



EFEITO DA TÉCNICA DA ENERGIA SOBRE A EXTENSÃO DA ZAC NA SOLDAGEM DE REVESTIMENTO COM O PROCESSO TIG COM ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE ARAME FRIO¹

Edvan Cordeiro de Miranda²
Cleiton Carvalho Silva³
Marcelo Ferreira Motta⁴
Hélio Cordeiro de Miranda⁵
Jesualdo Pereira Farias⁶

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da Técnica da Energia (TE) sobre a área, extensão e microestrutura da ZAC na soldagem utilizando o processo TIG com alimentação de arame frio, em único passe, visando a aplicação futura em revestimento de ligas de níquel UNS N06625, em substratos de aço C-Mn. As soldagens foram realizadas utilizando 3 níveis de energia de soldagem, sendo estes obtidos por duas técnicas de energia, alteração da corrente (tipo I) e da velocidade de soldagem (tipo V). A determinação da área, extensão e microestrutura da ZAC foi obtida através da análise da seção transversal. Os resultados mostraram que quando a energia de soldagem é alterada pela variação da corrente de soldagem (tipo I) ocorre uma significativa alteração na ZAC, enquanto que para a alteração da energia com a mudança da velocidade de soldagem (tipo V), a ZAC permanece praticamente constante.

Palavras-chave: ZAC; Técnica da energia; Ligas de níquel; TIG.

EFFECT OF ENERGY TECHNIQUE ON THE EXTENT OF HAZ IN HARDFACING WITH THE GTAW PROCESS WITH AUTOMATIC WIRE FEEDING COLD

Abstract

This paper aims to evaluate the effect of the Energy Technique (TE) on the area, size and microstructure of the HAZ using the GTAW cold wire feed process in one pass, aiming future application of nickel based alloy weld overlay. The welds were performed using 3 levels of energy welding, which are obtained by two different energy techniques, changing the current (type I) and the welding speed (type V). The determination of the area and length of the HAZ was obtained by analyze the cross section. The results showed that when the welding energy is changed by varying the welding current (Type I) there is a significant change in the HAZ, while for the change of energy by the changing the welding speed (Type V), the HAZ remains almost constant.

Keywords: ZAC; Energy technique; Nickel alloy; GTAW.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC)–Fortaleza-CE.

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC)–Fortaleza-CE.

⁴ Doutor e professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC)–Fortaleza-CE.

⁵ Doutor e professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC)–Fortaleza-CE.

⁶ Doutor e professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC)–Fortaleza-CE.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias do Setor de Petróleo e Gás Natural buscam cada vez mais soluções para minimizar o desgaste em seus equipamentos, o que resulta na necessidade cada vez maior de fabricar equipamentos que combinem ótimas propriedades mecânicas com excelente resistência à corrosão. Alguns materiais apresentam estas características como os aços inoxidáveis ferríticos, aços inoxidáveis austeníticos, martensíticos, duplex, endurecidos por precipitação e as ligas de níquel. Atualmente, os materiais mais utilizados são os aços inoxidáveis devido ao seu menor custo quando comparado com as ligas de níquel, logo, em determinadas aplicações de corrosão severa, os aços inoxidáveis não apresentam um desempenho satisfatório, todavia, as ligas de níquel se apresentam como uma boa alternativa devido a alta resistência a corrosão.

A liga de níquel UNS N06625 apresenta características como boa resistência a tração, a fluência, é uma liga de fácil fabricação e de boa soldabilidade, apresenta ainda uma boa resistência à corrosão para diversos ambientes corrosivos.⁽¹⁾

A fabricação de equipamentos empregando integralmente estas ligas é inviável devido ao seu elevado custo. Geralmente, os equipamentos são fabricados com materiais menos nobres como aços C-Mn e baixa liga e, em seguida, revestidos com ligas que apresentem uma combinação de excelentes propriedades mecânicas e alta resistência à corrosão e corrosão sob tensão.

A aplicação de revestimentos em equipamentos industriais é realizada através da deposição de uma camada de material com características desejáveis (resistência à corrosão e resistência ao desgaste) sobre um substrato menos nobre. Os revestimentos podem ser feitos pelos principais processos de soldagem, tais como MIG/MAG, arame tubular, arco submerso, TIG, dentre outros. Um dos processos que pode ser empregado para soldagem de revestimento com ligas de níquel é o TIG com alimentação de arame frio.

O processo TIG com alimentação automática de arame apresenta um bom controle de energia, além de garantir alta qualidade ao depósito devido à alta estabilidade do arco. Devido a alimentação de arame ser independente do arco, a quantidade de calor que chega a peça é reduzida, podendo acarretar em menores níveis de diluição. Estas características do processo TIG com alimentação de arame frio viabilizam sua aplicação para revestimentos de componentes ou peças das indústrias do Setor de Petróleo e Gás Natural.

Valores baixos de diluição são desejáveis para manter a composição química do metal de solda o mais próximo possível do metal de adição e, conseqüentemente sua resistência a corrosão.⁽²⁾ Uma quantidade excessiva de ferro (Fe) diluído no revestimento pode reduzir a sua resistência a corrosão.⁽³⁾ Baseado nisso o teor de ferro permitido no revestimento é de 5% de sua composição química, para determinadas aplicações os teores de Fe abaixo de 10 % são aceitáveis.⁽⁴⁾

A diluição é resultado do ajuste de determinados parâmetros, como a quantidade de calor que é fornecida ao substrato, quantidade esta que pode ser controlada pela energia de soldagem. Esta energia é dependente tanto da potência do arco quanto da velocidade de soldagem, podendo ser alterada modificando um dos dois parâmetros. De acordo com a forma que se altera a energia de soldagem pode-se potencializar uma característica desejada.

Recentes trabalhos têm mostrado que a variação da energia de soldagem através da corrente ou da velocidade de soldagem causam níveis de diluição distintos.⁽⁵⁾ No entanto, embora haja diferença de diluição para o mesmo nível de

energia, acredita-se que as alterações metalúrgicas na ZAC sejam alteradas de acordo com o nível de diluição. Baseado nos fatores apresentados, o presente trabalho tem por objetivo demonstrar que ao alterar o nível de energia irá acarretar em mudanças na extensão e microestrutura da ZAC.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As soldagens foram realizadas com simples deposição de arame eletrodo ERNiCrMo-3 (UNSN06625) em chapas de aço carbono ASTM A516 Gr60 nas dimensões de 200 x 50 x 12,5 mm cuja composição química é apresentada na Tabela 1. O processo de soldagem utilizado foi o TIG com alimentação automática de arame frio. Para realização das soldagens foi utilizado uma fonte eletrônica multiprocesso, um cabeçote para alimentação automática de arame frio, uma tocha TIG acoplada com um sistema de ajuste da posição do arame (Figura 1), e um robô industrial (Figura 2). Durante as soldagens foi utilizado um sistema de aquisição dos sinais de tensão e de corrente.

Para realização deste estudo foi utilizada corrente contínua e argônio puro como gás de proteção, foram mantidas constante: a vazão do gás de proteção em 15 l/min; a velocidade de alimentação de 6 m/min; e o ângulo de alimentação do arame em 50° (Figura 3), a Distância Ponta do Eletrodo a Peça (DPEP) em 6 mm e a Distância da Ponta do Arame a Peça (DPAP) em 3 mm, a alimentação de arame foi realizada na frente do arco de soldagem.

Tabela 1: Composição química do metal de base e arame eletrodo segundo o fabricante

Item	Composição, peso %							
	Ni	C	Cr	Mo	Fe	Al	Mn	Si
ASTM A516 Gr60	0,01	0,15	0,02	0,01	Bal.	0,02	0,95	0,2
UNSN06625 (ERNiCrMo-3)	Composição, peso %							
	Ni	C	Cr	Mo	Fe	Cu	Al	Ti
	61	0,05	21,5	9	2,5	-	0,2	0,2
	Nb	Mn	Si					
	3,6	0,2	0,2					



Figura 1. Tocha de soldagem com sistema para ajuste do arame.



Figura 2: Robô industrial.

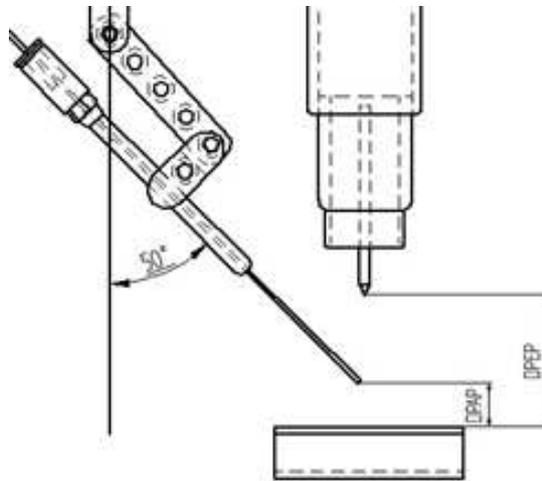


Figura 3. Desenho esquemático do ângulo de alimentação.

Foram utilizados 3 níveis de energia de soldagem (Tabela 2), sendo estes obtidos por duas técnicas de energia, técnica Tipo I e técnica Tipo V. A técnica Tipo I indica que a mudança no nível de energia foi realizada mantendo a velocidade de soldagem constante e alterando apenas a corrente de soldagem. A técnica Tipo V significa que a mudança no nível de energia foi realizada mantendo a corrente de soldagem constante e alterando apenas a velocidade de soldagem.

Tabela 2. Parâmetros para soldagem variando a TE, utilizando o eletrodo ERNiCrMo-3

Ensaio	Energia (kJ/cm)	Corrente Eficaz (A)	Velocidade de Soldagem	Técnica da Energia
1	9,6	223	25	Tipo I
2	12,3	285	25	Tipo I
3	14,8	343	25	Tipo I
4	9,6	285	32	Tipo V
5	12,3	285	25	Tipo V
6	14,8	285	21	Tipo V

O comprimento total do cordão de solda foi de 180 mm. Para a análise metalográfica foram retiradas três amostras do corpo de prova, com 10 mm cada, no

início, meio e fim, descartando 15 mm em cada borda do cordão. A determinação da área e da extensão da ZAC, bem como do nível de diluição foi obtida através da análise da seção transversal. A Figura 4 mostra as características geométrica medidas.

A preparação das amostras para metalografia consistiu de um lixamento até a granulometria de 1200, seguida por uma etapa de polimento com pasta de diamante de 3 μm , 1 μm e 1/4 μm . Posteriormente seguido de um ataque químico por imersão com nital 2% durante 20 s, para revelar o perfil geométrico do cordão de solda, extensão e microestrutura da ZAC.

De forma a verificar a influência dos fatores de controle sobre as variáveis de resposta foi realizada uma avaliação estatística empregando análise de variância (ANOVA) através de um programa de computador.

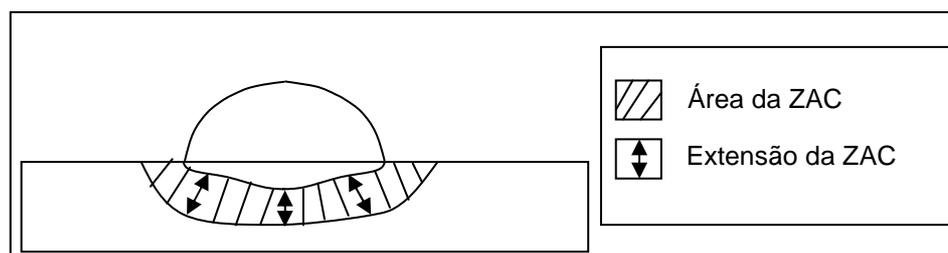


Figura 4. Geometria do cordão de solda.

3 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios para avaliação da Técnica da Energia (TE) sobre a área da ZAC podem ser observados conforme Tabela 3. Pode-se observar através desta tabela um aumento da área e extensão da ZAC com o aumento do nível de energia para a técnica Tipo I, já para técnica Tipo V têm-se um comportamento praticamente constante da área e da extensão da ZAC com o aumento da energia.

Tabela 3. Resultado das soldagens com variação da TE

Ensaio	Posição	Energia	TE	Diluição (%)	ZAC (mm ²)	Extensão da ZAC (mm)
1	Início	9,6	Tipo I	4,94	9,64	1,52
1	Meio	9,6	Tipo I	4,44	10,21	1,56
1	Fim	9,6	Tipo I	6,73	10,61	1,49
2	Início	12,8	Tipo I	14,75	14,25	1,58
2	Meio	12,8	Tipo I	13,25	15,06	1,63
2	Fim	12,8	Tipo I	11,40	14,81	1,55
3	Início	14,8	Tipo I	29,40	24,38	2,21
3	Meio	14,8	Tipo I	28,45	27,35	2,48
3	Fim	14,8	Tipo I	28,53	28,07	2,44
4	Início	9,6	Tipo V	20,81	13,98	1,65
4	Meio	9,6	Tipo V	17,97	13,42	1,70
4	Fim	9,6	Tipo V	18,55	15,98	1,84
5	Início	12,8	Tipo V	14,75	14,25	1,58
5	Meio	12,8	Tipo V	13,25	15,06	1,63
5	Fim	12,8	Tipo V	11,40	14,81	1,55
6	Início	14,8	Tipo V	19,25	17,76	1,71
6	Meio	14,8	Tipo V	16,60	17,36	1,84
6	Fim	14,8	Tipo V	15,16	17,43	1,69

A Figura 5 mostra a seção transversal das amostras soldadas analisando a Técnica da Energia (TE). Pode-se observar que para o menor nível de energia a técnica Tipo I apresenta uma menor área da ZAC comparada com a técnica Tipo V, efeito contrário é visualizado para a energia mais alta, para a energia intermediária o efeito é igual para as duas técnicas.

Com os resultados obtidos, foi realizada uma análise estatística de variância para verificar a influência da técnica da energia de maneira isolada sobre as características geométricas do cordão de solda. No qual os valores do nível de significância “ α ”, calculados a partir da análise de variância realizada para verificar a influência da técnica da energia sobre as variáveis de resposta, são mostrados na Tabela 4.

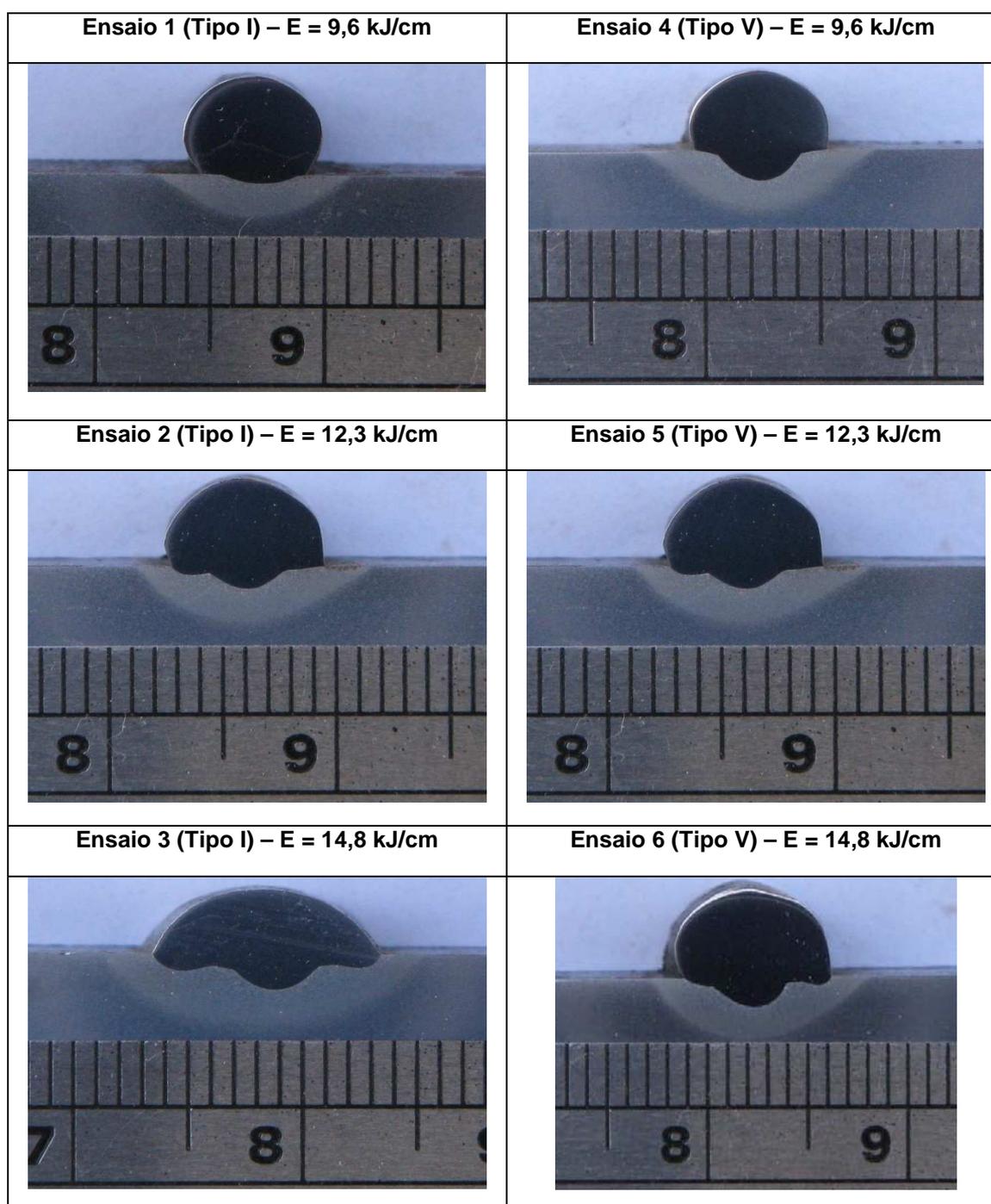


Figura 5. Seção transversal cordões de solda dos ensaios realizados.



Tabela 4. Influência da Técnica da Energia (TE) sobre as variáveis de resposta

Variáveis de Resposta	Nível de Significância "α"
* Reforço	0,000
* Largura	0,000
* Diluição	0,000
Área da ZAC	0,000
Extensão da ZAC	0,000

* Dados obtidos no Trabalho de Miranda (2009).

De acordo com a Tabela 4 todas as variáveis de resposta sofreram influência significativa. A Figura 6, Figura 7 e Figura 8 mostram o efeito da Técnica da Energia (TE) sobre área, extensão da ZAC e sobre a diluição, respectivamente, todas com comportamentos similares. Para a técnica Tipo I foi verificado um aumento considerável na área, extensão da ZAC e sobre a diluição com o aumento do nível de energia. Já para a técnica Tipo V, o comportamento não é relevante, pois é praticamente constante quanto a área, extensão da ZAC e diluição, sem grandes mudanças independente do nível de energia.

Observa-se ainda na Figura 6 e Figura 7 que ambas apresentam comportamentos similares, independentemente se a análise é feita pela área ou extensão da ZAC. Observa-se também que para um mesmo nível de energia, têm-se área e extensão da ZAC diferentes para as técnicas empregadas, ou seja, para uma mesma energia uma escolha correta da técnica de energia empregada pode gerar área e extensão da ZAC diferentes.

O comportamento encontrado para a diluição (Figura 8) está de acordo com os obtidos por Magalhães⁽⁵⁾ e Miranda,⁽⁶⁾ onde ambos mostram que o efeito de alteração da energia com a mudança de corrente (Tipo I) é bem mais significativa sobre a diluição do que a mudança de velocidade de soldagem (Tipo V). Comportamento este, similar ao encontrado neste trabalho para a ZAC.

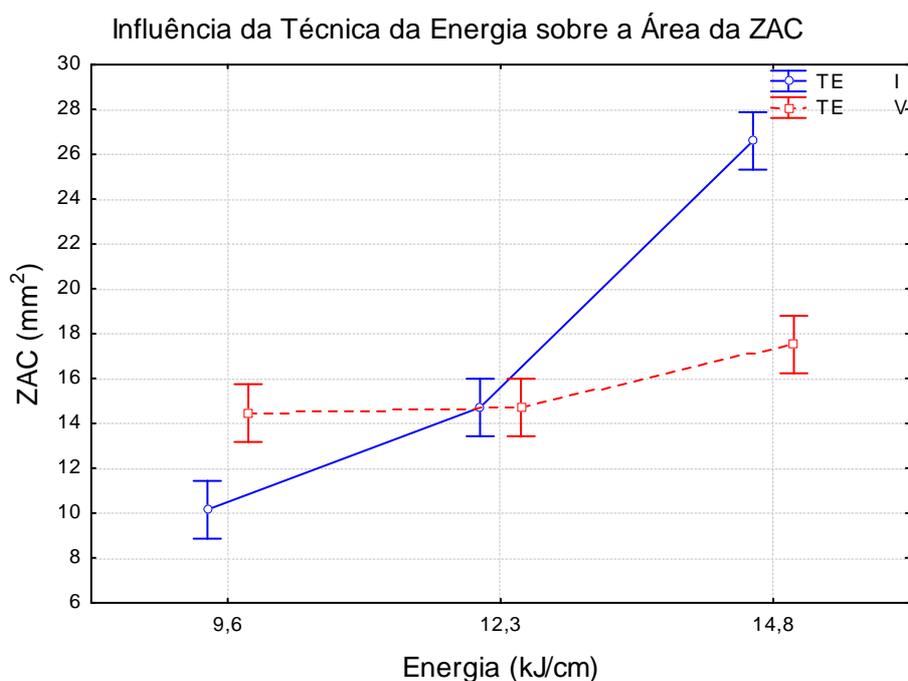


Figura 6. Influência da técnica da energia sobre a área da ZAC.

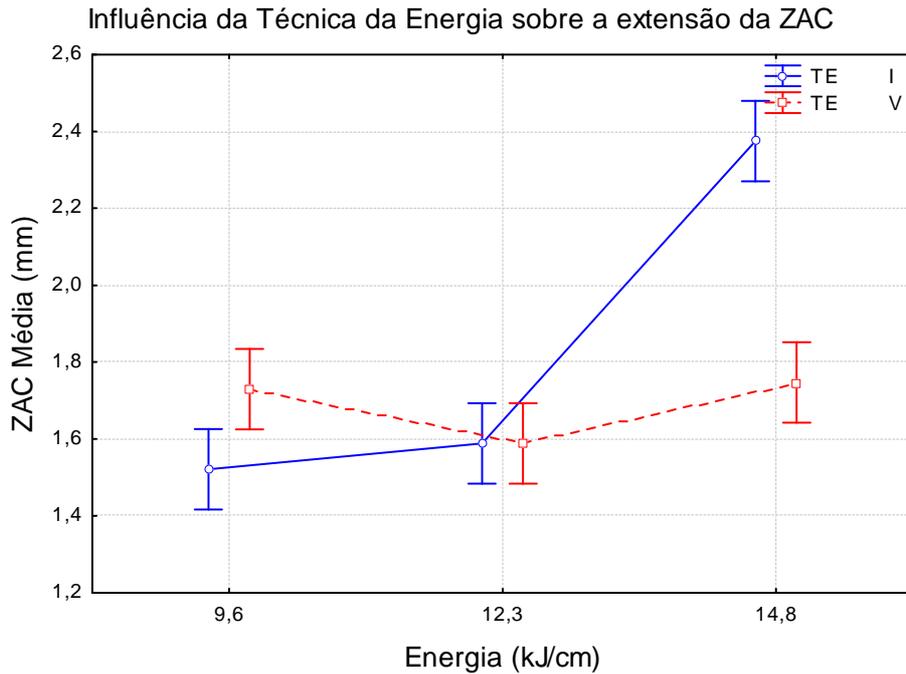


Figura 7. Influência da técnica da energia sobre a extensão da ZAC.

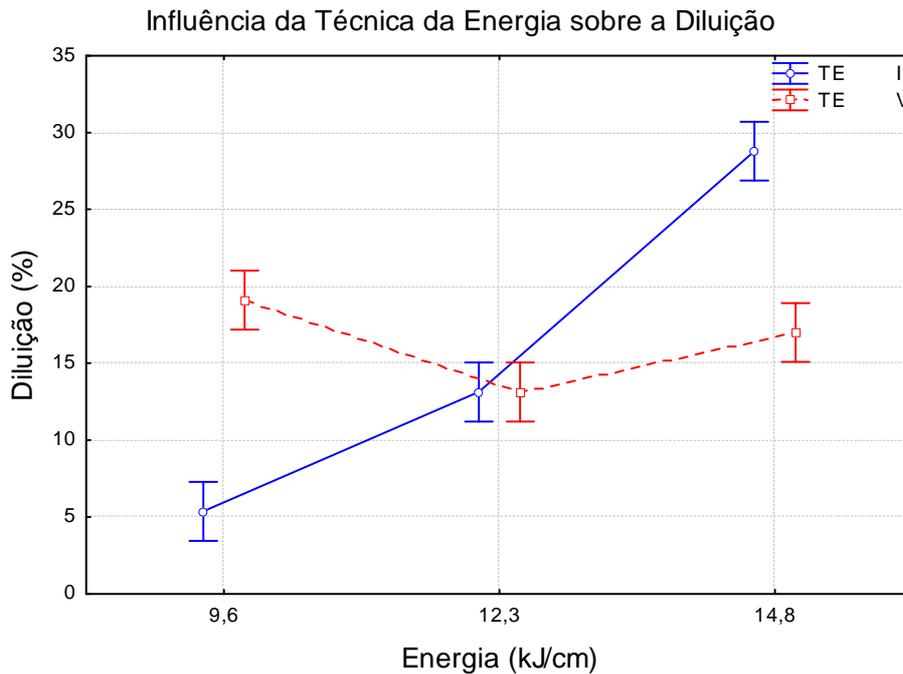


Figura 8. Influência da técnica da energia sobre a diluição.

A explicação para o comportamento da ZAC e da diluição pode ser baseada no fato de que a potência do arco é muito mais relevante sobre a dimensão do arco, o modo de convecção da poça e a temperatura e/ou quantidade de calor do arco, acarretando em maiores mudanças na geometria da solda quando comparado com a velocidade de soldagem.

Ao alterar a energia pela corrente de soldagem (Tipo I) a largura do arco é alterada, efeito que não ocorre quando se altera a energia pela velocidade de



soldagem (Tipo V), conforme ilustração na Figura 9. Ao aumentar a corrente, a largura e a quantidade de calor fornecida ao mesmo também aumenta, causando uma redução na viscosidade do metal fundido e aumento de sua molhabilidade, gerando uma redução do reforço e aumento da largura do cordão de solda,⁽⁷⁾ reforço este que serve de barreira entre o arco e metal de base, alterando a quantidade de calor que é repassado para o mesmo, ou seja, quanto menor o reforço, maior será a passagem de calor para o substrato.

O aumento da corrente também resulta em aumento das forças de arraste aerodinâmicas e forças eletromagnéticas, gerando um movimento convectivo ainda maior na poça de fusão (Figura 10), fazendo com que o metal líquido localizado na região mais quente da poça seja mais fortemente direcionado para o fundo da poça, acarretando em uma maior diluição, e conseqüentemente, fornecendo mais calor para a ZAC, ou seja, o metal líquido mais quente da poça entrará em contato com mais intensidade com o substrato.

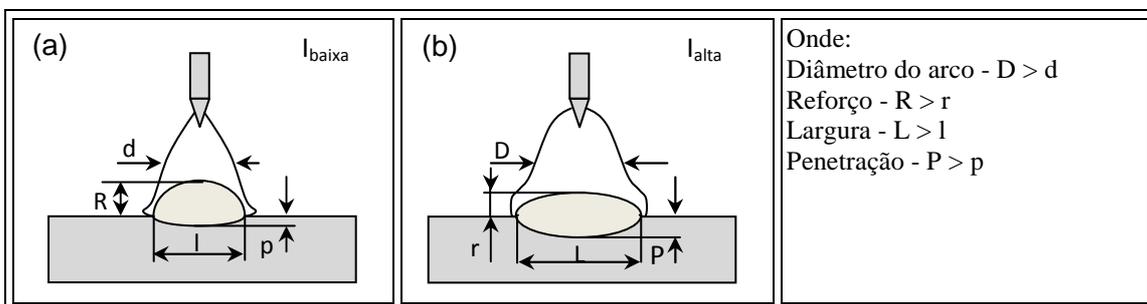


Figura 9. Efeito do aumento da corrente sobre a dimensão do arco e seu reflexo na geometria do cordão de solda. (a) Corrente de soldagem baixa (I_{baixa}). (b) Corrente de soldagem alta (I_{alta}).

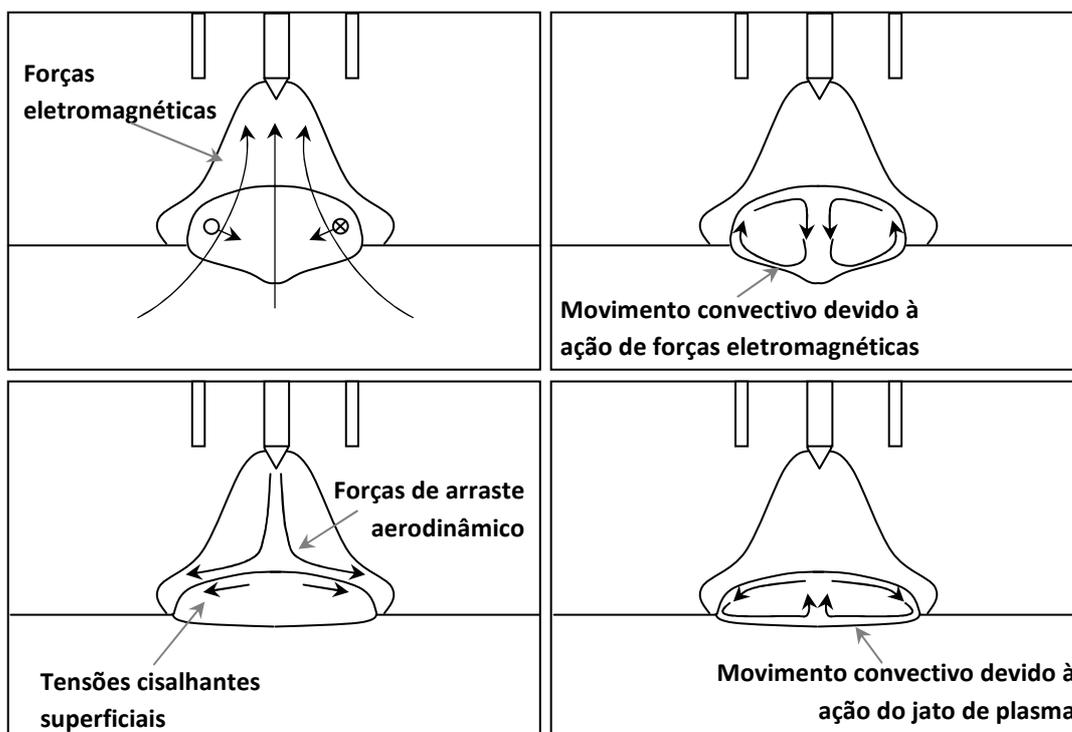


Figura 10. Forças motrizes e modos de convecção na poça de fusão. (a) Forças eletromagnéticas; (b) Forças de arraste aerodinâmico.

A Figura 11 mostra a microestrutura da ZAC nas amostras 3 (Tipo I) e 6 (Tipo V) soldadas com energia de 14,8 kJ/cm, pode-se observar que as microestruturas confirmam os resultados apresentados nas figuras, ou seja, para o mesmo nível de energia pode-se ter áreas e extensões distintas de ZAC, variando apenas a técnica empregada. Pode-se verificar que a ZAC de grãos grossos utilizando a técnica Tipo I (Figura 11) preenche toda extensão da imagem, já na técnica Tipo V (Figura 11) pode-se visualizar a uma menor ZAC de grãos grossos, verificando a transição da mesma para a ZAC de grãos finos.

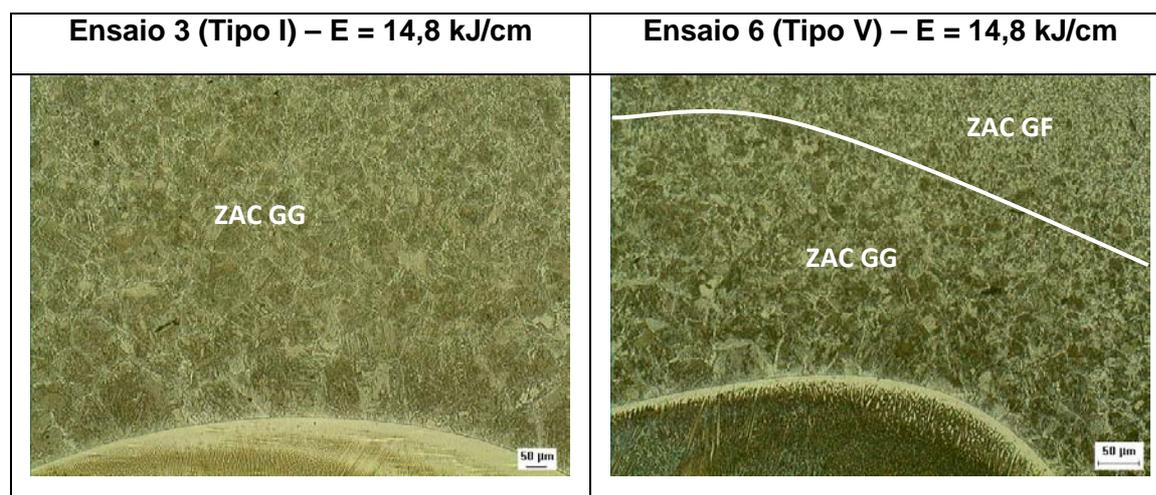


Figura 11. Microestrutura da ZAC, onde ZAC – GG: ZAC de Grãos Grossos e ZAC – GF: ZAC de Grãos Finos.

4 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados apresentados neste trabalho, onde verificou-se o efeito da Técnica da Energia (TE) sobre a área, extensão e microestrutura da ZAC, foi possível concluir que:

- Para um mesmo nível de energia, área e extensão distintas de ZAC são obtidas para as técnicas Tipo I e Tipo V, ou seja, para uma mesma energia uma escolha correta da técnica de energia empregada pode gerar níveis distintos de ZAC.
- O ajuste da energia pela corrente de soldagem (técnica Tipo I) acarreta em um efeito bem mais relevante na ZAC quando comparado com o ajuste da energia pela velocidade de soldagem (técnica Tipo V).
- Para os níveis de energia estudados neste trabalho, o ajuste da energia pela corrente de soldagem (Tipo I) para uso de baixa energia implica em menores ZAC's, já para uso de alta energia este ajuste deve ser realizado pela velocidade de soldagem (Tipo V).

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Laboratório de Engenharia de Soldagem – Engesolda (UFC) por toda infra-estrutura para realização deste trabalho, agradecendo também ao Cenpes/Petrobras, a FUNCAP, CAPES, CNPq e a FINEP pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 EISELSTEIN, H.L., Tillack D.J. Ed. Loria Superalloy 718, 625, and Various Derivates, TMS Warrendale PA pag 1,1991.
- 2 DUPONT, J.N. MARDER, A. R., “Dilution in Single Pass Arc Welds”. Metallurgical and Material Transaction A. pp 481-489. 1996.
- 3 GITTO, M. F., GOOCH, T. G., “Effect of iron dilution on corrosion resistance of Ni-Cr-Mo alloy cladding”. British Corrosion Journal, vol. 31, no4, pp. 309-314, 1996.
- 4 ISO 10423, (2003) “Petroleum and natural gas industries – Drilling and production equipment – Wellhead and Christmas tree equipment”.
- 5 MAGALHÃES, S. G., “Avaliação do Revestimento a Base de Liga de Níquel em Aço Estrutural Empregando o Metal de Adição ERNiCrMo-3 Através da Soldagem MIG/MAG”. 2008. Dissertação de Mestrado, UFC, Fortaleza.
- 6 MIRANDA, E. C., “Estudo Exploratório de Parâmetros de Soldagem de Revestimentos com Ligas de Níquel Empregando o Processo TIG com Alimentação de Arame Frio”. 2008. Dissertação de Mestrado, UFC, Fortaleza.
- 7 SILVA, C. C.; MIRANDA, E. C. ; MIRANDA, H. C. ; MOTTA, M. F. ; FARIAS, J. P.. “Um Estudo Sobre a Contribuição da Corrente e da Velocidade de Soldagem Sobre a Diluição e as Características Geométricas de Cordões de Solda Depositados pelo Processo TIG com Alimentação de Arame Frio”. In: XXXV CONSOLDA - Congresso Nacional de Soldagem, 2009, Piracicaba - SP. Anais do XXXV CONSOLDA - Congresso Nacional de Soldagem. São Paulo : Associação Brasileira de Soldagem, 2009.