

COMPARAÇÃO MICROESTRUTURAL DO AÇO ASTM A213 NAS CONDIÇÕES T22 E T91 COM E SEM TRATAMENTO DE ALÍVIO DE TENSÃO PÓS SOLDA

Otávio Contart Gamboni

Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo – Fatec Sertãozinho. R. Jordão Borghetti, 480 – Sertãozinho – SP.

Centro Universitário Unifafibe. R. Prof. Orlando França de Carvalho, 325 – Bebedouro – SP.

e-mail: otavio.gamboni@gmail.com

Bruno Barbieri

Antonio Carlos Ventura Junior

Rafael Sayama

Péricles Bosquetti

Resumo. O presente trabalho visa avaliar a influência do tratamento térmico pós soldagem no aço ASTM A213 T22 e T91 na microestrutura formada e na dureza do material. De acordo com o código da ASME, peças feitas de aços gr T22 não necessitam de alívio de tensão pós solda, desde que possuam uma espessura de parede menor que 16 mm. Já os aços gr. T91 necessitam de alívio de tensão pós solda para qualquer espessura de parede. Desta maneira, foram avaliadas amostras de espessura fina destes dois aços e foram estudadas as condições com e sem alívio de tensão pós solda. As microestruturas foram obtidas por microscopia óptica e a dureza foi avaliada por medidas de microdureza Vickers. Ficou constatado que para os aços gr. T22 o alívio de tensão pós solda causa um coalescimento dos grãos e dissolução dos carbonetos dispersos na matriz, resultando em um valor muito baixo de dureza. Já para os aços gr. T91 o tratamento térmico de alívio de tensão pós solda se mostra necessário para que haja uma mudança na martensita formada durante a soldagem e no aumento da fração de bainita na poça de soldagem.

Palavras chave: Alívio de tensão pós solda. Aço ASTM A213. T91. T22

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento do consumo e da demanda por energia, tem-se a necessidade cada vez maior por equipamento e maquinário mais eficiente capaz de atender tais exigências. Caldeiras geradoras de vapor superaquecido e outros vasos de pressão estão sempre evoluindo e aumentando de tamanho e capacidade e, para o correto dimensionamento e funcionamento destes equipamentos. Para a construção de tais equipamentos, os aços carbonos ligados são os principais materiais usados com a finalidade de suportar grandes pressões e temperaturas de operação. Uma das soluções encontradas foi o desenvolvimento de tubos de aços Cr-Mo, classificados como ASTM A213 gr. T91 e gr. T22, utilizadas para ambientes com maior necessidade de resistência mecânica em altas temperaturas, como por exemplo, serpentinas de vapor superaquecido em caldeiras de alto desempenho.

De acordo com o código ASME I (2015) o alívio de tensões pós soldagem (*post weld heat treatment* - PWHT) é necessário para qualquer união de tubulação de pressão, utilizando o material ASTM A213 gr. T91, soldada por processo de fusão, sendo realizado a uma temperatura de aproximadamente 735°C. Segundo Regev (1996), a microestrutura característica deste aço é composta de uma matriz martensítica com uma série de carbonetos homogeneamente distribuídos. De acordo com Silwal (2013), esta classe de aços necessita do alívio de tensão pós solda pois durante este processo há a formação de martensita, a qual diminui drasticamente a tenacidade na região soldada. Ainda, de acordo com Santella (2010), em alguns casos, apenas o alívio de tensão não é suficiente para alcançar as propriedades mecânicas desejadas. Recomenda-se então que seja feita uma normalização seguida de alívio.

Regev (1996) caracterizou a microestrutura predominante no aço ASTM A213 gr T22 como uma matriz ferrítica com aproximadamente 30% de perlita. Quando comparado aos aços da gr. T91, os aços da classe gr. T22 apresentam uma temperatura máxima de trabalho inferior, desta forma, são aplicados em tubulações mais distantes da caldeira. É possível encontrar na literatura trabalhos nos quais as duas classes de aço Cr-Mo são soldadas de maneira dissimilar. (Regev, 1996; Dawson 2012). Vale salientar que, de acordo com o código ASME I (2015), o aço ASTM A213 gr. T91 é tratado termicamente somente em algumas situações, como por exemplo, para espessuras superiores a 16 mm, a uma temperatura de 680°C. No entanto, é bastante difícil encontrar trabalhos na literatura nos quais são utilizados tubos com paredes com espessuras inferiores a 16 mm. Ou seja, a condição deste aço sem o tratamento térmico pós soldagem não é muito abordada por trabalhos científicos.

O processo de soldagem mais adequado para esta aplicação, segundo Almendra (2013) é o processo GTAW (*gas-shielded tungsten arc welding*), devido à facilidade em controlar o processo e à possibilidade de utilizar o metal de adição. Ainda segundo Almendra (2013) este processo apresenta cordões de solda de alta qualidade, sem escória e respingos e pode ser empregado em todas as posições e tipos de junta. A soldagem GTAW por apresentar um controle preciso de aporte térmico, é extremamente eficaz na soldagem de materiais com pequena espessura, como as tubulações aqui estudadas, sendo altamente recomendada para soldagem de tubulações expostas a ambientes de elevada temperatura e pressão, como é o caso das caldeiras aquatubulares de alta pressão.

Dessa forma, a escassez de trabalhos técnicos-científicos sobre o tema justifica a importância deste trabalho, pois tratamento térmico de alívio de tensão após a solda deve ser realizado considerando a melhor combinação de temperatura e tempo. Se a temperatura de patamar de alívio for muito baixa, a tenacidade do material após o tratamento não é recuperada. Porém, se a temperatura for muito elevada, o resultado é um decréscimo na resistência mecânica em alta temperatura. Isto pode ser observado principalmente se o patamar de alívio for feito sob temperatura acima da temperatura de austenitização (Taniguchi, 2013).

O presente trabalho analisou a microestrutura de corpos de provas soldados nas condições com e sem o tratamento térmico para as duas classes gr. T91 (código determina o tratamento) e gr. T22 (onde não há instruções para PWHT).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os aços utilizados neste trabalho podem ser considerados aços ligados ao Cr e Mo, já que ambos apresentam teores de Cr compreendidos entre 0,5% e 11,5% e teores de Mo entre 0,44% e 1,1% (PETROBRAS, N133, 2015). Tubos destes aços são largamente utilizados em diversas aplicações, como nas indústrias de geração de energia (caldeiras aquatubulares) e na indústria petroquímica. Esses materiais apresentam propriedades mecânicas adequadas ao seu uso como material estrutural, indicadas pelos elevados valores de limites de resistência à tração, resistência à corrosão e resistência a altas temperaturas.

A Tabela 1 mostra a composição química nominal do tubo em aço carbono ASTM A213 gr.T22, adquirido do fornecedor sem costura, laminado à quente e recozido.

Tabela 1 – Composição química nominal do aço ASTM A213 gr.T22 – Limites de fornecimento

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Cu	Sn
Min	0,050	0,300	----	----	----	1,900	0,870	----	----
Max	0,150	0,600	0,025	0,025	0,500	2,600	1,130	----	----

Extraído de: ASME II (2013).

A Tabela 2 mostra os valores limites de composição química do tubo em aço carbono SA-A213 T91. Esses materiais, segundo as especificações do fabricante, são fornecidos normalizados a 1060°C e temperado a 775°C.

Tabela 2 – Composição química nominal do aço ASTM A213 gr. T91 – Limites de fornecimento

	C	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Si	Nb	N	Al
Min	0,070	0,300	----	----	----	8,000	0,850	0,180	0,200	0,060	0,030	----
Max	0,140	0,600	0,020	0,010	0,400	9,500	1,050	0,250	0,500	0,100	0,070	0,020

Extraído de: ASME II (2013).

Dois tipos de tubos com paredes finas foram utilizados neste experimento: os tubos de material com classificação ASTM A213 gr.T91, com diâmetro externo de 50,8 mm e 6,0 mm de espessura e os tubos do material ASTM A213 gr. T22, com diâmetro externo de 44,5 mm e 4,8 mm. Os materiais foram cortados com serra tipo fita, utilizando-se fluido de corte, as extremidades biseladas, limpas e unidas para a soldagem. A configuração para união dos tubos antes e após a soldagem, assim como a região na qual foram retiradas as amostras pode ser vista na Figura 1.

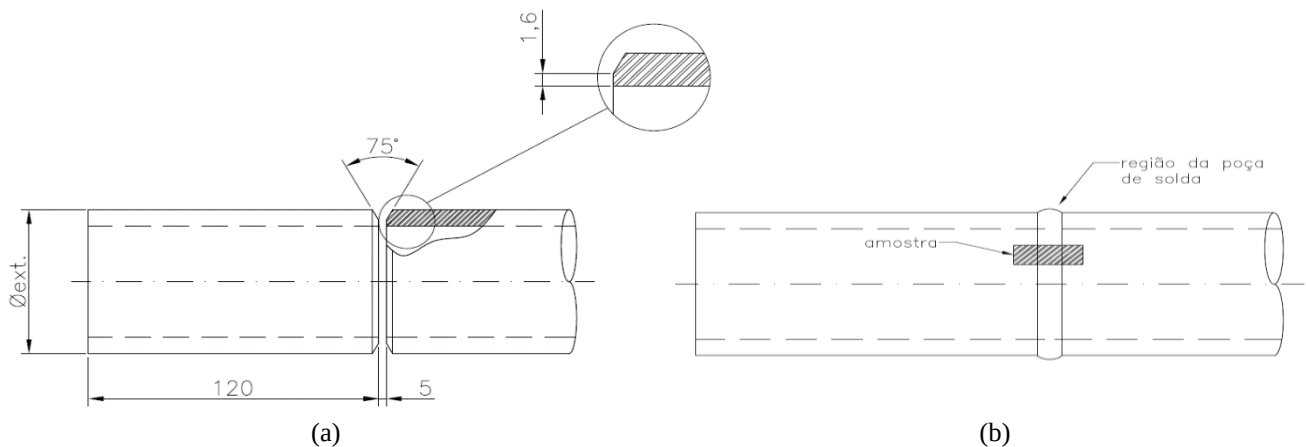


Figura 1: Configuração para união dos tubos por solda (a); região de corte das amostras (b)

A soldagem de todas as amostras foi realizada pelo processo GTAW (*gas-shielded tungsten arc welding*), sendo criadas duas (2) especificações de procedimento de soldagem (EPS), a fim de garantir aos soldadores e operadores de soldagem as principais diretrizes para uma soldagem eficaz e isenta de erros. As EPS's foram criadas respeitando os quesitos de qualificação de procedimento de soldagem presentes nas normas ASME IX (2013) e PETROBRAS N133L (2015).

A primeira EPS foi criada para a soldagem da tubulação em ASTM A213 gr. T22, na qual destacam-se os seguintes parâmetros:

- Utilização de vareta da classificação AWS ER90S-B3, própria para este tipo de material, sendo que para a raiz da solda utilizou-se vareta com $\varnothing$ 2,5 mm e para o enchimento e acabamento foi utilizada vareta com $\varnothing$ 3,2mm;
- Máquina regulada com corrente na faixa de 75 a 170 A e tensão entre 8 a 18V;
- Utilização de corrente contínua com polaridade negativa (CC-);
- Utilização de argônio puro para proteção gasosa;
- Pré-aquecimento da solda com temperatura de aproximadamente 200 °C.

Já a segunda EPS foi criada para a soldagem da tubulação em ASTM A213 gr. T91, com os seguintes parâmetros a destacar:

- Utilização de vareta da classificação AWS ER90S-B9, própria para este tipo de material, sendo que para a raiz da solda utilizou-se vareta com $\varnothing$ 2,5 mm e para o enchimento e acabamento foi utilizada vareta com $\varnothing$ 3,2 mm;
- Máquina regulada com corrente na faixa de 75 a 170 A e tensão entre 8 a 18V;
- Utilização de corrente contínua com polaridade negativa (CC-);
- Utilização de argônio puro para proteção gasosa e purga;
- Pré-aquecimento da solda com temperatura de aproximadamente 250°C;
- PWHT obrigatório.

Os valores de corrente e tensão de solda utilizados neste trabalho foram de aproximadamente 150A e 15V, respectivamente.

Após a soldagem das amostras, uma amostra de cada tubulação foi tratada termicamente e a outra não recebeu este tratamento. Todas as amostras dos aços que foram tratadas termicamente seguiram a norma que rege a fabricação de caldeiras e vasos de pressão, o código ASME I (2015). A tubulação em aço ASTM A213 gr. T91 foi tratada conforme parâmetros estabelecidos na parte PW-39, tabela PW-39-5 do referido código. A temperatura e o tempo de patamar utilizada para a realização deste trabalho foram de 740°C e 33 minutos, respectivamente.

Para a soldagem da tubulação em ASTM A213 gr. T22, classificada como PN° 5A pelo código ASME IX (2013), o PWHT é obrigatório se um dos seguintes requisitos não for atendido: Conteúdo especificado de Cr máximo de 3%; Espessura nominal da metal base menor ou igual a 16 mm na região da solda e teor de C especificado na composição menor que 0,15%.

A amostra em ASTM A213 gr. T22 da tubulação soldada utilizada cumpre todos os requisitos de isenção da necessidade de alívio de tensões pós soldagem, entretanto, para termos comparativos de resultados, uma das amostras foi tratada termicamente conforme determinam os parâmetros estabelecidos pelo ASME. A temperatura e o tempo de patamar utilizados para a realização deste trabalho foram de aproximadamente 740°C e 30 minutos para o aço gr. T91 e 690°C e 30 minutos para o aço gr. T22. Em todos os tratamentos térmicos foram utilizadas taxas de aquecimento e resfriamento controladas a partir de 425°C, conforme determina o código do fabricante, sendo que as taxas de aquecimento e resfriamento não foram superiores a 200°C/h e 280°C/h respectivamente.

Após o tratamento térmico das amostras selecionadas, estas foram lixadas e polidas para o prepara metalográfico, seguindo as diretrizes da norma ASTM E3-11 (2017). A avaliação de perfil de microdureza foi realizada de acordo com a norma ASTM E384-10.

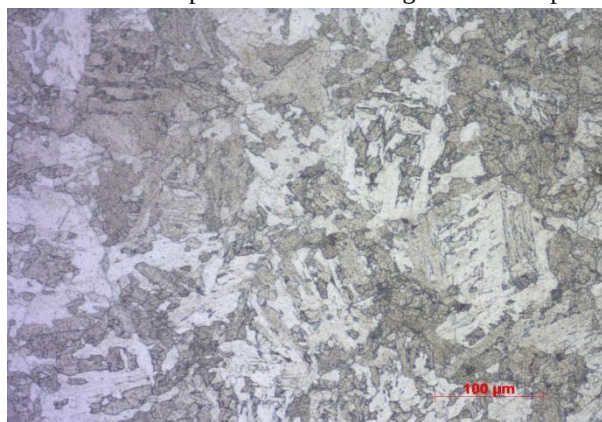
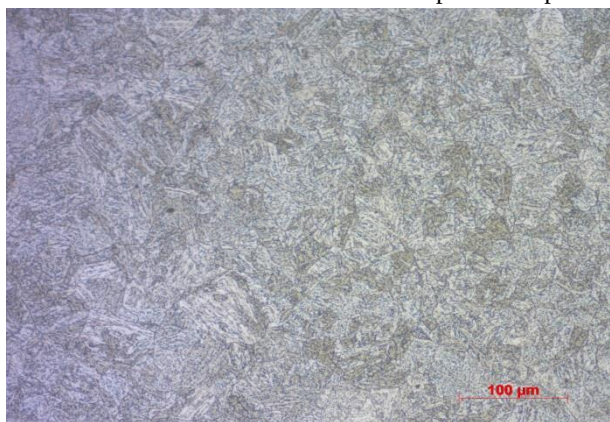
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os dados relativos à composição química dos aços ASTM A213 gr T91 e T22 recebidos pelo fornecedor via certificado.

Tabela 3 – Composição química do Aços 213 T91 e T22 – Material como recebido

	C	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Si	Nb	N	Al
T22	0,100	0,350	0,008	0,004	----	1,960	0,920	----	0,200	----	----	----
T91	0,740	0,479	0,004	<0,005	0,107	8,600	0,988	0,209	0,336	0,078	0,075	0,011

Com base nos valores apresentados na composição química do aço como recebido, nota-se que praticamente todos os elementos encontram-se dentro da faixa permitida por norma. O elemento N apresentou um teor ligeiramente superior ao



descrito como máximo na norma. O teor de carbono para o aço T22 foi inferior a 0,15%, isentando o aço de realizar o PWHT após a solda. A Fig. 4 apresenta a região ZTA do aço A231 gr. T22 nas condições sem e com PWHT em temperatura de aproximadamente 690°C.

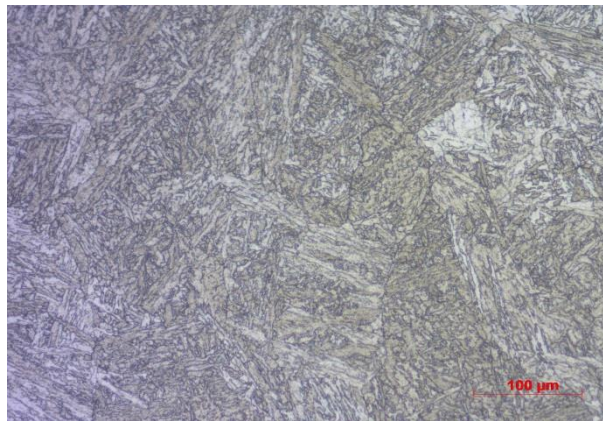
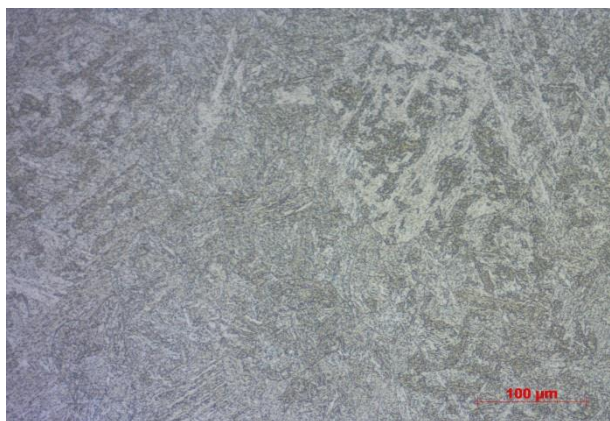
(A)

(B)

Figura 4: Região da ZTA para o aço gr. T22; (A) sem PWHT; (B) com PWHT (690°C); ataque com reagente Vilela.

De acordo com Regev (1996) e Dawson (2012) a microestrutura para este aço sem o tratamento térmico é composta basicamente de uma mistura de ferrita e bainita superior. Com base no Atlas (Atkins, 1977), a temperatura de transformação de ferrita em austenita para este aço está entre 799 – 812°C. Portanto, o PWHT foi realizado em temperatura inferior à temperatura de transformação. Com isso, não houve mudança de fase. No entanto, o que foi constatado foi um notável aumento no tamanho de grão oriundo do coalescimento dos grãos refinados que se formaram durante a solda. De acordo com Sojiphan (2017), o tamanho de grão na ZTA para este material tende a aumentar de acordo com o aumento da temperatura do PWHT. Ainda, é possível notar que na amostra sem o PWHT a presença de carbonetos distribuídos nos grãos bainíticos. Já no material após o PWHT, tais carbonetos se acabaram se dissolvendo devido ao aporte térmico.

A Fig. 5 apresenta as microestruturas obtidas para o aço A213 gr. T22 na região da solda, sem e com o PHWT.



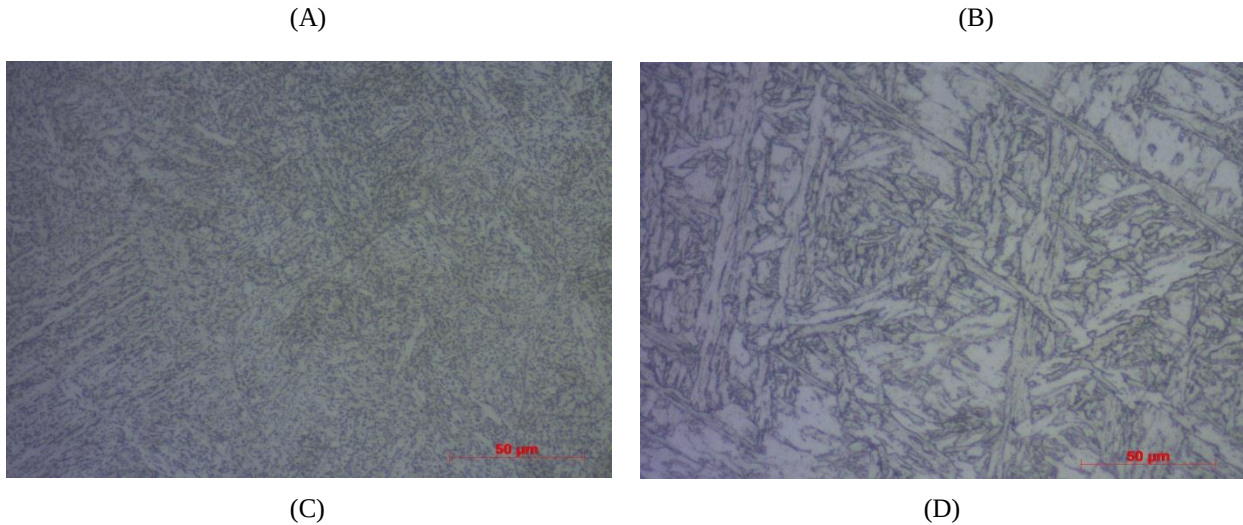


Figura 5: Região da solda para o aço gr. T22; (A) e (C) sem PWHT; (B) e (D) com PWHT (690°C); ataque com reagente Vilela.

O mesmo efeito observado na região da ZTA foi observado na zona fundida da poça de fusão para o material gr. T22. Foi possível constatar um aumento do tamanho de grão além uma presença de ferrita de forma colunar (alongada) após o PWHT. A Fig. 6 apresenta as microestruturas encontradas para a região da ZTA para o aço gr. T91 sem e com PWHT.

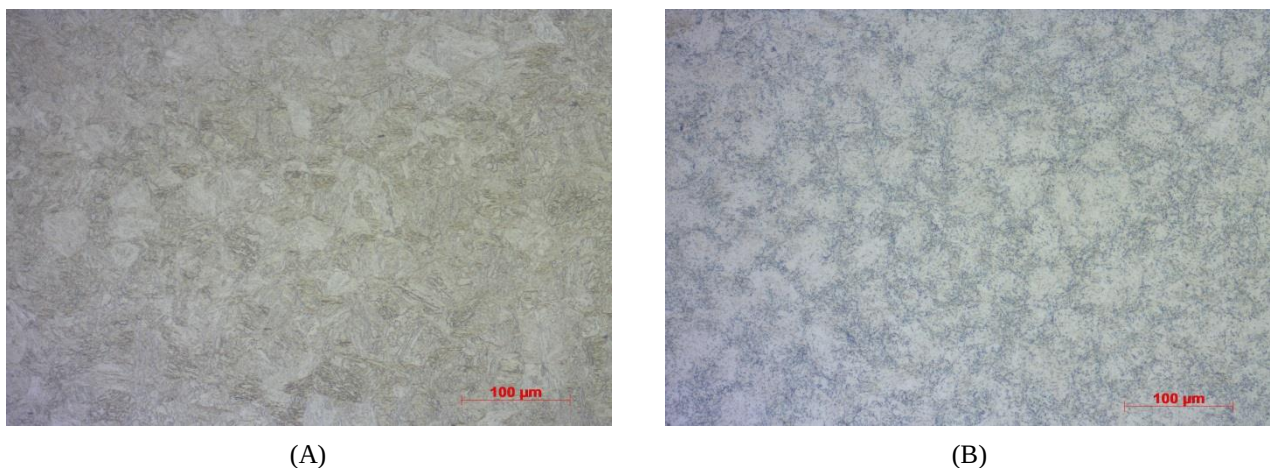


Figura 6: Região da ZTA para o aço gr. T91; (A) sem PWHT; (B) com PWHT (740°C); ataque com reagente Nital.

De acordo com a literatura (Silwal, 2013; Regev, 1996), o PWHT se faz necessário para este material uma vez que durante a etapa de resfriamento da solda, ocorre a formação de martensita, o que diminui drasticamente a tenacidade do material, fragilizando a poça de fusão. Um tratamento de alívio realizado abaixo da temperatura de transformação de fase (aproximadamente 822° para este aço – Silwal, 2013) resulta em uma martensita revenida com presença de ferrita com carbonetos dispersos na matriz. Além disso, os autores relatam que nesta temperatura já ocorre a recuperação da tenacidade à fratura.

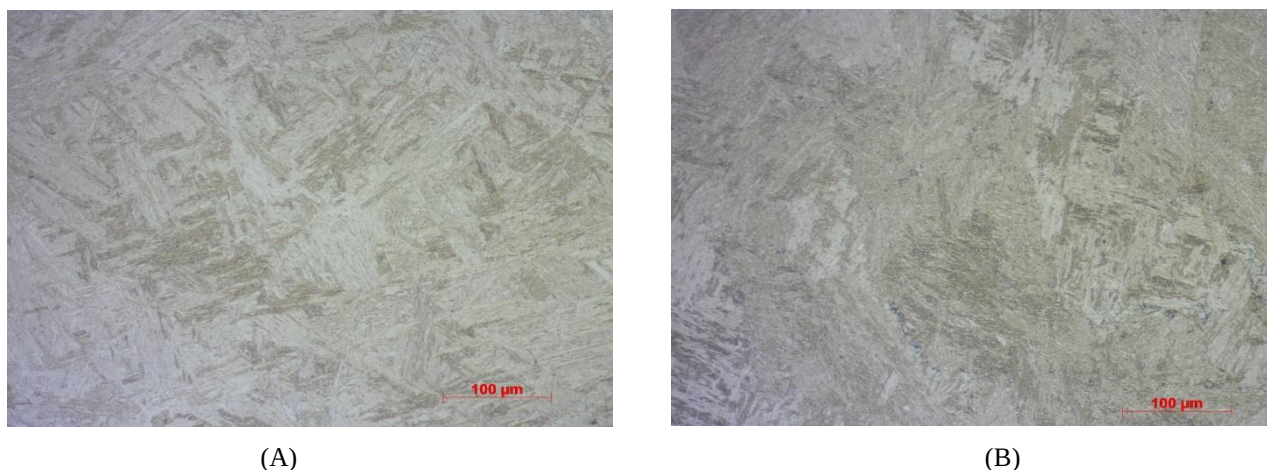


Figura 6: Região da solda para o aço gr. T91; (A) sem PWHT; (B) com PWHT (740°C); ataque com reagente Nital.

Dawson (2012) relatou que durante a soldagem dissimilar do aço gr. T91 com aço o aço gr. T22 foi observado a presença de ferrita- δ , além de uma região de descarbonetação próximo à poça de fusão, mesmo após um PWHT de 8 horas. Nenhum destes dois fenômenos foi observado neste trabalho. Porém, uma análise microestrutural mais detalhada pode ser realizada em trabalhos futuros, incluindo análises por microscopia eletrônica de varredura ou EBSD. O que pode ser observado foi que houve um aumento na quantidade de partes escuras (caracterizada aqui como bainita) em função da diminuição da parte clara (caracterizada aqui como martensita revenida) após o PWHT.

A Tabela 4 apresenta os resultados de microdureza Vickers nas regiões de metal base, ZTA e solda para os dois aços nas duas condições estudadas.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de microdureza Vickers

	T91 com PWHT	T91 sem PWHT	T22 com PWHT	T22 sem PWHT
	HV	HV	HV	HV
Metal Base	153	213	125	150
	158	210	126	156
	166	212	126	150
Solda	379	421	192	310
	382	433	187	285
	388	394	180	296
ZTA	363	395	160	289
	363	408	158	280
	377	399	158	280

Foi possível constatar que para os dois materiais, o PWHT resultou em uma diminuição da dureza. No caso do aço gr. T22, a transformação da matriz bainítica em matriz ferrítica, além da dissolução dos carbonetos presentes antes na bainita são as possíveis causas desta diminuição. No caso do aço gr. T91, o revenimento causado na martensita, seguido de um aumento na fração de bainita após o PWHT pode ser a explicação para a diminuição da dureza.

Após a análise das micrografias e dos resultados de microdureza, fica evidente que as recomendações do código ASME são de extrema importância. No caso do aço gr. T22 – para tubos com espessura menor que 16mm - a realização do PWHT acaba resultando em um aumento do tamanho do grão ferrítico além da dissolução dos carbonetos antes dispersos na matriz de bainita. O resultado observado foi uma grande diminuição na dureza encontrada (principalmente na região soldada e na ZTA). Já no caso do aço gr. T91, a não realização do PWHT poderia resultar em uma martensita com elevado valor de dureza e, provavelmente, baixo valor de tenacidade. O aumento no fração de bainita em relação à martensita é responsável pela queda da dureza, porém, de um valor considerado interessante para tenacidade.

4. REFERÊNCIAS

- Almendra, A. C., 2013. “Soldagem: Área Metalúrgica”. São Paulo: Senai-SP, 720 p.
- Atkins, M., 1977. Atlas of Continuous Cooling Transformation Diagrams for Engineering Steels.
- Dawson, K. E., 2012. *Dissimilar Metal Welds*. Tese de doutorado. University of Liverpool, Liverpool.
- Regev, M.; Berger, S; Weiss, B.Z., 1996. “Investigation of Microstructure Mechanical and Creep Properties of Weldments between T91 and T22 steels”. *Welding Research Supplement*.
- Santella, M.L.; Swinderman, R.W.; Reed, R.W.; Tanzosh, J.M. 2010. Martensite transformation microsegregation, and creep strength of 9Cr-1Mo-V steel weld metal.
< <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.604.7022&rep=rep1&type=pdf>>
- Silwal, B.; Li, L.; Decester, A.; Griffiths, B., 2012, “Effect of Postweld Heat Treatment on the Toughness of Heat-Affected Zone for Grade 91 Steel.” In: *AWS Professional Program t FABTECH 2012*, Las Vegas. Weld Research.
- Sojiphan, K.; Jitruktham, P.; Theachawannasest, R.; Nakornfang, A., 2017, “Effect of Post-Weld Heat Treatment on Changes in the Heat Affected Zone Grain Size and Hardness in Dissimilar Welds of Power Plant Boiler Tubes Grade ASTM SA213-TP347H and Grade ASTM SA213-T22.” In: *The Conference of International Welding and Inspection Technology (IWIT2017)*., Tailândia.
- Taniguchi, G.; Yamashita, K. 2013. “Effects of Post Weld Heat Treatment (PWHT) Temperature on Mechanical Properties of Weld Metals for High-Cr Ferritic Heat-Resistant Steel.” In: *Kobelco Technology Review N° 32*.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

MICROSTRUCTURAL COMPARISON OF STEEL ASTM A213 Gr T22 AND T91 WITH AND WITHOUT POSTWELD HEAT TREATMENT

Otávio Contart Gamboni

Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo – Fatec Sertãozinho. R. Jordão Borghetti, 480 – Sertãozinho – SP.
Centro Universitário Unifafibe. R. Prof. Orlando França de Carvalho, 325 – Bebedouro – SP.
e-mail: otavio.gamboni@gmail.com

Bruno Barbieri

Antonio Carlos Ventura Junior

Rafael Sayama

Péricles Bosquetti

The present work aims to evaluate the influence of the heat treatment after welding on the ASTM A213 T22 and T91 steel in the formed microstructure and the hardness of the material. According to ASME code, parts made from T22 gr grades do not require post-weld stress relief, provided they have a wall thickness of less than 16 mm. The gr. T91 require post-weld tension relief for any wall thickness. In this way, thin-thickness samples of these two steels were evaluated and the conditions with and without post-weld stress relief were studied. The microstructures were obtained by optical microscopy and the hardness was evaluated by Vickers microhardness measurements. It was found that for gr. T22 post-weld stress relief causes coalescing of the grains and dissolution of the dispersed carbides in the matrix, resulting in a very low hardness value. For gr. T91 the heat treatment of post-weld stress relief is shown to be necessary for a change in the martensite formed during welding and in the increase of the bainite fraction in the melt zone of the weld pool.

Keywords: ASTM A213. Gr T22. Gr. T91. Postweld Heat Treatment

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.