

EFEITO DA TEMPERATURA NA TRANSFORMAÇÃO DE FASES DE UM AÇO MICROLIGADO TEMPERADO E REVENIDO FORJADO A QUENTE¹

*Fernando Dellacqua Cristo²
Rodrigo de Oliveira Pezzin²
Bruno Camara Vieira³
André Itman Filho⁴*

Resumo

Com o objetivo de avaliar novas técnicas de processamento, foi fabricado um aço microligado para confecção de barras por meio de forjamento. O aço com composição química similar à dos aços API X70 foi fundido e vazado em lingoteiras, sendo forjado posteriormente. As barras forjadas foram recozidas e amostras foram retiradas para realização de têmpera e revenimento em diferentes temperaturas. A caracterização microestrutural indicou aumento da textura acicular com o aumento da temperatura de austenitização. As medidas de dureza mostraram o amaciamento do material com o aumento da temperatura de revenimento.

Palavras-chave: Aço microligado; Tratamentos térmicos; Forjamento.

EFFECT OF TEMPERATURE ON PHASE TRANSFORMATION OF A QUENCHED AND TEMPERED MICROALLOYED STEEL HOT FORGING

Abstract

Attempting to evaluate new processing techniques, a microalloyed steel was made for the manufacturing of bars through forging technique. The steel, having similar composition of API X70 steels, was molten and poured in ingot moulds, and then posteriorly forged. The bars were annealed and samples were cut for quenching and tempering procedures in different temperatures. The microstructural characterization showed an increase of acicular texture with increases of quenching temperature. The hardness decreases when the tempering temperature increases.

Key words: Microalloyed steel; Heat treatments; Forging.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Graduação em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Campus Vitória, ES, Brasil.*

³ *Mestrando em Engenharia Metalúrgica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais (PROPEMM), IFES, Campus Vitória, ES, Brasil.*

⁴ *Professor Dr. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais (PROPEMM), IFES, Campus Vitória, ES, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a prospecção de petróleo em regiões profundas como o pré-sal, proporcionará o desenvolvimento tecnológico de novos materiais e técnicas de processamento, capazes de atender às solicitações de projetos estruturais para transporte de óleo e gás. Nestes casos são necessários aços com elevada resistência mecânica e tenacidade, para suportar as elevadas pressões geradas pela coluna da água oceânica e a vazão de óleo e gás na tubulação. Outros fatores importantes são a soldabilidade e a resistência à corrosão devido à agressividade da atmosfera salina. Atualmente, tubos com diâmetros elevados são utilizados onde a menor espessura da parede é desejada, para redução do peso, diminuição da quantidade de solda em cada junta e redução de custos.⁽¹⁾ A melhoria na soldabilidade se deve principalmente à redução do teor de carbono, de enxofre (máximo de 0,001% em alguns casos) e de nitrogênio (máximo de 40 ppm), assim como adições de cálcio para globulizar inclusões.⁽²⁾ Em algumas jazidas de petróleo, os altos teores de H₂S, são capazes de atacar a superfície da tubulação, gerando hidrogênio atômico. Segundo Hulka,⁽³⁾ o hidrogênio atômico gerado na superfície pode ser adsorvido e se difundir no interior do aço, para sítios preferências de nucleação de hidrogênio molecular, geralmente na ponta de inclusões alongadas como os sulfetos. O acúmulo de gás nestes pontos pode gerar trincas, comprometendo a estrutura da tubulação. Este fenômeno é conhecido como fragilização por hidrogênio e por isto é importante o controle da composição química do aço. Avanços na siderurgia e tratamento do aço líquido, assim como no lingotamento contínuo, permitem o maior controle do teor de elementos residuais e níveis de segregação, assim como a diminuição dos defeitos resultantes da solidificação do metal.

Os vários graus dos aços para tubos, especificados pela norma API 5L,⁽⁴⁾ podem ser classificados como aços ARBL. Usualmente são microligados com nióbio, titânio ou vanádio, garantindo boa tenacidade à fratura, alta resistência à tração e resistência à fragilização por hidrogênio. Tais propriedades são resultantes da combinação de uma microestrutura com grãos refinados, alta densidade de discordâncias e endurecimento por precipitação de carbonetos, nitretos e carbonitretos finamente dispersos na matriz. Na fabricação do aço API X70 para confecção de dutos é utilizado o processo de laminação com controle termo-mecânico, seguido de resfriamento acelerado. Em componentes e acessórios com maior complexidade geométrica, tais como juntas, acoplamentos e conexões para diferentes dimensões de tubos, no caso de aços que necessitem atender as especificações da norma API 5L, a laminação não é a técnica mais adequada e o processo de forjamento pode ser uma alternativa interessante. Conexões do tipo cross over fornecidas pela Vallourec & Mannesmann Tubes⁽⁵⁾ atualmente são produzidas pela técnica de forjamento. Este processo, muito utilizado na indústria automotiva, permite uma ampla faixa de dimensões e formas complexas com controle da microestrutura e propriedades mecânicas após tratamentos térmicos adequados. Taxas de deformação, desde 10⁻¹s⁻¹ em prensas hidráulicas e até 10²s⁻¹ em martelos de queda, são empregadas nos processos normais de forjamento.⁽⁶⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir das barras forjadas e recozidas quadradas com arestas de 3 cm e 150 cm de comprimento, amostras cúbicas com 1 cm de lado foram retiradas para

realização de tratamentos térmicos, caracterização microestrutural e medidas de dureza.

2.1 Tratamentos Térmicos

Foram retiradas 3 amostras para realização de têmpera a 840, 900 e 1040°C em fornos tipo mufla. As amostras foram austenitizadas e mantidas por um tempo de 30 minutos, com resfriamento em água. Para cada temperatura de têmpera, foram realizados revenimentos nas temperaturas de 150, 250, 350, 450, 550 e 650 °C, sendo assim necessárias 18 amostras. As amostras foram mantidas na temperatura de revenimento por 40 minutos e resfriadas ao ar.

2.2 Caracterização Microestrutural

A caracterização microestrutural da barra na condição de recebimento (recozida) foi feita através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para identificação das fases presentes. As amostras com o tratamento térmico de têmpera foram caracterizadas apenas via Microscopia Ótica (MO).

A preparação de todas as amostras seguiu o mesmo padrão: lixamento em lixas d'água na sequência de 80#, 180#, 220#, 320#, 400# e 600#, com polimento em alumina 1 e 0,3 µm, usando como reagente para ataque químico Nital 2%, com um tempo de aplicação de 15 segundos.

2.3 Medidas de Dureza

As durezas das amostras foram determinadas nas três seções após recozimento, têmpera a 840, 900 e 1040°C, e temperadas seguidas de revenimento. As medidas de dureza foram realizadas em um durômetro modelo HP 250 a partir do método Rockwell, escala B, com pré-carga de 10 kgf.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do aço microligado está mostrada na Tabela 1. As análises da amostra recozida revelam uma microestrutura refinada de ferrita e perlita. Os elementos nióbio, vanádio e titânio são fortes formadores de carbonetos. Mesmo com teores inferiores a 0,15% (Ti+V+Nb) ocorre a precipitação destes carbonetos durante a transformação austenita/ferrita, finamente dispersos na matriz.⁽⁷⁾

Tabela 1. Composição química do aço estudado

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti	V	Cu
%	0,09	0,09	0,42	0,01	0,01	0,24	0,18	0,37	0,01	0,08	0,01	0,03

O recozimento permite homogeneizar a microestrutura do material, aliviar tensões e controlar o tamanho de grão final. Foi observada a uniformidade de dureza, com valor aproximado de 52 HRB nas três seções da barra (longitudinal, transversal e normal).

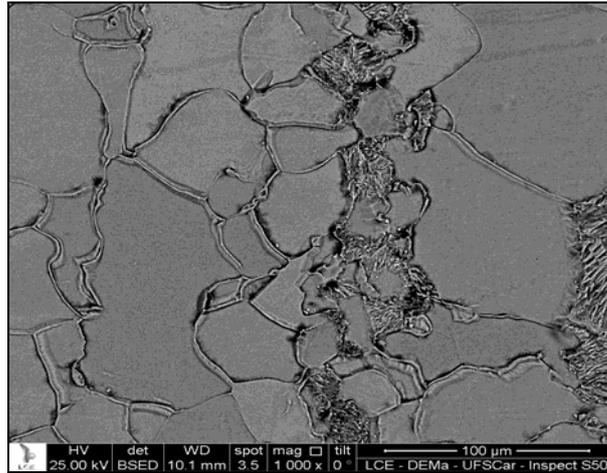


Figura 1. Microestrutura do aço estudado na condição recozida (MEV).

As amostras submetidas ao tratamento térmico de têmpera apresentaram um refinamento dos grãos e formação de fases com textura acicular, como pode ser observado na Figura 2.

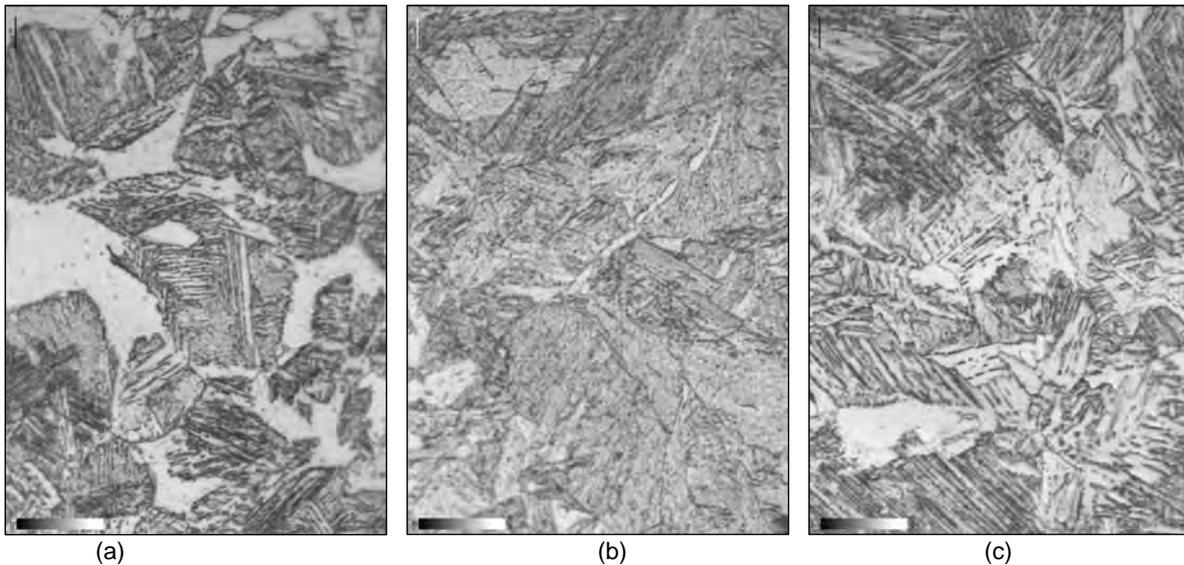


Figura 2. Microestrutura característica após têmpera a 840°C (a), 900°C (b) e 1.040°C (c). Aumento 1000X (MO).

A amostra temperada a 840°C não foi completamente austenitizada, pois nesta temperatura o aço se encontra em um campo bifásico de austenita e ferrita. Na microestrutura é possível observar a presença de ferrita pró-eutetóide, na cor clara, com contornos de grão bem definidos. Durante o resfriamento contínuo, a decomposição da austenita deu origem a morfologias aciculares de ferrita, muito comuns em aços de baixo e ultra-baixo carbono, segundo Krauss e Thompson.⁽⁸⁾ Observa-se principalmente a presença de ferrita acicular e em menor quantidade, bainita. A 900°C a amostra é completamente austenitizada e é observada a presença de constituintes aciculares com ausência da ferrita pró-eutetóide. Estes constituintes atuam no endurecimento por discordâncias e segundas fases, aumentando a resistência mecânica do material. Os contornos de grão de ferrita acicular atuam ainda como efetivas barreiras para a propagação intergranular de trincas.⁽⁹⁾ Fazendo-se a têmpera com temperatura de austenitização a 1.040°C, a

microestrutura é predominantemente composta por ferrita acicular. Esta microestrutura aponta um superaquecimento da amostra.

O comportamento do aço em estudo é similar ao mostrado na Figura 3, porém, à medida que se aumenta a temperatura de austenitização, um maior superresfriamento é necessário para transformação da austenita, favorecendo a formação de ferrita acicular.⁽¹⁰⁾

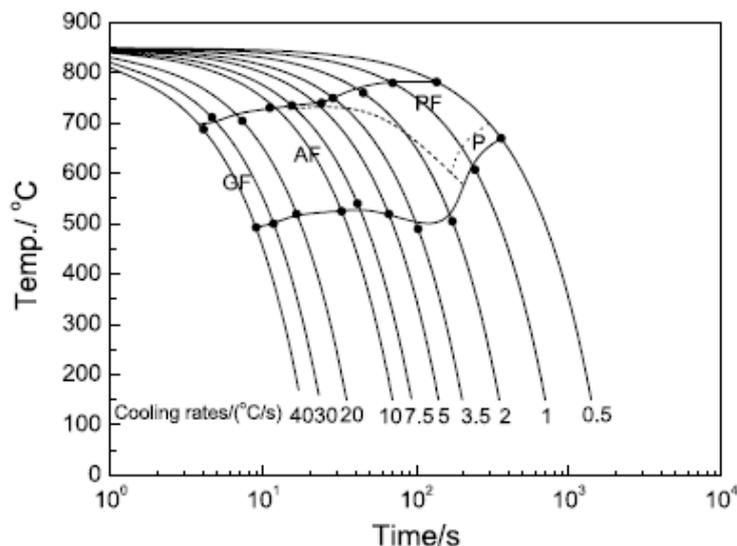


Figura 3. Diagrama TRC de um aço baixo carbono microligado.⁽¹¹⁾ GF= Bainita Granular; AF= Ferrita Acicular; PF= Ferrita Poligonal; P= Perlita.

Após revenimento, não houve mudança significativa na microestrutura do aço. O comportamento da bainita e da ferrita acicular é diferente ao da martensita. A dureza da martensita cai drasticamente com o aumento da temperatura de revenimento, pois o carbono tem um grande efeito no endurecimento por solução sólida. No caso da bainita e ferrita acicular, o carbono está mais na forma de carbonetos grosseiros (cementita), minimizando o efeito de perda de dureza durante revenimento.⁽¹²⁾

As curvas de revenimento apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6 mostram a tendência de amaciamento do material à medida que se aumenta a temperatura de revenimento, embora a redução da dureza não seja acentuada. A temperatura de austenitização não teve influência significativa na dureza das amostras temperadas. Ambas apresentaram dureza similar, próximas a 100 HRB.

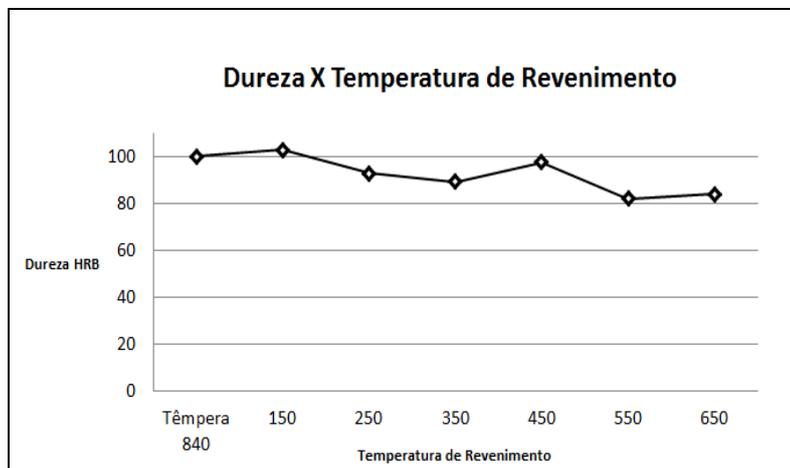


Figura 4. Curva de revenimento do aço temperado a 840°C.

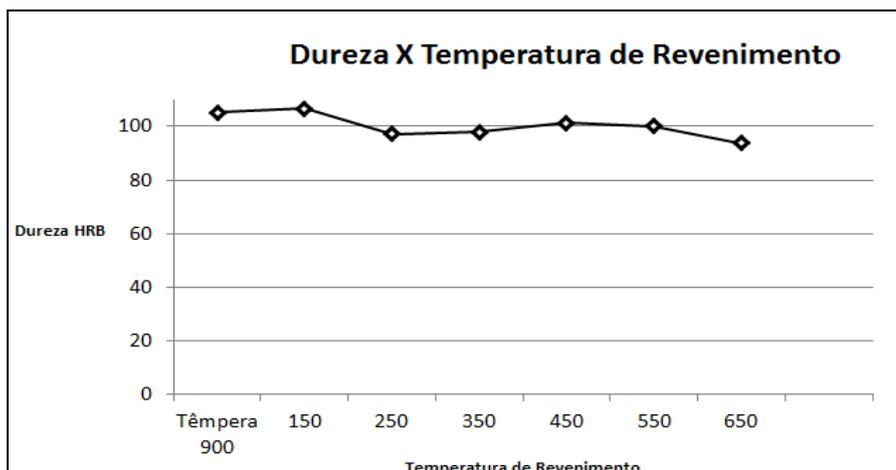


Figura 5. Curva de revenimento do aço temperado a 900°C.

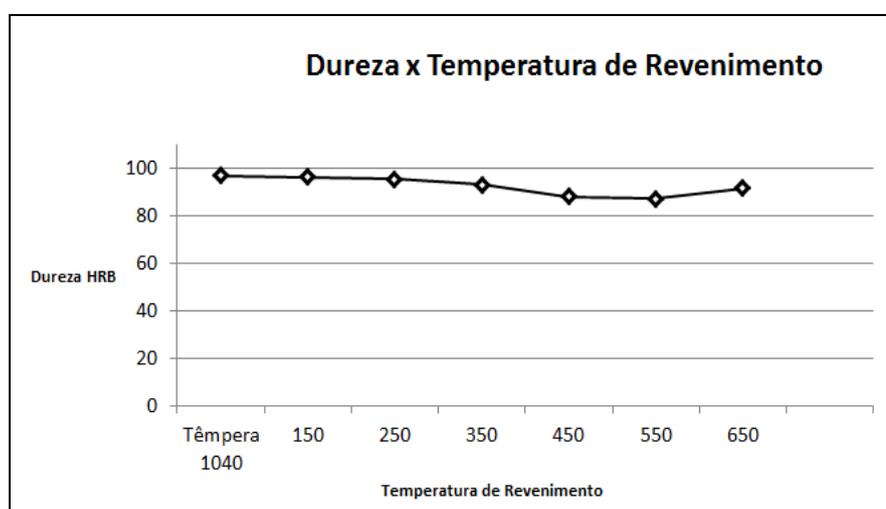


Figura 6. Curva de revenimento do aço temperado a 1.040°C.

Estes resultados preliminares mostram que é possível determinar as condições de processamento para obtermos aços forjados, com as características microestruturais dos aços laminados.

4 CONCLUSÃO

O tratamento térmico de recozimento permitiu homogeneizar a microestrutura e a dureza do aço após o forjamento.

Após a têmpera, houve um acentuado aumento da dureza, justificado pela formação de constituintes aciculares na microestrutura.

As variações da temperatura de têmpera e revenimento não alteraram significativamente os valores da dureza do aço.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e à Fundação Grupo Metal pelas amostras do aço.

REFERÊNCIAS

- 1 HIPPERT Jr.E. Investigação experimental do comportamento dúctil de aços API X70 e aplicações de curvas de resistência J- Δ a para previsão de colapso em dutos. Tese. Escola Politécnica – USP. 2004.
- 2 GORNI, A.A.; da SILVEIRA, J.H.D.; REIS, J.S. Metalurgia dos aços microligados usados em tubos soldados de grande diâmetro. Corte & Conformação de Metais. p. 50-63. Março. 2010.
- 3 Hulka, K. Sour Gas Resistant Steel. Niobium Information 18/01, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração. 8 p. 2001.
- 4 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API 5 L: Specification for Line Pipe - API Specification 5L. Forty Fourth Edition. October 2008.
- 5 Catálogo de Produtos do Grupo Vallourec & Mannesmann Tubes. Componentes tubulares forjados. Disponível em:
[http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/53063AFD09C0A855832579810064B1E1/\\$File/Catalogo%20Forja%202012.pdf](http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/53063AFD09C0A855832579810064B1E1/$File/Catalogo%20Forja%202012.pdf)
- 6 SILVA, A.L.C. & MEI, P.R. Aços e Ligas Especiais. Eletrometal S. A. Metais Especiais. 3^a ed. 2010.
- 7 RATNAPULI, R.C. Considerações metalúrgicas de fabricação de aços para tubos API 5L. 62^o Congresso Anual da ABM. Vitória, Julho 2007.
- 8 KRAUSS, G.; THOMPSON, S.W. Ferritic microstructures in continuously cooled low- and ultralow-carbon steels. ISIJ International, Colorado-USA, v. 35, n. 8, p. 937-945, May. 1995.
- 9 YU, H. Influences of microstructure and texture on crack propagation path of X70 acicular ferrite pipeline steel. Journal of University of Science and Technology Beijing, Beijing, v. 15, n. 6, p.683. December, 2008.
- 10 PORTER, D.A.; EASTERLING, K.E.; SHERIF, M.Y. Phase transformations in metals and alloys. New York. 3^a ed. CRC PRESS, Taylor & Francis Group, 2009.
- 11 XIAO, F. et al. Processing of ultralow carbon pipeline steels with acicular ferrite. J. Mater. Sci. Technol. V. 20, n. 6, p.779-781, 2004.
- 12 BHADESHIA, H.K.D.H. Bainite in Steels. 2^a ed. Institute of Materials, 2001.