

SIMULAÇÃO DA CURVA DE RESFRIAMENTO DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA DO AÇO API 5L X80 SOLDADO PELO PROCESSO ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

H. M. de Lira

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE

R. A. Sanguinetti Ferreira

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE

M. D. M. das Neves

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

S. L. Urtiga Filho

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE

O. O. Araujo Filho

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE - Av. Arquitetura S/N Cidade
Universitária – CEP: 50740-550 – e-mail: oscarof98@hotmail.com

RESUMO

A simulação de curvas de resfriamento da zona termicamente afetada (ZTA) do aço API 5L X80 foi realizada com base nas taxas de resfriamento de soldas reais do processo arame tubular autoprotégido. As amostras foram analisadas por macroscopia, microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) para investigar os efeitos das condições de resfriamento sobre o ensaio de tração e de dureza Vickers. Um simulador termomecânico (STM) reproduziu as diferentes condições termodinâmicas de pontos da ZTA e permitiu que os ciclos térmicos obtidos por soldas reais fossem aplicados a amostras do Aço API 5L X80. Os valores de dureza, limite de escoamento e limite ruptura obtidos simulados foram menores do que aqueles apresentados pelo material como recebido.

Palavras-chave: API 5L X80; Soldagem; ZTA; Taxa de Resfriamento

INTRODUÇÃO

Os aços com a classificação API 5L são os materiais mais utilizados nas malhas de transportes dutoviários por possuírem alta resistência mecânica e suportarem elevadas pressões ⁽¹⁾. Segundo Hillenbrand et al ⁽²⁾, a tendência atual é incrementar o limite de escoamento para que os dutos fabricados com esses aços possam transportar fluidos cada vez mais corrosivos e de menores custos, o que torna a análise do comportamento das juntas soldadas desses aços um tema de grande interesse. Silva Jr. et al ⁽³⁾, por sua vez, diz que a extensão e magnitude das mudanças nas propriedades dependem, principalmente, das características do metal de base e adição, do processo de soldagem envolvido, bem como pela quantidade e concentração de calor gerado e de seu posterior resfriamento. Assim, cada tipo de junta deve ser estudado separadamente, pois os resultados experimentais obtidos são únicos e específicos. Diante do exposto, o presente trabalho versa pela aplicação de taxas resfriamento igual àquelas obtidas nas condições reais de soldagem, em amostras do aço API 5L X80 soldado com arame tubular autoprotetido, para simulação das curvas de resfriamento reais ocorridas na ZTA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material objeto deste estudo foi originado do fracionamento de anéis de tubos de aço costurado API 5L X80, de onde foram produzidos corpos de prova com as dimensões abaixo:

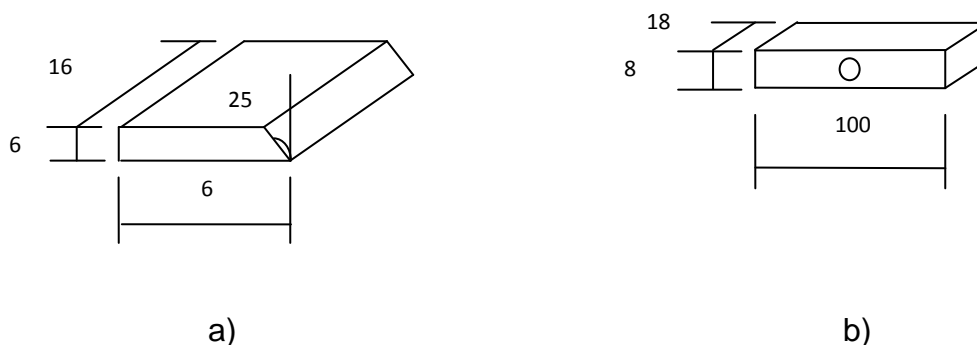


Fig. 1.- Esquema: a) Corpo de prova das soldas reais b) Corpos de prova para reprodução das curvas de resfriamento



Fig. 2 - Equipamentos para reprodução do ciclo térmico

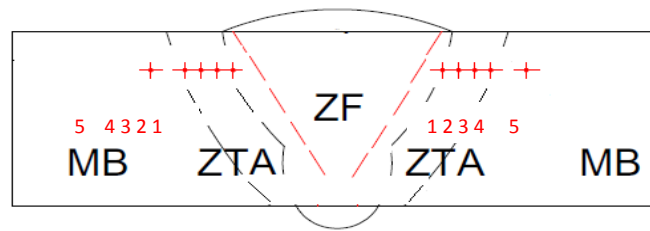
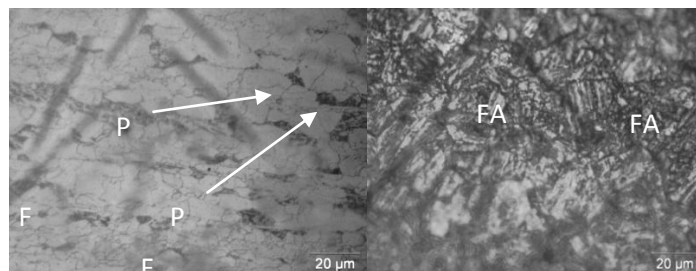


Fig. 3 - Esquema de posicionamento dos pontos de impressão do perfil de dureza estudado

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras (4a) a (4f) apresentam os resultados característicos da microscopia ótica das amostras do aço API 5L X80 estudado.

Inicialmente podemos verificar, que o material como recebido apresenta uma microestrutura composta basicamente por grãos ferríticos de vários tamanhos (F) e contornos de grão levemente enriquecido por perlita (P), conforme indicado na figura (4a). A figura (4b) revela a microestrutura para uma taxa de resfriamento de 15°C/s de uma solda real, onde a fase matriz da amostra foi originada por transformações do tipo bainíticas, ou seja, cisalhamento seguido de difusão, característico de ferrita acicular (FA). Para os corpos de provas simulados, figuras (4c) a (4f), a microestrutura é formada por uma mistura das fases encontradas no material como recebido e na solda real, isto é, apresenta característica de uma mistura da microscopia granular e acicular da ferrita. À medida que a taxa de resfriamento diminui, há uma tendência de retorno da microestrutura ao estado como recebido.



a)

b)

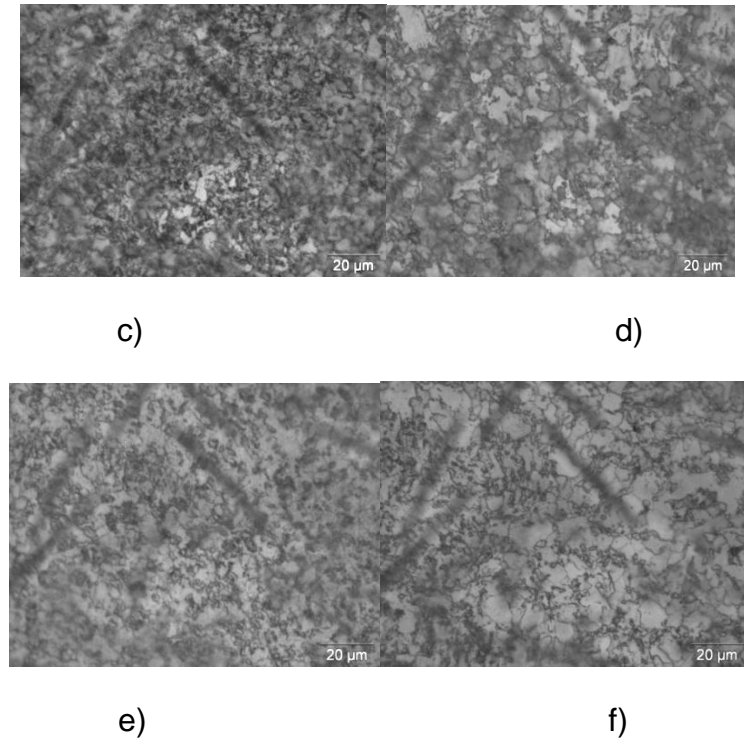
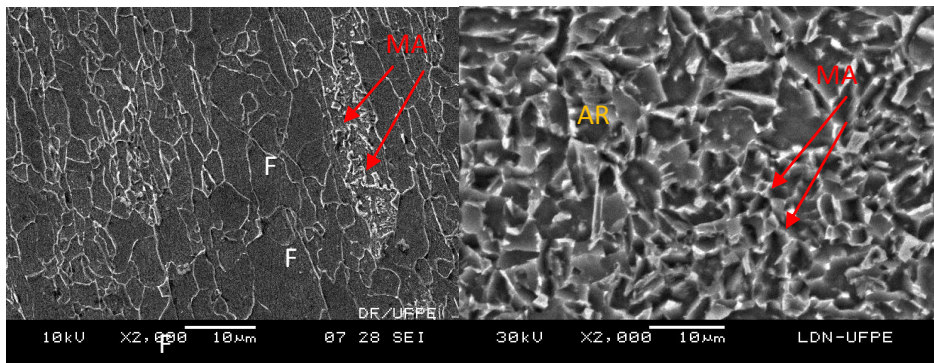


Fig. 4 - Microscopia ótica do aço API 5L X80 com aumento de 1000x: a) Como recebido; b) ZTA de uma solda real a 15°C/s; c) Amostra simulada a 15°C/s; d) Amostra simulada a 11°C/s; e) Amostra simulada a 10°C/s; f) Amostra simulada a 8°C/s

As figuras (5a) a (5f) apresentam imagens de MEV, onde podemos verificar que as estruturas matrizes das amostras são formadas de subestruturas com características de austenita retida (AR) e microconstituente martensita – austenita (MA)



a) b)

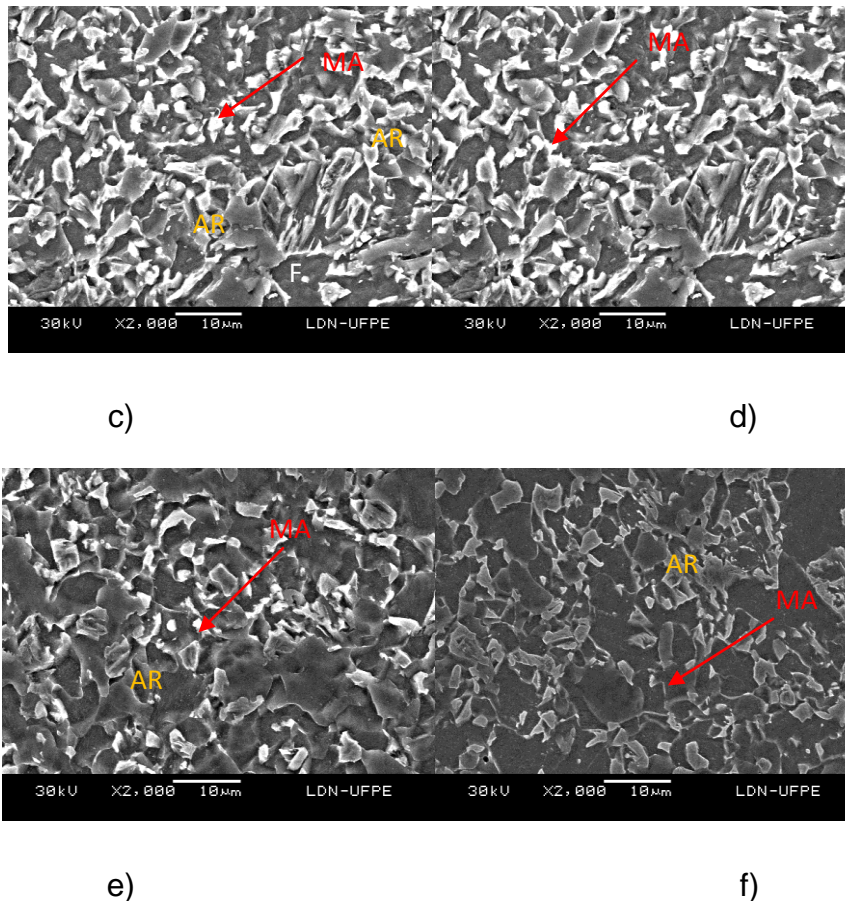


Fig. 5 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do aço API X80: a) Como recebido; b) ZTA de uma solda real a 15°C/s; c) Amostra simulada a 15°C/s; d) Amostra simulada a 11°C/s; e) Amostra simulada a 10°C/s; f) Amostra simulada a 8°C/s

Das fases encontradas no experimento após a aplicação das taxas de resfriamento, observa – se uma microestrutura similar a ferrita granular, ferrita acicular, perlita, austenita retida e microconstituente M/A. Neste caso, um aço composto apenas por ferrita acicular seria o ideal ⁽⁴⁾. A morfologia da ferrita acicular é composta por um conjunto de ripas de ferrita com elevada densidade de discordância e precipitados de carbonitretos dispersos. Na solda real, a microestrutura oriunda das transformações bainíticas é mais bem definida. Para o ensaio de tração, as propriedades de interesse foram o limite de resistência (L_r) e o alongamento percentual (ϵ), relação limite de escoamento convencional e limite de resistência (L_n/L_r), sendo os resultados obtidos resumidos no quadro (3). As amostras submetidas ao ensaio de tração demonstraram que os valores encontrados no limite de escoamento não atendem ao valor mínimo requerido pela

norma API 5L, apresentando valores da ordem de 50 % inferior ao encontrado no material como recebido. Além disso, o limite de resistência apresentou resultados que atende ao limite especificado pela norma API 5L, porém com valores abaixo do encontrado no material como recebido, decrescendo com a diminuição da taxa de resfriamento.

Tabela 3 - Propriedades obtidas pelo ensaio de tração

Ensaio de Tração no X80				
Amostras	Lr (MPa)	Ln (MPa)	ε (%)	Ln / Lr
Norma API	625	555	18	88,80
Como	690	570	30	82,60
Resf. a	(686,43	(314,70±15,63) _{95%p}	(30,36±0,94)	45,84
Resf. a	(648,54	(306,53±9,46) _{95%p}	(32,84±2,29)	47,26
Resf. a	(639,10	(301,84±4,59) _{95%p}	(33,01±1,49)	47,22
Resf. a	(624,77	(293,91±13,33) _{95%p}	(30,67±2,02)	47,04

A redução nos valores do limite de resistência e escoamento vem do fato que o material como recebido possui um nível de encruamento produzido pelo dobramento e expansão inerente ao processo de fabricação do tubo de onde foram retiradas as amostras ⁽⁵⁾. Assim, as amostras tratadas no STM perdem esse encruamento diminuindo os valores dos resultados encontrados, sendo a perda de valores mais acentuada para o limite de escoamento do que para o limite de resistência. Já os resultados obtidos no ensaio de dureza vickers são apresentados no quadro (4) e sua análise realizada através da comparação dos valores obtidos pelas amostras simuladas e pelo perfil de dureza encontrado na ZTA das soldas reais.

Tabela 4 - Resultados obtidos pelo ensaio de Dureza

Ensaio de Dureza Vickers	
Amostras	HV(20 Kgf)
Perfil ZTA a 15°C/s	(256,17 ± 0,67) _{95%p}
Perfil ZTA a 11°C/s	(245,16 ± 2,91) _{95%p}
Perfil ZTA a 10°C/s	(248,27 ± 4,33) _{95%p}
Perfil ZTA a 8°C/s	(252,17 ± 2,55) _{95%p}
Simuladas a 15°C/s	(255,29 ± 4,83) _{95%p}
Simuladas a 11°C/s	(242,19 ± 7,17) _{95%p}
Simuladas a 10°C/s	(245,45 ± 5,45) _{95%p}
Simuladas a 8°C/s	(248,14 ± 5,64) _{95%p}

Para o ensaio de dureza, a tendência do comportamento é apresentar valores ligeiramente mais baixos, porém similares àqueles encontrados nas soldas reais. As boas propriedades mecânicas encontradas são atribuídas à refinada microestrutura, que dificulta a propagação de trincas devido à presença de um grande número de grãos ferríticos por unidade de comprimento ⁽⁵⁾.

CONCLUSÕES

Baseado nos resultados experimentais obtidos pode – se concluir que:

- As microestruturas obtidas pelas rotas termodinâmicas impostas às amostras simuladas apresentam uma tendência de mistura da microscopia granular e acicular da ferrita como constituintes matrizes, e subestruturas dessas fases com características de austenita retida e martensita-austenita. Com relação às microestruturas acima citadas, o experimento muito se aproximou da condição obtida pela solda real.
- Em todos os casos, os valores de limite de escoamento, limite ruptura e durezas encontradas nas amostras foram menores do que aqueles apresentados pelo material como recebido.
- O limite de escoamento foi a única propriedade mecânica que apresentou um resultado que divergiu na ordem de 50% inferior aos valores encontrados para o material como recebido. Os valores de dureza encontrados nas amostras simuladas foram semelhantes, porém mais baixo.

REFERÊNCIAS

1. API 5L: Specification for Line Pipe, Washington, 42nd ed., 153p., October 2010.
2. Hillebrand H. G.; Graf, M.; Kalwa, C. Development and Production of Linepipe Steel in Grade X100 and X120. Seminar of X120 Grade High Performance Pipe Steel. Technical Conference, China, 2005.
3. Silva Jr., L. A.; Yadava, Y. P.; Ferreira, R. A. S. Simulação das Transformações de Fase em Pontos da ZTA de Juntas Soldadas do Aço API

- 5L X70. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, 2010.
4. Rodrigues, E. R. Influência de Parâmetros do Processo FCAW – G nas Características da Solda do Aço ASTM A-36 - Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2010.
 5. Guimarães, P. B. Estudo do Campo de Temperatura Obtido Numericamente para Posterior Determinação das Tensões Residuais Numa Junta Soldada de Aço ASTM AH36. Tese de doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2010.

**SIMULATION OF COOLING CURVES OF THE HEAT AFFECTED ZONES OF API
5L X80 STEEL OF WELDS MADE BY FLUX CORE ARC WELDING SELF
PROTECTING**

ABSTRACT

The simulation of cooling curves of the heat affected zones (HAZ) of API 5L X80 steel was based on the cooling rates of welds made by the process named FCAW - S (Flux Core Arc Welding Self Protecting). The specimens were analyzed by macroscopy, light microscopy (LM) and scanning electronic microscopy (SEM) to investigate the effects of cooling conditions on the tensile test and Vickers hardness. A thermo-mechanical simulator showed be able to reproduce the different thermodynamics conditions of points in the HAZ and allowed the reproduction of the thermal cycle obtained by welds were applied to the specimens of API 5l X80 steel. The values of the yield strength, ultimate strength and hardness found in the specimens were lower than those presented by the material as received.

Keywords: API 5L X80, Welding; HAZ, Cooling Rate.