

EFEITO DO PRÉ-AQUECIMENTO E DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES NA MICROESTRUTURA E DUREZA DE SOLDAS DE PONTEAMENTO EM AÇO ASTM A516 GRAU 70¹

José Renato Azevedo Côrtes²

Luiz Cláudio Soares Tatagiba³

Ronaldo Pinheiro da Rocha Paranhos⁴

Resumo

Na fabricação por soldagem é comum a utilização de dispositivos auxiliares de montagem ponteadas diretamente na peça a ser fabricada. Este trabalho tem como objetivo estudar alterações metalúrgicas ocorridas devido à técnica de ponteamento com o processo de soldagem MIG-MAG em chapas de aço ASTM A516 grau 70 com espessura de 31,5 mm. Amostras foram preparadas utilizando pré-aquecimento à temperatura ambiente, 120°C e 180°C, que foram analisadas na condição como soldada e após tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT) por técnicas de microscopia ótica e dureza. Os resultados mostram que, na condição como soldada, as soldas de ponteamento necessitam ser pré-aquecidas ao menos a 120°C a fim de obter dureza adequada do metal de solda e na zona termicamente afetada (ZTA) do metal base. Por outro lado, após TTAT, mesmo as soldas de ponteamento sem pré-aquecimento apresentaram valores de dureza adequados. Conclui-se que o procedimento de soldagem para ponteamento do aço ASTM A516 grau 70 deve ser realizado com pré-aquecimento mínimo de 120°C caso o equipamento não seja submetido a TTAT após a soldagem, mas este pré-aquecimento pode ser dispensado caso o equipamento sofra TTAT após a soldagem.

Palavras-chave: Ponteamento; Pré-aquecimento; Tratamento térmico de alívio de tensões; Dureza; Microestrutura.

THE EFFECT OF PREHEATING AND STRESS RELIEVE HEAT TREATMENT IN MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF TACK WELDS IN ASTM A516 GRADE 70 STEEL

Abstract

In the fabrication by welding is common the use of auxiliary set-up devices tacked directly at the work piece to be produced. The purpose of this work is to study the metallurgical changes that happen due to the technique of tack weld with the MIG-MAG process in ASTM A516 grade 70 plate of 31,5 mm thick. Samples were prepared using preheat at the room temperature, 120°C and 180°C, which were analyzed at the as-welded condition and after the stress relieving heat treatment (SRHT) by means of optical microscopy and hardness techniques. The results have shown that, at the as-welded condition, the tack welds must be preheated at least at 120°C in order to obtain appropriate hardness of the fusion zone (FZ) and the heat affected zone (HAZ) of the base metal. On other hand, after SRHT, even the tack welds without preheating presented appropriate values of hardness. It can be concluded that the welding procedure for the tack welds of the ASTM A516 grade 70 steel must be made with the minimum preheating temperature of 120°C if the equipment will not be submitted to SRHT after welding, but tack weld preheating may be suppressed if the equipment undergoes PWHT after welding.

Key-words: Tack weld; Preheating; Stress relieving heat treatment; Hardness; Microstructure.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Aluno do 10º Período do Curso de Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UENF.*

³ *Engenheiro Mecânico, Mestrando do Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais da UENF.*

⁴ *Phd em Tecnologia de Soldagem, Prof. Associado do LAMAV/CCT/UENF.*

INTRODUÇÃO

A utilização da técnica de ponteamento para posicionar, fixar ou unir partes de um equipamento temporariamente é uma técnica muito utilizada nas indústrias antes da soldagem final do mesmo.^[1] Muitas vezes estes pontos de solda são executados pelo pessoal da montagem, sem que cuidados como o pré-aquecimento do metal base, a secagem dos consumíveis de soldagem e o controle do aporte de calor sejam controlados. Após a montagem, os pontos de solda são removidos, mas as regiões do metal base que receberam estes pontos de solda podem estar sujeitas a um endurecimento e alteração da microestrutura original do aço, tornando-se possíveis pontos frágeis não previstos no projeto do equipamento.

O aço ASTM A516 grau 70^[2] é utilizado para a fabricação de tubos de grandes diâmetros, como, por exemplo, na fabricação de caldeiras e vasos de pressão. Durante a fabricação destes equipamentos, o ponteamento é aplicado nas paredes do tubo para fixar e manter o alinhamento do chanfro onde será realizada a soldagem. Ao final do processo de montagem dos tubos, os pontos de solda são removidos por esmerilhamento. Apesar dos procedimentos de soldagem para o aço ASTM A516 grau 70 com espessura acima de 20 mm normalmente especificam o uso de pré-aquecimento, nem sempre isso é observado na ocasião da montagem, onde pontos de solda são realizados sem estes cuidados. Este trabalho tem por objetivo simular o ponteamento para fixação de partes temporárias no aço ASTM A516 grau 70 e avaliar o que ocorre com a dureza e a microestrutura destas regiões.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas chapas de teste do aço ASTM A516 grau 70, com dimensões de 100mm X 100mm X 31,5mm e composição química de acordo com o certificado de qualidade do fabricante mostrada na Tabela 1.

A soldagem dos pontos (Figura 1) foi executada com a técnica de cordão sobre a chapa, com o processo MIG/MAG, utilizando-se como consumíveis o arame ER 70S-6 de diâmetro 0,9 mm e gás de proteção com 75% de Argônio e 25% de CO₂. Os parâmetros de soldagem foram: tensão do arco de 23V, corrente de 130 A, velocidade de deslocamento da tocha de 20 cm/min e vazão de gás de 10 l/min. Três chapas de teste foram usadas: uma sem pré-aquecimento (temperatura ambiente), outra com pré-aquecimento de 120 °C e a terceira com pré-aquecimento de 180 °C. O aquecimento das chapas foi através de uma tocha oxigás e a temperatura verificada com um pirômetro infravermelho.

Tabela 1 - Composição química do aço ASTM A516 grau 70, de acordo com o certificado de qualidade.

Elementos (%)	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Mo	Cr	Ni	Nb	V	Ti
	0,21	1,06	0,021	0,004	0,206	0,030	0,019	0,000	0,052	0,007	0,002	0,001	0,001



Figura 1 - Foto dos cordões de solda simulando a operação de ponteamento sobre o aço ASTM A516 grau 70.

Além da condição como soldada, também foi avaliado o efeito do tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT). Este consistiu no aquecimento das peças com taxa de aquecimento de 130°C/h , até a temperatura de 600°C , com patamar de 1 hora a esta temperatura, e resfriamento uniforme ao forno até 300°C , com uma taxa de resfriamento não superior a 150°C/h , para impedir a introdução de novas tensões. O ciclo de aquecimento, patamar e resfriamento durante o TTAT, são mostrados na Figura 2.

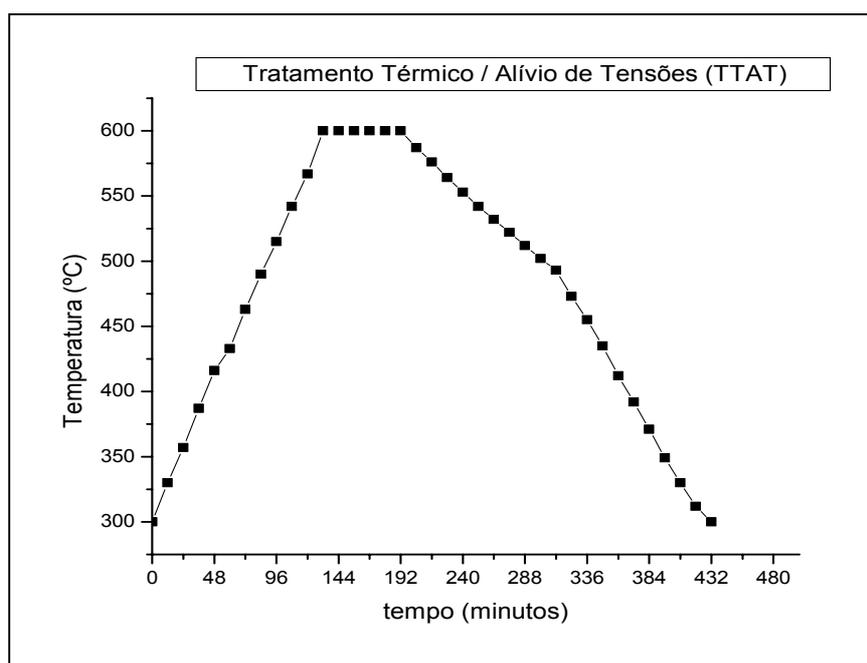


Figura 2 – Ciclo de aquecimento, patamar e resfriamento durante TTAT.

A avaliação das microestruturas do metal base (MB), da ZTA e da zona fundida (ZF) dos pontos de solda as chapas na condição como soldado, sem pré-aquecimento (temperatura ambiente) e com pré-aquecimento (120°C) foi através de metalografia. A preparação metalográfica foi do tipo convencional,^[3] sendo a seguir atacadas com Nital 1,5% numa capela. As amostras foram observadas em um microscópio ótico, sendo identificados os constituintes estruturais do MB, ZF e ZTA de algumas das amostras ponteadas. Foi utilizada a terminologia adotada pelas normas da International Institute of Welding.^[4]

As propriedades mecânicas foram analisadas através do ensaio de Dureza Brinell. Para isto, as amostras ponteadas na condição como soldada e após TTAT, sem pré-aquecimento (temperatura ambiente) e com pré-aquecimento (120 °C e 180 °C) foram submetidas a cortes em seções transversais e impressões foram feitas por meio de esfera de 2,5 mm de diâmetro, pré-carga de 10 kg e carga de 187,5 kg. Foram feitas 3 leituras do valor de dureza do metal base (MB), 3 leituras para zona termicamente afetada (ZTA) e 3 leituras para a zona fundida (ZF), conforme indicado na Figura 3.

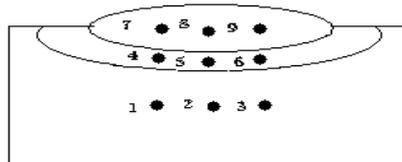


Figura 3 - Posições das impressões de dureza Brinell: metal base (posições 1, 2 e 3); ZTA (posições 4, 5 e 6) e ZF (posições 7, 8 e 9).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a microestrutura típica do MB utilizado no trabalho, constituída de grãos de ferrita (parte clara) e grãos de perlita (parte escura).



Figura 4. Microestrutura do metal base, chapa na condição como soldada: sem pré-aquecimento (temperatura ambiente), 500X.

Na ZTA foram analisadas a região de grãos finos (RGF), Figura 5, e a região de grãos grosseiros (RGG), Figura 6. Foi observado que na RGF ocorreu um refino de grão, já que o tamanho dos grãos da ferrita e da perlita observados na Figura 5 são menores que os grãos formados no metal base, Figura 4. De fato, nesta região o material foi provavelmente aquecido entre 900 e 1000 °C, que corresponde à temperatura de normalização do aço, sendo este o efeito reportado pela literatura.^[5] Comparando-se as microestruturas da Figura 5a com as da Figura 5b, verificou-se que a utilização do pré-aquecimento de 120 °C não provocou mudança significativa na microestrutura da RGF do material.

A microestrutura da RGG (figura 6) é constituída de uma estrutura grosseira, com a presença de grandes grãos ferríticos com placas de cementita em seu interior.

Esta estrutura é atribuída ao ciclo térmico de soldagem na RGG, que atinge temperaturas entre 1200 °C até a temperatura de fusão e típica para esta região na soldagem do aço carbono.^[5] Sob o ponto de vista da microscopia ótica utilizada, não foi observado a formação de fases frágeis como a martensita e bainita nestas amostras. Ainda, a microestrutura da RGG das duas amostras (sem pré-aquecimento e com pré-aquecimento de 120 °C) foi considerada similar.

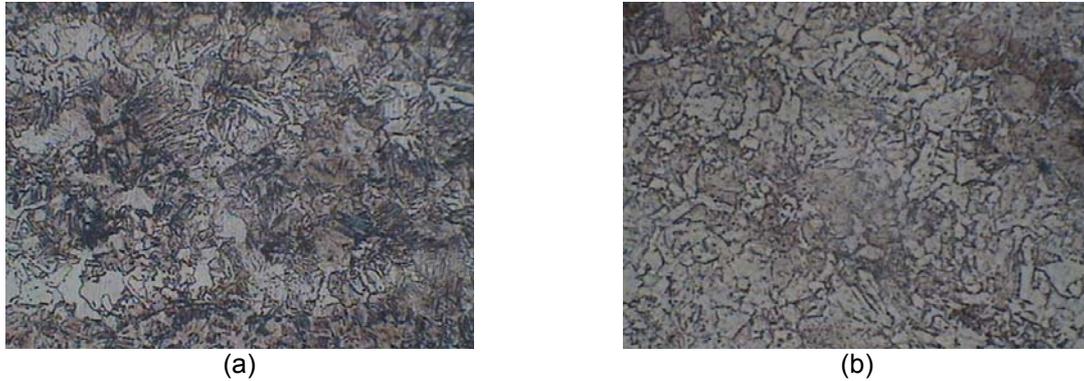


Figura 5. Região de Grãos Finos (RGF) da ZTA, na condição como soldada: (a) sem pré-aquecimento (temperatura ambiente); (b) pré-aquecimento de 120 °C. Ambas com aumento de 500X.

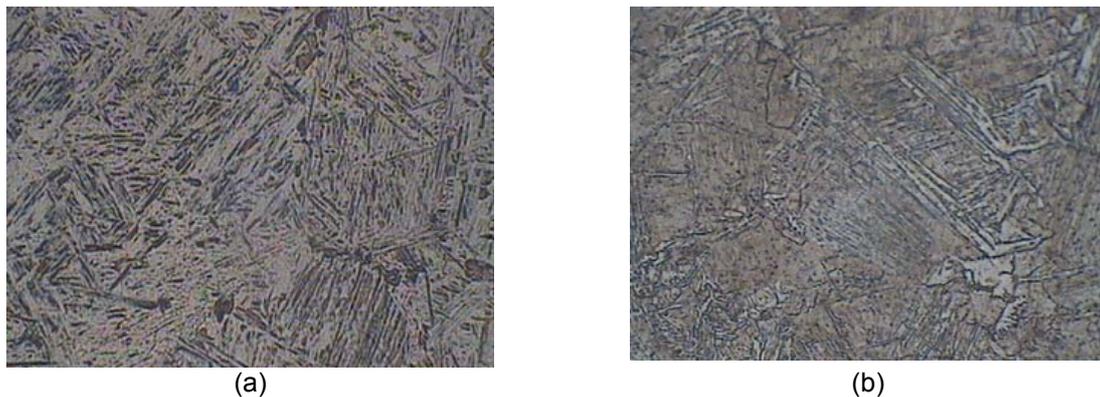


Figura 6. Região de Grãos Grosseiros (RGG) da ZTA, na condição como soldada: (a) sem pré-aquecimento (temperatura ambiente); (b) pré-aquecimento de 120 °C. Ambas com aumento de 500X.

A Figura 7 apresenta a microestrutura da zona fundida (ZF) sem pré-aquecimento (temperatura ambiente), e com pré-aquecimento de 120 °C. Nesta região houve a fusão do metal seguido de solidificação logo após a soldagem. Comparando-se as microestruturas destas figuras verifica-se que ambas são constituídas principalmente por ferrita acicular, aparecendo em menor proporção ferrita no contorno de grão e placas laterais de ferrita. Mais uma vez, as chapas sem pré-aquecimento (temperatura ambiente) e com pré-aquecimento de 120 °C, apresentaram uma microestrutura similar. Portanto, pode-se afirmar que mesmo após a utilização do pré-aquecimento de 120 °C, não foi constatada mudança significativa na microestrutura da ZF.

Finalizando a análise da microestrutura, ressalta-se que as mesmas foram também observadas após o TTAT, mas não foram encontradas diferenças significativas que merecessem ser reportadas neste trabalho.

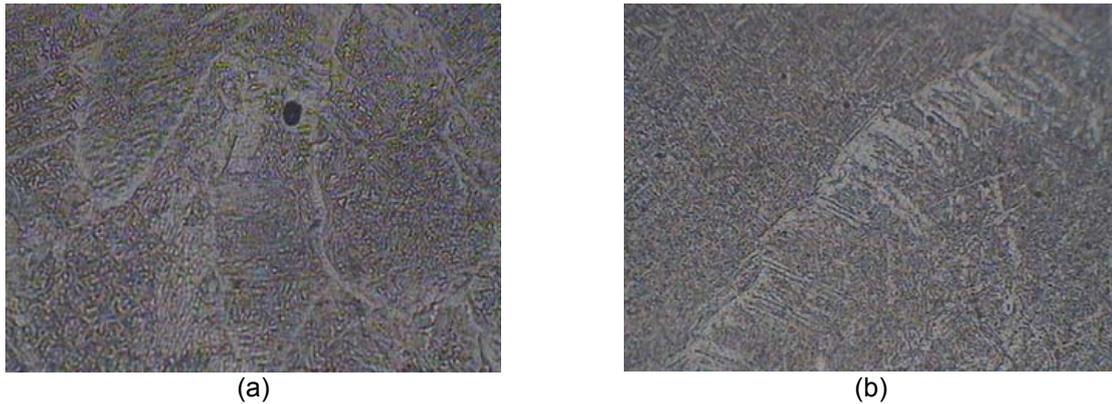


Figura 7. Zona fundida (ZF), na condição como soldada: (a) sem pré-aquecimento (temperatura ambiente); (b) pré-aquecimento de 120 °C. Ambas com aumento de 500X.

Os valores de Dureza Brinell na condição como soldada e após TTAT, para chapas sem pré-aquecimento (temperatura ambiente) e com pré-aquecimento de 120 e 180 °C são apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 8, 9 e 10 respectivamente para o MB, a ZTA e a ZF, sendo discutidas a seguir.

Tabela 2 - Valores de Dureza Brinell (HB) na condição como soldada e após TTAT para a condição sem pré-aquecimento (temperatura ambiente) e com pré-aquecimento (120 e 180 °C).

Posição	Como Soldada			Após TTAT		
	25 °C	120°C	180°C	25 °C	120°C	180°C
1 (MB)	153	153	151	135	135	141
2 (MB)	158	158	153	141	137	141
3 (MB)	158	153	153	141	137	141
4 (ZTA)	277	243	220	173	186	179
5 (ZTA)	293	238	220	182	186	179
6 (ZTA)	277	243	215	182	190	182
7 (ZF)	223	215	204	164	164	173
8 (ZF)	232	215	200	175	170	182
9 (ZF)	226	206	200	167	176	176

A Tabela 2 mostra que o MB, para todas as temperaturas de pré-aquecimento, apresentou na condição como soldada dureza entre 151 HB e 158 HB, que está de acordo com este tipo de aço^[6] e condizente com a microestrutura observada, constituída de grãos de ferrita e perlita (Figura 4). De fato, não eram esperadas variações na dureza no MB para a faixa de temperaturas de pré-aquecimento utilizadas neste trabalho. Após o TTAT, para todas as temperaturas de pré-aquecimento, a dureza do MB situou-se entre 135 HB e 141 HB. Esta pequena redução na dureza do MB foi provavelmente devido ao alívio de tensões internas do material, uma vez que o aço A516 grau 70 costuma ser fornecido na condição como laminado,^[2] isto é, sem sofrer tratamentos térmicos após a laminação e sujeito a algum grau de encruamento.

Na condição como soldada e sem pré-aquecimento (Figura 8), observa-se na ZTA um aumento significativo na dureza em relação ao MB, atingindo valores entre 277 HB e 293 HB. O mesmo ocorreu na ZF, com dureza entre 223 HB e 232 HB. Após o TTAT, a dureza da ZTA reduziu-se significativamente (valores entre 173 HB e 182 HB), o mesmo ocorrendo para a ZF (valores entre 164 HB e 175 HB). Conclui-se então que o TTAT realizado foi efetivo para reduzir os valores de dureza da ZTA e da ZF, quando comparado aos valores de dureza obtidos nessas mesmas regiões

na condição como soldada. A efetividade do TTAT em reduzir a dureza foi atribuída à microestrutura obtida. De fato, como mostrado nas Figuras 5a, 6a e 7a, não houve indícios da formação de fases duras, como a martensita e bainita, tanto na ZTA como no ZF. Logo, a elevada dureza obtida provavelmente foi devida tanto à maior velocidade de resfriamento na amostra soldada sem pré-aquecimento, quanto ao maior nível de tensões residuais formado, permitindo que a dureza pudesse ser significativamente reduzida pela ação do TTAT. [7]

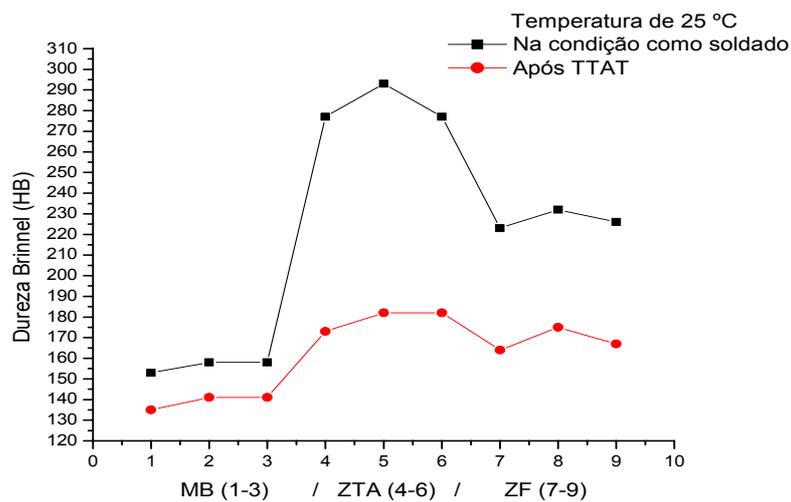


Figura 8 – Ensaio de dureza Brinell: ponteamto sem pré-aquecimento (temperatura ambiente) na condição como soldado e após TTAT.

Na condição como soldada e com pré-aquecimento de 120 °C (Figura 9), a ZTA apresentou valores de dureza entre 238 e 243 HB, inferiores ao da amostra sem pré-aquecimento e considerados no limite máximo para adequadas propriedades mecânicas. A ZF apresentou valores de dureza entre 206 e 215 HB, também inferior ao da amostra sem pré-aquecimento. Conclui-se que, caso o equipamento que sofre ponteamto não for submetido a TTAT posterior, o MB deve ser pré-aquecido no mínimo a 120 °C para que se evite a formação de pontos duros. Após TTAT, os valores de dureza tanto na ZTA como na ZF estão muito próximos aos obtidos na amostra sem pré-aquecimento descritos acima, já devidamente explicado.

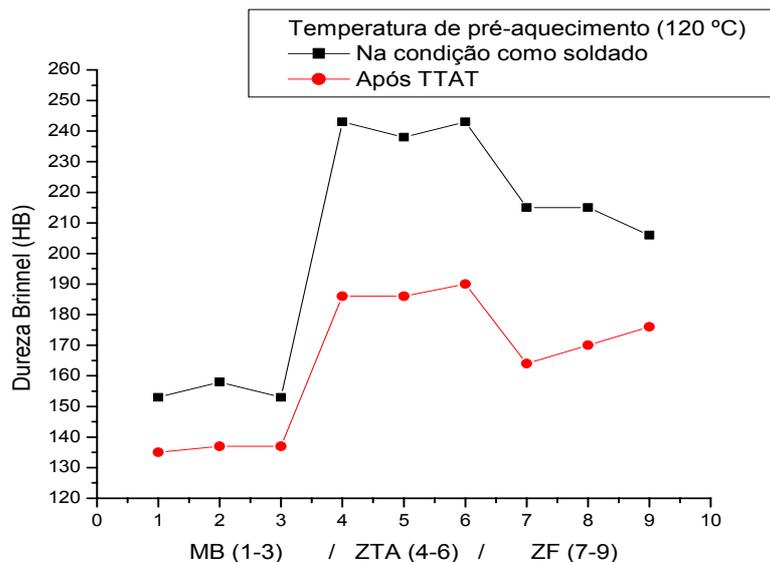


Figura 9 – Ensaio de dureza Brinell: ponteamto com pré-aquecimento de 120 °C, na condição como soldado e após TTAT.

Na condição como soldada e com pré-aquecimento de 180 °C (Figura 10), a ZTA apresentou valores de dureza entre 215 e 220 HB, inferiores ao da amostra sem pré-aquecimento e com pré-aquecimento de 120 °C, também considerado abaixo do limite máximo para adequadas propriedades mecânicas. A ZF apresentou valores de dureza entre 200 e 204 HB, também inferior aos das amostras sem pré-aquecimento e com pré-aquecimento de 120 °C. Após TTAT, os valores de dureza tanto no MB como na ZTA e na ZF também estão muito próximos aos obtidos na amostra sem pré-aquecimento e com pré-aquecimento de 120 °C descrito acima.

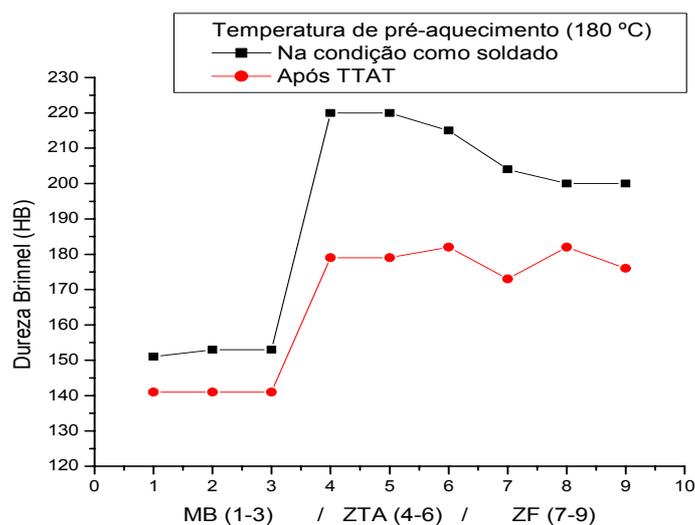


Figura 10 – Ensaio de dureza Brinell: ponteamto com pré-aquecimento de 180 °C, na condição como soldado e após TTAT.

A validade do presente trabalho diz respeito às soldas de ponteamento usadas para posicionar, fixar ou unir partes temporárias em um equipamento. Estas muitas vezes são executadas por pessoal da montagem, sem os devidos cuidados que via de regra são realizados durante a soldagem dos mesmos. Após a montagem, os pontos de solda são removidos por esmerilhamento, mas a ZTA do MB permanece presente. Os resultados deste trabalho mostram que, caso esta região não seja pré-aquecida no mínimo a 120 °C, pontos de dureza de até cerca de 300 HB podem ser formados no corpo do equipamento. A boa notícia é que, caso o equipamento seja posteriormente submetido a um TTAT, este efeito de endurecimento é minimizado.

Finalizando, ressalta-se que a metodologia proposta é simples e de fácil execução mesmo para indústrias que não possuam recursos laboratoriais sofisticados. Consiste em aplicar cordões sobre a chapa simulando o ponteamento e realizar medidas de dureza ao longo do MB, ZTA e ZF. Eventualmente, a análise metalográfica poderia ser suprimida, com as mesmas conclusões podendo ser obtidas. Neste trabalho foi utilizada chapa grossa de 31,5 mm de espessura, sendo esperado que, para espessuras inferiores, menor grau de endurecimento seja obtido na ZTA em função das menores velocidades de resfriamento.^[7]

CONCLUSÕES

Ao estudar o efeito da temperatura de pré-aquecimento e do TTAT na microestrutura e dureza de soldas de ponteamento em aço ASTM A516 grau 70 de 31,5 mm de espessura, as seguintes conclusões puderam ser obtidas:

O pré-aquecimento é uma forma efetiva de evitar dureza elevada na ZTA e ZF de soldas de ponteamento.

Caso o equipamento não seja submetido posteriormente a um TTAT, este aço deve ser necessariamente pré-aquecido no mínimo a 120 °C, de forma a evitar o endurecimento da ZTA e a formação de pontos duros no corpo do equipamento.

Caso o equipamento seja submetido posteriormente a um TTAT, o MB pode dispensar o uso de pré-aquecimento para receber soldas de ponteamento, pois o TTAT mostrou-se efetivo em reduzir a dureza na ZTA.

REFERÊNCIAS

- 1 Zeemanm, A. (2004) *Ponteamento* <<http://www.infosolda.com.br>>, 4p.
- 2 Designation ASTM A 516/A 516M-06 (2006) Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service. Publicado por ASTM International, USA, 4p
- 3 Matlakhov, A. N. (2002) Material didático CMI, Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Estadual do Norte Fluminense, 20p.
- 4 Perdigão, S. C. (1987), Instrução para Classificação dos Constituintes Microestruturais do Metal de Solda dos Aços Ferríticos, Utilizando-se Microscopia Ótica, Associação Brasileira de Soldagem – ABS, 18p.
- 5 Marques, P.V.; Modenesi, J.M.; Bracarense, A.Q. (2005), Soldagem, Fundamentos e Tecnologia, Editora UFMG, 362p.
- 6 Colpaert, H. (1974) Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns, 3ª edição, Editora Edgard Blücher, 412p.
- 7 Linnert,G.E. (1994) Welding Metallurgy - Carbon and Alloy Steels, Volume 1 – Fundamentals. Publicado por AWS, Miami, Florida, USA, 940p.