

EFEITO DA TÉCNICA DA DUPLA CAMADA SOBRE A MICROESTRUTURA E TENACIDADE DA ZAC DO AÇO ABNT 4140 RECUPERADO POR SOLDAGEM.

Willys Machado Aguiar

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFET-Ce. Rua Joaquim Nabuco, 2576/202 – Dionísio Torres – 60.125-121 – Fortaleza-Ce. willys@cefet.br

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Engenharia de Soldagem ENGESOLDA-UFC. Rua Amarílio Cartaxo, 700 – Dunas – 60.181-550 – Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Cleiton Carvalho Silva

Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Engenharia de Soldagem ENGESOLDA-UFC. Rua Raul Cabral, 521 – Montese – 60.420-230 – Fortaleza-Ce. cleiton@engenhariaufc.zzn.com

Resumo. Na soldagem do aço ABNT 4140, o ciclo térmico é suficiente para formar martensita na zona afetada pelo calor (ZAC), o procedimento convencional recomenda um tratamento térmico pós-soldagem para aliviar as tensões e melhorar a tenacidade. 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. O presente trabalho propôs o estudo do efeito desta técnica sobre a microestrutura da ZAC. Concluiu-se que o refinamento e o revenimento provocado pela segunda camada sobre a ZAC da primeira camada foi suficiente para proporcionar uma absorção de energia de impacto charpy-v semelhante aos corpos de prova submetido ao Tratamento Térmico Pós-soldagem. Contudo, as heterogeneidades apresentadas na microestrutura do metal base devem ser estudadas por se tratar de um fator prejudicial às suas propriedades mecânicas, principalmente a resistência ao impacto.

Palavras chaves: Soldagem. Dupla-camada. Tenacidade. Aço ABNT 4140

1. INTRODUÇÃO

Os aços baixa liga, tal como o ABNT 4140, produzem uma elevada fração volumétrica de martensita, com relativa facilidade quando austenitizados e resfriados rapidamente. Este constituinte, dependendo do seu teor de carbono, apresenta elevada dureza e baixa tenacidade, sendo susceptível à trincas. Na soldagem destes aços, o ciclo térmico é capaz de produzir martensita sem revenimento na zona fundida (ZF) e na zona afetada pelo calor (ZAC). Sendo agravada pela formação de uma região de crescimento de grãos, denominada ZAC-GG (grãos grossos), logo após a zona de ligação, onde torna-se mais fácil a propagação de trincas, tornando o material menos resistente ao impacto. Esta estrutura frágil, associada com tensões internas devido a restrição da junta, com a contração devido a solidificação e com alterações de volume devido a transformações de fases, na presença de hidrogênio dissolvido pode trincar e causar a fratura da peça.

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 elevado custo ou mesmo à impossibilidade de realização do mesmo em determinadas condições (estruturas de grande porte, montagem ou reparo no campo, etc). Henke et all, (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. Vários trabalhos (Bueno, 1999, Still, 1997, Still et all, 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-GG da primeira. Para a escolha das energias de soldagem das camadas utiliza-se o teste de Higuchi (Higuchi et all, 1980), que mede a altura do reforço, profundidade de penetração e a extensão das regiões macias e de re-tempera (endurecidas) da ZAC, através de ensaios de microdureza. Contudo, este teste não avalia se a sobreposição dos ciclos térmicos está sendo satisfatória, no que diz respeito ao refino da ZAC-GG, devendo-se analisar a microestrutura, através de exames metalográficos em microscopia ótica e ensaio de impacto para verificação da resistência ao impacto. A importância da análise do refino da ZAC-GG deve-se à grande fragilidade apresentada nesta região, por ser esta a mais crítica em relação a propagação de trincas. Não só pela formação de martensita não revenida, mas também pelo elevado crescimento de grão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os ensaios foram realizados em discos de aço ABNT 4140 com (\varnothing 150 mm e espessura de 25 mm), cuja composição química encontra-se na Tabela 1. O aço como fornecido apresentou uma microestrutura constituída de ferrita e perlita com granulação grosseira conforme indicado na Figura 1. O aço apresentou uma elevada quantidade de inclusões não metálicas se comparado com o aço ABNT 4340 do mesmo fabricante. O resultado obtido através da micrografia dos dois aços, sem ataque, pode ser constatado nas Figuras 2a. e 2b. Outra observação relevante foi o tamanho dos sulfetos de manganês presentes no aço, chegando a medir comprimentos de até 230 μ m, como indicado na Figura 2c.

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

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

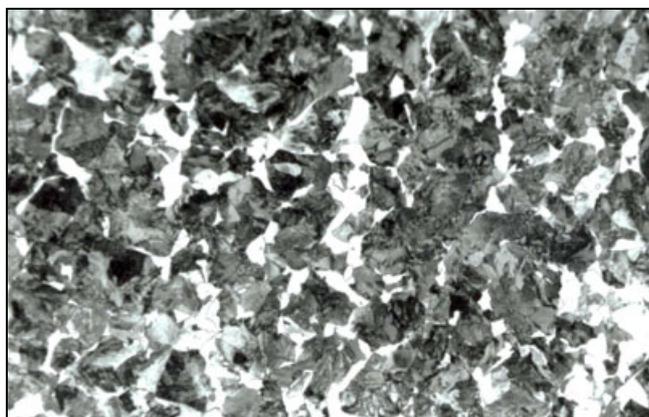


Figura 1. Microestrutura do aço ABNT 4140 como fornecido. Aumento 300X. Ataque Nital 2%.

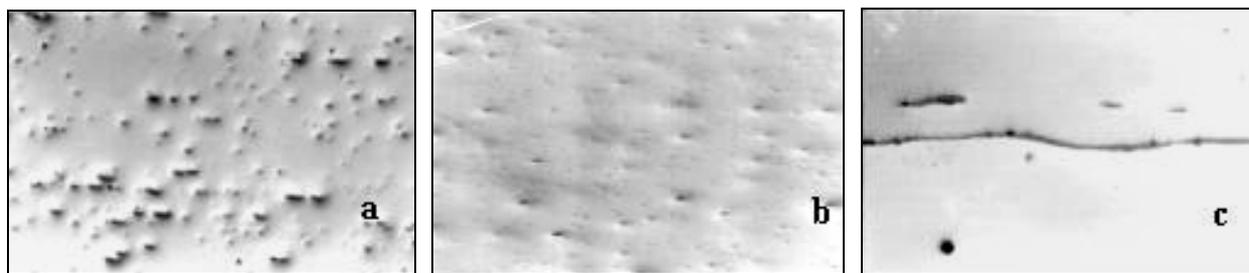


Figura 2. (a) Micrografia do aço ABNT 4140. Aumento 25X (b) Micrografia do aço ABNT 4340. Aumento 25X. (c) Presença de longas inclusões de MnS no aço ABNT 4140. Aumento: 240X. Todas sem ataque.

Como material de adição foi utilizado o eletrodo revestido AWS E8018 B2 cuja composição do metal depositado, segundo o fabricante, encontra-se na Tabela 2. A utilização deste eletrodo é sugerida por técnicos da Petrobrás, por ser o mesmo eletrodo utilizado em reparo, por solda, no 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 adotada para a realização deste trabalho foi composta por quatro etapas, sendo que os resultados obtidos nas análises das três primeiras etapas, serviram para coletar dados que conduzissem à uma escolha correta dos parâmetros para a realização da quarta etapa, que buscou retratar uma situação prática de reparo com solda.

2.2.1 Ensaio de Simples Depósito (cordão isolado)

Esta primeira etapa consistiu na deposição de um cordão de solda sobre corpos de prova temperados (austenitizados a 860°C em banho de sais por 20 minutos e resfriados em óleo), e não revenidos para a avaliação da microestrutura, medição do reforço e da penetração, extensão da ZAC e realização do teste de Higuchi. A partir deste teste é possível encontrar uma relação entre as energias de soldagem da primeira e segunda camada, que possibilite o refino da ZAC-GG da primeira camada, pela sobreposição do ciclo térmico gerado pela segunda camada. Foram testados quatro valores de energias de soldagem, cujos parâmetros encontram-se na Tabela 3. Nesta etapa, as soldagens foram realizadas utilizando o Posicionador Automático para Soldagem Experimental com Eletrodo Revestido, desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Soldagem da UFC. Durante a soldagem, a temperatura de preaquecimento e interpasse foi mantida entre 250°C e 300°C. Estes valores são recomendados pela literatura (Still, 1997, Metals Handbook, 1992).

Tabela 3- Parâmetros de soldagem do ensaio de simples depósito (cordão isolado)

| Corpo de Prova | Corrente eficaz (A) | Tensão eficaz (V) | Velocidade de Soldagem (cm/min) | φ eletrodo (mm) | Energia de soldagem (kJ/cm) |
|----------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| H5 | 102 | 25,8 | 30,0 | 2,5 | 5,3 |
| H10 | 103 | 24,8 | 15,0 | 2,5 | 10,2 |
| H15 | 97 | 25,5 | 10,0 | 2,5 | 14,8 |
| H18 | 123 | 24,4 | 10,0 | 3,25 | 18 |

2.2.2 Ensaio de Simples Depósito (camada única)

Esta etapa consistiu na deposição de uma camada de solda formada por vários cordões, dispostos lado a lado, sobre corpos de prova temperados (austenitizados a 860°C em banho de sais por 20 minutos e resfriados em óleo) e revenidos a 200°C por 1 hora. As soldagens desta etapa e das demais foram realizadas por um soldador qualificado pela Petrobrás. O procedimento de soldagem

foi realizado com o eletrodo na posição vertical, e o seu posicionamento para as soldagens subsequentes foi na base do cordão de solda anterior de forma a sobrepor 50 % deste cordão. Foram soldados dois corpos de prova com dois níveis de energias de soldagem, cujos parâmetros encontram-se na Tabela 4. Foram escolhidas estas duas energias de soldagem apenas para verificar o efeito do aumento da energia de soldagem sobre o refino da ZAC-GG, através dos passes laterais. Em seguida, foram realizados exames metalográficos para a observação da microestrutura e medição aproximada da área da ZAC-GG e seu percentual refinado (utilizando o software AUTO CAD 14), além do reforço médio e penetração média para cada energia.

Tabela 4-Parâmetros de soldagem do ensaio de simples depósito (camada única)

| Corpo de Prova | Corrente eficaz (A) | Tensão eficaz (V) | Velocidade. De soldagem (cm/min) | φ eletrodo (mm) | Energia de soldagem (kJ/cm) |
|----------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| CU5 | 101 | 25,3 | 30,0 | 2,5 | 5,1 |
| CU10 | 100 | 25,6 | 15,0 | 2,5 | 10,2 |

2.2.3 Ensaio em Dupla-Camada

Com base nos resultados da primeira etapa, foram realizados ensaios de simples depósito em dupla camada, com três relações de energia de soldagem entre a primeira e a segunda camada sobre corpos de prova temperados (austenitizados a 860°C em banho de sais por 20 minutos e resfriados em óleo) e revenidos a 200°C por 1 hora. Os parâmetros de soldagem estão mostrados na Tabela 5.

Os corpos de prova foram soldados mantendo-se as temperaturas de preaquecimento e interpasse na faixa de 250 a 300 °C.

Tabela 5-Parâmetros de soldagem para ensaio em dupla-camada.

| Corpo de Prova | | Corrente eficaz (A) | Tensão eficaz (V) | Velocidade de soldagem (cm/min) | φ eletrodo (mm) | Energia de soldagem (kJ/cm) |
|----------------|-----------|---------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| DC5/5 | 1ª camada | 103 | 25,6 | 30,0 | 2,5 | 5,3 |
| | 2ª camada | 102 | 25,7 | 30,0 | 2,5 | 5,2 |
| DC5/10 | 1ª camada | 101 | 25,8 | 30,0 | 2,5 | 5,2 |
| | 2ª camada | 102 | 25,7 | 15,0 | 2,5 | 10,5 |
| DC15/5 | 1ª camada | 100 | 25,1 | 10,0 | 2,5 | 15,0 |
| | 2ª camada | 101 | 25,3 | 30,0 | 2,5 | 5,1 |

2.2.4 Ensaio com Junta Semi-V

Esta etapa foi realizada no intuito de avaliar a viabilidade do procedimento de soldagem com dupla camada, simulando uma situação real de recuperação por soldagem. Os corpos de prova para esta etapa foram juntas semi-V. Após a confecção do chanfro, os corpos de prova foram temperados (austenitizados a 860°C em banho de sais por 20 minutos e resfriados em óleo) e revenidos a 200°C por 1 hora. O amanteigamento, em dupla camada, foi realizado empregando-se as mesmas relações de energia de soldagem utilizadas no ensaio em dupla-camada. Durante a soldagem, a temperatura de preaquecimento e interpasse foi mantida entre 250°C e 300°C.

Os parâmetros de soldagem utilizados no amanteigamento estão indicados na tabela 6. O preenchimento da junta após o amanteigamento foi realizado de acordo com os parâmetros de soldagem da Tabela 7.

Visando comparar os resultados na soldagem em dupla camada com e sem tratamento térmico posterior, os corpos de prova para cada combinação de energia foram seccionados ao meio, sendo uma das metades submetida a um TTPS a 600°C por 4 horas, tratamento este semelhante ao usado por Bueno (1999). Em cada metade (com TTPS e sem TTPS) foram extraídas amostras metalográficas para verificar, qualitativamente, o grau de refino da ZAC-GG da primeira camada do amanteigamento. Também foi extraído material para a preparação de corpos de prova para ensaio de impacto Charpy a temperatura ambiente.

Tabela 6- Parâmetros de soldagem do amanteigamento

| Corpo de Prova | | Corrente eficaz (A) | Tensão eficaz (V) | Velocidade de soldagem (cm/min) | ϕ eletrodo (mm) | Energia de soldagem (kJ/cm) |
|----------------|-----------|---------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Semi-V5/5 | 1ª camada | 102 | 25,9 | 30,0 | 2,5 | 5,3 |
| | 2ª camada | 99 | 24,7 | 30,0 | 2,5 | 4,9 |
| Semi-V5/10 | 1ª camada | 103 | 24,6 | 30,0 | 2,5 | 5,0 |
| | 2ª camada | 100 | 24,5 | 15,0 | 2,5 | 9,8 |
| Semi-V15/5 | 1ª camada | 99 | 24,9 | 10,0 | 2,5 | 14,8 |
| | 2ª camada | 99 | 24,6 | 30,0 | 2,5 | 4,9 |

Tabela 7- parâmetros de soldagem do enchimento da junta.

| Parâmetros | Passo de Raiz | Passos de Preenchimento |
|------------------------------|---------------|-------------------------|
| Corrente eficaz (A) | 70 | 109 |
| Tensão eficaz (V) | 22,3 | 22,9 |
| Veloc. de soldagem (cm/min) | 20 | A critério do soldador |
| Temp. de preaquecimento (°C) | 250 a 300 | 250 a 300 |
| Temp. de interpasso (°C) | 250 a 300 | 250 a 300 |
| Diâmetro do eletrodo (mm) | 2,5 | 3,25 |

O entalhe do corpo de prova Charpy foi posicionado na ZAC-GG da primeira camada a 1 mm da zona de ligação, por se tratar da região mais frágil. Outro detalhe importante é que a posição do entalhe nos corpos de prova foi paralela à direção de laminação, posição C da Figura 3, Souza (1982). Esta posição foi escolhida por obter-se os piores resultados de energia, como pode ser visto na Figura 3. O resultado do ensaio de impacto Charpy representou a média de três corpos de prova para cada energia de soldagem.

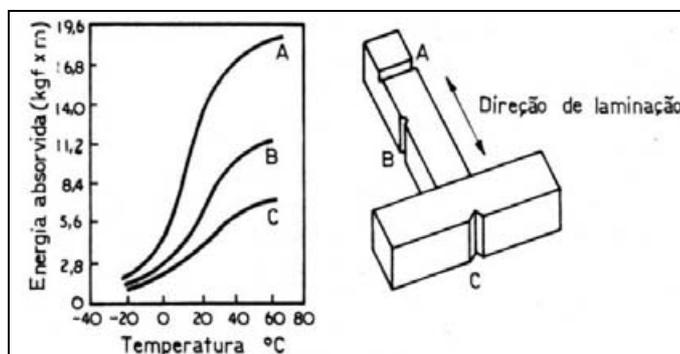


Figura 3 - Efeito da posição do entalhe na energia absorvida por impacto (Souza, 1992).

3 RESULTADOS E DISCURSÕES

3.1 Ensaio de Simples Depósito (cordão isolado)

A microestrutura do aço após o tratamento térmico de tempera é apresentada na Figura 4. Observou-se a presença de faixas claras no sentido da laminação, que são caracterizados pela falta de homogeneização da composição química do aço. Este fenômeno é conhecido por bandeamento (NITC, 1974). Através de análise por EDX, verificou-se que o teor de Cr nas faixas claras é maior que na região escura, e que o teor de Mo sofre uma pequena variação. Quanto ao teor de C não foi possível se determinar. Estas faixas claras após a soldagem apresentaram-se constituídas de martensita de elevada dureza, caracterizando uma maior temperabilidade nestas regiões da ZAC. Na ZAC-GG, as faixas claras eram menos evidentes, visto que a temperatura atingida é maior, proporcionando assim uma melhor homogeneização da austenita.

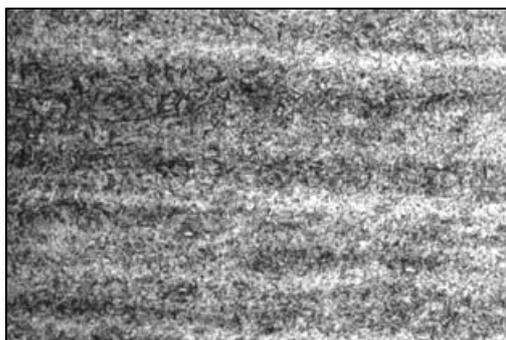


Figura 4.- Aço ABNT 4140 temperado. Aumento: 15X. Ataque: nital 2%

Através de microscopia ótica, analisou-se a micrografia da região da solda dos corpos de prova, observando-se qualitativamente o aumento da extensão da ZAC com o aumento da energia de soldagem. Observou-se também que quanto maior a energia de soldagem, mais extensa torna-se a ZAC-GG e maior o tamanho dos seus grãos. A Figura 5 apresenta a extensão da ZAC para a soldagem com 15 kJ/cm. Utilizando a escala do microscópio metalográfico (com incerteza de medição em torno de 0,02 mm) foram medidos o reforço e a penetração do cordão de solda para cada energia da soldagem. Os dados estão contidos na Tabela 8, onde pode ser verificado que o reforço aumentou com o aumento da energia e que a penetração praticamente não variou.

Tabela 8- Valores do reforço e penetração

| Corpo de Prova | Energia de soldagem (kJ/cm) | Reforço (mm) | Penetração (mm) |
|----------------|-----------------------------|--------------|-----------------|
| H5 | 5,0 | 1,8 | 1,6 |
| H10 | 10,0 | 1,8 | 1,4 |
| H15 | 15,0 | 2,3 | 1,7 |
| H18 | 18,0 | 2,9 | 1,7 |

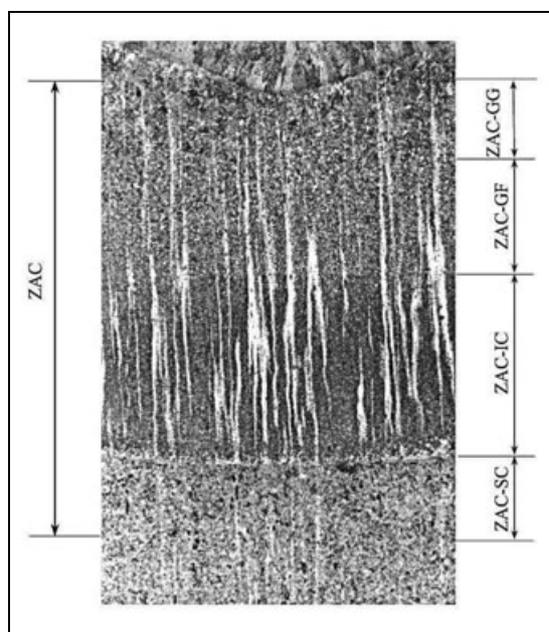


Figura 5 -Corpo de prova H15 soldado com energia de soldagem de 15 kJ/cm. Aumento: 15X. Ataque: nital 2%.

3.2 Ensaio de Simples Depósito (camada única)

Verificou-se que os passes laterais proporcionam um refino parcial da ZAC-GG, como mostra a Figura 6. Utilizando-se o software Auto Cad 14 pôde-se medir, aproximadamente, a área da ZAC-GG de um dos cordões de solda e comparar com a área da região que foi refinada pelos passes laterais. O corpo de prova soldado com energia de 5 kJ/cm, apresentou um refino de 32% da ZAC-

GG, enquanto no corpo de prova soldado com energia de 10 kJ/cm o resultado foi de 36% de refino na ZAC-GG.

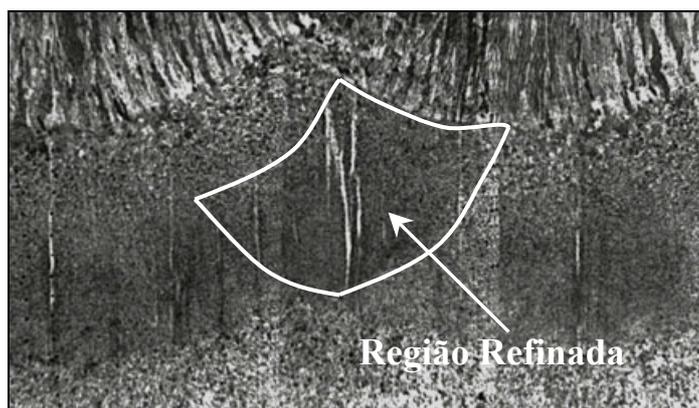


Figura 6 - Microestrutura do corpo de prova CU5. Aumento: 15X. Ataque: nital 2%.

3.3 Ensaio em Dupla-Camada

Nesta etapa, avaliou-se o grau de refino proporcionado pelo ciclo térmico da segunda camada sobre a ZAC-GG, associado com o refino produzido pelos passes laterais da primeira camada. Deve-se evitar a reaustenitização da primeira camada acima de 1100 °C, onde nesta situação a austenita apresenta maior temperabilidade devido a maior homogeneização, e elevado tamanho de grão. Com isso, no resfriamento posterior, ocorreria a formação de martensita com elevada dureza e sem revenimento. A formação desta região de retêmpera é extremamente prejudicial para a técnica da dupla camada.

O corpo de prova com a relação de energia de 5/5 (Figura 7a.) apresentou uma microestrutura mais refinada na ZAC-GG da primeira camada, se comparado com as relações de 5/10 e 15/5, conforme mostram as Figuras 7b e 7c, respectivamente. Comparou-se também a ZAC-GG da primeira camada, da relação de energia 5/5, com a ZAC-GG do cordão isolado com energia de 5 kJ/cm, onde o tamanho de grão ABNT da ZAC-GG do cordão isolado apresentava-se em torno de TG 4 a TG 5 (Figura 8a), e o tamanho de grão ABNT apresentado na ZAC-GG da relação de energia 5/5 era em torno de TG 8 (Figura 8b). Verificou-se também que o refino da ZAC-GG não foi total, restando regiões que mantiveram uma granulação grosseira denominadas de zonas frágeis localizadas ZFLs, mas não tão grosseiras quanto às observadas nas outras relações de energias, Figuras 7a, 7b e 7c.

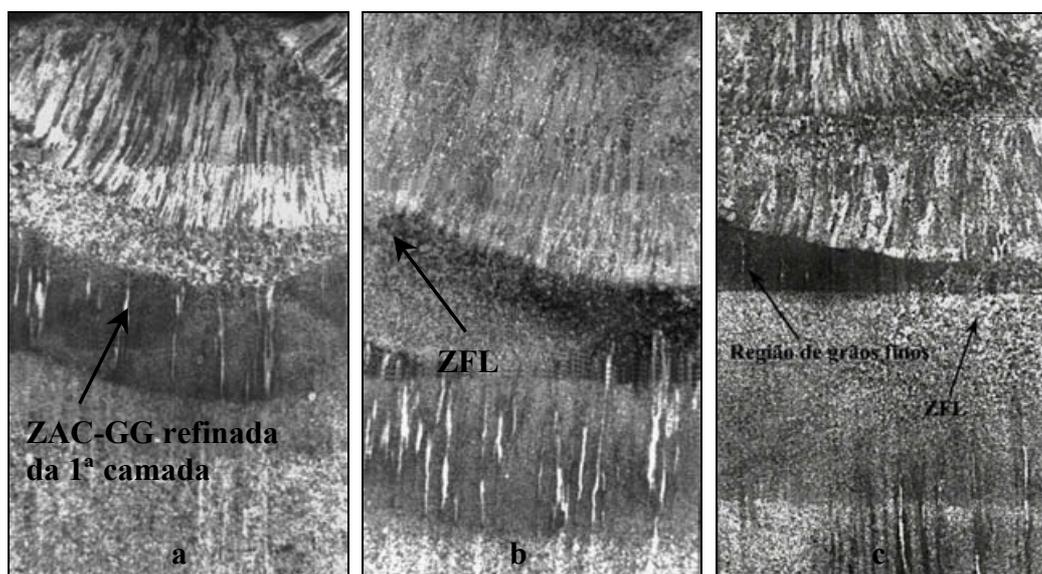


Figura 7 – Microestrutura dos corpos de prova com dupla-camada: (a) corpo de prova DC 5/5, (b) corpo de prova DC 5/10, (c) corpo de prova DC 15/5. Aumento: 10X. Ataque: nital 2%.



Figura 8 - Microestrutura da ZAC-GG: (a) corpo de prova H5 (b) corpo de prova DC 5/5. Aumento: 60X. Ataque: nital 2%.

3.4 Ensaio com Junta Semi-V

Este ensaio permitiu comparar o procedimento de soldagem do aço ABNT 4140 com e sem TTPS, com relação à tenacidade da ZAC. As três relações de energias de soldagem (5/5, 5/10 e 15/5) empregadas no amanteigamento da face do chanfro, produziram microestruturas com a mesma tendência do ensaio de dupla camada. A relação de energia 5/5 foi a que apresentou uma menor granulação da ZAC-GG da primeira camada, revelando-se um fator positivo no ensaio de impacto à temperatura ambiente. São apresentadas nas Figuras 9a e 9b, as microestruturas dos corpos de prova Semi-V das relações de energias de 5/5 e 15/5 kJ/cm, sem TTPS, e nas figuras 9c e 9d, as microestruturas dos corpos de prova com TTPS, a partir da secção transversal da face amanteigada, para as três relações de energia utilizadas. Observou-se que as faixas claras da ZAC nos corpos de prova submetidos ao TTPS diminuíram, se comparado com os corpos sem TTPS, devido a melhor homogeneização da microestrutura.

Os resultados do ensaio de impacto Charpy, apresentados na Figura 10, foram decisivos para a comparação dos procedimentos de soldagem. Analisando os resultados dos corpos de prova do metal base em três condições de revenimento, pôde-se observar que as energias absorvidas foram abaixo dos valores da literatura (45 J). Devendo-se este fato, provavelmente, à posição mais crítica do entalhe, a presença de inclusões alongadas de MnS (Figura 2c) com elevado comprimento e as faixas claras ricas em martensita de elevada dureza no sentido da laminação.

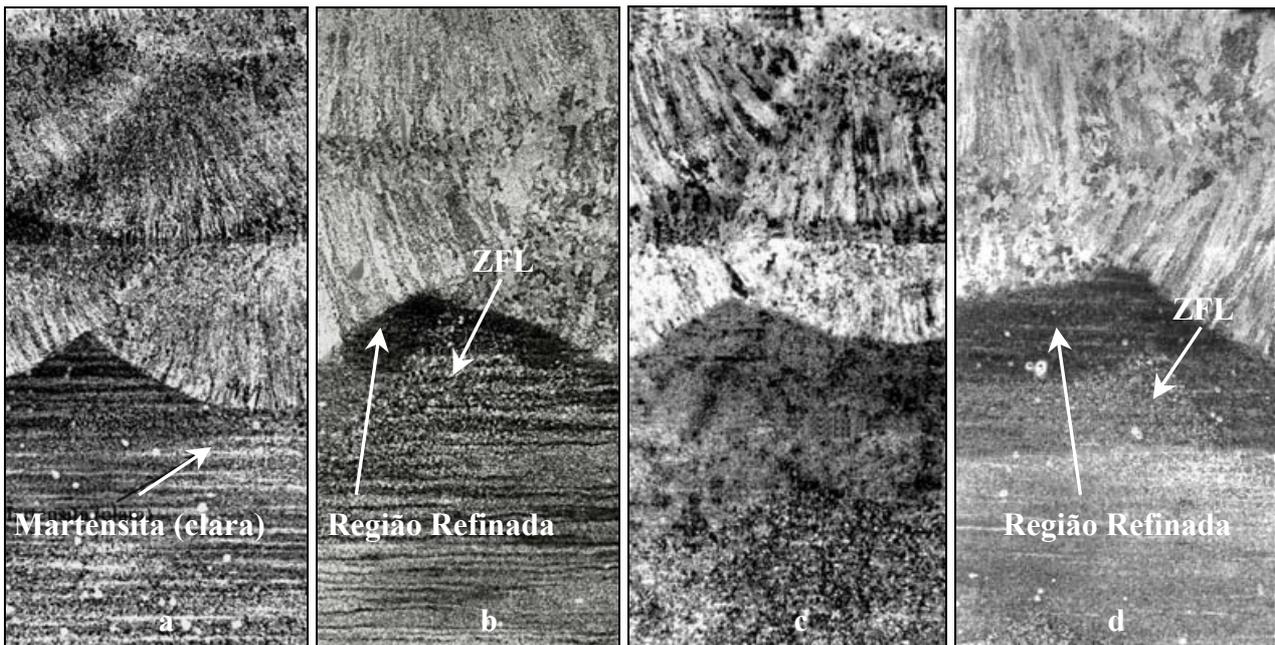


Figura 9- Microestrutura dos corpos de prova: (a) Semi-V 5/5 sem TTPS. (b) Semi-V 15/5 sem TTPS. (c) Semi-V 5/5 com TTPS. (d) Semi-V 15/5 com TTPS. Aumento: 10X. Ataque: nital 2%.

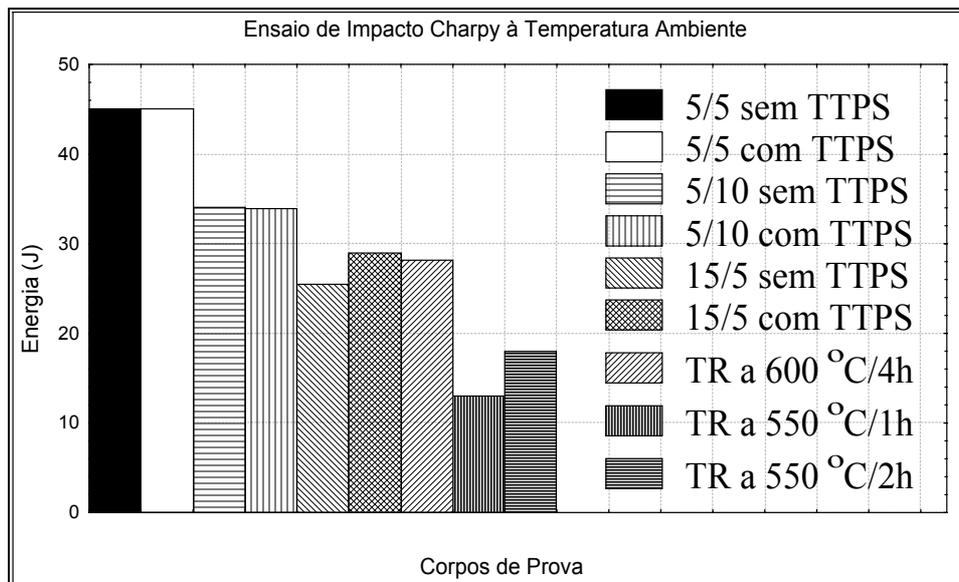


Figura 10- Comparativo da energia de impacto Charpy entre o material amanteigado com diferentes relações de energias de soldagem, com e sem TTPS e o metal de base temperado e revenido.

4 CONCLUSÕES

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

O grau de refino da ZAC-GG proporcionado pela técnica da dupla-camada para o aço ABNT 4140 mostrou ser suficiente, visto que, para os três níveis de energia empregados, a tenacidade foi semelhante a obtida nos corpos de prova submetido ao TTPS e ainda, superior a 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 sua ZAC-GG, dificultando o seu refino pela segunda camada, prejudicando assim a tenacidade da mesma.

A presença de inclusões alongadas de MnS com elevadas dimensões, 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 de impacto encontrados neste trabalho.

5 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 à ANP, FUNCAP e CNPq pelo suporte financeiro.

6 REFERÊNCIAS

- Henke, S. L., Niño, C. E., Buschinelli, A. J. A., Corrêa, J. A. Soldagem Dissimilar do Aço CA-6NM sem Tratamento Térmico Posterior. Soldagem e Inspeção, ano 6, nº1-suplemento técnico, 2000, p.1-9.
- Bueno, E. R. Desenvolvimento do Procedimento de Soldagem do Aço AISI 4140 sem Tratamento Térmico Posterior. Florianópolis: UFSC, 1999. 74p.
- Still, J. R. Welding of AISI 4130 and Steel for Drilling Systems. Welding Journal, jun/1997.
- Still, J. R., Blackwood, V. How to Ensure Fif-For-Purpose Welds in “Muddy” Situations. Welding Journal, dec/1998.

Higuchi, M., Sakamoto, H., Tanioka, S. A Study on Weld Repair Through Half Bead Method. IHI Engineering Review. v.13, april/1980.

METALS HANDBOOK. Weldability of steel. 10ed. Ohio: American Society for Metals, v.6, 1992

Sousa, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos. 5ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 286p.

NITC, JICA; Precaution Against Failure of Heat Treatment. 1ed. Nagoya, Japan, 1974.

DOUBLE LAYER TECHNIQUE EFFECT IN THE MICROESTRUTURE AND TOUGHNESS OF ASTM 4140 STEEL HAZ.

Willys Machado Aguiar

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFET-Ce. Rua Joaquim Nabuco, 2576/202 – Dionísio Torres – 60.125-121 – Fortaleza-Ce. willys@cefet.br

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Engenharia de Soldagem ENGESOLDA-UFC. Rua Amarílio Cartaxo, 700 – Dunas – 60.181-550 – Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Cleiton Carvalho Silva

Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Engenharia de Soldagem ENGESOLDA-UFC. Rua Raul Cabral, 521 – Montese – 60.420-230 – Fortaleza-Ce. cleiton@engenhariaufc.zzn.com

Abstract. *The procedure of conventional welding of the ABNT 4140 steel, due to the martensite formation in the heat 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 impracticable due to some factors as size of the piece, repair in the field and cost. The two-layer technique has been researched in the sense of to avoid this heat treatment and to guarantee good mechanical properties of the welded piece. The results of this work showed that it is possible to eliminate PWHT in the welding of the ABNT 4140 steel being used this technique.*

Keywords: *Welding. Double-layer. Toughness. ASTM 4140 Steel.*