

Estudo da Influência do Eletrodo (*Stick-out*) no Processo "GMAW" Robotizado

Leonardo Miron¹

lmiron@br.gestamp.com

Alexandre Arthuzo²

a.arthuzo@terra.com.br

Gilberto Walter Arenas Miranda³

gilware@terra.com.br

Francisco José Grandinetti⁴

grandi@unitau.br

José Rubens de Camargo⁵

jcamargo@unitau.br

Gestamp/Metalbages

Toyota Brasil Ltda

UNITAU

UNITAU / SENAI

Resumo. Na indústria automobilística, as influências das variáveis de soldagem em componentes automotivos podem comprometer a qualidade do produto, seja no aspecto de resistência da junta, seja no aspecto meramente estético. Existem várias maneiras de prevenir os defeitos em juntas soldadas pelo processo "GMAW" robotizado, através do ajuste apropriado de diversas variáveis do processo, entre elas: a tensão, a corrente, a velocidade de soldagem, o gás de proteção, a velocidade do arame, a extensão do eletrodo (*stick-out*), o ângulo da tocha, a inclinação de soldagem, a posição do eletrodo, etc. Para este estudo, foram feitos cordões de filetes em juntas sobrepostas, mantendo-se fixos os parâmetros: corrente, tensão, velocidade de soldagem, tipo e vazão de gás, arame, ângulo da tocha, inclinação de soldagem, posição do eletrodo e folga. O parâmetro alterado foi a Extensão do Eletrodo (10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm), que é uma variável com influência na geometria do cordão de solda, e determinada pelo operador. Para caracterização das soldas, as descontinuidades foram quantificadas, sendo que as amostras foram inspecionadas visualmente e preparadas metalograficamente para avaliação macrográfica e dimensional. Posteriormente, cada variação da inclinação de soldagem foi associada com as características da solda.

Palavras Chave. "GMAW" robotizado. Parâmetro de Soldagem. Descontinuidade. Macrografia. Solda.

The Influence of the Stick-out in the "GMAW" Process Robotic

Abstract. In the automobile industry, the influences of the welding variables in automotive components can compromise the product quality, either in the aspect of joint resistance or merely the joint esthetic. There are several defects prevention ways on welded joints made by the "GMAW" robotic process, thru the proper setting of the process variables, among them: the voltage, the current, the welding speed, the gas of protection, the wire speed, the wire extension (stick-out), the angle of the torch, the welding slope, the position of the electrode, etc. For this study, weld fillets in lap joint were made, keeping fixed the parameters: electric current, voltage, speed of welding, gas type and flow, the wire, torch angle, welding inclination, electrode position and gap. The modified parameter was the stick out size (10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm), which is an operator dependent variable that affects the weld fillet geometry. For characterization of welds, the discontinuities were quantified, being the samples visually inspected and metallographically prepared for macrograph and dimensional evaluation. Later, each variation of the welding inclination was associated with the characteristics of the weld.

Keywords. "GMAW" robotic. Welding parameter. Macrograph. Discontinuities. Weld

1. Introdução

A soldagem é hoje um dos processos de fabricação mais importantes e populares para a união de materiais metálicos (ALMENDRA et al., 1997). A garantia de sua qualidade requer, no entanto, determinadas aplicações, avaliações e qualificações da junta soldada (AWS, 1988). A inspeção e a aceitabilidade de determinada solda deve atender a critérios preestabelecidos, tais como em normas específicas (AWS, 1999). Nos países desenvolvidos, onde a qualidade do produto é fator determinante da sua aceitabilidade no mercado, o desenvolvimento de normas de inspeção e aprovação do produto torna-se necessidade indispensável (AWS, 1980).

O processo de soldagem é bastante antigo e comum na maioria das indústrias. Apesar da evolução das técnicas, ainda existe um número elevado de processos que dependem da experiência do operador no ajuste dos parâmetros. Esses parâmetros são importantes e estão relacionados com defeitos e dificuldades comuns em processos de soldagem: má aderência do cordão de solda, porosidades, mordeduras, falta de penetração, entre outras (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

O processo de soldagem "GMAW" (*Gas Metal Arc Welding*) é bastante versátil. Algumas de suas principais vantagens são: taxa de deposição maior que a de soldagem com eletrodo revestido, menos gás e fumaça na soldagem, grande versatilidade, larga capacidade de aplicação, além de poder ser aplicado em uma faixa ampla de espessuras e materiais (AWS, 1999). O uso do processo "GMAW" é atualmente o método mais utilizado na Europa Ocidental, USA e Japão. Isto ocorre, entre outras coisas, devido a sua alta produtividade e facilidade de automação (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

No processo de soldagem "GMAW" Robotizado, grandes variedades de defeitos podem aparecer no cordão de solda e podem estar associados a várias causas, tais como: inclinação da tocha, folga entre as chapas, posição inicial do arame e a extensão do arame em relação à peça dos materiais soldados, etc. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

Na indústria automobilística, a influência das variações dos parâmetros de soldagem em componentes soldados pode comprometer a qualidade e a segurança do produto, afetando diretamente o bom funcionamento do veículo e o bem-estar do usuário (PEREIRA e FERRARESI, 2001).

Desta forma, o presente trabalho se propõe estudar a influência da variável da extensão do eletrodo no processo "GMAW" robotizado, conforme a Figura 1.

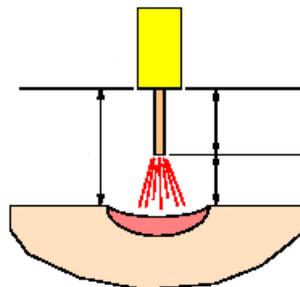


Figura 1. Extensão do eletrodo no processo "GMAW" robotizado

Objetiva-se a obtenção de dados para estabelecer qual o limite máximo de influência deste parâmetro sem afetar a qualidade da solda. Neste trabalho, os parâmetros de soldagem como a corrente (230 A), a tensão (25 V), a velocidade de soldagem (1000 mm/min), o tipo do gás (80% Ar + 20% CO₂), a vazão de gás (20 L/min), tipo do arame, ângulo da tocha (45°), inclinação de soldagem (0°), posição do eletrodo (0 mm) e folga (0 mm) foram mantidos constantes. O parâmetro estudado foi a extensão do eletrodo (10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm), definida antes da execução da solda, tendo em vista sua grande possibilidade de influência operacional e, por essa razão, torna-se primordial quantificar esses valores para diminuir o erro no processo.

2. Metodologia Experimental

2.1. Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas chapas de aço de baixo teor de carbono (AISI 1020), com dimensões originais de 115 x 70 x 2,0 mm e arame de aço da classe AWS A5 18-2001 ER70S-6 de 1,2 mm de diâmetro para fabricação de componentes automotivos. Usou-se uma mistura contendo 80% Ar + 20% CO₂ como gás de proteção, com uma vazão de 20 l/min. As amostras foram soldadas pelo processo "GMAW" robotizado, representado na Figura 2.



Figura 2. Célula de soldagem "GMAW" robotizado modelo ABB (SF166-02)

Para fixação das chapas a serem soldadas, foi construído um dispositivo especial com grampos que garantiu a fixação das chapas na posição com junta sobreposta e não houve qualquer tipo de preparação das superfícies antes da soldagem. Apenas um cordão de solda foi processado e, em seguida, foram retiradas duas amostras para a avaliação do parâmetro extensão do eletrodo, que foram analisadas por meio de macrografia (penetração, garganta, largura da solda) (COLPAERT, 1974), conforme mostra a Figura 3, e pelo aspecto visual (porosidade, furos, falhas no cordão, descontinuidade e mordedura).

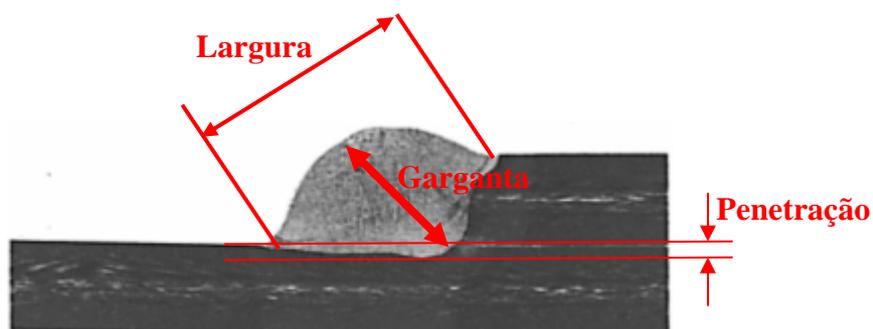


Figura 3. Avaliação da solda (penetração, garganta e largura)

A realização da soldagem foi executada puxando-se a tocha, e os parâmetros fixados foram: a corrente, a tensão, a vazão e tipo de gás, o arame de solda e velocidade de soldagem.

Foi utilizado o laboratório metalúrgico da empresa Toyota para a análise das amostras, e também foram respeitadas as respectivas normas de soldagem e suas especificações.

A Tabela 1 mostra as condições de soldagem e a identificação das amostras na junta com chapas sobrepostas.

Tabela 1. Condições de soldagem e avaliações das amostras

Condição	Condição Fixa	Condição Exame	Número de Investigação	Identificação das amostras (IA)
Extensão do Eletrodo	- Ângulo Tocha: 45°	a) 10 mm	2	3-1
	- Inclinação: 10°	b) 15 mm	2	3-2
	- Posição: 0 mm	c) 20 mm	2	3-3
	- Folga: 0 mm	d) 25 mm	2	3-4

3. Resultados e Discussão

As Figuras de 4 a 7, com identificações das amostras (IA) de números 3.1 a 3.4, são representativas das variações da extensão do eletrodo (10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm), sendo executados dois cortes "a" e "b" para avaliação dimensional da solda (penetração, garganta e largura da solda). As macrografias foram executadas com 10 vezes de aumento, e ataque com Nital 3%.

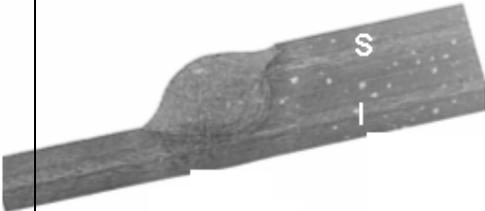
IA	Condições de Soldagem: Extensão do eletrodo					
No. 3-1	(1) Ângulo da tocha: 45° (2) Inclinação de Soldagem: 10° (3) Extensão: 10 mm (4) Posição do eletrodo: 0.0 mm (5) Folga: 0.0 mm					
Aparência						
Análise		Unid.: mm	3-1 a		3-1 b	
			Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
		Penetração		1,2		1,2
		Garganta	2,3		2,2	
		Largura	6,8		6,8	

Figura 4. Variação da extensão do eletrodo para 10 mm

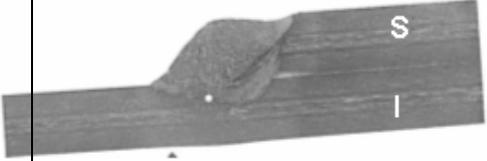
IA No. 3-2	Condições de Soldagem: Extensão do eletrodo (1) Ângulo da tocha: 45° (2) Inclinação de Soldagem: 10° (3) Extensão: 15 mm (4) Posição do eletrodo: 0.0 mm (5) Folga: 0.0 mm					
Aparência						
Análise		Unid.: mm	3-2 a		3-2 b	
			Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
		Penetração		1,0		0,9
		Garganta	2,4		2,6	
		Largura	7,4		7,4	

Figura 5. Variação da extensão do eletrodo para 15 mm

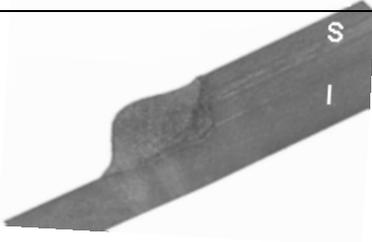
IA No. 3-3	Condições de Soldagem: Extensão do eletrodo (1) Ângulo da tocha: 45° (2) Inclinação de Soldagem: 10° (3) Extensão: 20 mm (4) Posição do eletrodo: 0.0 mm (5) Folga: 0.0 mm					
Aparência						
Análise		Unid.: mm	3-3 a		3-3 b	
			Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
		Penetração		0,4		0,5
		Garganta	2,4		2,3	
		Largura	7,3		7	

Figura 6. Variação da extensão do eletrodo para 20 mm

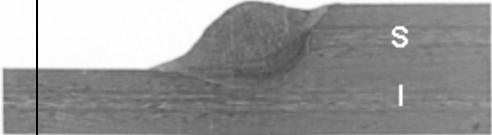
<p>IA No. 3-4</p>	<p>Condições de Soldagem: Extensão do eletrodo (1) Ângulo da tocha: 45° (2) Inclinação de Soldagem: 10° (3) Extensão: 25 mm (4) Posição do eletrodo: 0.0 mm (5) Folga: 0.0 mm</p>					
<p>Aparência</p>						
<p>Análise</p>		<p>Unid.: mm</p>	<p>3-4 a</p>		<p>3-4 b</p>	
			<p>Sup.</p>	<p>Inf.</p>	<p>Sup.</p>	<p>Inf.</p>
		<p>Penetração</p>		<p>0,6</p>		<p>0,5</p>
		<p>Garganta</p>	<p>2,4</p>		<p>2,2</p>	
		<p>Largura</p>	<p>7,4</p>		<p>7,2</p>	

Figura 7. Variação da extensão do eletrodo para 25 mm

Nas Figuras 8 a 10, a seguir, foram compilados os resultados das análises dimensionais dos cordões de solda (garganta, largura da solda e penetração) feita pela variação da extensão do eletrodo, conforme representado anteriormente pelas Figuras 4 a 7.

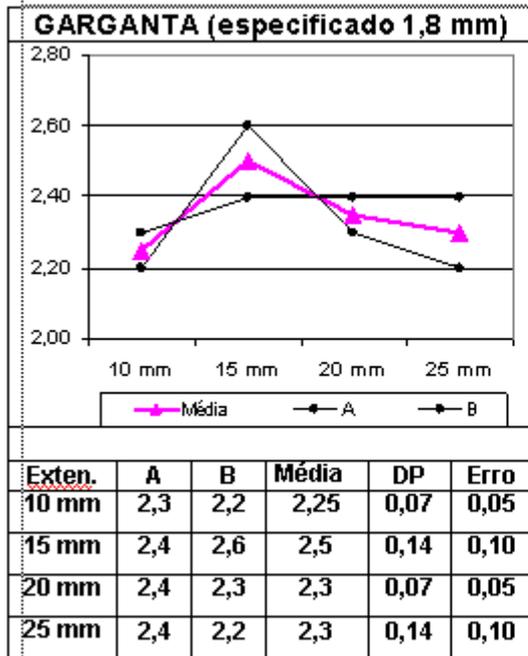


Figura 8 - Variação da garganta

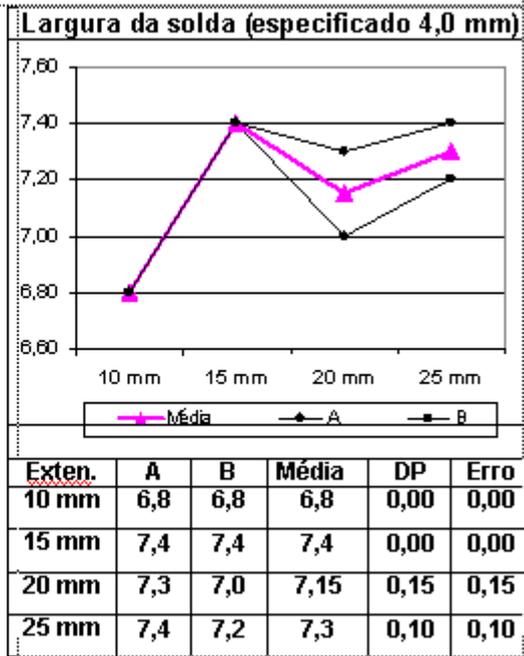


Figura 9 - Variação da largura da solda

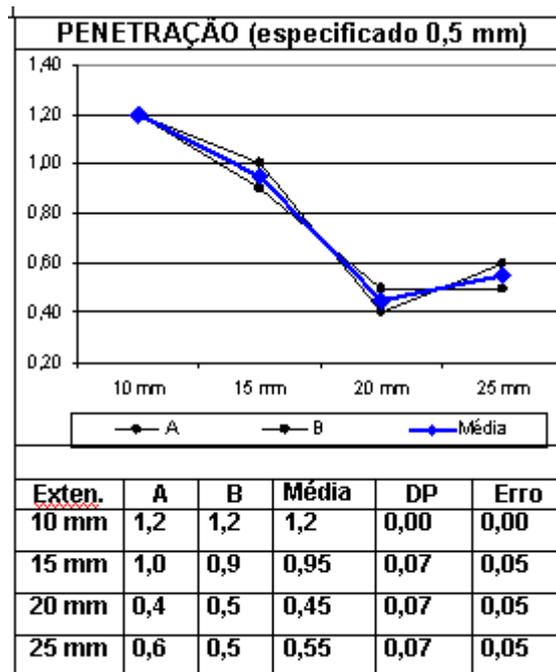


Figura 10 - Variação da penetração da solda

Pela análise da Figura 8, praticamente não ocorreu a variação da garganta, sendo o menor desvio padrão (0,07) e o erro da média (0,05), para 10 mm e 20 mm.

Pela análise da Figura 9, praticamente não ocorreu a variação da largura da solda, sendo o menor desvio padrão (0,0 mm) e o erro da média (0,0 mm) para 10mm e 15 mm.

Pela análise da Figura 10, a penetração diminuiu com a extensão do eletrodo em 20 mm, de 1,20 mm para 0,40 mm, ficando fora do especificado pela norma, sendo o menor desvio padrão (0,0 mm), e o erro da média (0,0 mm) para 10 mm.

Após análises das Figuras 8 a 10, foram calculados as médias, os desvios padrão e os erros das médias para as avaliações da garganta, largura e penetração da solda. O melhor parâmetro escolhido de extensão do eletrodo foi de 10 mm para o processo "GMAW" robotizado, por ter obtido menor desvio padrão e erro da média nas três avaliações (a garganta, largura e a penetração solda), e estar dentro das especificações da norma TSH.

4. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir:

- A metodologia empregada para o processo "GMAW" robotizado com relação às análises dos cordões de solda mostrou-se eficiente dentro das especificações da norma Toyota TSH.
- Após uma análise abrangente das variáveis existentes, o melhor parâmetro escolhido de extensão do eletrodo foi de 10 mm para o processo "GMAW" robotizado.
- Para condições de folga de até 1mm, deve-se utilizar arames normalizados. Acima dessa espessura como, por exemplo, (1,2 mm), sendo que inferior como, por exemplo, 0,8 mm, acarretaria na reprovação da solda.
- Para valores inferiores de extensão de eletrodo, na faixa de 10 mm, ocorrerá o efeito de aumentar a corrente de soldagem; esse fato provocará um aumento na penetração da solda. Para uma extensão do eletrodo excessivamente grande, na faixa de 20 a 25 mm, haverá redução na eficiência da proteção do gás, também haverá redução na corrente fornecida pela fonte e, conseqüentemente, valores baixos de penetração.

O presente trabalho motiva os engenheiros e pesquisadores na continuidade dos estudos, no sentido de avaliar e fundamentar individualmente os parâmetros de soldagem no processo "GMAW" robotizado. Com isso, visa dar contribuições relevantes ao desenvolvimento dos sistemas produtivos das indústrias automobilísticas.

5. Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem o apoio fornecido pela CAPES ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté. Agradecem também a Toyota Brasil Ltda. pelo recurso e incentivo dado ao seu funcionário para referida pesquisa e consolidação de seu curso de mestrado em engenharia mecânica.

6. Referências

- ALMENDRA, A. C. Et al. **Soldagem**. São Paulo: Editora SENAI, 1997.
- AWS [American Welding Society] **Welding Inspection**. USA: American Welding Society, 1980. 222 p.
- _____. **Standard for AWS certification of welding inspectors**. USA: American Welding Society, 1988. 10 p.
- _____. **Standard for welding procedure and performance qualification AWS B2.1**. USA: American Welding Inspection Society, 1999.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**, 3 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1974.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. "
- PEREIRA, W. A.; FERRARESI, V. A. Comportamento do cordão na soldagem GMAW pulsada em chanfro estreitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 1º, 2001, Curitiba. **Anal...** Curitiba: 2001. 11 p.
- SUBBARAO, E. C.; CHAKRAVORTY, D.; MERRIAM, M. F. **Experiências de ciência dos materiais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 236 p.
- WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, S. D. H. **Soldagem: processos de metalurgia**. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

7. Direitos Autorais

Autoriza-se a cópia total ou parcial desta obra apenas para fins de pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica dos autores.