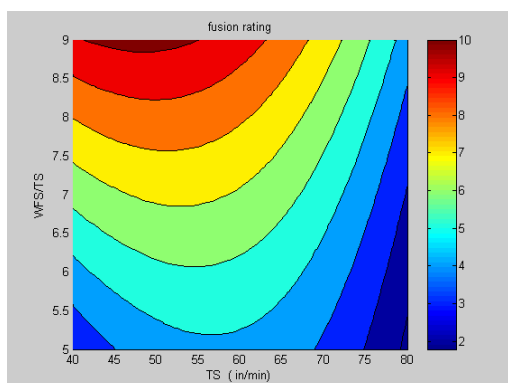
آید یا به عبارتی عمق نفوذ به اندازه ای زیاد می شود که قطعه پایینی را سوراخ می کند. همچنین در تمامی سرعتها برای حرکت مشعل با کاهش زیاد نسبت wfs/ts همجوشی به خوبی اتفاق نمی افتد.



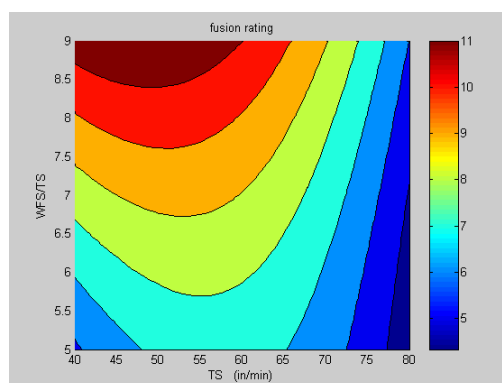
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۲): الف - کانتور تابع melt-through بعنوان تابعی از TS و wfs برای حالت اول. ب - کانتور تابع melt-through بعنوان تابعی از TS و wfs برای حالت دوم. ج - کانتور تابع fusion بعنوان تابعی از TS و WFS برای حالت اول. د - کانتور تابع fusion بعنوان تابعی از TS و WFS برای حالت دوم.

۴- شبکه عصبی

همانطوری که قبلاً اشاره کردیم ارتباط خروجی ها با ورودیهای اولیه جوش کاملاً غیر خطی و پیچیده می باشد [2,5,9]. استفاده از شبکه های عصبی در تحقیقات انجام گرفته در مورد جوشکاری گسترده می باشد. قابلیت بالای این روش برای مسائل پیچیده غیر خطی با درجات آزادی زیاد، استفاده از آن را روز به روز در میان مهندسان بیشتر کرده است. لذا ما در اینجا می خواهیم در مورد مسئله مورد بررسی در این مقاله از این روش نیز استفاده کرده و نتایج آن را با نتایج استفاده از رگرسیون مقایسه کنیم.

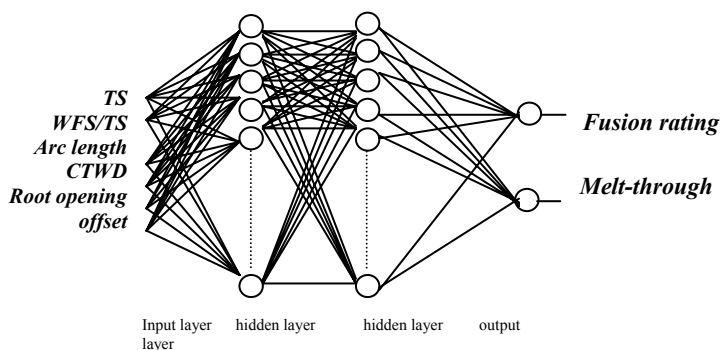
یک شبکه عصبی نمایشی از یک نگاشت ریاضی از بردار ورودی X به بردار خروجی Y بوسیله رابطه $Y = f(X)$ می باشد. یک شبکه از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی و یک لایه خروجی تشکیل می شود. تابع تحریک لایه ورودی و خروجی معمولاً خطی می باشد. خروجی لایه میانی بصورت زیر می باشد [1]:

$$Y_j^2 = F\left(\sum_{i=1}^{n_1} W_{ij}^1 X_i^1 + \theta_j^1\right)$$

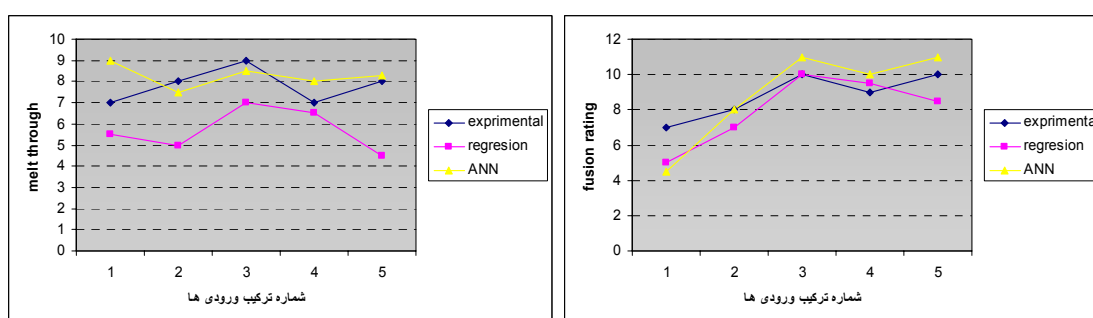


که در آن $X_i^1(N_1 \times 1)$ ورودی، $Y_j^2(N_2 \times 1)$ خروجی های لایه های مخفی، $W_{ij}^1(N_1 \times N_2)$ وزن های اتصالات بین گره های ورودی و لایه مخفی و $\theta_j^1(N_2 \times 1)$ بایاس داخلی لایه مخفی می باشند. تابع F یک تابع غیر خطی پیوسته و یکنواخت است که معمولا توابع سیگموئید و تانژانت هایپربولیک می باشد. محدودیتی در تعداد لایه های میانی و گره های آنها وجود ندارد. اما یک مقدار بهینه باید برای تعداد آنها با روش سعی و خطا بدست آورد تا مانع از حجیم شدن شبکه شد. معمولا تعداد گره های میانی را $2n+1$ می گیرند. با استفاده از فرایند آموزش شبکه می توان ماتریس وزنها را بدست آورد. الگوریتمهای مختلفی برای آموزش شبکه وجود دارد که یکی از مهمترین آنها الگوریتم پس انتشار خطا (Back propagation Algorithm) می باشد. در فرایند آموزش سعی می شود که مطزان خطای خروجی با خروجی مطلوب کمینه شود که با استفاده از آن مقادیر وزنها بدست می آید. ما در اینجا برای آموزش شبکه از نرم افزار matlab استفاده کرده ایم. پس از سعی و خطا و انتخابهای فراوان آرایش مناسب برای این مسئله را بصورت ۲-۲۴-۲۴-۶ بدست آورده ایم که در شکل (۳) نشان داده شده است .

با استفاده از داده های تجربی و گرفتن تعدادی از آزمایشات بعنوان داده های آموزشی شبکه و تعدادی بصورت داده های امتحان ، نتایج حاصل را با نتایج بدست آمده از مدل ریاضی مقایسه کرده ایم که در شکل (۴) نشان داده شده است . همانطوری که مشاهده می شود نتایج بدست آمده از شبکه با نتایج تجربی نزدیکتر است.



شکل ۳: نمای شماتیک آرایش شبکه عصبی برای حل مسئله



شکل ۴: مقایسه پاسخهای رگرسیون و شبکه عصبی با داده های تجربی و آزمایشگاهی برای پنج آزمایش مختلف

۵- بهینه سازی

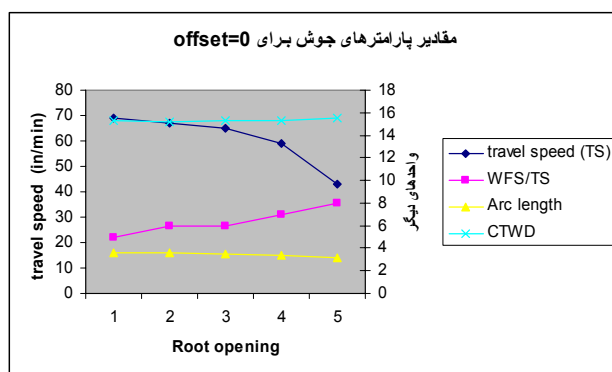
حداقل کردن زمان سیکل جوشکاری رباتیک ، با حداکثر کردن سرعت حرکت مشعل در حالی که melt through rating و fusion rating مقادیر بیشتر از ۸ به خود بگیرند ، هدف نهایی ما می باشد . لذا ما در این قسمت با داشتن روابط (۱) و (۲) می توانیم عمل بهینه سازی را انجام دهیم در واقع با تغییر مقادیر x_1 تا x_4 ، مقدار x_1 را ماکزیمم کرده در



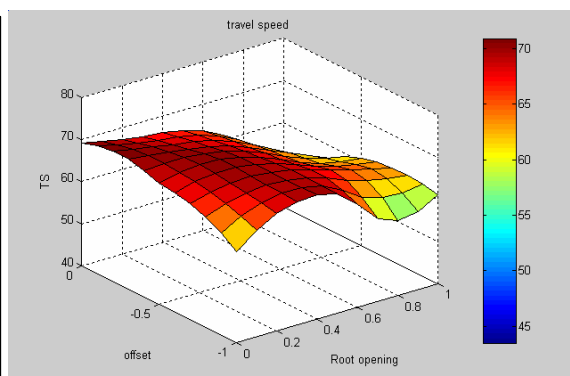
حالی که y_1 و y_2 بالاتر از ۸ را داشته باشند. لازم به توضیح است که x_5 و x_6 را در ابتدا مشخص می کنیم. در حقیقت offset مقادیر ۰/۵، ۰ و ۱/۵ و ۱ و ۰/۵ دارد که ما برای هر کدام از ترکیبات اینها، عمل بهینه سازی را انجام می دهیم:

for any x_5, x_6
by changing x_1, x_2, x_3, x_4
maximize x_1
subject to
 $y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \geq 8$
&
 $y_2 = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \geq 8$ (۳)
while,
 $40 \text{ in/min} \leq x_1 \leq 80 \text{ in/min}$
 $4 \leq x_2 \leq 8$
 $3 \text{ mm} \leq x_3 \leq 7 \text{ mm}$
 $13 \text{ mm} \leq x_4 \leq 17 \text{ mm}$

ما برای حل این مسئله از matlab solver استفاده کرده ایم و برای هر ترکیبی از offset و Root opening این مسئله را حل کرده ایم. نتایج حاصل در شکل (۵-الف) نشان داده شده است. همانطوری که در شکل پیدا است در تمامی مقادیر offset با افزایش Root opening مقدار سرعت ماکزیمم کاهش پیدا می کند. از طرفی با توجه به شکل (۵-ب) برای اتصال بدون offset با افزایش Root opening، سرعت مشعل کاهش پیدا می کند. Arc length و CTWD تقریباً ثابت باقی می ماند و Wfs/Ts افزایش پیدا می کند. لازم به یادآوری است که این تغییرات برای ارضای جوشی با کیفیت مطلوب می باشد. حال با داشتن سرعت ماکزیمم برای حرکت مشعل، می توانیم ربات را برای رسیدن به منظورمان که دادن جوشی با کیفیت است، رهنمون بکنیم. و در برنامه ریزی سینماتیکی ربات از این سرعت استفاده کنیم.



(ب)



(الف)

شکل ۵: الف - مقادیر سرعت بهینه برای ترکیبات مختلف root opening, offset. ب- مقادیر طول قوس، سرعت مشعل، CTWD و WFS/Ts برای offset=0

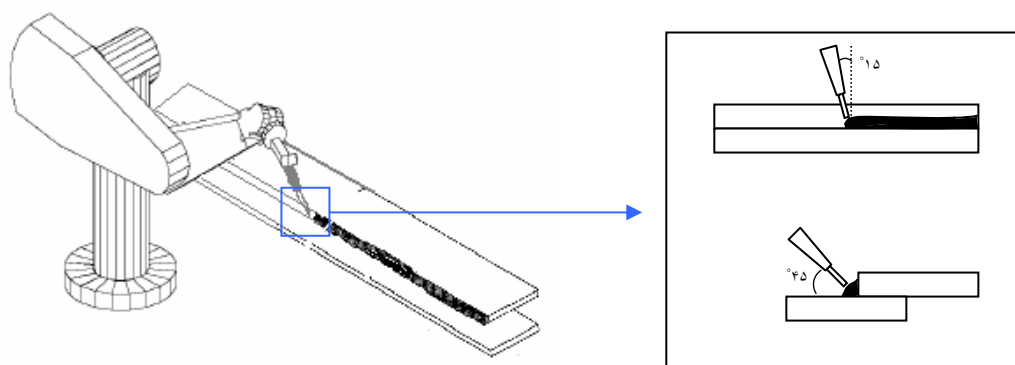
۶- شبیه سازی حرکت روبات جوشکار

در مورد جوشکاری توسط روبات ، داشتن سرعت مناسب مشعل بر روی مسیر جوش بسیار مهم می باشد که باید به درستی محاسبه شده و در روابط سینماتیک معکوس و دینامیک بکار برده شود. در این قسمت ما حرکت روبات شش درجه آزادی را برای دادن جوش رویهم افقی به طول ۴۰ سانتی متر با استفاده از نرم افزار matlab شبیه سازی کرده ایم . همانطوری در شکل (۶) مشاهده می شود برای جوشکاری این مسیر مشعل با زاویه ۴۵ درجه نسبت به خط جوش و زاویه ۱۵ درجه جلو برنده حرکت می کند. با توجه به مشخص بودن موقعیت از نظر مکان و جهت نوک مشعل و داشتن سرعت که از حل بهینه بدست آورده ایم ، حرکت روبات را شبیه سازی کرده ایم [4,10]. برای حالت offset برابر صفر و Root opening برابر ۰/۵ سینماتیک و دینامیک ربات جوشکار را برای ارضای شرایطمان، برنامه ریزی کرده ایم. از کنترلر PD با بهره های زیر برای کنترل بازو استفاده شده است:

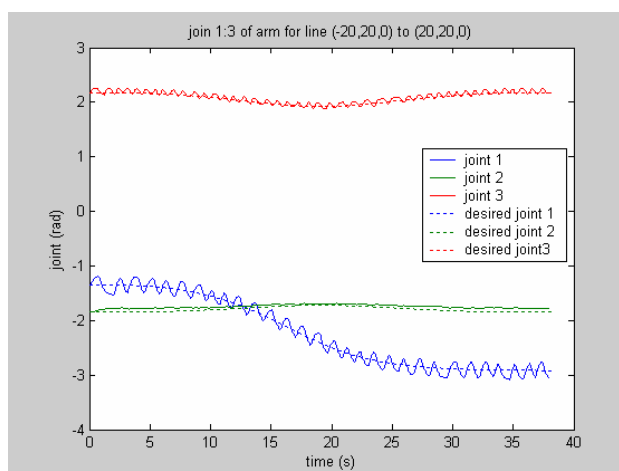
$$Pgain = [50 \quad 100 \quad 50 \quad 5 \quad 5 \quad 5];$$

$$Dgain = [-5 \quad -10 \quad -5 \quad 0 \quad 0 \quad 0];$$

نمودارهای مقادیر زوایای مفصلی، سرعتهای مفصلی و گشتاور کاراندازها در شکلهای (۷)، (۸-الف) و (۸-ب) آمده است. همانطوری که از روی شکلها پیداست، سیستم در نظر گرفته شده بخوبی توانسته مسیر جوشکاری را ردگیری کند.

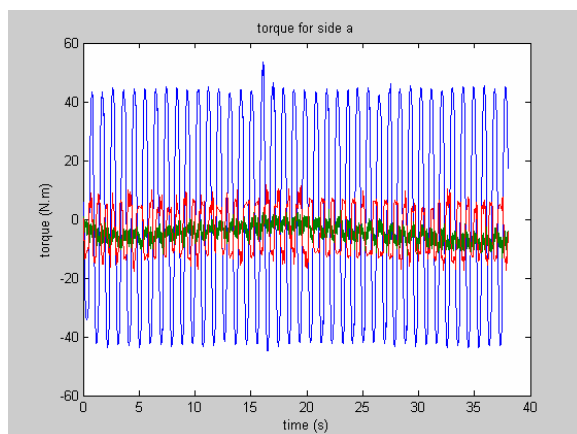


شکل ۶: بازوی رباتیک در حال جوشکاری اتصال رویهم افقی

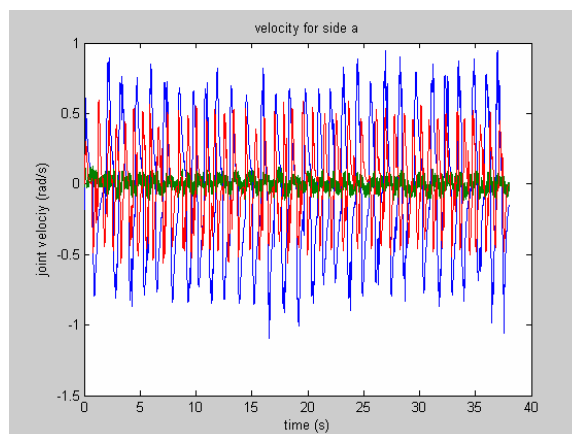


شکل ۷: مقادیر مفصلی برای مسیر جوش : خطوط پیوسته نشان دهنده مقادیر مفصلی ایده ال و خطوط نقطه چین مقادیر واقعی را با

لحاظ نمودن سیستم کنترلی نشان می دهد.



(ب)



(الف)

شکل (۸): الف- مقادیر سرعت‌های مفصلی . ب- مقادیر گشتاور کاراندازها

۷- نتیجه گیری

در جوشکاری GMAW، پارامترهای مختلفی در کیفیت جوش و شکل گرده جوش و مقدار نفوذ، تاثیر گذار هستند اما مقدار و رابطه تاثیر آنها با پارامترهای خروجی بسیار پیچیده و کاملاً غیر خطی می باشد. استفاده از شبکه های عصبی با توجه به اینکه برای مسائل غیر خطی مفید می باشد و مدل ریاضی مبتنی بر رگرسیون غیر خطی، در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت. خروجی های حاصل از این دو روش، قابلیت‌های آنها را در پیشگویی پارامترهای جوشکاری نشان می دهد. بدست آوردن سرعت ماکزیمم مشعل که به ازای آن جوش دارای کیفیت مناسب بود را با استفاده از طراحی بهین بدست آوردیم. در ادامه با استفاده از سرعت بدست آمده از طراحی بهین و سیستم کنترل PD، بازوی جوشکار را برای ردگیری مسیر جوش در اتصال رویهم افقی شبیه سازی کردیم. نتایج بدست آمده کارایی این سیستم را بدین منظور نشان می دهد. آنچه مسلم است از بین پارامترهای مختلف دخیل در کیفیت جوش ما در اینجا حالت خاص اتصال رویهم با ورودی های محدود را مورد بررسی قرار دادیم که با انجام آزمایشات برای حالت‌های مختلف جوش و تاثیر پارامترهای دیگر می توان نتایج دقیقتر را از این نوع تحقیقات گرفت. پس در عمل می توان با گذاشتن سنسور در روی مشعل و با اندازه گیری offset و Root opening در هر لحظه، ربات را برنامه ریزی کرد که سرعت را طوری تنظیم کرده که جوش دارای کیفیت مناسب باشد.

مراجع

- ۱- طاهر، س.ع، نعمت اللهی، م، " حل سینماتیک معکوس روبات‌های دو بازویی توسط شبکه عصبی"، سیزدهمین کنفرانس سالانه (بین المللی) مهندسی مکانیک، ۲۹-۲۷ اردیبهشت ۱۳۸۴.
- 2- I.S.Kim, W.H.kwon, E.siores, "An investigation of mathematical model for predicting weld geometry" journal of materials processing technology (1996) pp.385-392.
- 3- T. T. Allen, R.W. richardson, D.P.tagliabue, G.P.maul, "statistical process design for robotic GMA welding of sheet metal" welding journal (2002) pp.69-77.
- 4- J.J.craig, "introduction to robotic mechanics and control" Addison-wesly, 1989.
- 5- I.S.Kim, J.S.son, I.G.kim, T.Y.kim, O.S.kim, "A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO₂ arc welding" journal of materials processing technology (2003) pp.139-145.
- 6- I.S.Kim, I.J.son, I.G.kim, T.Y.kim, I.K.kim, Y.J.jeong, Prasad K.D.V.yaragada, " sensitivity analysis for process parameters influencing weld quality in robotic GMA welding process", journal of materials processing technology (2003) pp.676-681
- 7- hyeong-soon moon, suck-joo, "optimum design based on mathematical model and neural network to predict weld parameters for fillet joints" journal of manufacturing systems .vol.16/No.1 (1997) pp.13-23 .
- 8- hyeong-soon moon, suck-joo, "A neuro-fuzzy approach to select welding conditions for welding in horizontal fillet welding" journal of manufacturing systems .vol.15/No.6 (1996) pp.393 - 403 .



- 9- I.S.Kim, J.S.son ,C.E.park ,C.W.lee ,yarlagadda K.D.V.prasad,"A study on prediction of bead heigh in robotic arc welding using a neural network" journal of materials processing technology (2002) pp.229-234.
- 10- Peter I. Corke , "Robotics Toolbox for use with Matlab " , *manufacturing technology ,preston Australia*,(1996) pp.1-68.



Programming and simulation of Robotic GMA welding of sheet metal

M. Golestani Sehat¹, Kh. Farhangdoost²

*Mechanical Engineering Department
Ferdowsi University, mashhad, Iran;
m.golestan@gmail.com*

Abstract

Programming and simulation of a welding manipulator for lap joint welding of sheet metal is presented in this paper. The objective of this presentation is the minimizing weld cycle time by maximizing welding travel speed, while maintaining predictable weld quality over a desired range. The welding process variables which influence weld bead shape and quality are coupled with each other but not directly connected with weld bead quality individually. The relationships between welding process parameters and weld quality are very difficult and complicated. The task is to track the horizontal lap joint seam of sheet metal, while the weld quality is desired. Here, using of optimum design based on mathematical model and ANN to obtain welding process parameters that necessary to programming of manipulators. The system discussed in this paper is the PUMA 560 manipulators. PD controller are be used for simulation of welding manipulator. Finally simulation results were also presented to demonstrate the capability of this system to provide of our requirement.

Keywords: Robotic welding, Mathematical Model, GMAW, Regression analysis, ANN

¹ - M.Sc Student, Mech. Eng. Dept. Ferdowsi University

² - Assistant professor, Mech. Eng. Dept. Ferdowsi University