

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO METALÚRGICO DO AÇO AISI 4140 QUANDO SUBMETIDO A OPERAÇÕES DE GOIVAGENS PARA MANUTENÇÃO¹

Wellison da Silva Tavares²

Francisco Edval³

Francisco Akássio⁴

Marcelo Ferreira Motta⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho foi realizado uma simulação de manutenção em uma estrutura construída com o aço ASTM 4140 em juntas de 12 mm de comprimento e perfil em K com um lado de 2/3 da espessura e o outro de 1/3 da espessura. Das cinco juntas processadas, uma foi removida por esmerilhamento, duas goivadas a arco plasma e duas goivadas com eletrodo de grafite de 5 mm e 8 mm de diâmetro. Através das análises de microdureza e de microestrutura foi possível responder as principais questões e suspeitas inerentes em cada processo, como contaminação do metal base por carbono no processo de goivagem com eletrodo de grafite, extensão da zona termicamente afetada (ZAC), um possível encruamento da região próxima a superfície esmerilhada. Assim foi possível verificar que não houve uma extensão da ZAC das amostras processadas a arco voltaico, porem o processo de goivagem utilizando o eletrodo de 8 mm de diâmetro apresentou características críticas à junta processada. As amostras processadas a arco plasma ao final das etapas de manutenção tiveram poucas alterações microestruturais quando comparada com a amostra processada por esmerilhamento.

Palavras-chave: Goivagem; Goivagem a arco plasma; Esmerilhamento.

STUDY OF THE RESULTANT METALLURGIC ALTERATIONS OF STAGES OF MAINTENANCE IN THE STEEL 4140

Abstract

The main of this work was carried through a simulation of maintenance in a structure constructed with steel ASTM 4140 in meetings of 12 mm of length and profile in K with a side of 2/3 of the thickness and the other of 1/3 of the thickness. Of the five processed meetings, one was removed by esmerilhamento, two goivadas the goivadas arc plasma and two with graphite electrode of 5 mm and 8 mm of diameter. Through the microstructure and microhardness analyses it was possible to answer the main inherent questions and suspicion in each process, as contamination of the metal base for carbon in the process of goivagem with graphite electrode, extension of the zone thermally affected (ZAC), a possible strain hardening of the next region the esmerilhada surface. Thus it was possible to verify that the voltaic arc did not have an extension of the ZAC of the processed samples, to put the goivagem process using the electrode of 8 mm of diameter presented critical characteristics to together the processed one. The processed samples the arc plasma to the end of the stages of maintenance had had few microstructural alterations when compared with the processed sample for esmerilhamento.

Key words: Gouging; Gouging plasm arc; Grinding.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Doutorando do Departamento de Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC)–Fortaleza-CE.*

³ *Graduando do curso de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal do Ceará (UFC)-Fortaleza-CE.*

⁴ *Graduando do curso de Engenharia Metalúrgica 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.*

1 INTRODUÇÃO

Na fabricação ou na manutenção/ recuperação de equipamentos e estruturas por soldagem ocorrem, em muitas situações, a necessidade de remover soldas defeituosas ou trincas superficiais e internas nas estruturas. Os defeitos que ocorrem são: trincas que surgem geralmente na Zona Afetada pelo Calor (ZAC) da solda, corrosão localizada em regiões pré-dispostas a esse fenômeno e poros que geralmente são observados em cordões de solda mal executados.

Esses defeitos, em sua maioria, são observados em equipamentos e estruturas metálicas construídas com materiais estruturais temperáveis, uma vez que são bastantes empregados para esses fins, por apresentarem boa resistência mecânica e ductilidade apropriada. Com isso, tem-se o receio de realizar reparos, seja de manutenção ou de fabricação, dessas estruturas devido às alterações microestruturais e nas propriedades mecânicas causadas pelos processos utilizados nas remoções dos defeitos citados.

Estas operações de remoções de defeitos, em muitos procedimentos, são realizadas principalmente com o auxílio de esmerilhadeiras e, com menos frequência, com goivagem a arco elétrico formado entre um eletrodo de carvão e a peça. A utilização do arco plasma em operações de goivagem vem sendo proposta ao mercado da soldagem como uma alternativa rápida e de boa qualidade, tornando-se uma terceira opção aos usuários para estas operações.

Entre essas opções, há vários pontos discordantes entre especialistas da área encarregados da elaboração de procedimentos de recuperação ou fabricação de equipamentos e estruturas por soldagem. Alguns especialistas justificam o uso do esmerilhamento por se tratar de um processo que impõe menos calor à peça quando comparado com os demais processos de goivagem a arco voltaico, apesar do maior tempo de trabalho e desgaste operador da esmerilhadeira.

Os receios à utilização das técnicas de goivagem estão relacionados às alterações metalúrgicas como transformações de fase e crescimento de grão, conseqüentes das elevadas energias, deixando o material inadequado para determinadas aplicações. No processo de goivagem com eletrodo de grafite, que utiliza alta energia, há a preocupação com a precipitação e contaminação por carbonetos, bem como com a oxidação da superfície da remoção, devido à utilização do ar como gás de remoção.

No processo de goivagem a plasma também há oxidação da superfície removida devido também à utilização do ar como gás de remoção na maioria das remoções.

Por outro lado, os defensores dos processos de remoção a arco voltaico argumentam que após a goivagem, há a necessidade de realizar uma operação final de esmerilhamento para atingir o acabamento adequado à soldagem posterior de enchimento junta, e que nesta operação uma eventual região afetada pelo calor do arco voltaico seria removida pela esmerilhadeira ou sofreria um refino devido aos passes de enchimento. Além destes fatores, o tempo de processo seria significativamente reduzido, bem como o esforço do operador da esmerilhadeira.

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo mais detalhado dos processos de remoção de material de peças soldadas para buscar explicações e esclarecimentos para as questões levantadas e ao mesmo tempo definir os melhores parâmetros operacionais, para uma melhor performance de cada processo. Deve-se destacar que este trabalho, se não inédito, é um dos poucos que

se propõe a realizar um estudo das alterações microestruturais e discussões sobre a aplicação das técnicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, foi realizada a caracterização do material ASTM 4140 como recebido. A caracterização metalográfica consistiu no lixamento de 220 mesh até 1.200 mesh e realizado o polimento manual com pasta de diamante na seqüência 3 e ¼ µm de tamanho médio de partícula utilizando lubrificação com água destilada. Em seguida foi realizado um ataque químico com o reagente Nital 2%.

A análise química do material foi realizada com o equipamento SHIMADZU PDA-7000 Optical Emission Spectrometer. Posteriormente, foi medida a microdureza do material.

Após a caracterização do material como recebido, a condução do trabalho foi feita em três passos:

1º Passo - Processo de Soldagem

O eletrodo utilizado nas soldagens dos corpos de prova foi o AWS 8018-B2, sendo o eletrodo recomendado para as soldagens desse tipo de material. A Tabela 1 mostra a composição química do eletrodo.

Tabela 1 Composição química do eletrodo 8018-B2

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,06	0,50	0,6	1,30	0,5

O primeiro passo do trabalho consistiu nas soldagens das 5 juntas. O processo escolhido para a realização das soldagens deste passo foi o eletrodo revestido, por se tratar do processo mais utilizado na realização das soldagens nas aplicações deste material. Foram tomados os devidos cuidados para a utilização do eletrodo, segundo recomendações do fabricante. Procurou-se também restringir bem as juntas a serem soldadas para evitar distorções nas amostras e aproximar ao máximo das condições encontradas em campo. Os parâmetros de soldagem utilizados foram corrente de 120 A e velocidade de 25 cm/min.

Após as soldagens, foram retiradas amostras de cada uma das juntas e realizadas análises na seção transversal, onde inicialmente foi levantado e o perfil de microdureza de cada amostra, através do equipamento Microdurômetro Shimadzu com a utilização de uma carga de 10 N

O objetivo dessa caracterização foi mostrar as possíveis alterações nas propriedades e características microestruturais decorrente do processo de soldagem, para posterior comparação com as microestruturas das amostras obtidas no 2º e 3º passos deste trabalho, que tratam das soldagens e resoldagem após as remoções.

2º Passo - Processos de remoção

Após a soldagem dos corpos de prova, realizou-se a remoção da solda. Para o estudo considerou-se que um defeito ocorreu na região de 2/3 da junta em K e que toda essa região deveria ser removida. Assim a amostra permaneceu unida pelo lado de 1/3 da junta, como ilustrado na Figura 2

Este passo foi executado por um soldador qualificado, que foi instruído a remover todo o cordão de solda do lado 2/3 da espessura, aproximando ao máximo do perfil original da junta.

Uma observação importante é que após a de goivagem, seja a grafite ou a plasma, é necessário realizar passes com a esmerilhadeira para possibilitar uma melhor visão do soldador e aproximar ao máximo o perfil da remoção ao perfil original da amostra, possibilitando uma resoldagem adequada.

Após a remoção do defeito, foi retirada uma amostra de cada junta, e submetidas à preparação metalográfica onde foi possível verificar a existência de duas regiões distintas nas amostras processadas a arco voltaico. Uma ZAC mais clara, que predomina a superfície da remoção e outra ZAC de aspecto mais escura que surge esporadicamente ao longo da superfície da remoção, como mostra a Figura 1. Assim foi caracterizado a região de ZAC mais escura por apresentar uma estrutura mais influenciadas pelos processos de remoção.

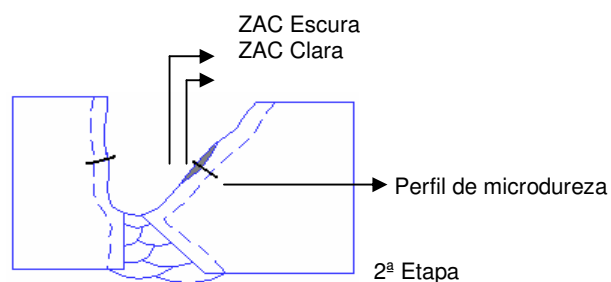


Figura 1. Mostra o perfil da amostra retirada da etapa 2.

A seguir estão mostrados na Tabela 2 os parâmetros utilizados nos processos de goivagem a arco voltaico.

Tabela 2. Amostras processadas no passo 2.

Amostra	Processo	Ângulo de Goivagem	Corrente
01	Esmerilhamento	-	-
02	Plasma	55°	70A
03	Plasma	35°	100A
04	Grafite Ø5	45°	300A
05	Grafite Ø8	45°	400A

3º Passo - Soldagem Final das Juntas

A ultima etapa do processo de manutenção consistiu em realizar o enchimento da junta pelo mesmo processo e mesmos parâmetros de soldagens utilizados no passo 1.

Finalizadas as soldagens, retirou-se a caracterização final das amostras. A Figura 2 apresenta uma ilustração da amostra que identifica a região onde foi levantado o perfil de microdureza e a caracterização metalográfica, a caracterização metalográfica ocorreu em regiões adjacentes a este perfil.

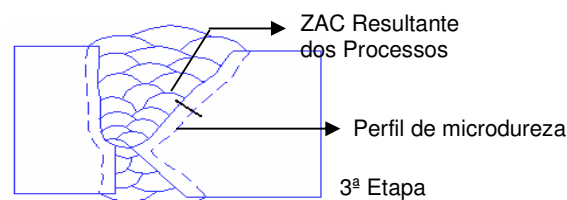


Figura 2. Perfil da amostra retirada da etapa 3.

3 RESULTADOS

A microdureza do material como recebido ficou na faixa de $(264,8 \pm 4,13)$ HV, o que indica que o material como recebido apresenta-se na condição normalizada. Através da análise química foi determinado que todos os elementos estavam dentro das faixas especificadas para esse material.

1º Passo - Caracterização das Amostras Após as Soldagens

A Figura 3 mostra o perfil de microdureza das 5 amostras soldadas.

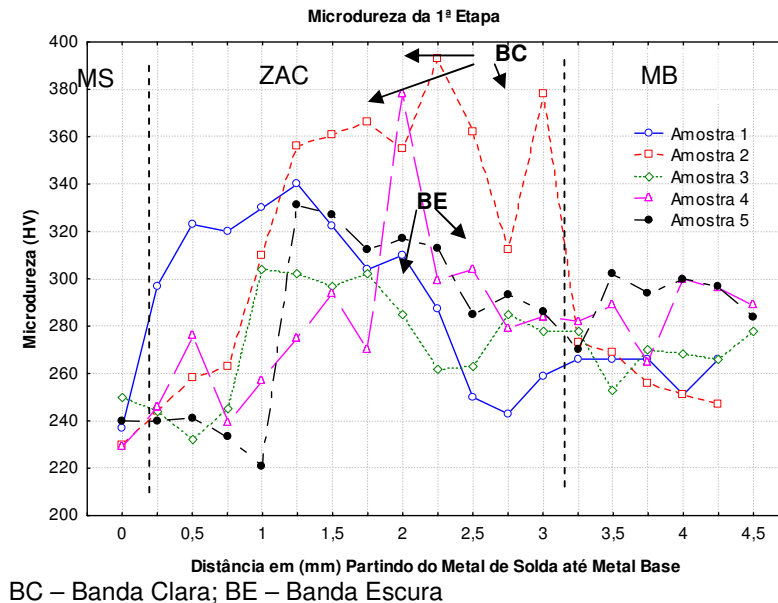


Figura 3. Microdureza da etapa 1, amostras soldadas.

Na análise microestrutural foi observado a presença de bandas claras e escuras. Tabela 3 mostra a microdureza das bandas claras e escuras verificadas nas ZAC's das amostras soldadas.

Tabela 3. Valores de microdureza das bandas claras e escuras

	Banda Clara	Banda Escura
Microdureza (HV)	364 ± 64	315 ± 44

O comprimento médio das ZAC's ficou dentro da faixa de $(2,8 \pm 0,3)$ mm, medido com o mesmo equipamento onde foram realizadas as microdurezas.

Foi observado também em algumas amostras na região da ZAC-GG a presença de martensita (M) e ferrita com segunda fase alinhada FS(A) como apresentada na Figura 4.

As Figura 4 a) mostra a interface da ZAC-GG e o Metal de Solda, e a Figura 4 b) mostra uma região da ZAC-GG com a presença de martensita.

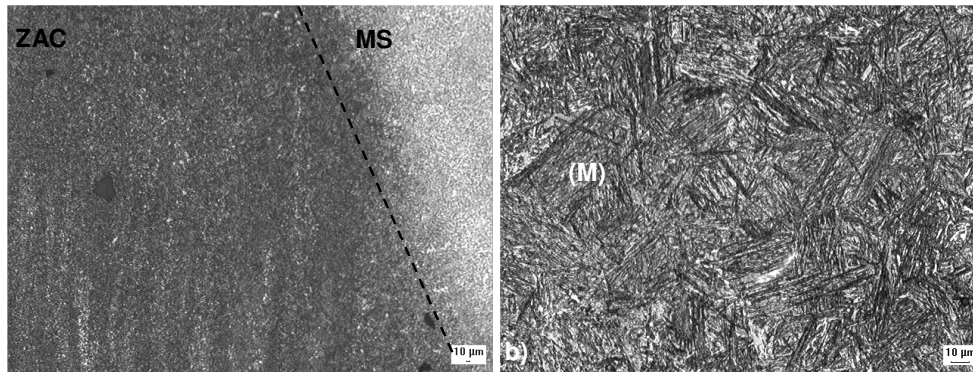


Figura 4. Microestrutura das ZAC's das amostras na região de ZAC-GG.

2º Passo – Caracterização das Amostras Após Remoção de Material

A Figura 5 mostra os perfis de microdureza levantados nas amostras removidas obtidas nas regiões de ZAC escuras, partindo da extremidade da remoção percorrendo toda a ZAC até chegar ao metal base.

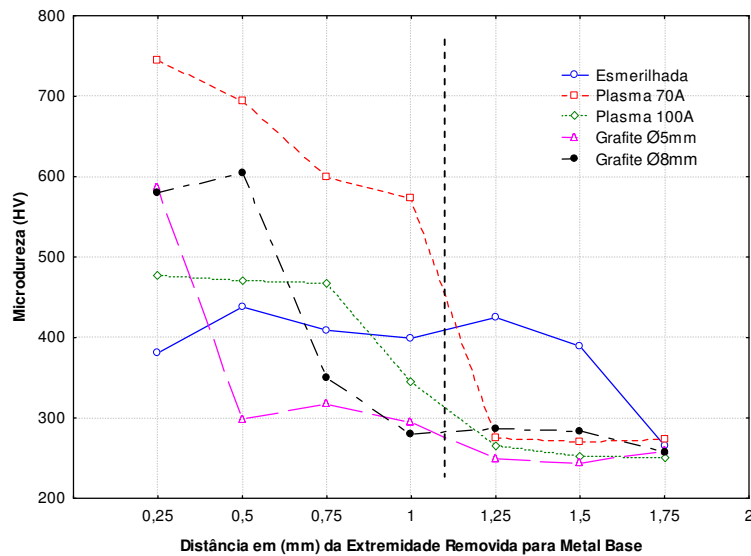


Figura 5. Microdureza das amostras removidas nas regiões de ZAC escura.

No passo 2, a amostra goivada com o processo a arco plasma e corrente de 70 A foi a que apresentou a maior microdureza dentre os processos estudados, chegando a níveis de 750HV de microdureza. A Figura 6 e Figura 7 mostram a microestrutura dos corpos de prova processados a arco plasma.

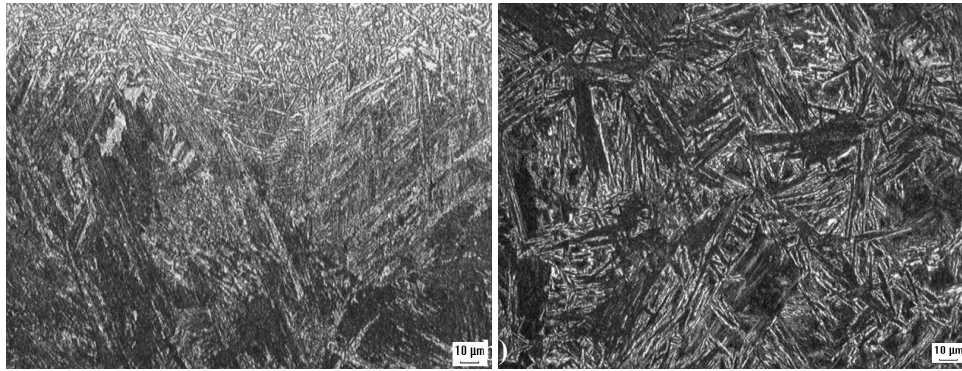


Figura 6. Microestrutura dos corpos de prova processados a arco plasma com 70A, micrografia a), e com 100 A, micrografia b).

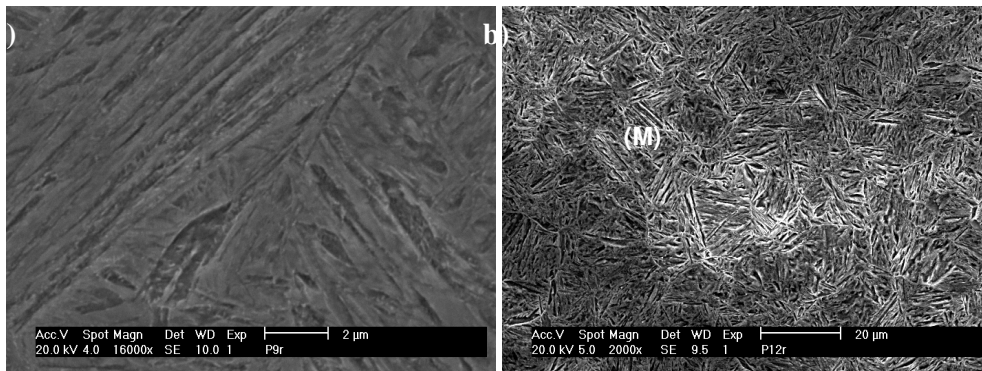


Figura 7. a) e b) mostram a microestrutura obtidas pelo (MEV) da amostra processada a plasma com 70A

Os processos de goivagem com eletrodo de grafite de Ø5 mm e Ø8 mm apresentaram níveis de microdureza semelhantes, com picos da ordem de 600 HV, apenas para as regiões próximas à superfície do chanfro.

Não foi observado uma extensão das ZAC's dessas amostras. As Figuras 8 a) e b) apresentam a microestrutura das amostras processadas com goivagem com eletrodo de grafite.

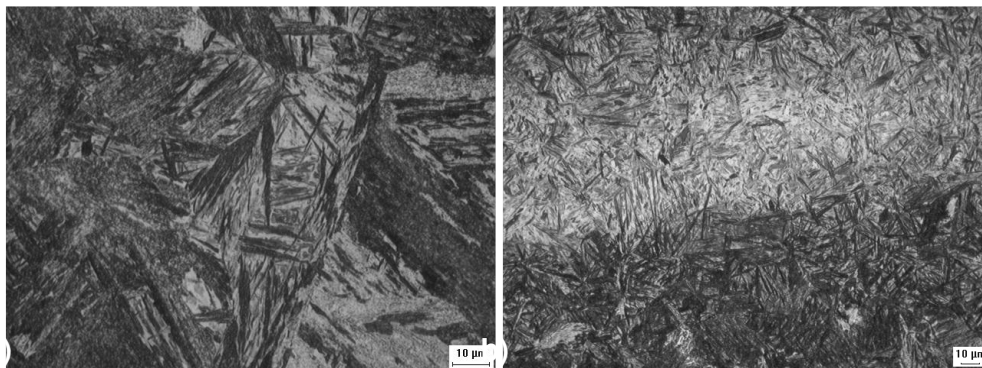


Figura 8. Microestrutura dos corpos de prova processados com eletrodo de grafite de Ø5 mm micrografia a), e Ø8 mm micrografias b).

A amostra esmerilhada apresentou novamente um comportamento semelhante ao apresentado nas amostras soldadas no 1º passo deste estudo, assim não foram observadas alterações na microdureza ou na microestrutura devido ao processo de esmerilhamento, nem regiões encruadas, devido à uma possível

deformação superficial causada pela operação, como pode ser verificada na Figura 9.

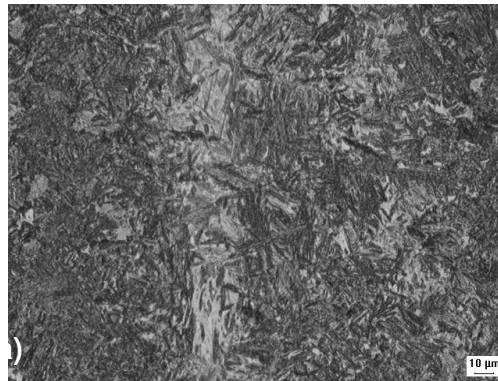


Figura 9. Microestrutura obtida da amostra processada por esmerilhamento

3º Passo – Caracterização Após a Soldagem Final da Junta

Estão mostrados na Figura 10 os perfis de microdureza obtidos nas amostras após a realização da soldagem final de enchimento da junta. As medidas iniciam-se no metal de solda, percorrem toda a ZAC até estabilizar no metal base. Manteve-se a mesma nomenclatura nesta etapa para facilitar a identificação do processo de remoção utilizado em cada amostra.

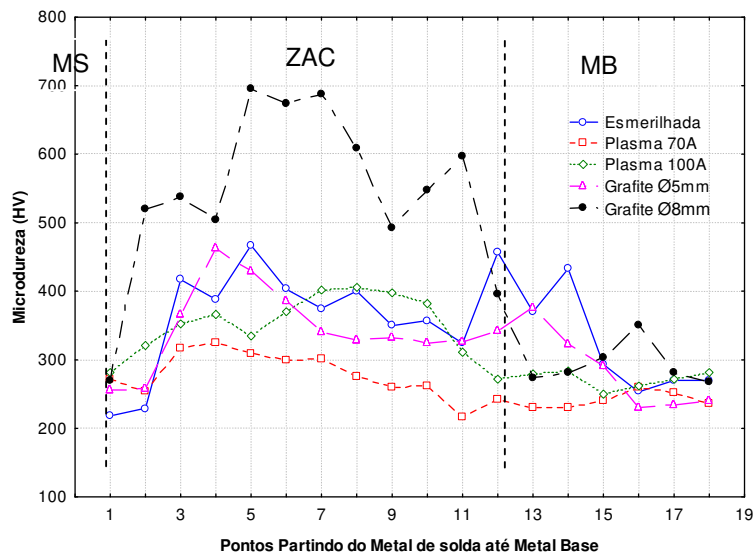


Figura 10. Perfil de microdureza das amostras após a soldagem final.

A Figura 11 a) apresenta a microestrutura da ZAC-GG da amostra processada por esmerilhamento no Passo 2. Pode-se observar uma estrutura de granulação mais refinada com a presença de alguns grãos de Martensita. A Figura 11 b) está apresentada a microestrutura da ZAC-GF, e as regiões onde foram obtidos os níveis de microdureza. Pode-se observar a presença das bandas claras e escuras nesta Figura.

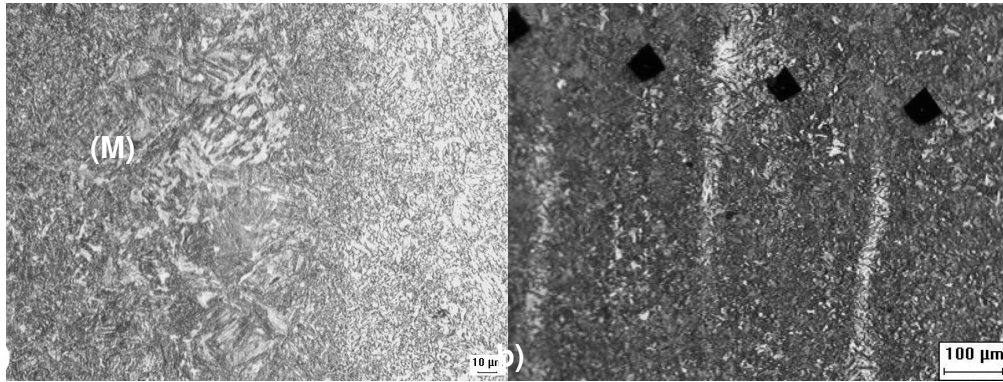


Figura 11. Microestrutura da amostra esmerilhada, a) região da ZAC-GG - MS, b) região da ZAC-GF.

A microestrutura das amostras soldadas e que foram no passo anterior goivadas a arco plasma com 70 A e 100 A de corrente estão mostradas na, Figuras 12 a) e b) respectivamente. Observa-se na Figura 12 a) a microestrutura da ZAC-GG da amostra goivada a plasma com 70 A, constituída de grãos de grandes de Martensita

Na Figura 12**Figura** b) pode-se observar uma estrutura de grãos grosseiros na ZAC-GG, semelhante ao observado na amostra processada com corrente de 70 A.

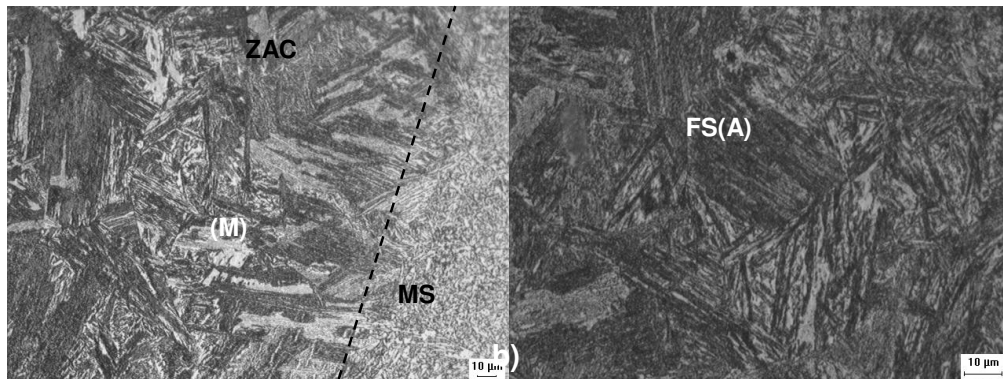


Figura 12. Microestrutura da amostra goivada a arco plasma; a) Amostra processada com 70 A região da ZAC - GG, b) Amostra processada com 100A região da ZAC - GG.

Está apresentada na Figura 13 a microestrutura final da amostra soldada e que foi, no passo anterior, goivada por eletrodo de grafite de 5 mm de diâmetro. Na Figura 13 a) estão apresentadas a interface do metal de solda com a ZAC-GG e na Figura 14 b). a ZAC-GF. Pode-se observar uma estrutura de grãos grandes de Martensita (M) e Ferrita de Segunda Fase Alinhada FS(A) em maior quantidade.

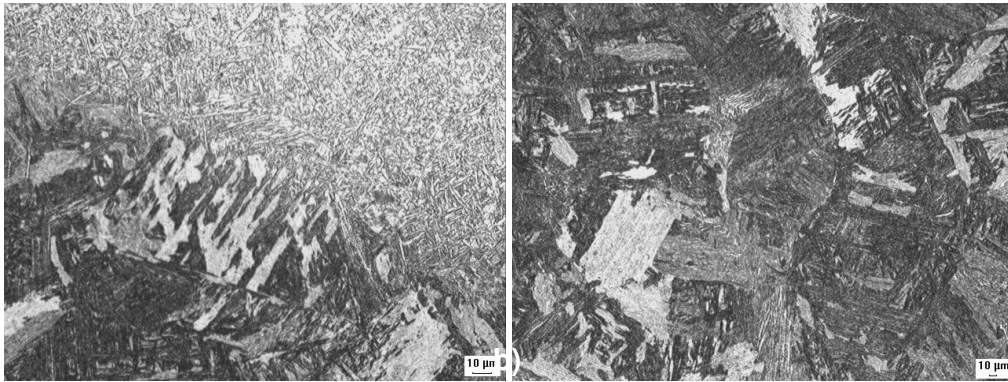


Figura 13. Apresenta a microestrutura da ZAC da amostra goivada com eletrodo de grafite de 5 mm, nos itens a) e b) região da ZAC – GG

A amostra goivada com eletrodo de grafite com 8 mm de diâmetro foi a condição que apresentou, após a resoldagem, a maior alteração microestrutural dentre os processos e condições exploradas neste estudo. A Figura 14 a) apresenta as regiões onde foram realizadas as impressões de microdureza. Pode-se perceber que as regiões onde foram obtidos os maiores níveis de microdurezas, apresentadas na Figura 10 (Gráfico de microdureza do 3º passo) foram obtidas nas regiões de bandas claras. A Figura 14 b) apresenta a interface das bandas claras e escuras. As bandas claras sendo constituídas de placas de martensita com agulhas de bainita inferior, já nas bandas escuras sendo constituídas de grãos de Ferrita de Segunda Fase Alinhada FS(A) intercaladas com grãos de Martensita (M).

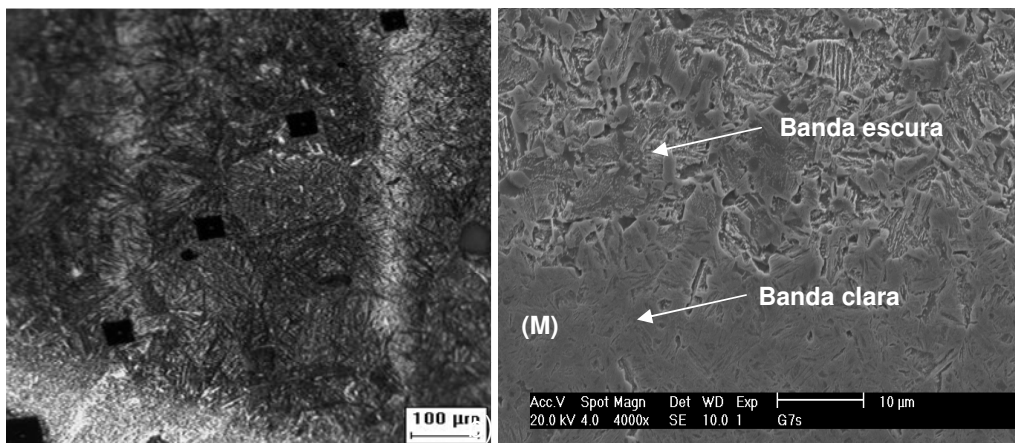


Figura 14. Microestrutura da amostra processada com o eletrodo de grafite de Ø8 mm a) obtida pelo (MO) e b) obtida pelo (MEV).

4. DISCUSSÃO

1º Passo

Sobre a ZAC das amostras obtidas no 1º passo teve uma pequena variação entre as medidas de microdureza, provavelmente devido à sobreposição das várias ZAC's oriundas dos passes de enchimento da junta, implicando, assim, em regiões de grãos refinados e outras de granulação mais grosseira. A média da microdureza na ZAC foi de (320 ± 50) HV.

Pode ser observada na microestrutura apresentada na Figura 4 a) a existência de bandas claras e escuras que surgem na direção de laminação destes

materiais. De acordo com Silva e colaboradores em 2008, trabalhando com esse material observou a formação dessas estruturas e determinou que as bandas claras são regiões ricas em cromo e molibdênio e devido a afinidade desses elementos com o carbono, acredita-se que essas regiões têm uma maior concentração de carbono também, o que deixa estas regiões, com uma maior temperabilidade. Este aumento na temperabilidade foi verificada pelo ensaio de microdureza do material mostrado na Figura 5, sendo a região clara mais dura que a região escura, como mostram os valores de microdureza na Tabela 3

2º Passo

Analisando os processos de remoção no 2º passo desse estudo, observa-se que a amostra goivada com o processo a plasma, com corrente de 70 A foi a que apresentou os maiores picos de microdureza, próximo a extremidade da remoção. Esta característica pode estar relacionada com a taxa de resfriamento da junta, pois tem-se a menor energia dentre os processos a arco explorado, devido à corrente ser a menor e as velocidades empregadas serem semelhantes entre os processos. Também devido à própria característica física do processo plasma, que tem uma alta densidade de energia, colaborando para que haja um resfriamento brusco, provocando uma transformação adifusional prevalecendo à formação de martensita (M), principalmente nas bandas claras, como pode ser visto nas Figura 8 a) e b) obtidas em (MEV).

A Figura 9 a) mostra as microestruturas encontradas na amostra processada com eletrodo de 5 mm e a Figura 9 b) as microestruturas encontradas na amostra processada com eletrodo de 8 mm. Ambas as amostras apresentaram micro-constituintes semelhantes, porém diferentes das demais amostras goivadas com plasma e esmerilhadas, pois foi observada uma grande quantidade de martensita revenida. Este micro-constituente formou-se devido à energia do processo ser elevada o que diminui a taxa de resfriamento, fazendo com que o carbono presente nessas estruturas se agreguem deixando as agulhas de cementita mais escuras em uma matriz de ferrita mais clara.

3º Passo

Pode-se verificar na Figura 10 que a amostra goivada com eletrodo de grafite de 8 mm após a resoldagem, apresentou maior microdureza na ZAC chegando a picos de 700 HV, que são valores altos de microdureza para determinadas aplicações, sendo crítico quando esta estrutura estiver sujeito a ambientes corrosivos e/ou sob-tensão.

Notou-se que houve um aumento considerável da microdureza desta amostra quando comparada com a análise feita na mesma amostra após a realização da goivagem no 2º passo deste trabalho (Caracterização das Amostras Após Remoção de Material). Este resultado é interessante, pois as demais condições mantiveram os níveis de microdureza inferior ou iguais aos verificados nas amostras após as remoções de material.

O perfil de microdureza após a resoldagem da amostra que foi esmerilhada apresentou níveis um pouco superior na região da ZAC do que o perfil apresentado na soldagem do 1º passo desta etapa (Caracterização das Amostras Após as Soldagens). A microdureza da ZAC desta amostra ficou na faixa de 400 HV, contudo as demais amostras processadas a arco voltaico tiveram os mesmos níveis de microdureza, ou inferiores como, por exemplo, o processo de goivagem a plasma com corrente de 70 A, cujo maior valor de microdureza foi de 327 HV.

Foi feita uma varredura no microscópio ótico por toda a ZAC das amostras e foi constatada uma homogeneidade da zona termicamente afetada, sendo eliminadas as regiões mais escuras percebidas nas amostras após as goivagens. Por se tratarem de regiões de dimensões reduzidas, talvez a energia imposta durante o processo de resoldagem, tenha sido capaz de recuperar completamente esta microestrutura. O que pode justificar a mudança considerável do perfil de microdureza das amostras processadas a arco plasma, deixando o nível de microdureza determinados nestas amostras reduzidos a níveis inferiores aos observados na amostra esmerilhada.

5 CONCLUSÃO

Não foi observada contaminação por carbono devido ao processo de goivagem com eletrodo de grafite.

As amostras goivadas a arco plasma, após a etapa de enchimento, apresentaram os níveis de microdureza na mesma ordem de grandeza da amostra processada por esmerilhamento.

Os resultados de microdureza e de microestrutura mostraram que o processo de goivagem com eletrodo de grafite com 5 mm de diâmetro mostrou ser confiável, podendo ser utilizado em substituição ao processo de esmerilhamento em remoções que exijam grandes volumes de material.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Engenharia de Soldagem e Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Ceará pela realização dos experimentos, além da Capes pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 87/2000; “Aços Carbono e Ligados para Construção Mecânica-Designação e Composição Química”. Rio de Janeiro, 2000. 19p.
- 2 VICTOR H.C. DE ALBUQUERQUE , SILVA C. C., CÍCERO R.O. MOURA C,D, WILLYS M. AGUIAR, JESUALDO P. FARIAS, “Effect of nonmetallic inclusion and banding on the success of the two-layer temper bead welding technique”, Materials and Design, 2008.
- 3 WILLYS M. AGUIAR, “Soldagem do Aço ABNT 4140 Sem Tratamento Térmico Posterior”. Fortaleza, Dissertação de Mestrado, UFC-Ce, 2001.
- 4 SILVA, C. C., VICTOR H.C. DE ALBUQUERQUE, CÍCERO R.O. MOURA, WILLYS M. AGUIAR, FARIAS P. J., “Evaluation of AISI 4140 Steel Repair Without Post-Weld Heat Treatment”, ASM International, 2008.