

Soldagem GTAW mecanizada com adição de arame frio

Mechanized cold-wire GTAW process

Marcos Mesquita da Silva*, Geovanna Vitória da Silva Gonçalves, Venicius Romero Barbosa da Nóbrega, Luiz Fernando Alves Rodrigues, Jomar Meireles Barros

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da espessura da peça e da distância do arame frio à peça soldada (DAP) sobre a geometria e diluição de cordões depositados por meio do processo gas tungsten arc welding – mecanizado com adição de arame frio (GTAW MAF) – visando às aplicações em revestimentos. Durante as soldagens, a corrente média foi de 170,00 A e a tensão média variou de 21,60 a 25,60 volts, em função da variação da DAP. Por sua vez, utilizaram-se quatro valores para a DAP: 3,50, 5,50, 7,50 e 9,50 mm. A velocidade de alimentação de arame frio foi de 3,20 m/min, enquanto a velocidade de deslocamento da tocha foi de 8,22 cm/min para todas as soldas realizadas. Como substrato, foram usados aços carbonos de espessuras 6,35 e 12,7 mm, e como metal de adição foi utilizado o aço inoxidável E317L com diâmetro de 1,20 mm. Os principais resultados indicaram que o aumento na DAP promoveu o aumento na largura dos cordões e redução tanto na altura quanto na diluição desses para os dois substratos empregados. Adicionalmente, para os mesmos parâmetros de soldagem, os cordões aplicados no substrato de maior espessura (12,7 mm) apresentaram menores altura, largura e diluição quando comparados com aqueles aplicados no substrato de menor espessura (6,35 mm). A variação de geometria e diluição dos cordões, para um mesmo substrato, pode ser justificada pelos diferentes tipos de transferências metálicas provocados pela variação da DAP.

Palavras-chave: GTAW-MAF, DAP, Geometria do cordão, Diluição.

ABSTRACT

This work aims to analyze the effect of the thickness of the specimen and the distance of the cold wire to the welded piece on the geometry and dilution of welded beads deposited through the mechanized cold-wire GTAW process (MCW GTAW) for applications in anticorrosive coatings. During welding the average current was 170.00 A and the average voltage ranged from 21.60 to 25.60 volts as a function of the variation of the wire distance to the welded piece (WDP). By time, 4 values were used for WDP: 3.50, 5.50, 7.50 and 9.50 mm. The cold wire feed rate was 3.20 m/min, while the torch displacement velocity was 8.22 cm/min for all welds performed. Carbon steels with thicknesses of 6.35 and 12.7 mm were used as substrate. E317L stainless steel with a diameter of 1.20 mm was used as addition metal. The main results indicated that the increase in WDP promoted an increase in the width of the welded beads and a reduction in both the height and the dilution for the two substrates used. Additionally, for the same welding parameters, the welding applied in the thicker substrate (12.7mm) presented lower height, width and dilution when compared to those applied to the substrate with lower thickness (6.35mm). The variation of geometry and dilution of the weld beads, for the same substrate, can be justified by the different types of metallic transfers caused by the WDP variation.

Keywords: MCW GTAW, WDP, Beam geometry, Dilution.

Instituto Federal da Paraíba – Curso Petróleo e Gás – Campina Grande/PB – Brasil.

Correspondence author: marcos.silva@ifpb.edu.br

Recebido: 01 Fev. 2019 **Aprovado:** 11 Abr. 2019

INTRODUÇÃO

A soldagem é o processo responsável pela fabricação, recuperação e revestimento de uma grande demanda de peças. Nesse método, a união ocorre por meio da aplicação de calor e/ou pressão¹. Esse processo vem sendo bastante usado na indústria de petróleo e gás para fabricação de gasodutos, oleodutos, reatores químicos, entre outros. Pode ser utilizado, ainda, para evitar a degradação de equipamentos por meio da aplicação de revestimentos de ligas nobres (aços inoxidáveis ou ligas de níquel) resistentes à corrosão^{2,3}.

A soldagem de revestimento, para proteção contra corrosão, é um procedimento complexo, no qual estão envolvidos materiais com composições químicas, estruturas cristalinas, microestruturas e propriedades físicas e químicas distintas, denominado soldagem dissimilar⁴. Na soldagem de metais diferentes, um fenômeno de extrema importância é a diluição, pois quando a diluição aumenta, maior é a participação do substrato na solda, o que não é interessante, pois as microestruturas frágeis podem se formar e comprometer a resistência à corrosão e/ou as propriedades mecânicas do revestimento⁵.

Dentre os processos mais empregados para esse tipo de soldagem, destaca-se o *gas tungsten arc welding* (GTAW), pois apresenta excelente controle de energia transferida à peça soldada⁵. Nesse processo, o aquecimento é realizado por meio de um arco elétrico estabelecido entre a peça soldada e um eletrodo de tungstênio. O eletrodo do processo não se funde (não consumível) e o processo GTAW pode ser utilizado empregando-se ou não o metal de adição (MA). Se os parâmetros de soldagem forem bem ajustados produzirão soldas de excelente qualidade – sem defeitos ou descontinuidades –, principalmente no emprego de materiais nobres⁶.

Em contrapartida, o GTAW convencional apresenta baixa produtividade, pois, por ser uma soldagem manual, o MA (quando é utilizado) é adicionado por meio do soldador. Por isso, algumas técnicas, como o GTAW mecanizado e com adição de arame frio (GTAW-MAF), são utilizadas⁷. No entanto, ao se mecanizar um processo, surge uma demanda relacionada aos ajustes dos parâmetros de soldagem, tais como corrente, tensão, velocidade de alimentação, velocidade de soldagem, vazão do gás de proteção, comprimento do arco, distância do arame à peça (DAP), dentre outros.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da DAP na geometria e diluição de cordões de solda de aço inoxidável AISI 317L, visando às aplicações em revestimentos anticorrosivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os cordões de solda foram depositados em dois substratos de aço carbono 1020 de diferentes espessuras. As espessuras empregadas foram: 6,35 e 12,7 mm. Como MA, para obtenção de cordões de solda, utilizou-se um arame de aço inoxidável

austenítico AISI E317L. A composição química do MA encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química nominal do metal de adição (MA) E 317L.

Composição (% em peso)	
MA	E317L
C	0,018
Cr	18,84
Ni	13,66
Mo	3,56
Mn	1,34
Si	0,42
Co	0,18
Ti	0,003
P	0,021
Cu	0,11
Al	0,003
S	0,013
N	0,058
B	0,0012
Fe	Bal.

Fonte: Sandvik do Brasil S.A.⁸.

Corte dos Substratos

Após selecionadas as dimensões ideais dos substratos para manuseio e melhor representação dos resultados, realizaram-se cortes de 300 × 110 mm nesses, ou seja, 300 mm de comprimento e 110 mm de largura. Após a realização dos cortes, as dimensões obtidas dos substratos foram 300 × 110 × 6,35 mm e de 300 × 110 × 12,7 mm. Os cortes foram feitos com auxílio de uma máquina de corte a plasma.

Realização dos Cordões de Solda com o Processo de Soldagem GTAW-MAF

Os cordões de solda foram realizados com o processo de soldagem GTAW-MAF no Laboratório de Soldagem e Manutenção (LABSeM) do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Campina Grande, Brasil. Para realização dos cordões, o MA utilizado foi um arame de aço inoxidável AISI E317L, com 1,2 mm de diâmetro, alimentado em forma de bobina, contribuindo para a mecanização do processo. Além disso, o gás de proteção utilizado foi o argônio, com vazão de 14L/min. A Fig. 1 apresenta a fonte multiprocesso utilizada para soldagem.

A tocha do processo foi acoplada a um sistema de movimentação mecanizado para soldagem e corte – trator de soldagem –, conforme apresentado na Fig. 2. Na tocha, utilizou-se uma unidade de posicionamento que direciona o MA para o arco elétrico (Fig. 3). Para monitoramento dos valores de corrente e tensão, utilizou-se o sistema de aquisição de dados.



Figura 1: Fonte de soldagem multiprocesso DIGIPlus A7.



Figura 2: Tocha do processo GTAW acoplada no trator de soldagem.



Figura 3: Unidade de posicionamento do MA.

Para realização dos cordões, os substratos foram classificados como substrato 1 (substrato de 6,35 mm de espessura) e substrato 2 (substrato de 12,7 mm de espessura). Em seguida, alguns parâmetros de soldagem foram preestabelecidos e fixados em todos os ensaios para reduzir a quantidade de variáveis, tais como velocidade de alimentação do arame (V_a), velocidade de soldagem (V_s), vazão do gás de proteção (Q), distância do eletrodo ao bocal (DEB), distância do eletrodo a peça (DEP) e distância do bocal a peça (DBP). Já os parâmetros que foram modificados e que iriam influenciar diretamente nos cordões durante os testes foram a distância do arame ao eletrodo (DAE) e a DAP. A Fig. 4 ilustra os parâmetros de soldagem DAE, DAP, DEB, DEP e DBP. As Tabelas 2 e 3 representam os parâmetros de soldagem adotados para os cordões dos substratos 1 e 2, respectivamente.

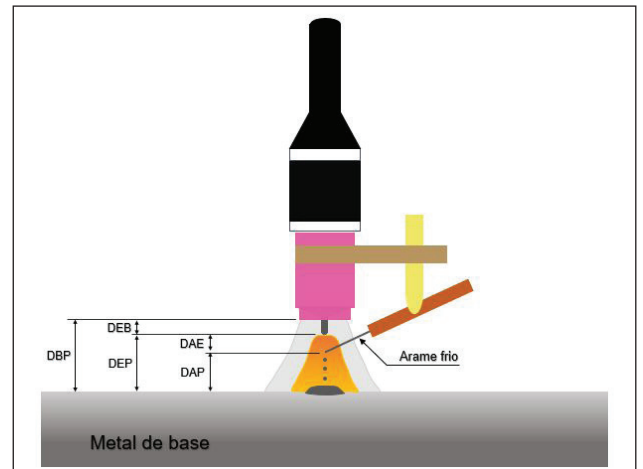


Figura 4: Representação dos parâmetros de soldagem DAE, DAP, DEB, DEP e DBP.

Tabela 2: Parâmetros de soldagem estabelecidos para o substrato 1.

Cordão	V_a (m/min)	V_s (m/min)	Q (l/min)	DAE (mm)
1	3,20	8,20	14,00	3,0
2	3,20	8,20	14,00	5,0
3	3,20	8,20	14,00	7,0
4	3,20	8,20	14,00	9,0
Cordão	DAP (mm)	DEB (mm)	DEP (mm)	DBP (mm)
1	9,5	5,0	12,5	17,5
2	7,5	5,0	12,5	17,5
3	5,5	5,0	12,5	17,5
4	3,5	5,0	12,5	17,5

Tabela 3: Parâmetros de soldagem estabelecidos para o substrato 2.

Cordão	V_a (m/min)	V_s (m/min)	Q (l/min)	DAE (mm)
1	3,20	8,20	14,00	3,0
2	3,20	8,20	14,00	5,0
3	3,20	8,20	14,00	7,0
4	3,20	8,20	14,00	9,0
Cordão	DAP (mm)	DEB (mm)	DEP (mm)	DBP (mm)
1	9,5	5,0	12,5	17,5
2	7,5	5,0	12,5	17,5
3	5,5	5,0	12,5	17,5
4	3,5	5,0	12,5	17,5

Após a realização dos cordões de solda, foram feitos cortes transversais nos substratos para analisar os níveis de diluição. O corte foi realizado com o auxílio uma cortadeira metalográfica (Fig. 5). Em seguida, por meio de um *software* para metalografia, realizaram-se os cálculos da diluição. Essa etapa foi realizada no Laboratório de Materiais para Indústria de Petróleo e Tubulações Industriais (LABMAT) do IFPB, Campus Campina Grande.



Figura 5: Cortadeira metalográfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, analisaram-se os aspectos geométricos (largura, altura, penetração) de cada cordão. A Fig. 6 apresenta as seções transversais dos cordões aplicados nos substratos 1 e 2.

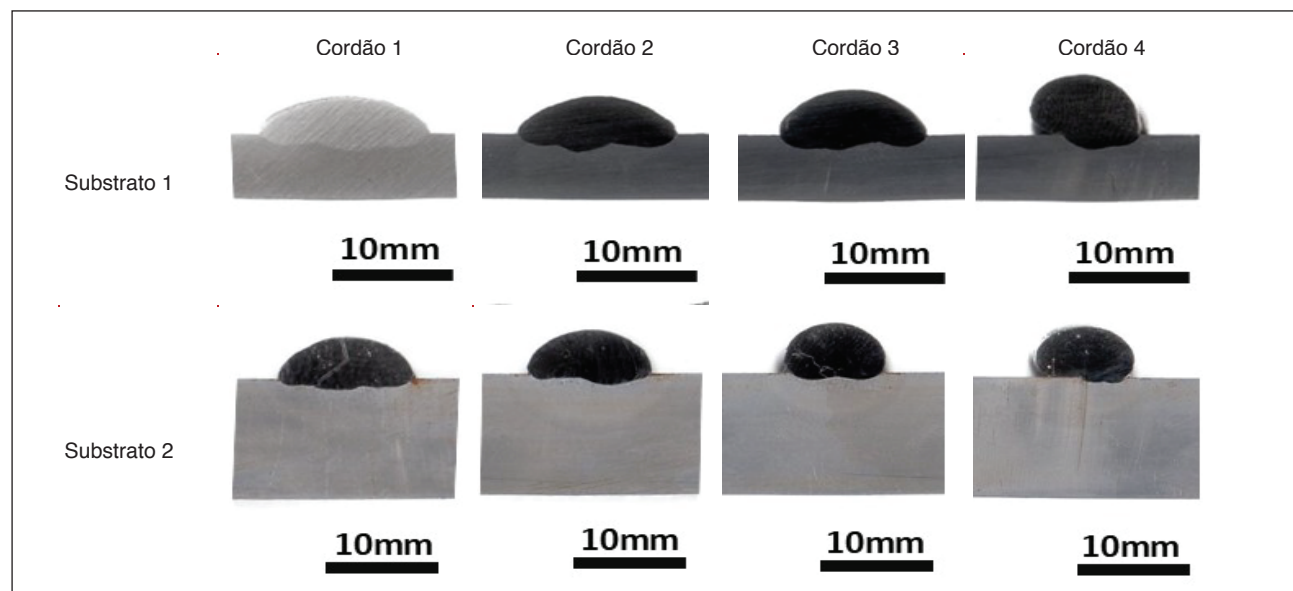


Figura 6: Aspectos geométricos dos cordões aplicados nos substratos 1 e 2.

De acordo com Corrêa⁹ e Gomes et al.¹⁰, o perfil geométrico desejado em soldagem de revestimento são cordões com maiores alturas e larguras, reduzindo a necessidade de muitos passes, favorecendo significativamente na economia de material e de tempo. A maior dificuldade encontrada na realização da soldagem de revestimento foi o ajuste ideal dos parâmetros de soldagem – tendo em vista a grande quantidade de variáveis –, para alcançar as melhores alturas e larguras juntos ao acabamento desejado.

A Tabela 4 expõe os valores médios de altura e largura obtidos nos substratos 1 e 2.

Tabela 4: Valores médios de altura e largura dos cordões.

Cordão	Substrato 1		Substrato 2	
	Largura	Altura	Largura	Altura
1	14,92	3,40	12,03	4,30
2	13,80	3,49	11,24	4,47
3	12,03	4,19	9,12	5,06
4	9,69	5,37	8,74	5,27

A partir de análises, observou-se que a DAP tem forte influência na geometria dos cordões, ou seja, nos valores de altura e largura, tanto no substrato de maior espessura como no substrato de menor espessura. As medições realizadas indicam que conforme a DAP vai sendo aumentada, a largura acompanha esse aumento, porém a altura vai sendo reduzida. Ou seja, quanto maior a DAP, melhor a distribuição do MA na peça soldada (molhabilidade) e melhores os resultados para a soldagem de revestimento. O mesmo fenômeno ocorre no trabalho realizado por Miranda⁷. As Figs. 7 e 8 demonstram a variação da altura e da largura para DAP diferentes.

Para os mesmos parâmetros de soldagem, incluindo a DAP, percebe-se que a diferença de espessura dos substratos tende a

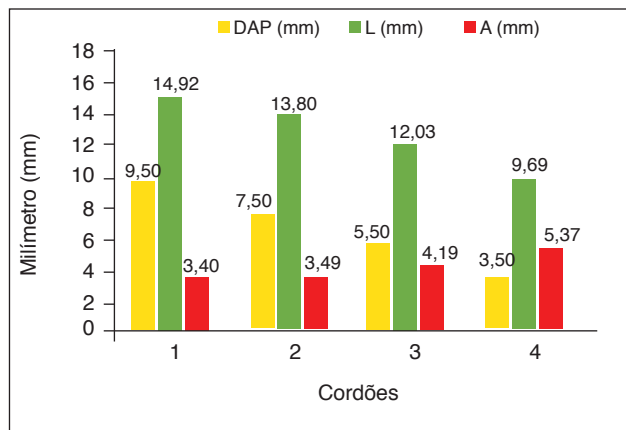


Figura 7: Relação da DAP com altura e largura dos cordões do substrato 1.

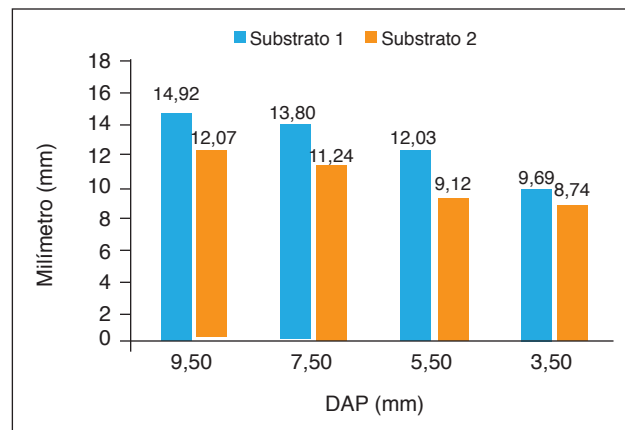


Figura 9: Relação da DAP com a largura dos cordões dos substratos 1 e 2.

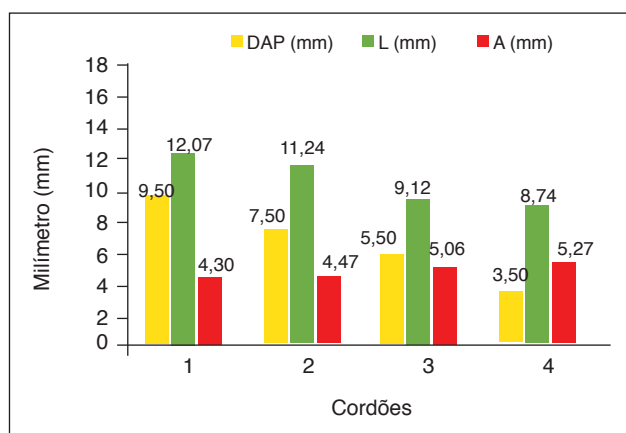


Figura 8: Relação da DAP com altura e largura dos cordões do substrato 2.

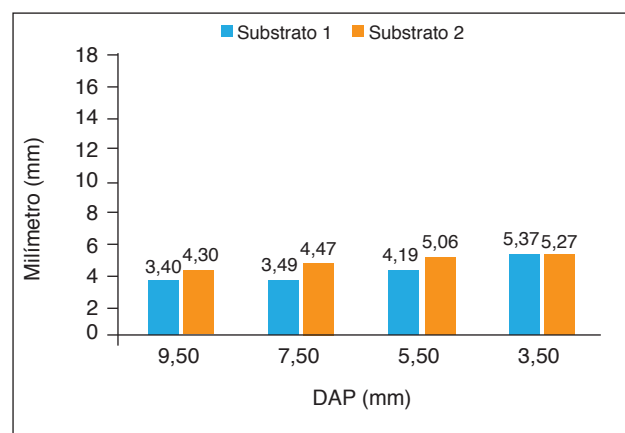


Figura 10: Relação da DAP com a altura dos cordões dos substratos 1 e 2.

influenciar a molhabilidade dos cordões. Conforme pode ser visto na Fig. 9, a largura para a mesma DAP é superior no substrato de menor espessura. O processo inverso ocorre com a altura, pois, tendo em vista que a velocidade de alimentação e a velocidade de soldagem são mantidas constantes, a quantidade de metal depositado é a mesma, logo, para uma mesma DAP a altura tende a ser inferior no substrato de menor espessura (Fig. 10).

A DAP também demonstra ter grande influência nos níveis de diluição. Em seu trabalho, após calcular os níveis de diluição obtidos por cada DAP, Miranda⁷ afirma que à medida que esse parâmetro aumenta, a diluição acompanha esse crescimento, dificultando seu uso em soldagens de revestimentos. Essa afirmação é confirmada no presente trabalho, pois para ambos os substratos, a diluição é diretamente proporcional à DAP, conforme apresentado na Fig. 11.

A Fig. 11 também demonstra que para a mesma DAP, a diferença de espessura dos substratos é fator que afeta diretamente a diluição. O substrato 1, quando submetido a determinada DAP, apresenta maiores níveis de diluição que o substrato 2 submetido às mesmas condições de soldagem. Esse incremento na diluição para a espessura menor pode estar associado ao fato de que espessuras maiores proporcionam três vias de dissipação de calor

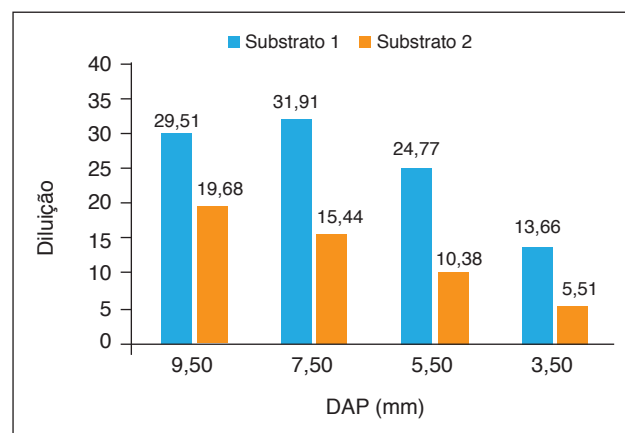


Figura 11: Relação da DAP com a diluição dos cordões dos substratos 1 e 2.

durante a soldagem, enquanto espessuras menores fornecem duas vias de dissipação de calor¹. Assim, para as mesmas condições de soldagem, a taxa de resfriamento é mais lenta em espessuras menores – implicando em maiores penetrações e maiores níveis de diluição. Dessa forma, neste trabalho, o substrato de maior espessura (substrato 2) demonstrou-se mais apropriado para aplicações de revestimentos por soldagem.

A partir dos resultados obtidos por meio do sistema de aquisição de dados, viu-se que a DAP também atua como parâmetro de influência para os valores de tensão. Como visto na Fig. 12, maiores tensões são alcançadas à medida que a DAP aumenta. Em contrapartida, viu-se que a alteração nos valores de corrente não se mostrou significativa, mantendo um valor médio.

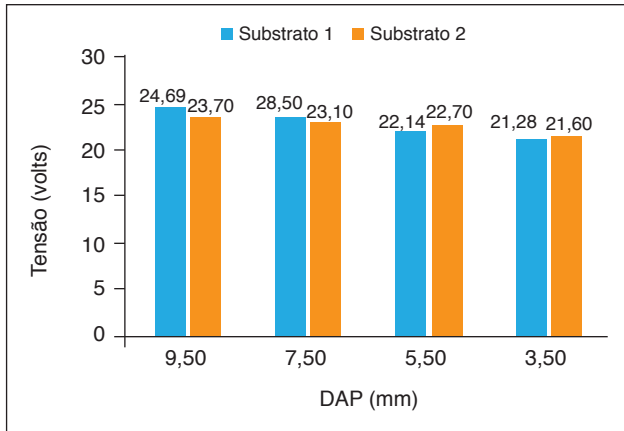


Figura 12: Relação da DAP com tensão média dos cordões dos substratos 1 e 2.

Tendo em vista que a DAP tem forte influência na geometria dos cordões, na diluição e em valores de tensão, para determinar quais condições devem ser adotadas, deve-se levar em consideração fatores de maior importância para aplicação em revestimentos. Se por um lado maiores DAP garantem melhor molhabilidade no substrato de menor espessura, por outro lado provocam maiores níveis de diluição, alterando a composição química do material depositado.

CONCLUSÃO

Com objetivo de estudar as influências da DAP na geometria dos cordões de solda e na diluição de substratos com diferentes espessuras, pode-se concluir que:

- Dos cordões de solda realizados, os maiores valores de largura são alcançados à medida que a DAP é aumentada, enquanto a altura é reduzida;
- Quando os substratos são submetidos às mesmas condições de DAP, maior molhabilidade é alcançada no substrato de menor espessura;
- Para ambos os substratos, a diluição aumenta à medida que a DAP cresce;

- Os níveis de diluição são mais altos para os substratos de menor espessura;
- Embora o MA tenha maior capacidade de molhabilidade nos substratos de menor espessura, os níveis de diluição são mais elevados, fazendo com que o uso dos substratos de maiores espessuras seja mais interessante para aplicações de revestimentos.

REFERÊNCIAS

1. Marques PV, Modenesi PJ, Bracarense AQ. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 4a ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2017.
2. Miranda EC de, Silva CC, Motta MF, Miranda HC de, Farias JP. Avaliação do uso do tecimento sobre o nível de diluição e geometria do cordão de solda na soldagem TIG com alimentação automática de arame frio. Soldag Insp. 2015;20(2):180-90. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/si2002.06>
3. Silva MM da, Batista VB, Maciel TM, Santos MA dos, Brasileiro TL. Otimização de parâmetros do processo de soldagem arco submerso para revestimentos anticorrosivos. Soldag Insp. 2016;21(1):115-24. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/si2101.11>
4. Silva CC, Afonso CRM, Ramirez AJ, Motta MF, Miranda HV de, Farias JP. Aspectos metalúrgicos de revestimentos dissimilares com a superliga à base de níquel inconel 625. Soldag Insp. 2012;17(3):251-63. <https://doi.org/10.1590/S0104-92242012000300009>
5. Elias MS. Avaliação metalúrgica da soldagem de revestimento inox austenítico sobre aço SAE 4130 [dissertação]. Campos dos Goytacazes (RJ): Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2013.
6. Fernandes PEA et al. Soldagem. São Paulo: Senai-SP; 2013.
7. Miranda EC de. Estudo exploratório de parâmetros de soldagem de revestimentos com ligas de níquel empregando o processo TIG com alimentação de arame frio [dissertação]. Fortaleza (CE): Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará; 2009.
8. Sandvik do Brasil S.A. Certificado de qualidade - ER 317L. Metal de adição para soldagem: composição química. Mogi Guaçu: Sandvik do Brasil S.A.; 2010.
9. Corrêa CA. Uma contribuição ao processo de soldagem de revestimento com arame tubular pulsado de um aço CA6NM aplicando o método de Taguchi [tese]. Campinas (SP): Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas; 2018.
10. Gomes JHF, Costa SC da, Paiva AP de, Balestrassi PP. Otimização de múltiplos objetivos na soldagem de revestimento de chapas de aço carbono ABNT 1020 utilizando arame tubular inoxidável austenítico. Soldag Insp. 2011;16(3):232-342. <https://doi.org/10.1590/S0104-92242011000300005>