

SOLDAGEM MULTIPASSE PARA A RECUPERAÇÃO DE PEÇAS DE AÇO ABNT 1045 COM ELETRODO REVESTIDO AWS E 307-16

Alessandra Góis Luciano de Azevedo.

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 1O, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia - MG, ceduardo@mecanica.ufu.br

Jesualdo Pereira Farias.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Cleiton Carvalho Silva.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. cleitonufc@yahoo.com.br

Moisés Alves Marcelino Neto.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. engesold@dem.ufc.br

Resumo. Neste trabalho aplicaram-se as Técnicas da Dupla e Tripla Camadas, na soldagem do aço ABNT 1045, utilizando como metal de adição o eletrodo revestido inoxidável AWS E 307-16, buscando-se a eliminação do tratamento térmico pós-soldagem (TTPS). Para avaliar o procedimento de soldagem multipasse foram soldadas juntas do tipo semi-V. Realizou-se o amanteigamento em duas camadas, utilizando-se quatro relações de energia (5/5, 5/10, 10/5, 10/10 kJ/cm) e com três camadas utilizando-se três relações de energia (5/5/5, 5/10/10 e 10/10/10 kJ/cm). Foram levantados os perfis de microdureza da ZAC da primeira camada do amanteigamento para cada corpo de prova semi-V. Para avaliar a eficiência da técnica quanto à tenacidade foram realizados ensaios de impacto Charpy-V da ZAC a temperatura ambiente nas condições como soldado e com TTPS. Foram realizados também, ensaios de impacto Charpy-V no metal de solda, localizando o entalhe na região com maior relação percentual entre as zonas colunar e recristalizada. Concluiu-se que as Técnicas da Dupla e da Tripla Camada mostraram-se eficientes, pois para todas as relações de energias aplicadas, alcançou-se tenacidade semelhante à obtida nos corpos de prova com Tratamento Térmico Pós Soldagem e muito superior a tenacidade do metal de base.

Palavras-chave: Dupla Camada. Tripla Camada. Aço ABNT 1045.

1. INTRODUÇÃO

A recuperação por soldagem de peças e equipamentos é uma prática comum na indústria do petróleo e gás natural. Entretanto, na soldagem de alguns aços como C-Mn e baixa liga, o aporte térmico é suficiente para promover mudanças de caráter metalúrgico na zona afetada pelo calor (ZAC), como a produção de martensita não revenida, com elevada dureza, e a formação de regiões com granulação grosseira (ZAC-GG) que causam a redução da tenacidade (Liu, 1992). Nestes casos a soldagem deve ser realizada seguindo alguns critérios como preaquecimento e tratamento térmico pós-soldagem (TTPS) (Liu et al, 1992; Mondenesi et al, 1992; Irving, 1995).

A necessidade de realizar um tratamento térmico após a soldagem torna muitas vezes o reparo inviável devido o alto custo, o longo tempo de permanência no forno e a dificuldade de realização em peças de grandes dimensões. Novas técnicas e procedimentos vêm sendo estudados com o objetivo de eliminar o TTPS (Aguiar, 2001; Arraes Júnior , 2001).

Dentre as técnicas empregadas podemos destacar as técnicas da dupla e tripla camada. Estas foram desenvolvidas com o propósito de refinar e revenir a microestrutura da ZAC através da correta sobreposição dos ciclos térmicos de soldagem com a aplicação de duas ou três camadas de solda no amanteigamento.

Aguiar et al (2001) aplicando a técnica da dupla camada em aço ABNT 4140 constatou a eficiência da técnica, visto que para os três níveis de energia de soldagem empregados, os valores de tenacidade obtidos foram semelhantes aos verificados nos corpos de prova submetidos ao TTPS.

Henke et al (2000) mostraram que a técnica da dupla camada aplicada ao aço CA-6NM não é recomendada, pois a extensão da zona endurecida é superior a zona macia, devido à sua elevada resistência ao revenido. Não sendo possível neste caso revenir completamente a ZAC.

Ninõ et al (1992) aplicaram a técnica no reparo por soldagem de Aços 5Cr-0,5Mo, e sugerem o uso de três camadas, de forma que a segunda promova o refino da ZAC-GG da primeira camada e a terceira realize o revenimento. Bueno (1999) em seu trabalho utilizou três camadas na soldagem do aço ABNT 4140 onde obteve valores de tenacidade na ordem de 108J e 90J, com e sem TTPS, respectivamente.

Para auxiliar na escolha das energias de soldagem, vários autores (Aguiar, 2001; Arraes Júnior , 2001) utilizaram o teste de Higuchi (Higuchi et al, 1980) que visa conhecer a extensão das zonas retemperadas (duras) e revenidas (macias) e estabelece dois critérios a serem atendidos:

1^a Condição: $PZM_2 > PZD_1$

Onde:

PZM_2 = profundidade da zona macia da segunda camada;

PZD_1 = profundidade da zona dura da primeira camada.

2^a Condição: $PZD_2 < R_1 + P_1$

Onde:

PZD_2 = profundidade da zona dura da segunda camada;

R_1 = reforço da primeira camada;

P_1 = penetração da primeira camada.

A primeira condição garante que o calor contido na ZAC da segunda camada provoque o refino e o revenimento da zona dura da primeira camada, e a segunda condição garante que a zona dura da primeira camada não vai ser retemperada. A zona fundida da primeira camada é austenitizada, proporcionando uma recristalização e formação de alguma martensita com baixa dureza. A Figura 1 apresenta o esquema de sobreposição das camadas.

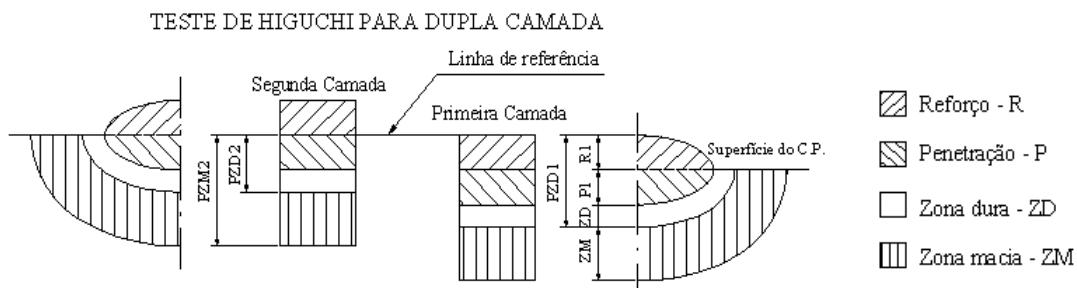


Figura 1. Superposições das camadas.

Apesar do avanço da técnica da dupla camada, ainda existem dificuldades na escolha dos critérios adequados para a realização da soldagem e falta de dados sobre o desempenho em serviço dos componentes reparados. Com este trabalho, pretende-se contribuir com o avanço da utilização de técnicas de reparo sem tratamento térmico pós-soldagem, de peças de aços ao C-Mn e baixa liga. O seu objetivo principal será avaliar a aplicação das Técnicas da Dupla e da Tripla Camada para o aço ABNT 1045, empregando o processo de soldagem com eletrodo revestido AWS E307-16.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os ensaios foram realizados em discos de aço ABNT 1045 com $\phi 200 \times 25$ mm, extraídos de barras laminadas a quente, cuja composição química encontra-se na Tabela 1. O aço apresentou uma microestrutura original constituída de perlita e ferrita conforme a Figura 1a. Observou-se ainda, uma quantidade elevada de inclusões não metálicas, identificadas por EDX como sulfetos de manganês, atingindo comprimento de até 250 μm , como indicado na Figura 1b.

O material de adição utilizado foi o eletrodo revestido AWS E307-16 com diâmetros de 2,5 e 3,25 mm. A composição química do metal depositado, segundo o fabricante, encontra-se na Tabela 2. A escolha deste eletrodo baseia-se nas suas características físicas relevantes, quando comparado com o aço carbono, como:

- Condutividade térmica cerca de 30% menor que a do aço carbono, podendo afetar a transferência de calor na ZAC.
- Uma maior ductilidade, proporcionando uma maior absorção dos níveis de tensões, o que reduz o grau de solicitação da ZAC.
- O coeficiente de difusão do hidrogênio sendo menor na austenita do que na ferrita, reduz a probabilidade de ocorrência de trincas induzidas pelo hidrogênio na ZAC.

Tabela 1 – Composição química do metal de base(% em massa).

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Ni	Mo
0,480	0,630	0,010	0,035	0,021	0,119	0,13	0,065	0,021

Tabela 2 – Composição química dos eletrodos segundo fabricante. (% em massa).

Eletrodo	C	Mn	Cr	Ni
AWS E 307-16	< 0,1	4,0	18,0	8,0

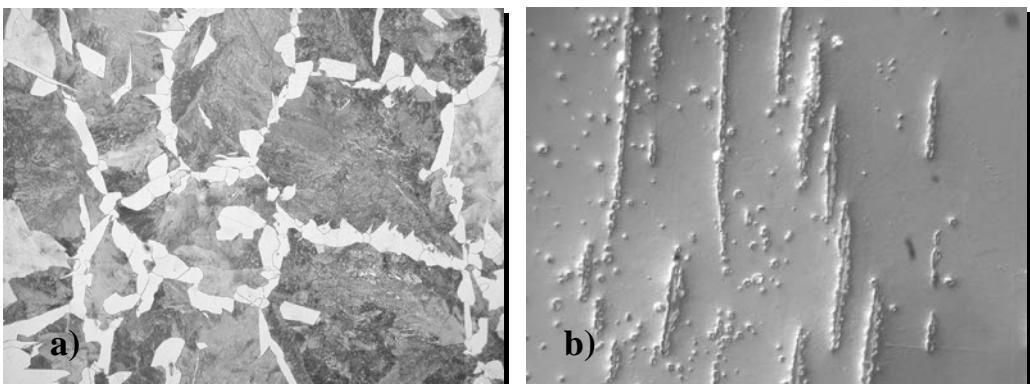


Figura 1. (a) Microestrutura original do aço ABNT 1045. Ataque: Nital 2%, 100X. (b) Aço ABNT 1045 sem ataque. Inclusões de sulfeto de manganês, 200X.

2.2 Metodologia

A metodologia foi desenvolvida em duas etapas onde o resultado obtido da primeira etapa possibilitou a seleção dos parâmetros de soldagem para a segunda etapa. Foram determinados como critérios de avaliação que a dureza máxima na ZAC não deveria ultrapassar 300 HV, que o metal de solda deve suportar uma energia de impacto Charpy-V, à temperatura ambiente, de pelo menos 60 J, e ainda, que a ZAC apresente tenacidade melhor ou igual ao do metal de base. Logo, o procedimento de soldagem será adequado se atender a esses critérios.

2.2.1. Teste de Higuchi (1^a Etapa)

Nesta etapa foram realizadas soldagens de simples depósitos e cordão isolado, na posição plana em corpos de prova temperados (austenitizados a 830°C em forno por 20 minutos e resfriados em água) utilizando o Posicionador Automático para Soldagem Experimental com Eletrodo Revestido. Foram testados 8 níveis de energia de soldagem. Em seguida, foram levantados os perfis de microdureza na seção transversal da ZAC em três direções, conforme mostrado na Figura (2a). A partir dos valores médios de dureza obtidos das três direções, pôde-se determinar a extensão das regiões endurecidas e macias para cada energia de soldagem. Neste ensaio a carga aplicada foi de 100g e a distância entre as impressões foi de 0,2 mm.

Foi medido o reforço e a penetração do cordão de solda de três corpos de prova e retirada a média. A medição foi realizada em microscópio ótico utilizando um aumento de 25x. Com base nas informações da microdureza e dos valores de reforço e penetração construíram-se os gráficos de Higuchi.

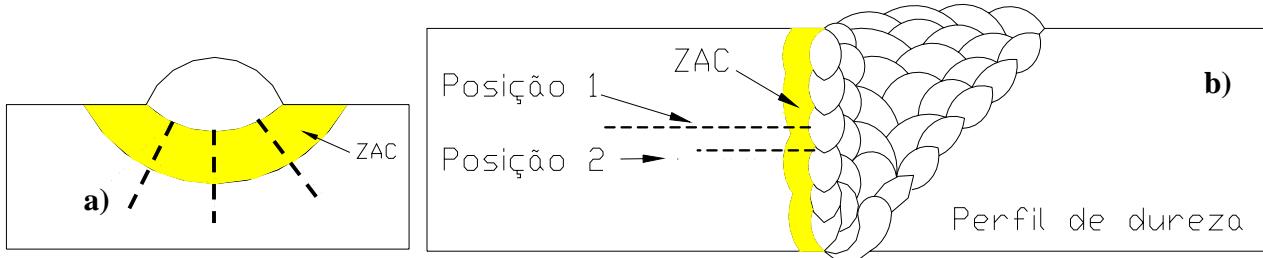


Figura 2. Posições das medições da dureza para: a) teste de Higuchi; b) Dupla e tripla camada.

2.2.2. Ensaio Com Junta Semi –V (2^a Etapa)

Para avaliar a viabilidade do procedimento de soldagem multipasses sem TTPS no aço ABNT 1045, foram soldadas juntas semi-V, conforme a seqüência utilizada por Bueno (1999), mostrada na Figura 3. Realizaram-se as medições de dureza seguindo as posições indicadas na Figura (2b) e o ensaio de impacto Charpy-V a temperatura ambiente. Os parâmetros de soldagem utilizados no amanteigamento das faces do chanfro, em duas e três camadas estão indicados na Tabela 3. O preenchimento da junta foi realizado de acordo com os parâmetros de soldagem da Tabela 4.

Para cada combinação de energia, foram retiradas 13 amostras de cada corpo de prova, sendo 3 para a realização de ensaio de Impacto Charpy-V no metal de solda e 10 amostras para a realização de ensaio de Impacto Charpy-V na ZAC-GG, onde dessas últimas foram retiradas 5 amostras para a realização de TTPS a 530°C por 1 hora. O entalhe do corpo de prova para Charpy na ZAC foi posicionado na ZAC-GG da primeira camada a 1mm da zona de ligação e com posição paralela a laminação. O entalhe do corpo de prova no metal de solda foi posicionado de tal maneira que englobasse as zonas colunar e retratadas (Figura 3 e).

Tabela 3. Parâmetros de soldagem do amanteigamento.

Corpo de prova		d _e (mm)	I eficaz (A)	U eficaz (V)	V _s (cm/min)	E _s (kJ/cm)
AVI 5/5	1 ^a camada	2,50	81	24	25	5
	2 ^a camada	3,25	100	25	25	5
AVI 5/10	1 ^a camada	2,50	81	24	25	5
	2 ^a camada	3,25	120	25	15	10
AVI 10/5	1 ^a camada	2,50	80	24	10	10
	2 ^a camada	3,25	100	25	25	5
AVI 10/10	1 ^a camada	2,50	80	24	10	10
	2 ^a camada	3,25	120	25	15	10
AVT 5/5/5	1 ^a camada	2,50	81	24	25	5
	2 ^a camada	3,25	100	25	25	5
	3 ^a camada	3,25	100	25	25	5
AVT 5/10/10	1 ^a camada	2,50	81	24	25	5
	2 ^a camada	3,25	120	25	15	10
	3 ^a camada	3,25	120	25	15	10
AVT 10/10/10	1 ^a camada	2,50	80	25	10	10
	2 ^a camada	3,25	120	25	15	10
	3 ^a camada	3,25	120	25	15	10

Tabela 4. Parâmetros de soldagem para o preenchimento da junta.

Parâmetros	Passe de raiz	Passe de preenchimento
Corrente Média (A)	107	135
Tensão Média (V)	25	25
Velocidade. de Soldagem (cm/min)	A critério do soldador	
Temperatura. de preaquecimento (°C)	180-200	180-200
Temperatura de Interpasse (°C)	180-200	180-200
Diâmetro do eletrodo (mm)	2,5	3,25

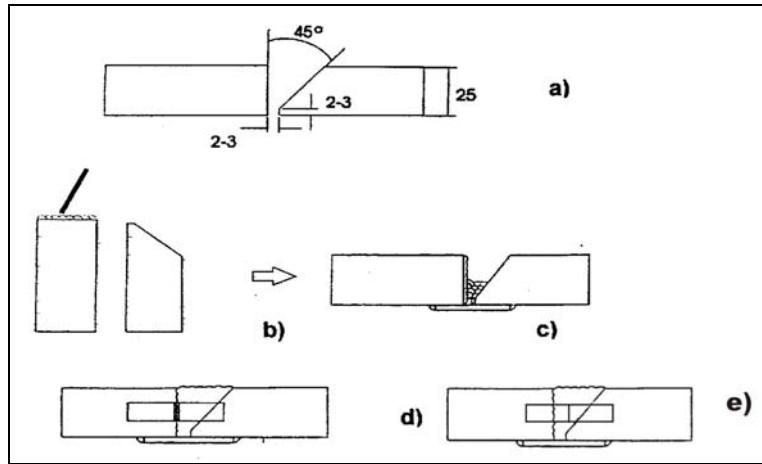


Figura 3. (a) preparação da junta, (b) amanteigamento sobre a face reta do chanfro, (c) posicionamento e preenchimento da junta, (d) e (e) posicionamento para a retirada dos corpos de prova Charpy na ZAC e no metal de solda, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Teste de Higuchi

Os corpos de prova temperados e não revenidos, conforme procedimento indicado no item 2.2.1, foram submetidos à soldagem empregando os parâmetros indicados na Tabela 3. Observou-se alta dureza na ZAC-GG devido à presença de elevados teores de martensita e de altos teores de carbono.

Devido ao aço apresentar uma dureza baixa logo após a zona dura (ZD), em torno de 300 HV, considerou-se que a extensão da zona macia (ZM) confunde-se com o metal de base. Neste caso, a 1^a condição para a realização da dupla camada será totalmente contemplada, sendo necessário o atendimento da 2^a Condição. Desta forma foram construídos os gráficos de Higuchi modificados sem a presença da zona macia, com base nos perfis de microdureza e nas medidas do reforço e da penetração do cordão de solda. Nestes gráficos, R representa o reforço, P a penetração e ZD a zona dura (Fig. 4).

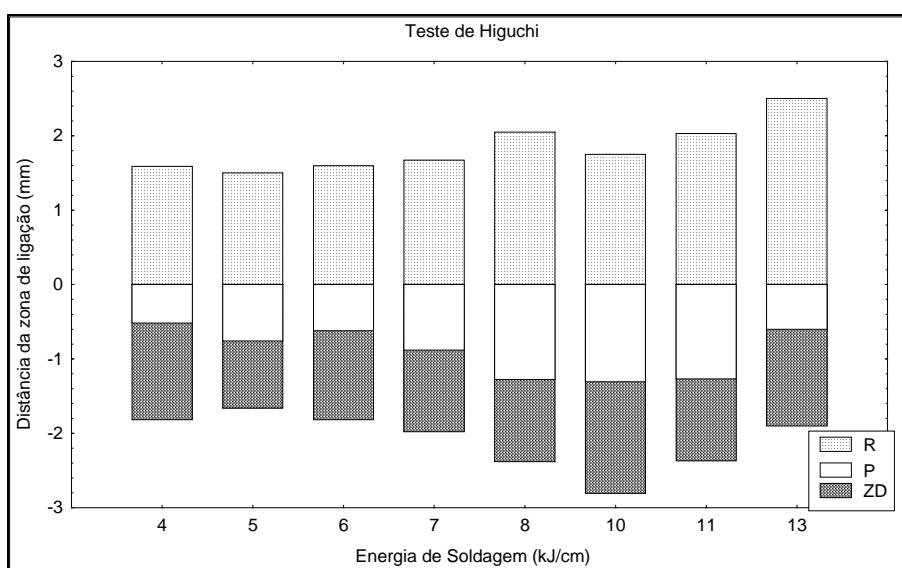


Figura 4. Gráfico de Higuchi Modificado.

3.2. Ensaio com Junta Semi – V

Este ensaio permitiu comparar o procedimento de soldagem do aço ABNT 1045 com e sem TTPS, avaliando o grau de tenacidade da ZAC da primeira camada. Utilizou-se para o amanteigamento as relações de energia de soldagem que constam na Tabela 3. Ocorreu refino da ZAC-GG dos corpos de prova para todas as combinações de energia. Em alguns corpos de prova, nas regiões entre passes, o refino da ZAC-GG não foi total sendo observado nestas regiões uma microestrutura de grãos mais grosseiros, porém não tão grossos quanto do metal de base, como pode ser observado nas Figuras 5 (a) e (b) e nos gráficos de dureza das Figuras 6 (a) e (b). Os corpos de prova soldados com três camadas de amanteigamento apresentaram uma região entre passes mais uniforme e sem grandes variações nos picos de dureza, possuindo um levantamento de perfil similar ao apresentado na Figura 6.

Os resultados do ensaio de impacto Charpy, apresentados na Figura 9, foram decisivos para a análise dos procedimentos de soldagem utilizados. Analisando os corpos de prova com e sem TTPS e comparando-os com os do metal de base como recebido, pode-se observar que as energias absorvidas por esse último foram muito menor e inferior aos valores da literatura (cerca de 45J). Este fato, provavelmente, é devido a grande quantidade de inclusões de sulfeto de manganês com elevado comprimento ($250 \mu\text{m}$) e ainda ao elevado tamanho de grão (de TG 3,5 a 5), medido segundo norma ABNT (NBR 11568 NB 1323, 1990). Os corpos de prova soldados obtiveram uma resistência ao impacto melhor que a do metal base, mostrando que a técnica da dupla camada alcançou resultados positivos quanto ao aumento da tenacidade da ZAC do aço ABNT 1045. Os corpos de prova ensaiados no metal de solda alcançaram uma energia de impacto em torno de 90 J, indicando excelente tenacidade.

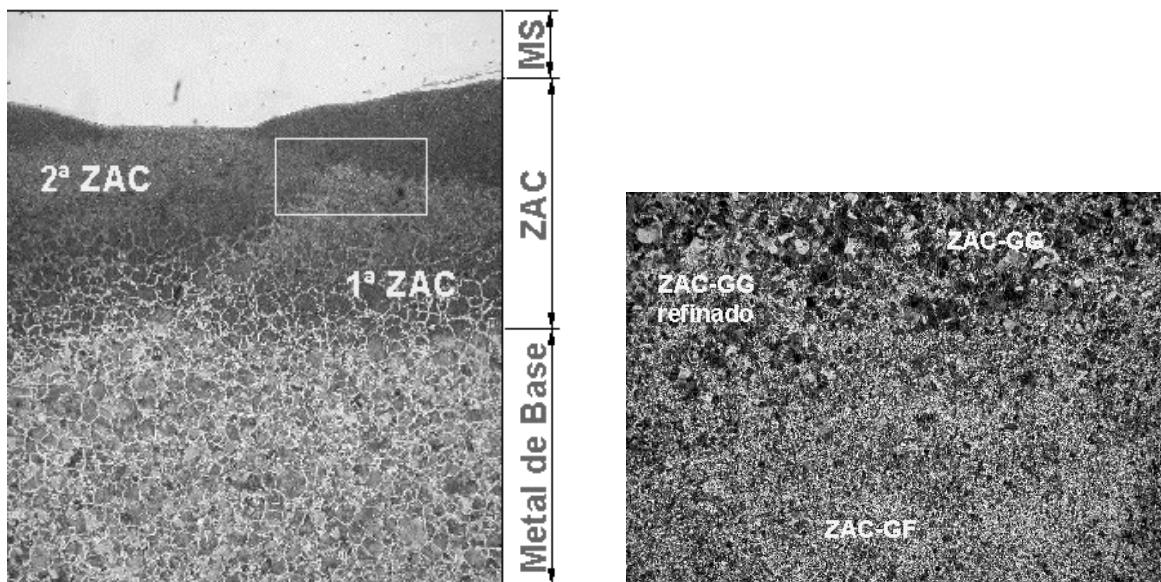


Figura 5. a) Regiões do corpo de prova, 13X; b) Detalhe ampliado, 100X. Ataque: nital 2%.

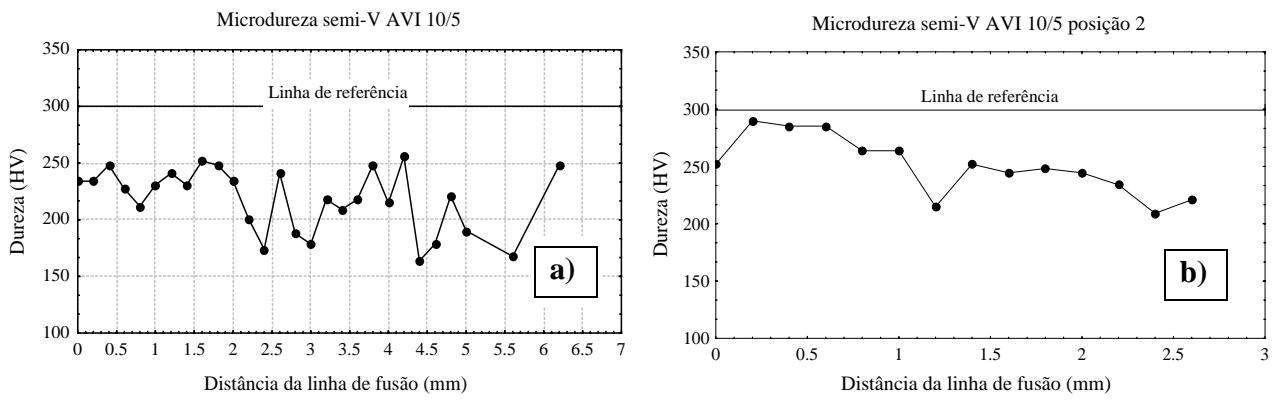


Figura 6. AVI 10/5. a) Microdureza na posição 1; b) Microdureza na posição 2; indicadas na Figura 2b.

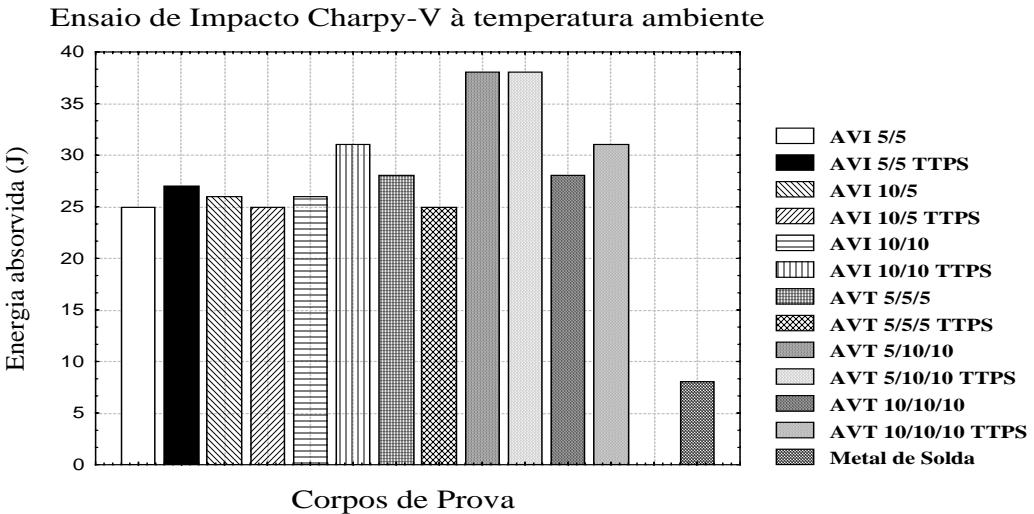


Figura 9. Comparativo da energia de impacto Charpy em corpos de prova com e sem TTPS, soldados com diferentes relações de energia e do material de base como recebido.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais obtidos neste trabalho é possível destacar as conclusões a seguir descritas.

- As informações do Teste de Higuchi permitiram bons resultados referentes ao revenimento da ZAG-GG, porém não foram suficientes para garantir um refino uniforme na região entre passes.
- As técnicas da dupla e tripla camada para o aço ABNT 1045 mostraram-se eficiente, pois para todos os níveis de energia empregados, alcançou-se tenacidade semelhante à obtida nos corpos de prova com TTPS e, muito superior à tenacidade alcançada pelo metal de base.
- Devido à baixa temperabilidade do aço ABNT 1045 foi possível obter resultados significativos de refino e revenimento para todas as relações de energias empregadas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA/UFC, Laboratório de Caracterização de Materiais – LACAM/UFC e ao Laboratório de Ensaios Mecânicos LEM/CEFET-Ce pelo apoio laboratorial, à PETROBRAS S/A pela liberação do soldador, aos órgãos de fomento, ANP, CNPq e Funcap pelo apoio financeiro. Agradecimento especial ao Prof. MSc. Willys Machado Aguiar pela sua valorosa contribuição ao desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Aguiar, W.M. “Soldagem do aço ABNT 4140 sem Tratamento Térmico Posterior”. 2001. Dissertação de mestrado-Programa de Engenharia e Ciências de Materiais, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil.
- Arraes Júnior, R. M., 2001, “Avaliação da Tenacidade da ZAC na Soldagem do Aço ABNT 4340 sem Tratamento Térmico Posterior”. Dissertação de mestrado-Programa de Engenharia e Ciências de Materiais, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil.
- Bueno, E. R., 1999, “Desenvolvimento do Procedimento de Soldagem do Aço AISI 4140 sem Tratamento Térmico Posterior”. Dissertação de mestrado. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Henke, S. L.; Ninõ, C.E.; Buschinelli, A. J. A.; Correa, J. A., 2000, “Soldagem Dissimilar do Aço CA-6NM sem Tratamento Térmico Posterior”, Soldagem e Inspeção Suplemento técnico, ano 6, nº 1.
- Higuchi, M.; Sakamoto, H.; Tanioka, S. “A study on Weld Repair Through Half Bead Method”. IHI Engineering Review. V.13, april/1980.
- Irving, B., 1995, “The Challenge of Welding Heat-Treatable Alloy Steels”. Welding Journal, p43 - 47
- Liu, S. e , 1992, “Metals Handbook. Weldability of Steel”. 10ed. Ohio: American Society for Metals, v.6.
- Modenesi, P. J., Marques, P. V., Santos, D. B., 1992, “Curso de Metalurgia da Soldagem”. Belo Horizonte: UFMG,. 297p.
- Ninõ, C.E.; Correa, J. A., Buschinelli, A. J. A., 1992. “Técnicas de Reparo por Soldagem em Aços 5Cr-0,5Mo”, Soldagem & Materiais, vol.4 (2), pp. 28-33.

THE USED OF MULTIPASS TECHNIQUE WELDING OF THE ASTM 1045 STEEL WITH AWS E307-16 COVERED ELETRODE

Alessandra Góis Luciano de Azevedo.

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 1O, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia - MG, ceduardo@mecanica.ufu.br

Jesualdo Pereira Farias.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Cleiton Carvalho Silva.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. cleitonufc@yahoo.com.br

Moisés Alves Marcelino Neto.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. engesold@dem.ufc.br

Abstract. In this study, the double and triple layers technique in the ASTM 1045 steel welding was applicad with covered AWS E307-16 electrode. Semi-V joints welding were employed in both kinds of technique. Buttering with two and three layers were used in the following energy ratios: 5/5; 5/10; 10/5; 10/10 and 5/5/5; 5/10/10; 10/10/10 (kJ/cm). It was determined the cross section HAZ microhardness profile of the first layer of the buttering for each semi-V joint. In order to evaluate the efficiency of the applied technique regarding toughness, it was performed the HAZ Charpy-V impact test at 25°C in the as welded and after heat treatment conditions. The weld metal Charpy-V toughness in the as welded conditions was also performed at 25°C. The conclusion of the present study was that the double and triple layer techniques were efficient, since considering all energy ratios applied, the as welded HAZ toughness was similar to values obtained for the HAZ after post welding heat treatment, and much larger than values of the base metal toughness.

Keywords: double layer techinique, triple layer techinique, AISI 1045 steel.