



مدلسازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ با استفاده از روش های آماری و عددی

فرهاد کلاهان^۱، مهدی حیدری^۲

دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی مکانیک

kolahan@um.ac.ir

چکیده

روش جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG) از فرآیندهای مهم در ایجاد اتصالات دائمی با کیفیت بالا در قطعات فلزی است. بطور کلی در فرآیندهای جوشکاری، هندسه و کیفیت اتصالات به میزان زیادی وابسته به مقادیر پارامترهای تنظیمی است. مهمترین پارامترهای تنظیمی در روش جوشکاری MIG، سرعت جوشکاری، ولتاژ، نرخ تغذیه سیم، نرخ جریان گاز، فاصله نازل تا صفحه و زاویه نازل نسبت به صفحه جوشکاری است. کیفیت جوش معمولاً توسط هندسه گرده جوش بیان می‌شود که خود شامل ارتفاع، پهنا و عمق نفوذ گرده جوش می‌باشد. در این مقاله بمنظور ایجاد رابطه ریاضی دقیق بین پارامترهای ورودی جوشکاری MIG و متغیرهای خروجی (هندسه گرده جوش)، مدل‌های ریاضی مبتنی بر روش‌های میانجی، بر اساس داده‌های تجربی توسعه یافته است. این مدل‌ها شامل توابع درجه اول، درجه دوم، درجه سوم و چند جمله‌ای با ضرب متغیرها بوده است. سپس با استناد بر رویکرد تحلیل واریانس و سطح اطمینان ۹۹٪، انطباق این مدل‌ها بر فرآیند واقعی بررسی شده و بهترین مدل انتخاب گردیده است. اعتبار مدل پیشنهادی بکمک آزمون فرضیات آماری، صحت‌گذاری و تأیید شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل چند جمله‌ای با ضرب متغیرها از انطباق بسیار خوبی بر فرآیند واقعی جوشکاری MIG برخوردار است. مدل پیشنهادی میتواند بعنوان زیر بنای بهینه سازی پارامترهای جوشکاری استفاده شده و همچنین در پیش‌بینی هندسه جوش، برای هر مجموعه از مقادیر ورودی، مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی آماری - جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ - تحلیل واریانس - هندسه جوش

۱- نویسنده مسئول، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- نویسنده مسئول، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۱- استادیار گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید دانشگاه فردوسی مشهد



Modelling of MIG welding process using statistical and numerical approaches

Farhad Kolahan¹, Mehdi Heidari²

*Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
kolahan@um.ac.ir*

Abstract

Metal Inert Gas (MIG) welding is an important high quality permanent joints making process in metallic parts. Generally, in welding processes, weld bead geometry and weld quality are, in most parts, dependent on welding parameters. The most important parameters in MIG are welding speed, voltage, wire feed rate, gas flow rate, nozzle to plate distance and nozzle angle. The weld quality is usually measured in terms of weld bead geometry that includes weld height, width and penetration. In this paper, based on experimental data, regression models are developed, to establish the exact relationship between welding input parameters and output responses (bead geometry). These models include first, second and third order and a polynomial regression functions. The best fitted set of models is then selected by performing Analysis of Variance (ANOVA) procedure, with 99% confidence level. The adequacies of selected models are evaluated using statistical analysis. The results show that the proposed polynomial model is the best mathematical description of the actual MIG process. The proposed models can be the basis for process parameter optimization or be used to predict the bead geometry for any given set of input parameters.

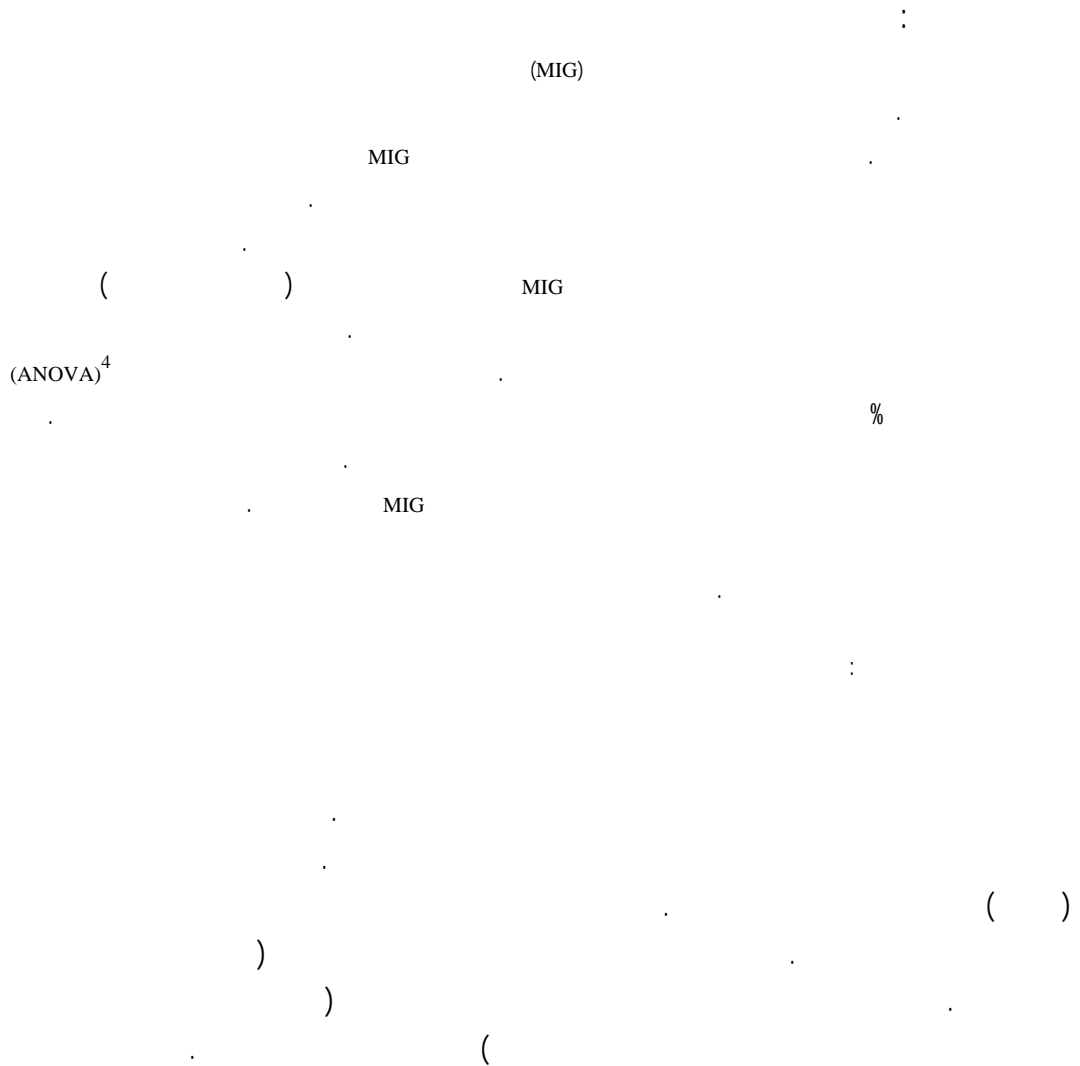
Keywords: Regression modeling, MIG, Analysis of Variance, Process parameters, Weld Bead.

1 - Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

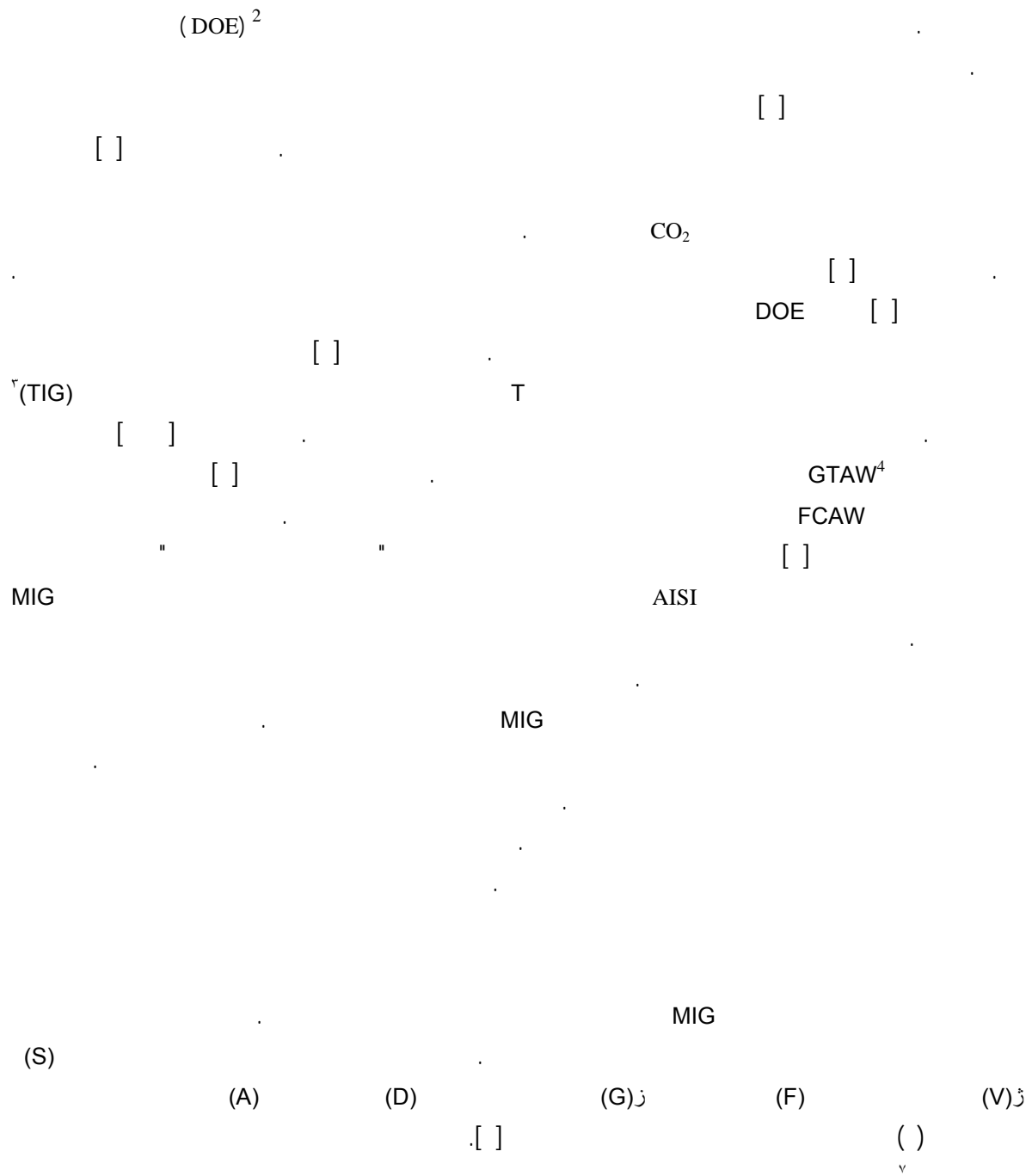
2 - Graduate student, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran



kolahan@um.ac.ir



- استادیار گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید دانشگاه فردوسی مشهد



¹ Surface Response Method

² Design of Experiment

³ Tungsten Inert Gas

⁴ Gas Tungsten Arc Welding

⁵ Flux Cored Arc Welding

⁶ Bead Height (BH)

⁷ Bead Width (BW)

⁸ Bead penetration (BP)



MIG

		cm/min	S	-	
				+	
		V	V	-	
				+	
		m/min	F	-	
				+	
		l/min	G	-	
				+	
		mm	D	-	
				+	
		Degree	A	-	
				+	

(ANOVA)

(%)

SAS

$$Y = f(S, V, F, G, D, A) \quad ()$$

()

$$BH = 8.43519 - 0.03762 \times S - 0.14553 \times V + 0.163562 \times F - 0.001 \times A \quad ()$$

$$BW = -6.43216 - 0.09500 \times S + 0.55679 \times V + 0.57391 \times F \quad ()$$

$$BP = -0.67492 - 0.01551 \times S + 0.09421 \times V + 0.26709 \times F - 0.01301 \times A \quad ()$$

(D) () " " (G)
 () (F) (V) (S)



$$BH = 6.92828 - 0.16877 \times S + 0.09548 \times D + 1.29787 \times F - 0.07809 \times A + 0.00633 \times SV - 0.00710 \times SF - 0.05646 \times FV + 0.00818 \times FA - 0.00477 \times DG + 0.00093 \times AG \quad ()$$

$$BW = -0.21339 + 0.57922 \times S - 2.42645 \times F - 0.02711 \times SV + 0.001 \times SA + 0.17350 \times FV + 0.00442 \times VA - 0.02186 \times FA - 0.00078 \times AD \quad ()$$

$$BP = 6.09573 - 0.56599 \times V + 0.27777 \times D - 0.00797 \times SF + 0.00043 \times SA + 0.05278 \times FV + 0.00663 \times VG + 0.00248 \times VA - 0.01096 \times AF - 0.00965 \times DG - 0.00151 \times DA \quad ()$$

%

S², V², F², G², D², A²

" "

$$BH = 30.78664 - 0.89393 \times S - 0.92097 \times V - 0.41046 \times G + 0.22633 \times D - 0.1878 \times A + 0.0310 \times SV + 0.03336 \times SF + 0.01513 \times SG + 0.00301 \times SA + 0.00649844 \times VA + 0.05909 \times GF - 0.0305 \times DF - 0.00161 \times SVF - 0.00024 \times SGD - 0.00017 \times SVA - 0.00158 \times SGF + 0.00055 \times SDF + 0.00024 \times SAF \quad ()$$

$$BW = -28.65226 + 1.03222 \times S + 1.52993 \times V - 0.05815 \times SV - 0.00087 \times DA + 0.0025 \times SVF + 0.00017 \times SVA - 0.00063 \times SAF \quad ()$$

$$BP = 1.459 - 0.48949 \times V + 0.4132 \times D + 0.0708 \times A - 0.00295 \times DS + 0.05336 \times VF + 0.00663 \times VG + 0.00154 \times VA - 0.01444 \times AF - 0.00965 \times DG - 0.00274 \times DA + 0.00002 \times DAS \quad ()$$

S², V², F², G², D², A²

SSV, VFF, DAA

S³, V³, F³, G³, D³, A³

S³, DA²SD, A³F²S, GD³A, SVFG²

$$Y = a_o + \sum a_i x_i + \sum \sum a_{ij} x_i x_j + \sum \sum \sum a_{ijk} x_i x_j x_k + \sum \sum \sum \sum a_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \sum \sum \sum \sum \sum a_{ijklm} x_i x_j x_k x_l x_m + \sum \sum \sum \sum \sum \sum a_{ijklmn} x_i x_j x_k x_l x_m x_n \quad ()$$



()

:

$$\begin{aligned}
 BH = & 388.45826 - 14.44891 \times S - 13.85714 \times V - 24.2784 \times F - 13.0299 \times G - 5.35002 \times D - 4.1912 \times A + \\
 & 0.42481 \times SV + 0.93232 \times SF + 0.65849 \times SG + 0.44084 \times SD + 0.17433 \times SA + 1.0372 \times VF + \\
 & 0.41312 \times VG + 0.23996 \times VD + 0.1354 \times VA - 0.396 \times FD + 0.221 \times FA + 0.16040 \times GA + \\
 & 0.11099 \times DA - 0.024 \times SVF - 0.0162 \times SGV - 0.01162 \times SVD - 0.00491 \times SVA - 0.02426 \times SFG - \\
 & 0.01155 \times SFD - 0.0106 \times SFA - 0.02367 \times SGD - 0.00856 \times SGA - 0.0074 \times SDA - \\
 & 0.00717 \times VFA - 0.00445 \times VGA - 0.0035 \times VDA + 0.08097 \times FGD - 0.00396 \times GDA + \\
 & 0.00022 \times SVFA + 0.00052 \times SVGD + 0.00021 \times SVGA + 0.000198 \times SVDA + \\
 & 0.00035 \times SFGA + 0.00037 \times SFDA + 0.00042 \times SGDA - 0.00254 \times VFGD - \\
 & 0.00012 \times VFGA + 0.00009 \times VGDA - 0.00046 \times FGDA + 0.00004 \times SVFGD - \\
 & 0.000005 \times SVFDA - 0.00001 \times SVGDA - 0.00002 \times SGFDA + 0.00002 \times SVFGDA
 \end{aligned}$$

()

$$\begin{aligned}
 BP = & -36.29584 + 1.87285 \times S + 120.43306 \times F - 43.54554 \times G + 2.70394 \times D + 0.62484 \times A - \\
 & 0.11757 \times SV - 2.93249 \times SF + 1.01665 \times SG - 0.02373 \times SA - 4.22601 \times VF + 1.7363124 \times VG - \\
 & 6.59361 \times FD - 1.43489 \times FA + 2.35956 \times GD + 0.44784 \times GA - 0.04345 \times DA + \\
 & 0.11379 \times SVF - 0.03647 \times SGV + 0.00289 \times SVD + 0.00086 \times SVA + 0.1441 \times SFD + \\
 & 0.03544 \times SFA - 0.0556 \times SGD - 0.01125 \times SGA - 0.02184 \times FGV + 0.2291 \times FDV + \\
 & 0.04921 \times FAV - 0.09679 \times GDV - 0.01868 \times GAV + 0.00994 \times FGA + 0.07933 \times FDA - \\
 & 0.02361 \times GDA - 0.00567 \times SFDV - 0.00128 \times SFAV + 0.00199 \times SGDV + 0.00044 \times SGAV - \\
 & 0.000176 \times SGFA - 0.00174 \times SFDA + 0.000615 \times SGDA + 0.00159 \times FGDV - \\
 & 0.00268 \times FDAV + 0.00102 \times GDAV - 0.00068 \times FGDA + 0.00006 \times SVFDA - \\
 & 0.000024 \times SGVDA + 0.00001 \times SVFGDA
 \end{aligned}$$

()

$$\begin{aligned}
 BW = & -57.55919 + 13.37874 \times S - 27.33179 \times D + 7.67282 \times A - 0.40765 \times SV - 1.81468 \times SF - \\
 & 0.19305 \times SG - 0.35409 \times SA + 0.12642 \times VG + 1.10498 \times VD - 0.2492 \times VA + 4.01403721 \times FD - \\
 & 0.65349 \times FA + 1.02991 \times GD - 0.18370 \times GA - 0.15919 \times DA + 0.05428 \times SVF + \\
 & 0.01199 \times SAV + 0.03082 \times SFG + 0.03824 \times SFA + 0.00774 \times SGA + 0.01325 \times SDA - \\
 & 0.14148 \times DVF + 0.02265 \times AVF - 0.04035 \times DVG + 0.00563 \times VGA + 0.00457 \times VDA - \\
 & 0.14566 \times FGD - 0.00123 \times SAVF - 0.00022 \times SVDA - 0.000327 \times SAFG - 0.001206 \times SDAF - \\
 & 0.000325 \times SGDA + 0.00472 \times DVFG + 0.00143 \times DAFG - 0.000007 \times SDVFG + \\
 & 0.00004 \times SDAVF + 0.00001 \times SDAVG - 0.00004 \times DAVFG
 \end{aligned}$$

()

(,)

%



%

MIG

	BP	BW	BH
	,	,	,
	,	,	,
	,	,	,
	,	,	,

MIG

%

"

"

- 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 OS , "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
- 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- Tarnq, Y.S., and Yang, W.H., "Optimization of the weld bead geometry in gas tungsten arc welding by the Taguchi method", Int J Adv Manuf Technol, Vol.14, pp.549-554, 1998.
- 7- Tarnq, 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, 2000.
- 8- Mostafa, N. B., and Khajavi, M. N., "Optimisation of welding parameters for weld penetration in FCAW", JOURNAL of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol.16, pp. 132-138, 2006
- 9- Ganjigatti, J. P., Pratihari, D. K., and RoyChoudhury, A., "Modeling of the MIG welding process using statistical approaches", Int J Adv Manuf Technol, Vol. 35, pp. 1166-1190, 2008.