Unisanta Science and Technology, **2017, 3, July**
Published Online 2017 Vol.6 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Análise do Potencial uso do Processo de Soldagem FCAW-S na Execução de Fundações Profundas

Guilherme Reigada Pinheiro de Souza[1], Jean Romblsperger de Barros[1], Kaique Lucas Cruz[1], Maike de Mattos Carvalho[1], Raul de Oliveira Martins[1], Ricardo Feitosa de Souza[1], Vitor Hugo Godoy Vecchi Lanza[1], Natal de Jesus Gaspar[1,3] e Willy Ank de Morais [1,2]

UNISANTA[1] – Universidade Santa Cecília – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

WILLY ANK SOLUÇÕES [2] – Departamento Técnico
Rua Onze de Junho, 312 A.102 - São Vicente-SP, Brasil- CEP: 11320-160

AGF Engenharia[3] – Departamento Técnico
Rua São Vicente de Paulo, 481 - Centro, Araucária - PR

E-mail*:* vhlnaza@gmail.com
Received march, 2017

Resumo: Os processos de soldagem são largamente empregados em diversos segmentos da indústria Metal-Mecânica, Construção Civil e Naval. Estes buscam a introdução de inovações e a consolidação de técnicas de soldagem modernas e avançadas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi abordar a aplicabilidade do eletrodo arame tubular auto protegido (*FCAW-s*), com ênfase nos aços estruturais empregados em fundações profundas da construção civil. Como resultados, obteve-se um comparativo entre as técnicas de soldagem a arco elétrico FCAW-s e SMAW em relação a tempo, qualidade, custos e produtividade.

Palavras chave: Soldagem; arame tubular; produtividade; aços estruturais; construção civil; fundações profundas.

Analysis of Potential use of FCAW-S Welding Process In Execution of Deep Foundations

Abstract: The welding processes are widely used in various segments of Metal-Mechanical, Civil and Naval Industries. These sectors seek to the introduction of innovations and the consolidation of modern and advanced welding techniques. In this sense, the objective of this study was to study the applicability of self-protecting cored wire electrode (FCAW-s), with emphasis on structural steel used in deep foundations of civil construction. As a result, It was obtained a comparison of the two techniques of electric arc welding (FCAW-S and SMAW), regarding time, quality, cost and productivity.

Keywords: Welding; cored wire; productivity; structural steel; construction; deep foundations.

1. Introdução

Apesar do surgimento de vários processos de soldagem automáticos e semiautomáticos a maioria das operações de soldagem ainda é manual [1]. Isso implica em uma grande dependência da qualidade das juntas soldadas com a habilidade dos soldadores. Infelizmente esta habilidade não é igual entre os soldadores, sendo que alguns possuem maior vocação ou habilidade do que outros para certos processos e condições de soldagem, por exemplo, posições de deposição da solda. Além disso, esta habilidade também não é constante ao longo do tempo.

Dentro deste contexto, os processos de soldagem a arco elétrico são os de maior importância industrial na atualidade, sendo que os mais utilizados estão listados na Tabela 1. Devido à tendência de reação do material metálico fundido com os gases atmosféricos, a maioria dos processos de soldagem por fusão utiliza algum meio de proteção para minimizar estas reações [2].

Copyright © 2017 ISESC.

Tabela 1. Processos de soldagem elétrica mais empregada industrialmente.

Processo	Sigla	Tipo de gás de proteção
Eletrodo revestido	*MMA/SMAW*	Gerado por revestimento/escória
Arco submerso	*SAW*	Gerado por fluxante/escória
TIG	*GTAW*	Uso de gás inerte (Ar)
MIG/MAG	*GMAW*	Uso de gás inerte e/ou reativo
Arame tubular	*FCAW*	Gerado por fluxante/escória e uso de gás inerte/reativo (Ar/CO_2)
Eletroescória	*ESW*	Gerado por fluxante/escória
Eletrogás	*EGW*	Uso de gás inerte

Fonte: Lancaster [1].

O emprego de um processo de soldagem é determinado não apenas pelas normas aplicáveis, mas também pela facilidade de sua execução prática, definida pela disponibilidade de procedimentos, soldadores e equipamentos. Neste aspecto, há uma diferença significativa entre a soldagem em campo e a realizada em fabricas, pois várias restrições práticas de acesso, transporte ou posicionamento interferem com a escolha do método de soldagem [3].

1.2 Fundações Profundas com Estacas Metálicas

Para a execução de fundações sólidas, executadas em terrenos pouco resistentes e profundos, torna-se necessária a realização de um estaqueamento profundo. Um dos principais métodos de execução de fundações profundas [4] é pelo uso de vigas metálicas, que possuem um comprimento padrão de 12m. Como estas vigas são cravadas, formando estacas metálicas, em profundidades que ultrapassam o seu comprimento padrão, torna-se necessária a sua união por talas, conforme exemplificado na Figura 1.

A execução das uniões soldadas entre os perfis constituintes das estacas, empregando-se soldagens adequadas de talas a estes perfis, é assim normatizado e deve ser dimensionado em conformidade com as condições de uso do material na obra.

As normas que devem ser atendidas nesta operação são: NBR 8800 [5]; AWS D1.1 [6] e ASME Sec.II Part.A [7]. Em resumo, com base na norma brasileira de execução de fundações, NBR 6122 [4].

1.3 Uso do Processo SMAW para Execução de Fundações Profundas

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding* – SMAW), também conhecida como soldagem manual a arco elétrico, é o processo de soldagem mais empregado, graças à sua grande versatilidade, ao baixo custo de operação, à simplicidade dos equipamentos necessários e à possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou sujeitos a ventos [2].

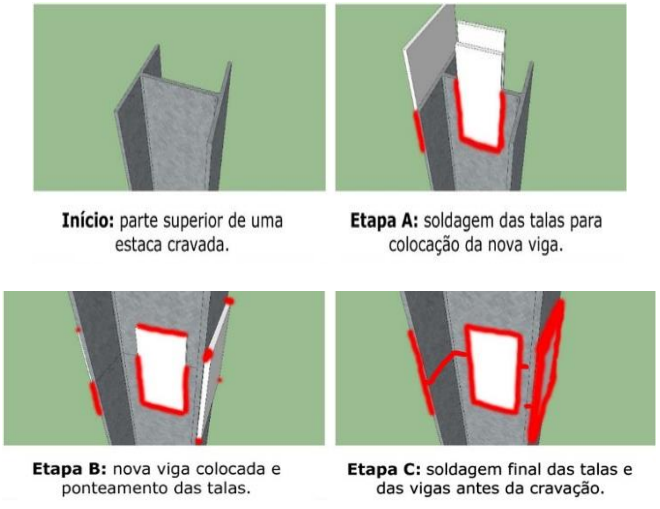


Figura 1. Ilustração do processo de união de perfis metálicos constituintes de uma estaca de uma fundação profunda.

Copyright © 2017 ISESC

As desvantagens do processo são a baixa produtividade, os cuidados especiais que são necessários no tratamento e manuseio dos eletrodos revestidos e o grande volume de gases e fumos gerados durante a soldagem.

Dos consumíveis disponíveis para este processo, o AWS E7018 é o mais empregado para aços estruturais (ASTM A36 e ASTM A572 Gr. 50) devido à sua compatibilidade química e de propriedades mecânicas [9].

A combinação do processo SMAW e consumível AWS E7018 é empregada como condição padrão na construção metálica e, inclusive, para os processos de emenda de vigas em fundações profundas com estacas metálicas.

1.4 Potencial do Processo FCAW

Os arames tubulares foram desenvolvidos para atender às necessidades de aumento de competitividade e redução de custos [1 e 10], por isso, a soldagem por arames tubulares ganhou larga aceitação para aplicações específicas na indústria. Comparativamente com o processo SMAW, o processo FCAW-s é capaz de atingir maiores taxas de deposição e ser aplicado para soldagem em geral ou para situações específicas em reparos, para soldagem fora de posição plana ou de alta deposição.

A Figura 2 ilustra aplicações típicas para o processo de arame tubular auto protegido, nos quais o mesmo apresenta o máximo ganho na soldagem de estruturas de aço em ambientes abertos e em posições de soldagem variadas.

O objetivo deste trabalho é estudar a aplicabilidade do eletrodo arame tubular auto protegido (*Self-Shielded, Flux-Cored Wire* ou FCAW-s), com ênfase nos aços estruturais empregados em elementos da construção civil, notadamente os empregados em fundações profundas.

Neste trabalho foram realizados experimentos comparativos entre a soldagem de chapas na alma de uma viga, ambos constituídos de aço estrutural, para a obtenção de uma emenda.

2. Material e Métodos

Na análise foram empregados os processos soldagem com eletrodo revestido (SMAW) e o processo com arame tubular auto protegido (FCAW-s). Como a posição de soldagem também é um fator importante, cada técnica foi aplicada na posição horizontal (“2G”, conforme a AWS), na posição sobre cabeça (“4G”, conforme a ASME) e uma soldagem mista (2G e 3G) a qual é a real utilizada *in loco*, resultando por fim em Corpos de Prova (CPs) submetidos a análise por ensaios mecânicos e análise metalográfica.

Através de uma junta sobreposta e com solda em filete, conforme mostrada na Figura 3, foram soldados 6 CPs, sendo um na posição 2G (horizontal), outro 4G (sobre cabeça) e outro com soldagem mista, simulando a soldagem em campo, contendo cordões soldados em 3G (vertical descendente) e 2G (horizontal). As posições de soldagem exploradas neste trabalho estão ilustradas na Figura 4.



Figura 2. Emprego prático típico do processo de soldagem com Arame Tubular auto protegido para aços estruturais em posições notoriamente não tradicionais.
(Fonte: LINCOLN ELECTRIC [11]).

Copyright © 2017 ISESC

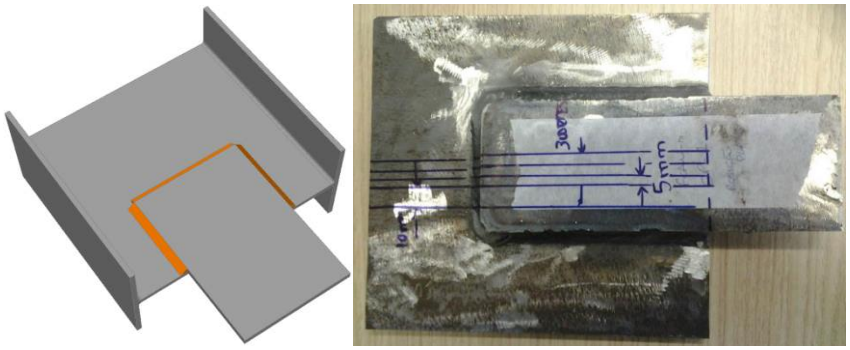
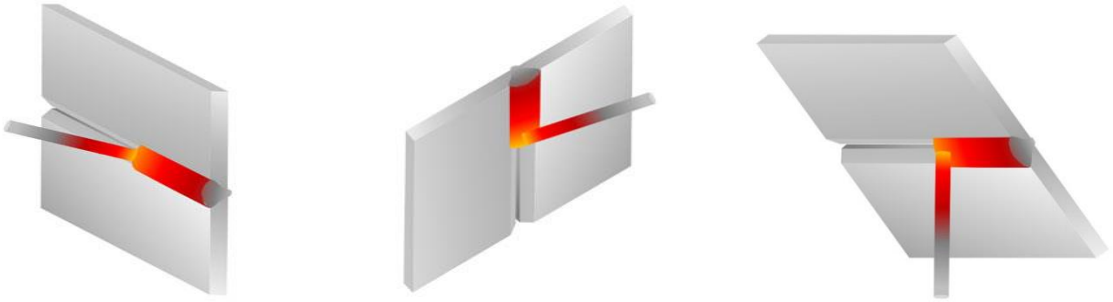


Figura 3. À esquerda: Croqui da junta analisada. À direita: Junta soldada pelo processo FCAW-s e marcada para o corte dos CPs para os ensaios.



2G (horizontal) 3G (vertical) 4G (sobre cabeça)

Figura 4. Posições de soldagem empregadas no estudo, conforme a norma ASME.

Em todos os casos, foi quantificado o tamanho da zona termicamente afetada (ZTA), nos CPs de maior espessura realizar medição de dureza, para todas as posições de soldagem devem ser calculados o aporte térmico e a quantidade de metal depositado utilizando as seguintes Equações:

$$Aporte\ Térmico\left[\frac{kJ}{mm}\right] = 0{,}006 \times \frac{Tensão\ [V] \times Corrente[A]}{Velocidade\ de\ Soldagem\ [\frac{cm}{min}]} \quad (1)$$

$$M = A \times L \times \rho \quad (2)$$

Na Equação (2): M=Massa de metal depositado; A=Área transversal do cordão associada com o metal depositado; L=Comprimento do cordão e ρ=Densidade da solda (para aço 7,8 g/cm³) [12].

Para realizar as soldagens foram empregados um termômetro infravermelho Mimipa MT-350 e um alicate amperímetro Mimipa ET-3910 para fazer o acompanhamento da temperatura, da voltagem e da corrente de soldagem e os seguintes equipamentos:

- soldagem SMAW (eletrodo revestido):
  - Máquina de soldagem Miller, modelo Fonte inversora CST 280;
  - Consumível Esab E7018 – Ø 2,5 mm

Copyright © 2017 ISESC

- soldagem FCAW-s (arame tubular auto protegido):
  - Máquina de soldagem Miller, modelo XMT 350 cc/cv;
  - Consumível Lincoln Inner shield NR-211-MP – Ø 2,0 mm

Para a avaliação dos CPs, empregou-se macrografia, ensaio de dureza Brinell e ensaios de tração.

Para o ensaio de macrografia, foram utilizadas lixas 220 e 400 e Nital com concentração de 5%. Após o ataque químico macrográfico, empregou-se um microscópio estereográfico da marca PanTec para determinar os tamanhos relativos (áreas da seção reta) do metal adicionado pela solda (A) e da zona fundida no metal base (B).

As áreas quantificadas através do *software* Photoshop® permitiram obter a diluição (δ) em cada uma das juntas soldadas pela equação:

$$\delta = \frac{B}{A+B} (\times\ 100\%) \quad (3)$$

Onde: A é a área da seção reta metalográfica associada ao metal de solda depositado e B é a área da seção reta metalográfica do metal de base que foi fundida pelo metal adicionado e a ele misturado (diluído), conforme ilustrado pela Figura 5.

A análise das amostras metalográficas também permitiu dimensionar o tamanho e a localização da Zona Termicamente Afetada (ZTA). Com a correta localização das três regiões em cada uma das juntas soldadas, foram realizados ensaios de dureza nessas regiões empregando-se a escala Brinell, com carga de 187,5 kgf e esfera de 2,5mm. Para estas medições empregou-se um durômetro analógico de dureza marca Heckert.

O ensaio de tração foi executado com equipamento EMIC modelo DL10000, empregando CPs cortados de cada conjunto soldado (Figura 3), conforme Figura 6.

Após o ensaio de tração, foram efetuadas análises fractográficas com auxílio de microscópio estereoscópico utilizando ampliações óticas de 10x, 20x e 40x.

3. Resultados e Discussões

A Tabela 2 apresenta os resultados, para cada posição de soldagem, os tamanhos da zona termicamente

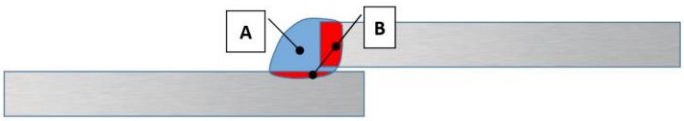


Figura 5. Geometria de soldagem empregada neste trabalho e regiões mensuradas metalograficamente para determinação da diluição (δ).



Figura 6. À esquerda: Máquina de tração EMIC DL10000. À direita: CPs soldados através dos processos SMAW e FCAW-s para ensaios mecânicos (tração e dureza).

Copyright © 2017 ISESC

afetada (ZTA), a temperatura da ZTA após soldagem, durezas, resistência a tração, aporte térmico e quantidade de metal depositado.

As Figuras 7 e 8 ilustram os gráficos obtidos a partir dos ensaios de tração dos CPs obtidos dos processos de soldagem SMAW e FCAW-s nas três posições de soldagem.

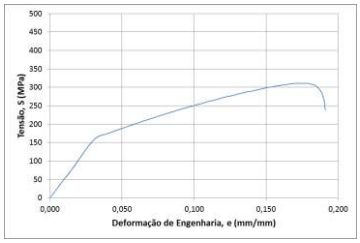
Pelos dados da Tabela 2 verificou-se que as juntas soldadas em ambos os processos foram compatíveis no parâmetro de resistência mecânica com uma exceção para o caso da soldagem FCAW-s na posição 2G.

Neste caso, houve interferência do operador no processo de soldagem que não havia regulado o equipamento da maneira adequada. Apesar de ser possível efetuar uma nova soldagem com os parâmetros adequados, preferiu-se deixar este resultado no trabalho para ilustrar como é importante seguir as especificações das condições de soldagem, explicitadas na Especificação do Procedimento de Soldagem – EPS.

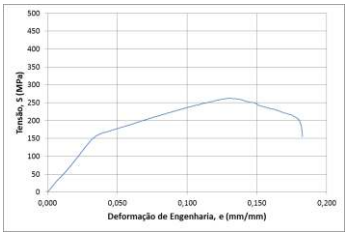
Os fatores relacionados à produtividade indicam vantagem na aplicação do arame tubular, devido à sua velocidade de operação, indicada na Tabela 2 pela taxa de deposição verificada, desde que garanta a qualidade das soldas.

Tabela 2. Resultados numéricos médios das experiências comparativas.

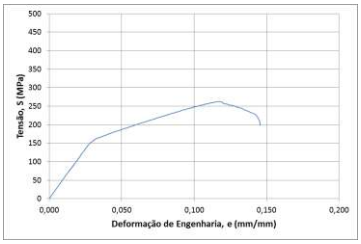
Variável	SMAW			FCAW-s		
	2G	4G	2G/3G	2G	4G	2G/3G
Tamanho da ZTA (mm)	2,9	2,1	2,2	2,3	2,6	1,8
Temperatura da ZTA (mm)	245	425	400	250	400	350
Dureza média metal base	80	81	80	90	81	80
Dureza média metal de adição	92	90	92	92	90	92
Dureza média ZTA	89	90	89	89	90	89
Resistência à tração (MPa)	278	253	267	213	383	245
Aporte térmico (kJ/mm)	10,5	7,47	7,23	5,84	7,20	5,20
Diluição (%δ)	17%	15%	21%	15%	14%	19%
Metal depositado (g/min.)	21,03	18,72	16,14	34,04	27,94	35,32



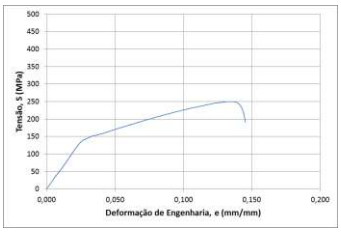
SMAW– 2G CP1



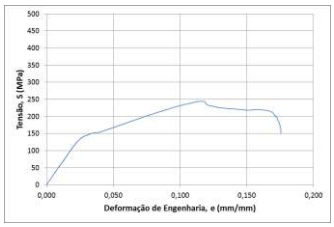
SMAW– 2G CP2



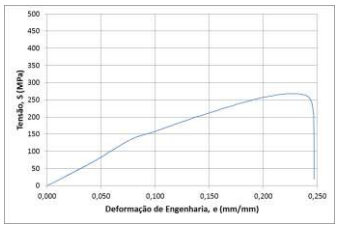
SMAW– 2G CP3



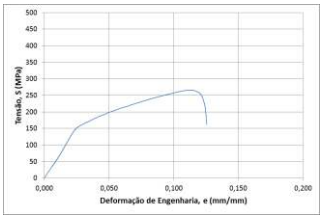
SMAW– 4G CP1



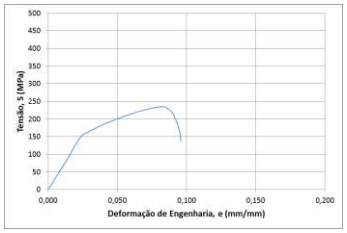
SMAW– 4G CP2



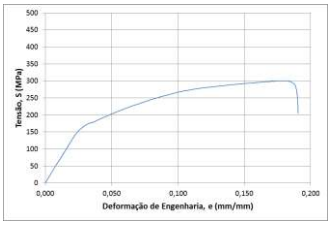
SMAW– 4G CP3



SMAW– 2G/3G CP1



SMAW– 2G/3G CP2



SMAW– 2G/3G CP3

Figura 7. Curvas de tensão de engenharia versus deformação de engenharia (pelo deslocamento do travessão da máquina de tração) para os CPs soldados pelo processo SMAW.

Copyright © 2017 ISESC

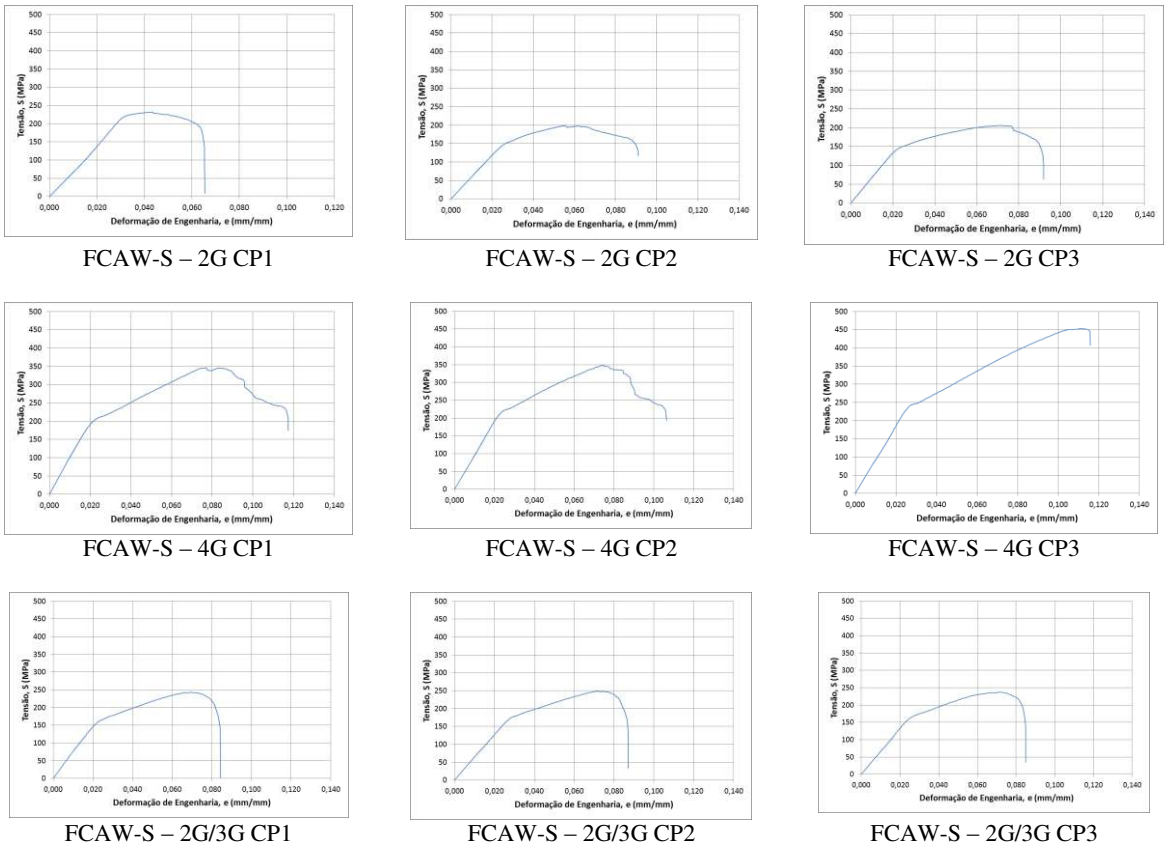


Figura 8. Curvas de tensão de engenharia versus deformação de engenharia (pelo deslocamento do travessão da máquina de tração) para os CPs soldados pelo processo FCAW-s.

Os resultados apresentam uma taxa de deposição e velocidade maiores 33% a 54% no arame tubular em relação ao eletrodo revestido, dependendo da posição de soldagem.

É importante salientar que as experiências foram realizadas em uma condição simulada (Figura 3) e a análise da produtividade não pode ser baseada apenas na velocidade de deposição para este cenário. O processo SMAW requer acondicionamento dos consumíveis e alimentação manual frequente destes consumíveis durante a execução da soldagem o que requer um tempo significativo quando se consideram grandes quantidades de juntas sendo executadas. Em um outro trabalho sendo apresentado neste evento são apresentados dados verificados em campo que aponta um ganho de produtividade de obras civis de 8 a 10 vezes [13].

Adicionalmente, o aporte térmico do processo FCAW-s obtido e descrito na Tabela 2 foi menor do que quantificado pelo processo SMAW. Esta é mais uma vantagem do processo, que é traduzida por uma menor severidade do processo FCAW-s nas partes sendo soldadas em relação ao processo de eletrodo revestido.

Os dados de diluição demonstram que o processo SMAW gerou uma junta soldada com maior penetração, apesar de que o formato do cordão de solda é mais convexo do que o cordão do processo FCAW-s, nas condições dos testes. Como as composições dos consumíveis e do metal base são muito similares, considerando o grau de diluição verificada, o impacto desta diluição torna-se pequeno neste contexto.

Análises fractográficas obtidas por tração permitiram identificar que houve um excessivo número de descontinuidades presentes nas juntas obtidas pelo processo FCAW-s obtidas na posição sobre cabeça (4G), conforme exemplificado na Figura 9.

Essas descontinuidades influenciaram o comportamento mecânico da junta soldada, conforme pode ser observado nas respectivas curvas de tração das Figuras 8 e 9 para esta posição (4G).

Particularmente as curvas tensão versus deformação para o CP1 e CP2, obtidos pela soldagem na posição 4G,

Copyright © 2017 ISESC

apresentam uma variação irregular de carga após atingir a carga máxima durante o ensaio.

A irregularidade no comportamento plástico dos CPs obtidos na posição sobre cabeça ocorreu na etapa de estricção, que se desenvolve pelo crescimento e coalescimento de trincas dúcteis ao redor de pequenas ou grandes descontinuidades [14].

A fractografia apresentada na Figura 9 para a amostra FCAW-S – 4G CP2, indica uma maior quantidade de descontinuidades, que por sua vez tornam-se pontos de nucleação de trincas frágeis localizadas durante o ensaio de tração. Esta condição produz curvas tensão versus deformação menos suaves e mais irregulares, o que é uma forte indicação de um processo mecânico mais instável destes CPs.

A amostra FCAW-S – 4G CP3 apresentou uma menor quantidade de descontinuidades na região de início da propagação da fratura final (parte inferior da imagem), que permitiu uma resposta mecânica muito mais adequada ao material, em termos de estabilidade do processo de deformação plástica.

Se a quantidade de descontinuidades destas juntas fosse muito maior, especialmente na região de início de propagação da falha final dúctil, que coincide com os pontos de maior concentração de tensão, a integridade de junta estaria seriamente comprometida.

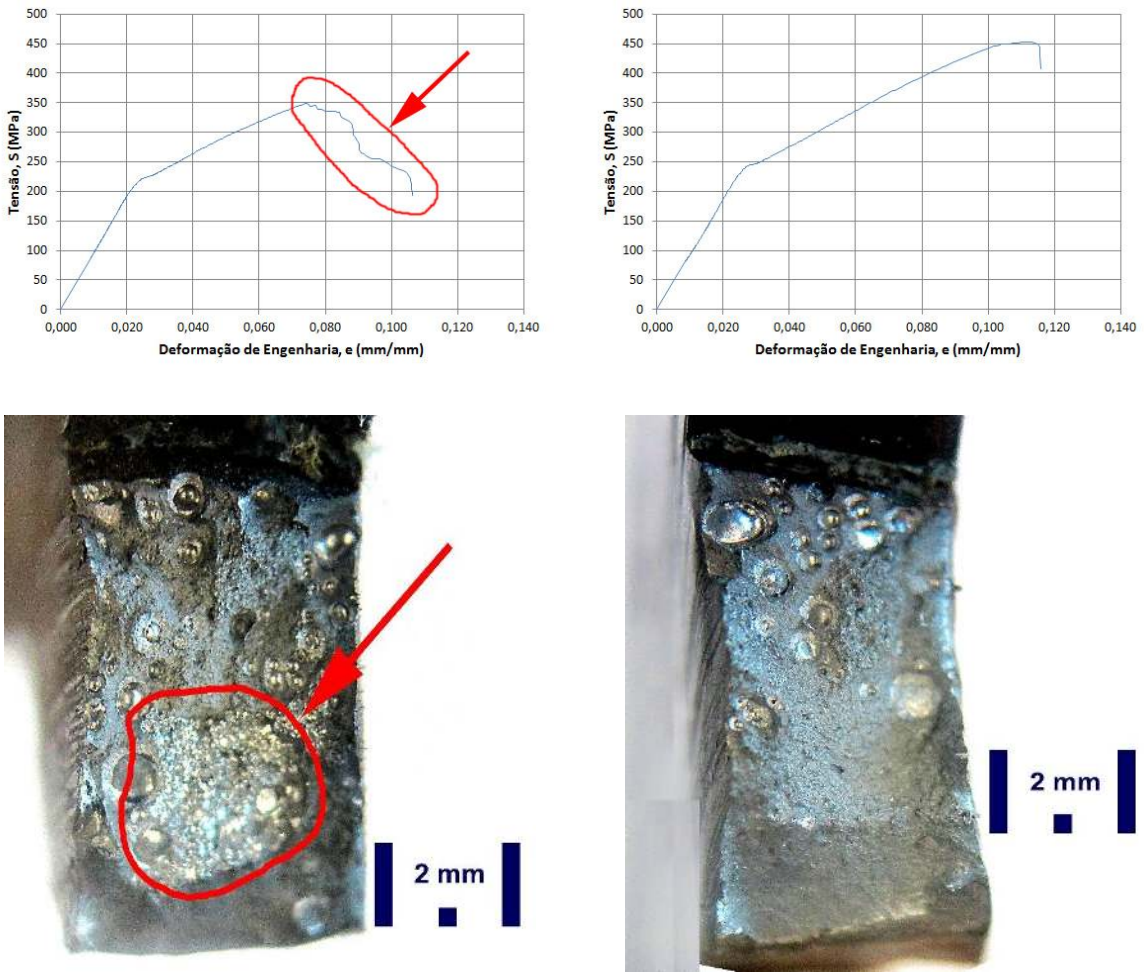


Figura 9. Duas condições de fratura de CPs soldados pelo processo FCAW-s na posição sobre cabeça (4G) e suas respectivas curvas de tração (tensão versus deformação de engenharia). À esquerda FCAW-S – 4G CP2 e à direita FCAW-S – 4G CP3. As indicações à esquerda ilustram uma região de propagação frágil da fratura final e sua influência na curva tensão versus deformação.

Copyright © 2017 ISESC

A forma na qual ocorre a deformação plástica e sua evolução em uma junta soldada é uma condição importante ao desempenho desta junta já que nas suas aplicações, as juntas soldadas apresentam regiões de concentrações de tensão que levam ao material a entrar em deformação plástica para acomodar estas tensões [15]. A capacidade de uma junta soldada apresentar ductilidade adequada é empregada intrinsecamente nos cálculos de resistência estrutural, conforme explicado por Machado em seu artigo de revisão sobre o dimensionamento de juntas soldadas (de filete) [15].

Mais uma vez este resultado pode ser atribuído ao soldador que revelou, durante o trabalho prático, que teria pouca experiência com o processo FCAW-s na posição sobre cabeça, mas que é bem familiar ao processo SMAW nesta mesma posição.

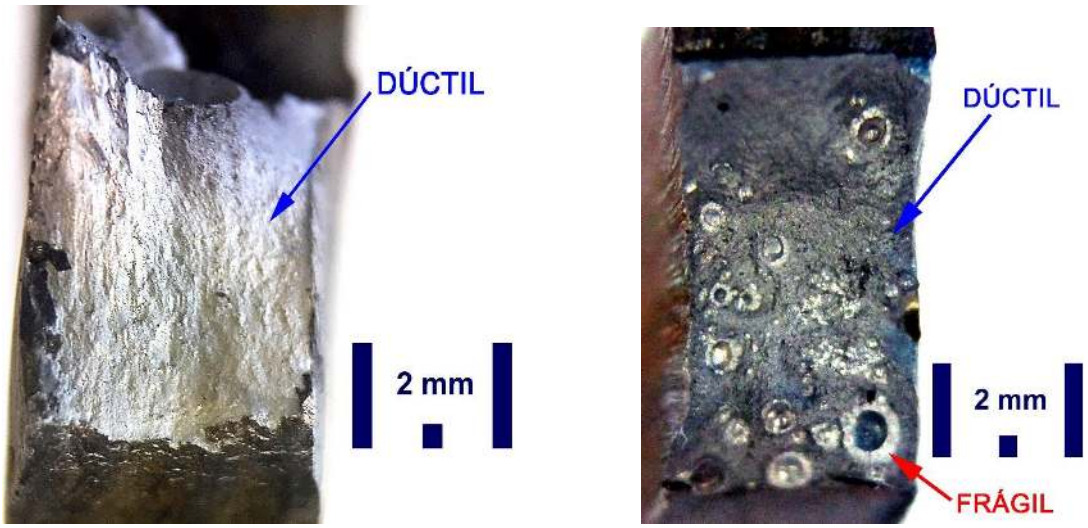
As fractografias dos CPs soldados pelos processos SMAW e FCAW-s nesta mesma posição (4G), ilustrados na Figura 10, evidenciam esta informação.

Importante salientar que o equipamento de soldagem e demais acessórios foram avaliados imediatamente antes da experiência, tendo sido aprovados, assim como seu funcionamento foi acompanhado de perto pelo controle da corrente e tensão de soldagem.

Essa condição da influência da habilidade manual do soldador, já deparada por alguns dos autores deste trabalho [16, 17], reforça a necessidade de treinamento e da qualificação dos profissionais envolvidos, especialmente na execução de processos menos conhecidos no mercado, como é o caso do processo FCAW-s.

4. Conclusões

As condições de operação do processo FCAW-s, que evita a demanda de tempo e de equipamentos para a secagem de consumíveis ou de troca destes, aliada à sua maior velocidade de operação e de taxa de deposição oferecem vantagens significativas. Baseando-se nos métodos utilizados neste trabalho, pode-se concluir que a técnica de soldagem a arco elétrico com Arame Tubular Auto protegido (FCAW-s) é potencialmente mais eficaz do que o processo de soldagem por Eletrodo Revestido (SMAW) particularmente para a soldagem de estacas



SMAW– 4G CP1 FCAW-S – 4G CP1

Figura 10. Comparação entre as superfícies de fratura dos CPs soldados na posição sobre cabeça (4G) pelo processo SMAW (à esquerda) e FCAW-s (à direita) pelo mesmo soldador: a execução do processo FCAW-s na posição sobre cabeça gerou descontinuidades e fragilidade na junta soldada reveladas pela fractografia ao contrário do que ocorreu no processo SMAW.
(A tonalidade das fotos é diferente devido ao contraste das superfícies)

Copyright © 2017 ISESC

metálicas. Entretanto, também foi observado que a qualidade das juntas obtidas pelo processo FCAW-s foi prejudicada pela presença de descontinuidades formadas durante a soldagem. As descontinuidades, observadas pela análise fractográficas de CPs rompidos em tração, tornaram-se pontos de nucleação de fraturas frágeis cuja presença e formação refletiram nas curvas de tensão deformação registradas com grande sensibilidade.

Referências

1. LANCASTER, J. Handbook of structural welding. Cambridge (UK): Abington Hall, 1997. Cap. 2, p. 56-113.
2. MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani; BRACARENSE, Alexandre Q. Soldagem Fundamentos e Tecnologia. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Metalúrgica. Belo Horizonte, 2007.
3. MORAIS, W.A.; SAMPAIO, G.G. Adequação do Processo de Fabricação de Juntas Aluminotérmicas para Trilhos Ferroviários – Revisão. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 70º Congresso da ABM; 2015; Rio de Janeiro, Brasil. São Paulo: ABM; 2015.
4. ABNT NBR 6122:1996. Projeto e execução de fundações, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996.
5. ASTM A572/A572M:15. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2015.
6. ABNT NBR 8800:2008. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008.
7. AWS D1.1/D.1.1M. Structural Welding Code – Steel (Approved as American National Standard), AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010
8. ASME Sec. II, Part C. SFA-5.20/SFA-5.20M. Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding, AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2010.
9. FORTES, C. VAZ, C.T. Apostila de Eletrodos Revestidos. ESAB. 2005. (também disponível em: http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf <Acesso em 10/06/2015>).
10. ESAB. Processos de Soldagem: Arames Tubulares. Centro de Conhecimento ESAB - disponível em: http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_arames_tubulares.cfm. <Acessado em 16/Dez./2014>.
11. LINCOLN ELECTRIC. FCAW-S Basics: Fast, No Gas Cylinders Required – disponível em: http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/fcaws-basics.aspx. <Acessado em 1º/Abr./2014.
12. MORAIS, W.A.; DIOGO, C.P. Características definidoras das aplicações dos aços planos - Parte 1: características físicas e propriedades mecânicas. Revista do Aço, São Paulo, v. 12, p. 18-23, Ago. 2014.
13. ALVES, M.B.; SAMPAIO, G.G; SAMPAIO, R.A.; BUENO, F.P. MORAIS, W.A. Aumento de Produtividade na Execução de Fundações Profundas pela Introdução de Inovações - Caso INO//FAST®. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 71º Congresso da ABM; 2016; Rio de Janeiro, Brasil. São Paulo: ABM; 2016.
14. MORAIS, W.A.; MAGNOBOSCO, A.S.; MENEZES NETO, E. B. Metalurgia Física e Mecânica Aplicada. 2ª Edição. São Paulo: ABM; 2008. Mód. 4 – Cap.2 Fratura dos Metais; p. 379-414.
15. MACHADO, I.G. Dimensionamento de Juntas Soldadas de Filete: uma revisão crítica. Soldagem & Inspeção. São Paulo, Vol.16, No. 2, p.189-201, Abr/Jun 2011.
16. BLANCO, A. J.; HIGA, J. S.; NUNES, M. A. ; MORAIS, W. A. Microestrutura e Propriedades Mecânicas de uma junta Soldada obtida por Processo de Soldagem Manual Gas Metal Arc Welding. Unisanta Science & Technology, v. 4, p. 55-63, 2015.
17. MORAIS, Willy Ank de; SAMPAIO, G. G. . Técnicas e Cuidados na Soldagem de Tubos. Siderurgia Brasil, v. 16, p. 34-38, 2015.

Copyright © 2017 ISESC