

SOLDAGEM DO AÇO ABNT 4140 SEM TRATAMENTO TÉRMICO POSTERIOR

Jesualdo Pereira Farias
engesold@dem.ufc.br

Willys Machado Aguiar
willys@fortalnet.com.br

Resumo

O procedimento de soldagem convencional do aço ABNT 4140, devido à formação de martensita na zona afetada pelo calor (ZAC), contempla um tratamento térmico pós-soldagem (TTPS) para aliviar as tensões e melhorar a tenacidade desta zona. Este tratamento térmico, muitas vezes, torna-se impraticável devido a alguns fatores como tamanho da peça, reparo no campo e custo. A técnica da dupla-camada tem sido pesquisada no sentido de se evitar este tratamento térmico e garantir boas propriedades mecânicas da peça soldada. Os resultados deste trabalho mostraram que, utilizando-se esta técnica, é possível eliminar o TTPS na soldagem do aço ABNT 4140.

Palavras-chave: aço ABNT 4140, soldagem, dupla-camada, ZAC.

Abstract

The procedure for conventional welding of the AISI 4140 steel, due to the martensite formation in the heated affected zone (HAZ), contemplates a postwelding heat treatment (PWHT) to relief the stress and to improve the toughness of this zone. This thermal treatment, sometimes, becomes unfeasible due to some factors such as size of the piece, repair in the field and high cost. The main goals of the technique of the two-layer welding are to avoid the heat treatment and to guarantee good mechanical properties for the welded piece. The results of this work showed that it is possible to eliminate PWHT in the welding of the AISI 4140 steel.

Keywords: ABNT 4140 steel, welding, two-layer, HAZ.

1 Introdução

A crescente substituição, na indústria, de aços carbono por aços baixa-liga, tem motivado a pesquisa de procedimentos de soldagem que eliminem o tratamento térmico pós-soldagem (TTPS), o qual faz parte do procedimento convencional de soldagem destes aços. O desejo da eliminação do TTPS se deve ao seu custo elevado ou mesmo à impossibilidade de realização do mesmo em determinadas condições (estruturas de grande porte, montagem ou reparo no campo, etc). HENKE et al. (2000), citam que a técnica da dupla-camada tem sido estudada desde a década de 60, inicialmente com o objetivo de evitar trincas de reaquecimento, mais tarde com o objetivo de eliminar o TTPS, entretanto, ainda não existem procedimentos normalizados para os diversos tipos de aços, impedindo a sua ampla utilização na indústria, visto que a necessidade de um rigoroso controle das energias de soldagem entre as camadas não condiz com a realidade da soldagem no campo. Este controle das energias entre as camadas tem um papel muito importante no refino e no revenimento da zona afetada pelo calor (ZAC) da primeira camada. Esta zona se constitui como a mais problemática, em função da formação de martensita, que associada com tensões de tração e com a presença de hidrogênio, pode vir a trincar. Vários trabalhos (BUENO, 1999; STILL, 1997; STILL e BLACKWOOD, 1998) mostram que a soldagem sem TTPS constitui, portanto, um recurso efetivamente atrativo para os aços baixa-liga.

A técnica da dupla-camada consiste em promover uma adequada sobreposição dos ciclos térmicos, de tal forma que a segunda camada promova o refino e o revenimento da ZAC de grãos grosseiros (ZAC-GG) da primeira camada, garantindo boas propriedades mecânicas da peça soldada. A sobreposição adequada deve satisfazer as condições visualizadas na Figura 1.

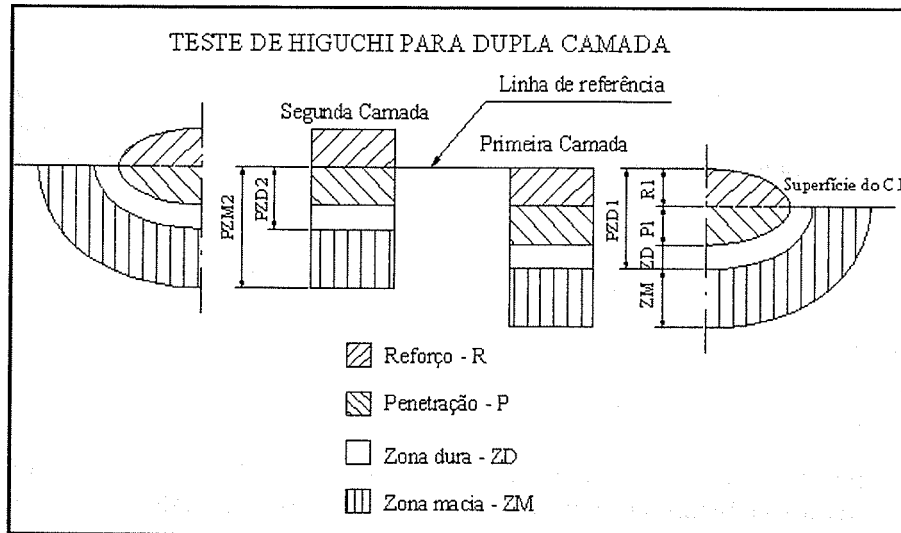


Figura 1- Superposições das camadas.

$$a) PZM_2 > PZD_1 \quad (1)$$

Onde:

PZM_2 = profundidade da zona macia da segunda camada;

PZD_1 = profundidade da zona dura da primeira camada.

$$b) PZD_2 < R_1 + P_1 \quad (2)$$

Onde:

PZD_2 = profundidade da zona dura da segunda camada;

R_1 = reforço da primeira camada;

P_1 = penetração da primeira camada.

O atendimento da primeira condição faz com que o calor contido nesta faixa da ZAC da segunda camada refine e revina a zona dura da primeira camada, enquanto o atendimento da segunda condição garante que a zona dura da primeira camada não vai ser retemperada. Neste caso, a zona fundida da primeira camada é quem vai ser austenitizada, proporcionando uma recristalização e formação de alguma martensita que, devido ao baixo teor de carbono, não apresenta uma dureza elevada.

Vários trabalhos (BUENO, 1999; NIÑO e BUSCHINELLI, 1995; TEIXEIRA e POPE, 1992) mostram que os principais parâmetros a serem observados para a obtenção de sucesso no uso da técnica da dupla-camada são:

- as dimensões do cordão da primeira camada;
- a relação adequada entre as energias de soldagem das camadas;
- o controle da temperatura de preaquecimento e interpasse durante a soldagem;
- a cavidade de reparo suficientemente aberta para permitir um adequado ângulo de ataque do eletrodo.

O teste de HIGUCHI, SAKAMOTO e TANIOKA (1980) tem sido utilizado para fornecer subsídios na escolha das relações de energias mais adequadas para o sucesso da aplicação da técnica.

BUENO (1999), em seu trabalho, utilizando três camadas com 5/5/5 kJ/cm em corpos de prova de aço ABNT 4140 temperado e revenido, obteve valores de tenacidade na ordem de 90 J e 110 J, sem TTPS e com TTPS respectivamente. No referido trabalho, também foram ensaiados corpos de prova soldados com 10/5/5 kJ/cm, obtendo-se 90 J e 108 J, sem TTPS e com TTPS respectivamente, contrariando a literatura que sugere que a energia da primeira camada deve ser menor que a da segunda.

TEIXEIRA e POPE (1992) também utilizaram a técnica da dupla-camada na soldagem do aço 1Cr-0,5Mo. Neste trabalho, foi avaliada a evolução da dureza na ZAC da primeira camada, onde o máximo valor encontrado foi 300 HV. Também foi avaliado, qualitativamente, o grau de refino da ZAC da primeira camada obtido pelo uso da técnica. O resultado desse trabalho aponta para o sucesso da técnica na soldagem do aço 1Cr-0,5Mo.

NIÑO, CORRÊA e BUSCHINELLI (1992), aplicando a técnica da dupla-camada no reparo de aços 5Cr-0,5Mo, sugerem o uso de três camadas de forma que, a segunda refina a ZAC-GG da primeira e a terceira realiza o revenimento. Neste trabalho, recomenda-se o uso de velocidades de soldagem máximas possíveis com o intuito de evitar o excessivo crescimento de grão da ZAC-GG da primeira camada, bem como, aumentar a sobreposição das isoterms das camadas da solda. A aplicação da técnica no aço 5Cr-0,5Mo foi considerada crítica, pois, embora tenha tido um alto grau de refino na ZAC-GG da primeira camada, a falta de revenimento adequado resultou em dureza elevada e baixa tenacidade na ZAC. Outra sugestão é o aumento da temperatura de preaquecimento para aumentar o grau de revenimento da ZAC.

HENKE et al (2000) mostram em seu trabalho que a aplicação da técnica da dupla-camada, em aços CA-6NM, não é recomendada, visto que, no teste de Higuchi, o tamanho da zona dura (retemperada) é muito superior ao tamanho da zona macia (revenida). Este fato se deve à elevada resistência ao revenido desse aço, assim como à baixa temperatura A_{C1} (630 °C), o que dificulta a redução da dureza em temperaturas mais altas.

2 Materiais e Métodos

Com o objetivo de aplicar a técnica da dupla-camada na soldagem do aço ABNT 4140, sem o TTPS, foi utilizada uma metodologia baseada no trabalho de BUENO (1999), onde o teste de HIGUCHI, SAKAMOTO e TANIOKA (1980) serviu de base para a escolha de uma relação adequada entre as energias das camadas.

2.1 Materiais

Os ensaios foram realizados em discos de aço ABNT 4140 com $\phi 150 \times 25$ mm extraídos de barras laminadas a quente com $\phi 150$ mm, cuja composição química encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1- Composição química do metal base (% em peso)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0,45	0,86	0,29	0,03	0,02	1,10	0,23

O material de adição utilizado foi o eletrodo revestido AWS E8018 B2 com diâmetros de 2,5 e 3,25 mm, cuja composição química do metal depositado, segundo o fabricante, encontra-se na Tabela 2. Este eletrodo foi sugerido por técnicos da Petrobrás, pois é o mesmo utilizado no reparo, por solda, do aço ABNT 4140.

Tabela 2- Composição química do metal depositado (% em peso)

C	Mn	Si	Cr	Mo
0,08	0,90	0,60	1,00	0,50

2.2 Métodos

A metodologia foi desenvolvida em duas etapas. A partir dos resultados obtidos na primeira etapa, escolheram-se os parâmetros de soldagem utilizados na segunda etapa.

As soldagens para o teste de Higuchi (1ª etapa) foram realizadas no Sistema Automático para Soldagem com Eletrodo Revestido. Já as soldagens para os ensaios com junta semi-V (2ª etapa), que retratam uma situação prática de reparo na indústria, foram realizadas por um soldador qualificado pela Petrobrás. A seguir será abordada cada uma das etapas.

2.2.1 1ª Etapa – Teste de Higuchi

Nesta etapa, foram realizadas soldagens de simples depósitos e cordão isolado, em corpos de prova temperados (austenitizados a 860 °C em banho de sais por 20 minutos e resfriados em óleo). Foram testados quatro níveis de energias de soldagem, cujos parâmetros se encontram na Tabela 3. Em seguida, foram levantados os perfis de microdureza na seção

transversal da ZAC, numa direção perpendicular à superfície do corpo de prova, com o intuito de se avaliarem os tamanhos das zonas endurecidas e macias, para cada energia de soldagem. No ensaio de microdureza, a carga empregada foi de 100 g e a distância entre as impressões foi igual a 0,2 mm.

Tabela 3- Parâmetros de soldagem do teste de Higuchi

Corpo de Prova	Corrente eficaz (A)	Tensão eficaz (V)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Diâmetro do eletrodo (mm)	Energia de soldagem (kJ/cm)
H5	102	25,8	300	2,5	5,3
H10	103	24,8	150	2,5	10,2
H15	97	25,5	100	2,5	14,8
H18	123	24,4	100	3,25	18,0

Foram medidos o reforço e a penetração de cada cordão de solda através de microscópio ótico, utilizando-se um aumento de 25x.

De posse dos valores do reforço, da penetração e dos tamanhos das zonas duras e macias, construiu-se o gráfico de Higuchi.

Durante a soldagem, a temperatura de preaquecimento e interpasse foi mantida entre 250 °C e 300 °C.

2.2.2. 2ª Etapa – Ensaio com Junta Semi-V

Para avaliar a viabilidade do procedimento de soldagem com dupla camada, sem TTPS, no aço ABNT 4140 temperado (austenitizado a 860 °C em banho de sais por 20 minutos e resfriado em óleo) e revenido a 200 °C por 1 hora, foram soldadas juntas semi-V, conforme a seqüência mostrada na Figura 2. O amanteigamento das faces do chanfro, em duas camadas, foi feito empregando-se relações de energias selecionadas no teste de Higuchi.

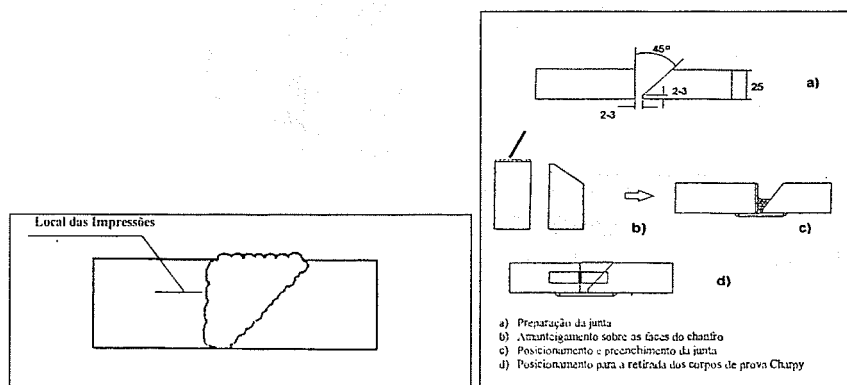


Figura 2- Corpo de prova para a junta semi – V: a) local das impressões, b) Seqüência de preparação e deposição.

Os parâmetros de soldagem utilizados nas duas camadas do amanteigamento estão indicados na Tabela 4. Após o mesmo, foi realizado o preenchimento da junta de acordo com os parâmetros de soldagem da Tabela 5.

Após a soldagem, para cada combinação de energia, o corpo de prova foi dividido ao meio, para que uma das metades fosse submetida a um TTPS a 600 °C por 4 horas, tratamento este semelhante ao usado por BUENO (1999). Em cada metade (sem TTPS e com TTPS), foi feito o levantamento do perfil de microdureza da ZAC da primeira camada do amanteigamento e realizado o ensaio de impacto Charpy a temperatura ambiente. O entalhe do corpo de prova Charpy foi posicionado na ZAC-GG da primeira camada a 1 mm da zona de ligação (região mais frágil). A posição do entalhe em todos os corpos de prova foi paralela à direção de laminação. Vale ressaltar que, nesta posição, encontram-se os piores resultados de energia (posição C da Figura 3).

Tabela 4- Parâmetros de soldagem do amanteigamento

Corpo de Prova		Corrente eficaz (A)	Tensão eficaz (V)	Veloc. de Soldagem (mm/min)	Diâmetro do eletrodo (mm)	Energia de soldagem (kJ/cm)
Semi -V5/5	1ª camada	102	25,9	300	2,5	5,3
	2ª camada	99	24,7	300	2,5	4,9
Semi -V5/10	1ª camada	103	24,6	300	2,5	5,0
	2ª camada	100	24,5	150	2,5	9,8
Semi -V15/5	1ª camada	99	24,9	100	2,5	14,8
	2ª camada	99	24,6	300	2,5	4,9

Tabela 5- Parâmetros de soldagem para o preenchimento da junta semi - V

Parâmetros	Passo de raiz	Passes de Preenchimento
Corrente eficaz (A)	70	109
Tensão eficaz (V)	22,3	22,9
Veloc. de soldagem (mm/min)	200	A critério do soldador
Temp. de preaquecimento (°C)	250 a 300	250 a 300
Temp. de interpasse (°C)	250 a 300	250 a 300
Diâmetro do eletrodo (mm)	2,5	3,25

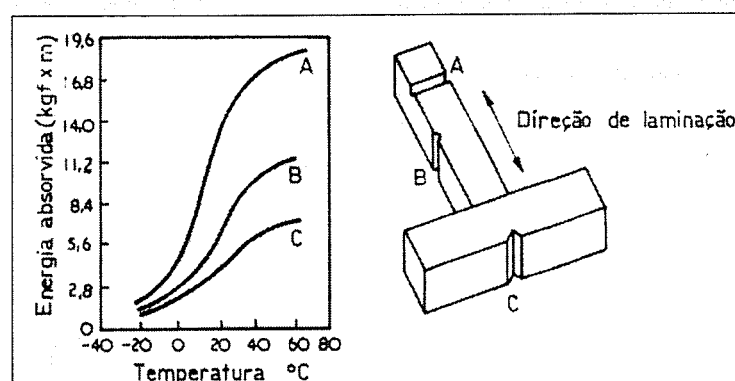


Figura 3- Efeito da posição do entalhe na energia absorvida por impacto (SOUSA, 1982).

3 Resultados

3.1 Teste de Higuchi

A microestrutura do corpo de prova temperado para realização do teste de Higuchi apresentou faixas claras no sentido da laminação, caracterizando falta de homogeneização da composição química do aço, apesar do procedimento correto no tratamento térmico de têmpera, citado anteriormente. Estas faixas, após a soldagem, apresentaram-se constituídas de martensita de alta dureza, caracterizando uma maior temperabilidade nestas regiões da ZAC. Na ZAC-GG, próximo a zona de ligação, elas não eram tão evidentes, como pode ser visto na Figura 4. Tal fato se deve à maior temperatura atingida nesta região que proporcionou uma maior homogeneização da austenita.

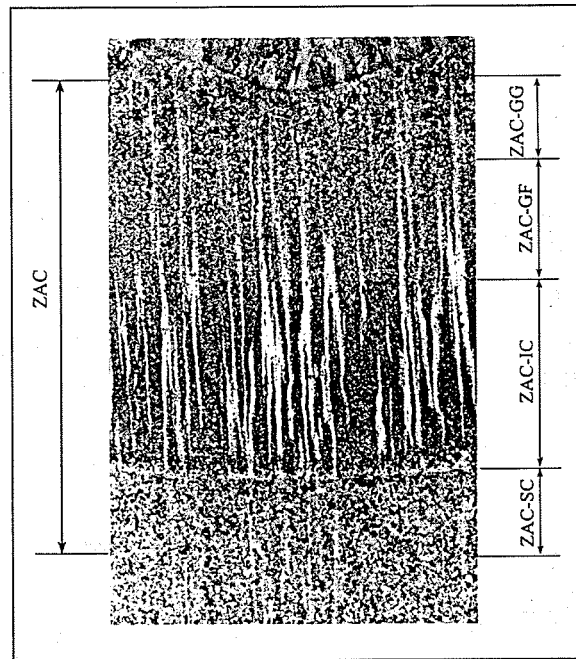


Figura 4- Microestrutura do corpo de prova H15 soldado com uma energia de 15 kJ/cm.

Aumento: 15x. Ataque: nital 2%.

Os perfis de microdureza foram levantados seguindo-se as faixas duras, constituindo assim uma situação mais crítica para o teste de Higuchi, pois implica em zonas duras mais extensas, que avançam na zona macia (ZAC de grãos finos, ZAC-GF, + ZAC intercrítica, ZAC-IC, + ZAC subcrítica, ZAC-SC), conforme mostra a Figura 4.

Os valores do reforço e de penetração para cada energia de soldagem, necessários para a construção dos gráficos de Higuchi, estão contidos na Tabela 6.

Os perfis de microdureza para os quatro níveis de energia empregados estão representados nas Figuras 5 e 6.

Com base nos perfis de microdureza (Figuras 5 e 6), foram determinadas as dimensões das zonas duras e macias da ZAC. Estes resultados, associados às medidas do reforço e da penetração do cordão de solda (Tabela 6), foram empregados para a construção dos gráficos de Higuchi da Figura 7. Nestes gráficos, R representa o reforço, P a penetração, ZD a zona dura e ZM a zona macia. Em virtude da presença das faixas ricas em martensita (Figura 4) e do levantamento do perfil de microdureza sobre as mesmas, apesar do aumento da energia de soldagem, verificou-se um aumento da extensão das zonas duras e uma diminuição da extensão das zonas macias, conforme mostra a Figura 7. Com base nesta Figura, nas equações 1 e 2 e nas recomendações de trabalhos anteriores (BUENO, 1999; HIGUCHI, SAKAMOTO e TANIOKA, 1980), selecionaram-se as seguintes relações de energias: 5/5, 5/10 e 15/5, para a realização das soldagens em juntas semi-V.

Tabela 6- Valores do reforço e penetração

Corpo de prova	Energia de soldagem kJ/cm	Reforço (mm)	Penetração (mm)
H5	5	1,8	1,6
H10	10	1,8	1,4
H15	15	2,3	1,7
H18	18	2,9	1,7

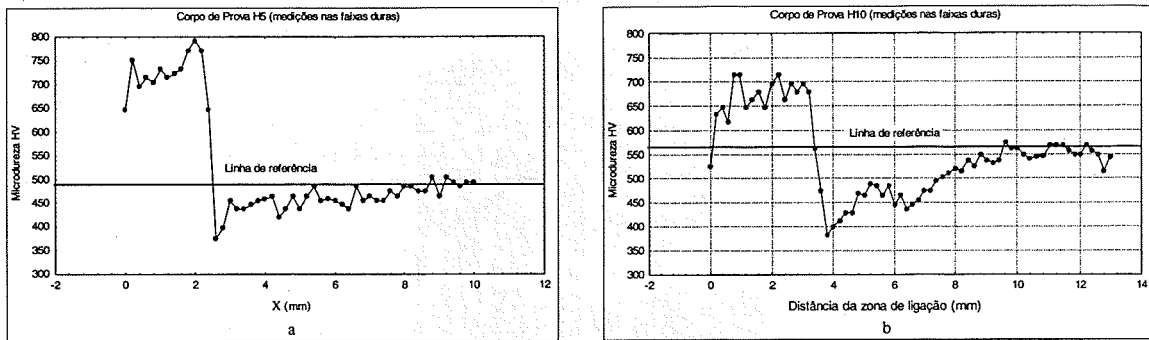


Figura 5- Perfil de microdureza: a) energia de 5 kJ/cm, b) energia de 10 kJ/cm.

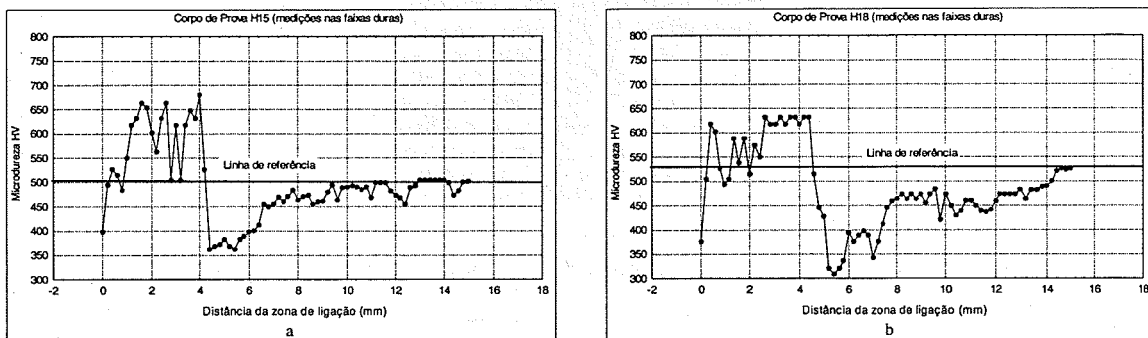


Figura 6 -Perfil de microdureza: a) energia de 15 kJ/cm, b) energia de 18 kJ/cm.

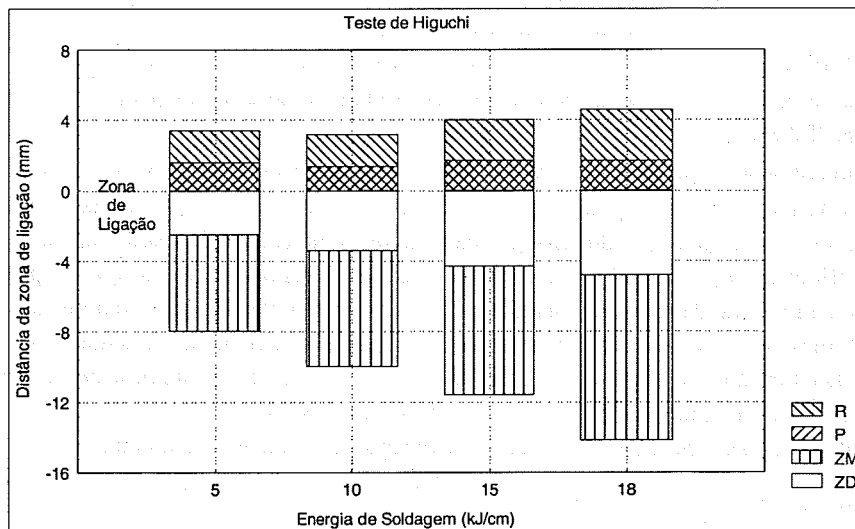


Figura 7- Gráficos de Higuchi.

3.2 Ensaio com Junta Semi - V

O ensaio com a junta semi-V permitiu comparar o procedimento de soldagem do aço ABNT 4140 com e sem TTPS, em relação à tenacidade da ZAC da primeira camada.

O corpo de prova amantegado com a relação de energia 5/5, Figura 8a, apresentou uma microestrutura mais refinada na ZAC-GG da primeira camada que as combinações 5/10 e 15/5, conforme mostram as Figuras 8b e 8c, respectivamente, o que se revelou positivamente no ensaio de impacto. Também foi observado que o refino da ZAC-GG não foi total, havendo regiões que preservaram uma granulação grosseira (gerando zonas frágeis localizadas-ZFLs), mas, não tão grossa quanto a das outras relações de energias.

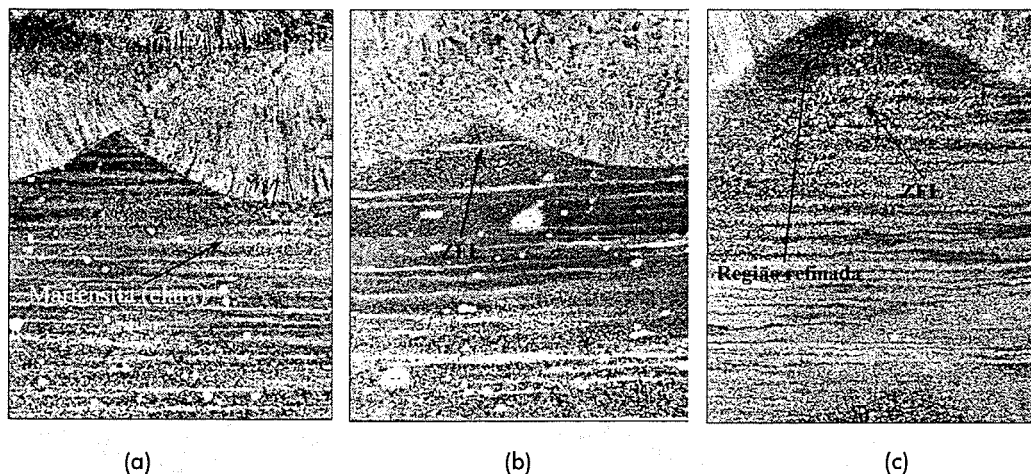


Figura 8 - Microestruturas do corpo de prova Semi-V sem TTPS: a) 5/5, b) 5/10, c) 15/5.
Aumento: 15x. Ataque: nital 2%.

Quanto ao grau de revenimento, os perfis de microdureza mostram a eficácia da técnica da dupla-camada. Em todos os casos, houve um amaciamento da zona dura da primeira camada, como pode ser visto nas Figuras 9a, 10a e 11a.

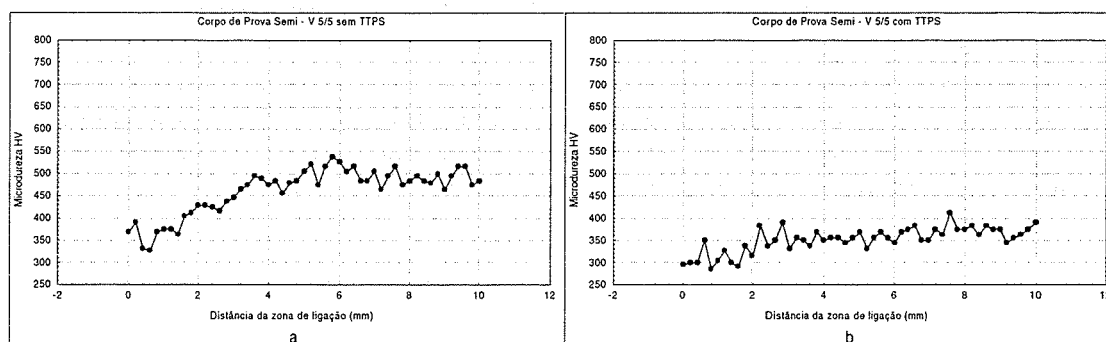


Figura 9 - Perfil de microdureza do corpo de prova semi - V 5/5: a) sem TTPS, b) com TTPS.

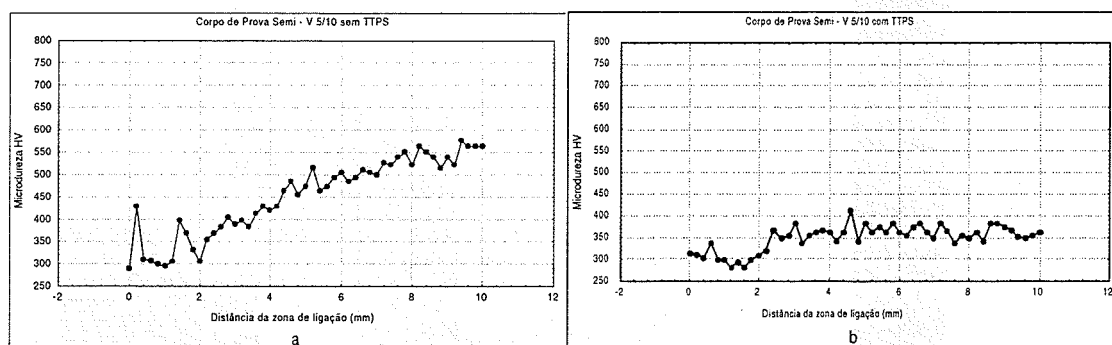


Figura 10 - Perfil de microdureza do corpo de prova semi - V 5/10: a) sem TTPS, b) com TTPS.

Os perfis de microdureza dos corpos de prova semi-V 5/5 e semi-V 5/10 sem TTPS (Figuras 9a e 10a) mostraram que, apesar do teste de Higuchi ter apresentado $PZD_2 > R_1 + P_1$, no caso maior que 0,7 mm para o semi-V 5/5 e 1,4 mm para o semi-V5/10, na prática não houve retêmpera na zona dura da primeira camada. Este fato se deve ao levantamento dos perfis de microdureza do teste de Higuchi sobre as faixas duras, que geram zonas duras mais extensas do que deveriam ser.

Pôde-se observar também que houve uma diminuição das faixas claras (duras) na ZAC da primeira camada dos corpos de prova com TTPS, devido ao tratamento térmico que melhorou a homogeneização da microestrutura.

A relação de energia 15/5 apresentou uma ZAC-GG da primeira camada mais grosseira e mais extensa que as outras, confirmando a inviabilidade do uso de uma energia muito alta na primeira camada. Embora no corpo de prova amanteigado com a relação de energia 15/5 tenha havido o revenimento e conseqüente diminuição de dureza na zona dura, a granulação da ZAC-GG da primeira camada não foi suficientemente refinada, o que influenciou negativamente os resultados do ensaio de impacto Charpy.

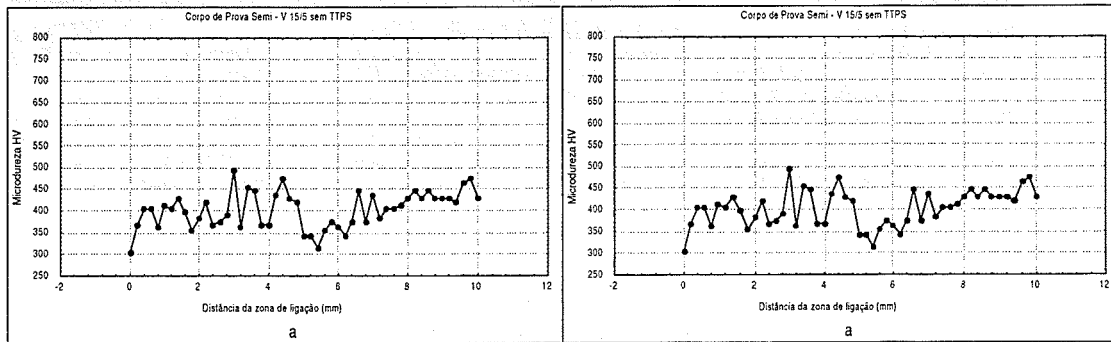


Figura 11- Perfil de microdureza do corpo de prova semi – V 15/5: a) sem TTPS, b) com TTPS.

Nos corpos de prova com TTPS, os perfis de microdureza mostram que o tratamento proporcionou uma queda de dureza maior e mais uniforme ao longo da ZAC que nos corpos de prova sem TTPS, conforme mostram as Figuras 9b, 10b e 11b.

Os resultados do ensaio de impacto Charpy, apresentados na Figura 12, foram decisivos para a comparação dos diversos procedimentos de soldagem.

Analisando os resultados dos corpos de prova do metal base temperado e revenido em três condições diferentes (Figura 12), pode-se observar que as energias absorvidas foram abaixo dos valores da literatura (45 J). A baixa absorção de energia se deve, provavelmente, à posição mais crítica do entalhe, à presença de inclusões alongadas de MnS (Figuras 13) com elevado comprimento (até 230 µm) e às faixas ricas em martensita dura paralelas à laminação.

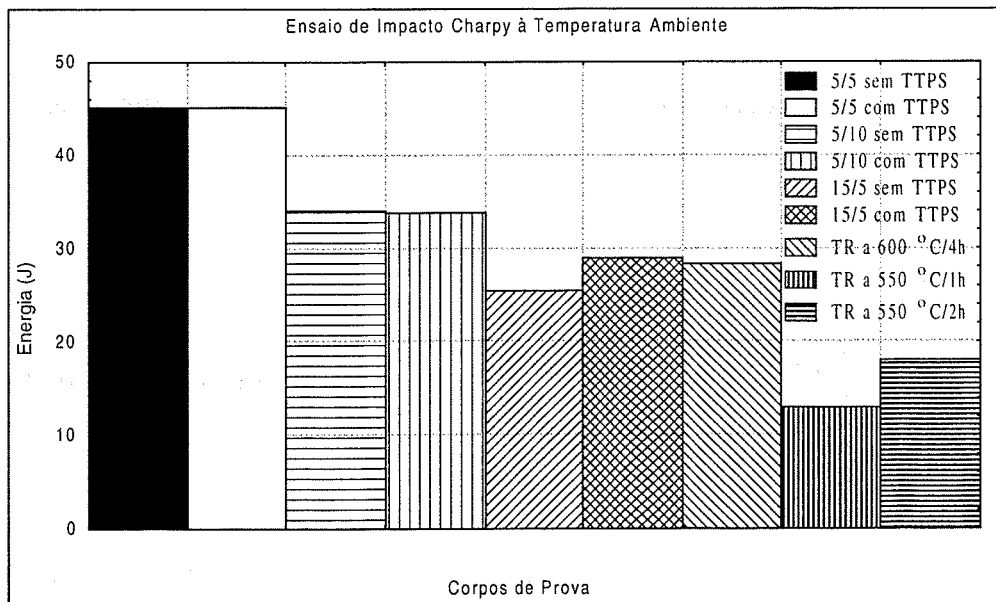


Figura 12 - Comparativo da energia de impacto Charpy entre o material amanteigado com diferentes relações de energias de soldagem, com e sem TTPS e o material base temperado e revenido.

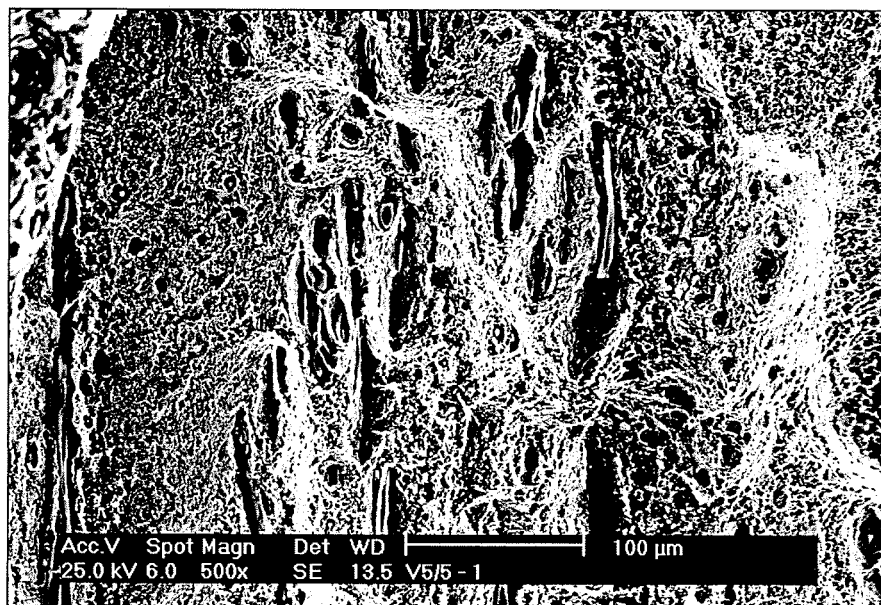


Figura 13 - Aspecto da fratura do corpo de prova Charpy da junta amanteigada com a relação 5/5 sem TTPS. Presença de inclusões de MnS próximo ao entalhe.

4 Conclusões

Com base nos resultados deste trabalho, obtiveram-se as conclusões relacionadas abaixo.

- As informações do teste de Higuchi são suficientes apenas para proporcionar uma expectativa de amolecimento da ZAC-GG da primeira camada, mas, insuficientes para proporcionar uma expectativa de tenacidade.
- No levantamento dos perfis de dureza para a confecção dos gráficos de Higuchi, deve-se considerar a presença de faixas duras alinhadas na direção de laminação.
- A técnica da dupla-camada para o aço ABNT 4140 mostrou-se eficiente, já que, para os três níveis de energia empregados, a tenacidade foi semelhante à obtida nos corpos de prova submetido ao TTPS e ainda, superior à do metal base temperado e revenido em três condições diferentes, podendo, portanto, dispensar o TTPS.
- Os resultados obtidos indicam que a melhor performance da técnica da dupla-camada é alcançada quando se emprega baixo aporte térmico na primeira camada, com relações de 1:1 a 1:2.
- O uso de uma energia muito elevada na primeira camada concorre para um elevado crescimento de grão da ZAC-GG da mesma, dificultando o seu refino pela segunda camada, prejudicando assim a tenacidade da mesma.

A presença de inclusões de MnS alongadas de elevada dimensão, paralelas à direção de laminação e ao entalhe do corpo de prova Charpy e de faixas de martensita dura também alinhadas com o entalhe do referido corpo de prova, foram determinantes para os baixos valores de energias encontrados neste trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET-CE pelo apoio a este trabalho, à Petrobrás pela liberação do soldador, ao ENGESOLDA-UFC pelo apoio laboratorial e a ANP, FUNCAP e CNPq pelo suporte financeiro.

Referências

BUENO, E. R. *Desenvolvimento do procedimento de soldagem do aço AISI 4140 sem tratamento térmico posterior*. 1999. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- HENKE, S. L. et al. Soldagem dissimilar do aço CA - 6NM sem tratamento térmico posterior. *Soldagem e Inspeção*, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 1-9, Jan / Mar, 2000.
- HIGUCHI, M.; SAKAMOTO, H.; TANIOKA, S. A study on weld repair through half bead method. *IHI Engineering Review*, Miami, v. 13, n. 2, p. 28-33, Apr. 1980.
- NIÑO, C. E. B.; BUSCHINELLI, A. J. A. Análise de alternativas de reparo por soldagem de aços Cr - Mo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM, 21., 1995, Caxias do Sul. *Anais... Caxias do Sul: Associação Brasileira de Soldagem*, 1995, p. 241-257.
- NIÑO, C. E. B.; CORRÊA, J. A.; BUSCHINELLI, A. J. A. Técnicas de reparo por soldagem em aços 5Cr-0,5Mo. *Soldagem e Materiais*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 28-33, Abr/Jun 1992.
- SOUSA, S. A. *Ensaaios mecânicos de materiais metálicos*. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 286p.
- STILL, J. R. Welding of AISI 4130 and 4140 steels for drilling systems. *Welding Journal*, Miami, v. 76, n. 6, p. 37-42, June 1997.
- STILL, J. R.; BLACKWOOD, V. How to ensure fit-for-purpose welds in "Muddy Situations". *Welding Journal*, Miami, v. 77, n. 12, p. 53-56, Dec. 1998.
- TEIXEIRA, J. C. G.; POPE, A. M. Técnica de deposição em dupla-camada para reparo e modificações e tratamento térmico pós-soldagem de aço 1Cr-0,5Mo. *Soldagem e Materiais*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 23-27, Abr/Jun 1992.

SOBRE OS AUTORES

Jesualdo Pereira Farias

Engenheiro Mecânico, UNIFOR, 1982; M. Eng. Mecânica, UFSC, 1985; Dr. Eng. Mecânica, UFSC, 1993. Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção da UFC; Vice-Diretor do Centro de Tecnologia. Pesquisador do CNPq; membro da ABS, Associação Brasileira de Soldagem; AWS, American Welding Society; ABCM, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas; ABM, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais e ABENGE, Associação Brasileira do Ensino de Engenharia.

Willys Machado Aguiar

Engenheiro Mecânico, UFC, 1986; M. Engenharia e Ciência de Materiais, UFC, 2001. Professor do Departamento de Mecatrônica do CEFET-CE. Membro da ABCM, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas e ABM Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.