

ESTUDO DO EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DE UM AÇO MICROLIGADO*

Bruna Helena Malovini Loiola¹
Luciano Venturini Fortunato²
Joelma Krugel Brites³
João Batista Ribeiro Martins⁴
André Itman Filho⁵

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados de têmpera a partir da temperatura de transformação da austenita para ferrita em um aço microligado seguido de revenido de 200 a 550°C. Foram avaliadas as fases presentes no equilíbrio termodinâmico em função da temperatura de formação para verificar quais fases foram solubilizadas nas condições de tratamento térmico. Após os tratamentos de têmpera e revenido, foram realizadas caracterizações microestruturais e de microdureza. Os resultados indicaram presença de ferrita poligonal em conjunto com constituintes displacivos como ferrita acicular, bainita e martensita em baixa fração volumétrica. Ambos os constituintes apresentaram variação de microdureza com o revenido e apresentaram envelhecimento na temperatura de 550°C. Este envelhecimento foi atribuído à precipitação de carbonetos tipos M_7C_3 e MC com base nas simulações termodinâmicas.

Palavras-chave: Têmpera; Revenido; Aços Microligado; ThermoCalc™.

STUDY OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT IN MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS A MICROALLOYED STEEL

Abstract

The present paper presents the results of quenching from the transformation temperature of austenite to ferrite in microalloyed steel followed by tempering from 200 to 550 °C. The phases present in the thermodynamic equilibrium were evaluated as a function of the formation temperature to verify which phases were solubilized under the heat treatment conditions. After quenching and tempering, microstructural and microhardness characterizations were performed. The results indicated the presence of polygonal ferrite in together with displacive phases like acicular ferrite, bainite and martensite in low volumetric fraction. Both phases had microhardness variation with aging in the present tempering at 550 ° C. This aging was attributed to the precipitation of carbides M_7C_3 and MC based on the thermodynamic simulations.

Keywords: Quenching; Tempering; Microalloyed Steels; ThermoCalc™.

¹ Estudante de engenharia metalúrgica do Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes, Vitória, ES, Brasil.

² Estudante de engenharia metalúrgica do Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes, Vitória, ES, Brasil.

³ Mestranda em Eng. Metalúrgica de Materiais, PROPEMM, Ifes, Vitória, ES, Brasil.

⁴ Doutorando em Eng. Metalúrgica – UFF-VR, Pesquisador, ArcelorMittal Global R&D / Professor Ifes, Vitória, ES, Brasil.

⁵ Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFScar, professor do Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes, Vitória, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica atrai atenção no setor econômico mundial, uma vez que estes são grandes fontes de mercado interno e externo em aplicação de diversas formas de produto final. Assim, o transporte do petróleo e do gás natural compõe uma etapa importante na logística do processo de produção. Tubos de grande vazão são necessários para fazerem o transporte marítimo e terrestre e requerem válvulas, juntas, conexões e flanges produzidos por aços com características específicas, como no caso de aços microligados.

Os locais em que esses tubos estão presentes requerem alta qualidade do aço, já que as condições do ambiente são adversas, com grande diferença de temperatura (entre as mais altas e até as mais baixas e negativas), altas pressões e presenças de gases corrosivos. Dessa maneira, normas precisam ser adotadas para garantir a confiabilidade dos produtos. Sendo assim, a *American Petroleum Institute (API)* é uma associação das indústrias de petróleo e gás natural, responsável em criar normas e procedimentos para as indústrias de petróleo. A *API 5L Specification for Line Pipe*, por exemplo, especifica tubulações na indústria de petróleo e adota aços de alta resistência e baixa liga na fabricação das tubulações. Na especificação API 5L, existem vários requisitos que devem ser atendidos, sendo os principais o limite de escoamento (L_e), limite de resistência (L_r), composição química, principalmente quanto ao teor de carbono, tecnologia de fabricação do aço, tecnologia da fabricação dos tubos [1].

Os aços microligados são projetados para proporcionar melhores propriedades mecânicas e maior resistência à corrosão atmosférica quando comparados aos aços convencionais com limites de elasticidade superiores a 275 MPa. A composição química de um aço microligado específico pode variar dependendo das diferentes espessuras do produto para satisfazer os requisitos de propriedades mecânicas. Possuem baixos teores de carbono (menores que 0,015% de C), a fim de produzir uma formabilidade e soldabilidade adequadas e teores de manganês de até 2,0%. Pequenas quantidades de nióbio, vanádio e titânio são utilizadas em várias combinações (geralmente < 0,12% cada) para refinamento do tamanho de grão e/ou endurecimento por precipitação. Adições de cromo e cobre, são usadas para conferir aumento na resistência à corrosão. Níquel e molibdênio podem ser usados para aumentar a tenacidade, além de aumentar a temperabilidade conjugado com o cromo. As aplicações básicas para esse tipo de aço incluem tubos de óleo e gás, navios, automóveis, equipamentos e recipientes sob pressão [2].

Para o entendimento destes aços tanto no processo de fabricação como na aplicação final, é muito importante conhecer os efeitos dos ciclos térmicos na microestrutura e propriedades mecânicas. Diante deste cenário, situações como ciclo térmico de soldagem, aquecimentos para encurvamento dos tubos e até aquecimentos em uso é necessário conhecer os mecanismos associados às alterações nas propriedades mecânicas devido aos ciclos térmicos ou tratamentos térmicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi uma barra forjada de aço microligado 34049 cedida pelo Grupo Metal, confeccionado seguindo as especificações da norma API 5L. A composição química do material está na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço microligado (% em peso)

C	Si	Mn	Nb	Ti	V	Cr
0,104%	0,13%	0,36%	0,019%	0,022%	0,010%	0,38%
Cu	Ni	Mo	N	P	S	
0,01%	0,39%	0,056%	0,0038%	0,023%	0,009	

As amostras foram tratadas termicamente com aquecimento a 850°C por 40 minutos em um forno tipo Mufla seguido de um resfriamento em água a temperatura ambiente. Após esta etapa foi feito o revenimento no material nas temperaturas de 200 °C, 255 °C, 350 °C, 480 °C e 550 °C com tempo de 40 minutos. As amostras tratadas foram preparadas metalograficamente com lixas de 80, 180, 220, 320, 400, 600, 1000 e 1200 mash e o polimento foi feito em disco de feltro com pasta de alumina 0,30 µm. Posteriormente, foi realizado o ataque químico com o reagente Nital 2% para análise via MEV e LePera para análise via MO para revelar a microestrutura do material.

Após isso, foram medidas as microdurezas dos aços nas fases presentes ferrita e bainita e martensita com o mínimo de 5 valores para cada condição. Foi usado um microdurômetro Vickers da marca Shimadzu, modelo HMV-G, com carga de 20g para obtenção da curva de revenimento para avaliar o comportamento da microdureza do aço de acordo com o aumento das temperaturas de revenimento.

O software de simulação termodinâmica ThermoCalc™ também foi utilizado para que se previsse os tipos de precipitados que são formados no aço de acordo com a temperaturas utilizadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises das microestruturas encontradas

A Figura 1 mostra micrografia via MEV indicando a presença dos constituintes ferrita poligonal (FP), bainita (B) e martensita (M). Este resultado indica que o material foi temperado em temperatura ligeiramente abaixo do A_{e3} , ou seja, no campo intercrítico. Desta forma, obteve-se uma estrutura bifásica com baixa fração volumétrica de segunda fase (martensita + bainita). Isto ocorreu porque a temperatura escolhida para a têmpera foi abaixo da temperatura A_{e3} . Uma característica deste tipo de estrutura é a presença de ferrita intercrítica poligonal.

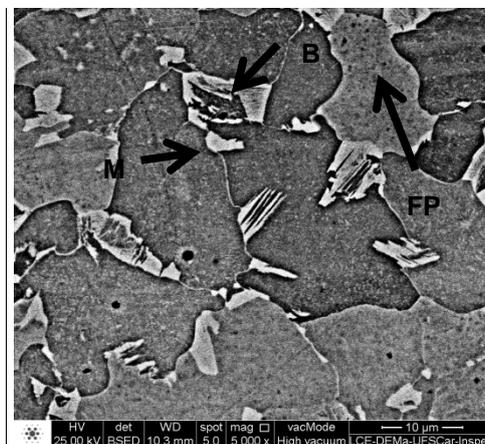


Figura 1. Aço temperado a 850 °C. Presença de ferrita poligonal, bainita e martensita. MEV-Reagente Nital 2%.

As figuras 2 apresentam a micrografia usando o ataque com o reagente LePera. Este reagente revela a martensita branca, a bainita marrom e a ferrita marrom clara. Desta forma, podem-se evidenciar os mesmos constituintes encontrado na figura 1 com o reagente Nital 2%.

As figuras 2 (b), 3 (a) e (b), e 4 (a) e (b) apresentam os contituíntes na forma revenida. Neste caso a martensita passa a ser revenida e o reagente Lepera passa a atacá-la apresentando coloração similar a da bainita. A ferrita continua com a mesma coloração com tom de marrom mais claro.

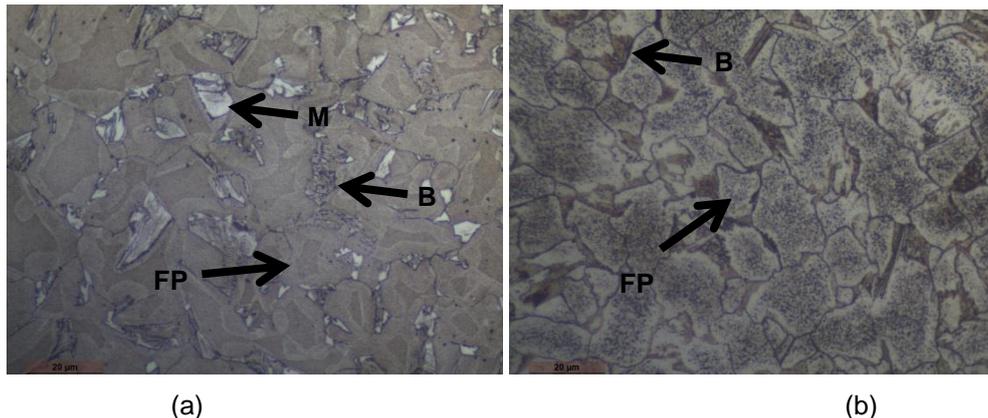


Figura 2. a) Microestrutura após tempera 850 °C e b) Revenido a 200°C. Ataque Lepera e MO.

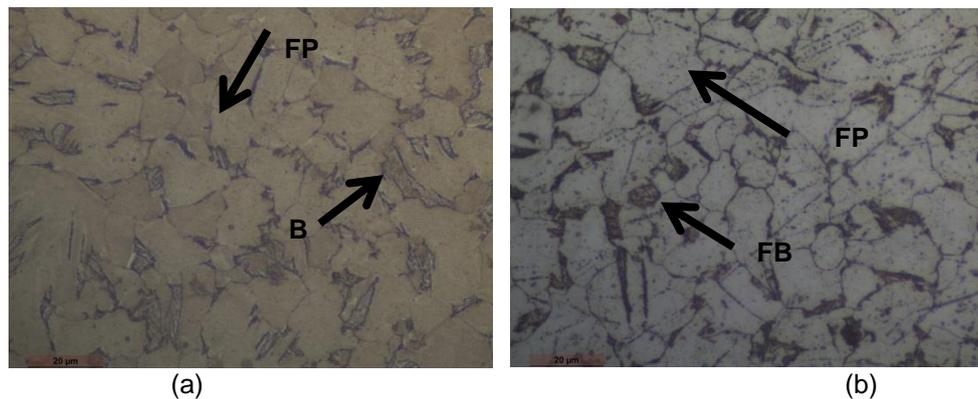


Figura 3. Microestrutura após revenimento (a) a 255 °C e (b) a 350 °C. Ataque com Nital 2% e MO.

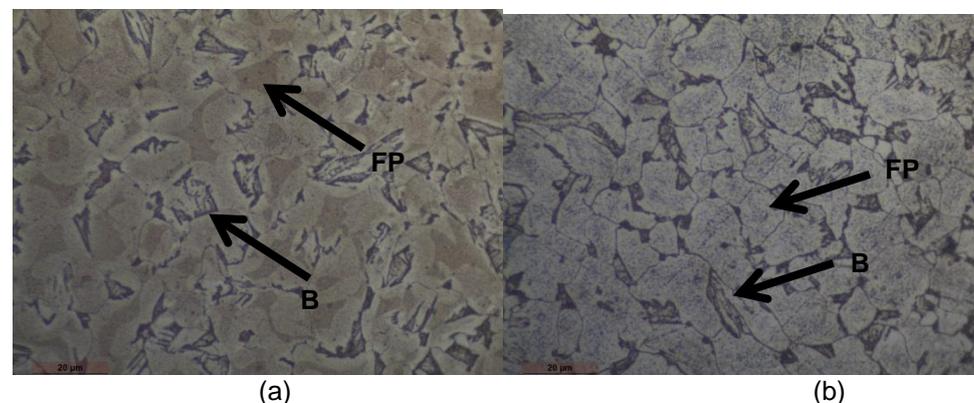


Figura 4. Microestrutura após revenimento (a) a 480 °C e (b) a 550 °C. Ataque com Nital 2% e MO.

3.2 Análises das microdurezas

As medidas de microdurezas foram realizadas em cada uma das amostras tanto na ferrita como nas ilhas de constituintes displacivos (bainita e martensita) obtidas no microdurômetro Vickers para obtenção do gráfico mostrado na Figura 5 após têmpera e revenimento nas temperaturas indicadas. O gráfico representa a média das cinco medidas de durezas obtidas em cada temperatura com o desvio padrão.

Os resultados das medidas de microdurezas Vickers indicam uma queda inicial para revenidos até 435°C. Esta queda está relacionada com a precipitação de carbonetos em baixa temperatura.

Para a temperatura de revenido 550°C ocorre um aumento na microdureza tanto na ferrita como na bainita-martensita. Este aumento é devido à formação de carbonetos M_7C_3 e/ou MC que promovem o endurecimento secundário.

Após a têmpera, a dureza é maior possivelmente devido ao efeito endurecedor do molibdênio em solução sólida, porém, com o aumento do revenimento acontece alívio de tensão internas no material, tornando-o relativamente mais dúctil. Além disso, o revenimento favorece a diminuição da dureza porque o carbono saturado da martensita, bainita e ferrita precipita como carboneto e ajuda a promover também o alívio das tensões internas [3].

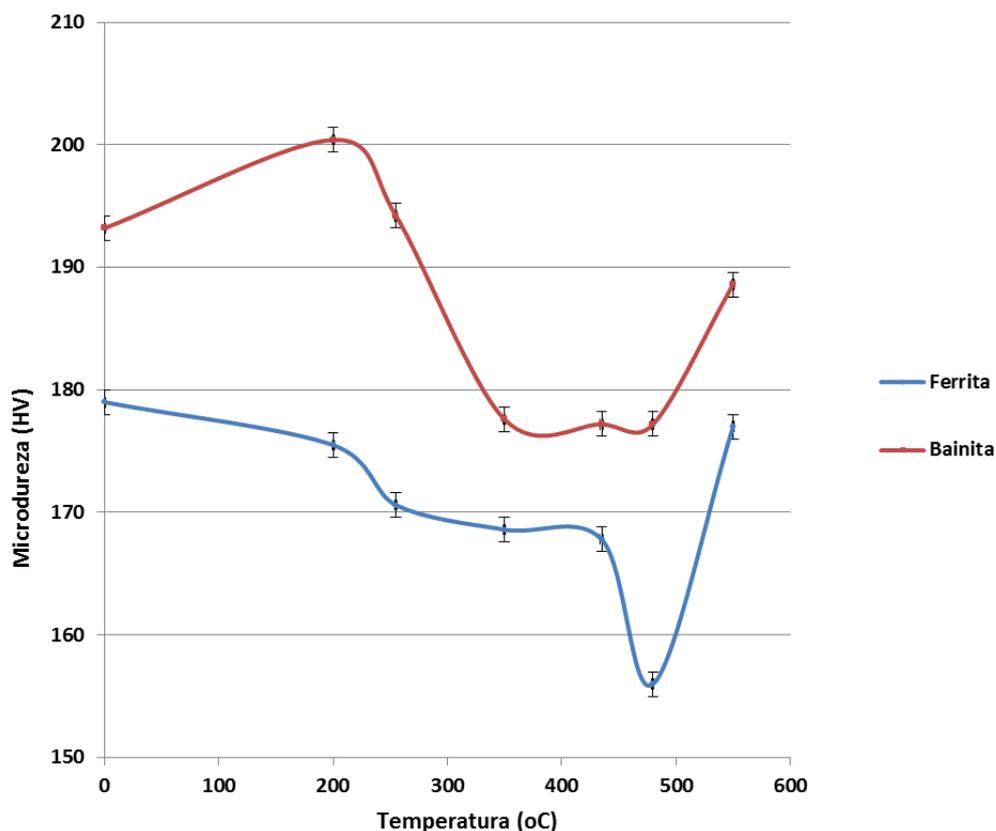


Figura 5. Curva das durezas em função da temperatura de revenimento do aço microligado. Média de cinco medidas de dureza em cada condição tanto na ferrita como na bainita.

3.3 Análise termodinâmica da formação de precipitados

Com base na simulação realizada no software ThermoCalc™ versão 2017a e banco de dados TCFE9 apresentada na Figura 6, foi possível identificar as fases previstas termodinamicamente em função da temperatura. A temperatura de transformação austenita para ferrita (Ae_3) encontrada foi 855°C e as temperaturas de início de precipitação dos carbonetos MC e M_7C_3 foram respectivamente 680 e 610°C . A temperatura de têmpera não foi suficiente para solubilizar TiN, NbC e MnS.

Como a temperatura utilizada de aquecimento para a tempera foi 850°C , esta condição coincide termodinamicamente com a temperatura de transformação de austenita (Fe γ) para ferrita (Fe α). Desta forma, ao resfriar em água a partir de 850°C teremos uma microestrutura bifásica constituída de ferrita e uma pequena fração de bainita ou martensita com baixo teor de carbono. Esta relação de carbono se dá pela regra das fases onde em temperaturas próximas do Ae_3 os teores de carbono da austenita e ferrita são próximos do aço. Para a temperatura de têmpera de 850°C , também ocorre a solubilização da cementita e dos carbonetos M_7C_3 e MC.

Um resfriamento rápido, a partir desta temperatura, supersatura de carbono tanto a ferrita como o produto da transformação da austenita em constituintes displacivos e dificulta a formação dos precipitados M_7C_3 e MC além do carboneto ϵ .

A expectativa de dureza tanto para a ferrita como do produto da transformação da austenita é de ocorrer envelhecimento em função do revenido através de precipitação de carbonetos a 550°C como observado na Figura 5 nas medidas de microdurezas tanto na ferrita como na bainita. Neste trabalho não foi caracterizado os carbonetos, somente avaliado o efeito da sua formação no aço através dos picos de envelhecimento com o revenido.

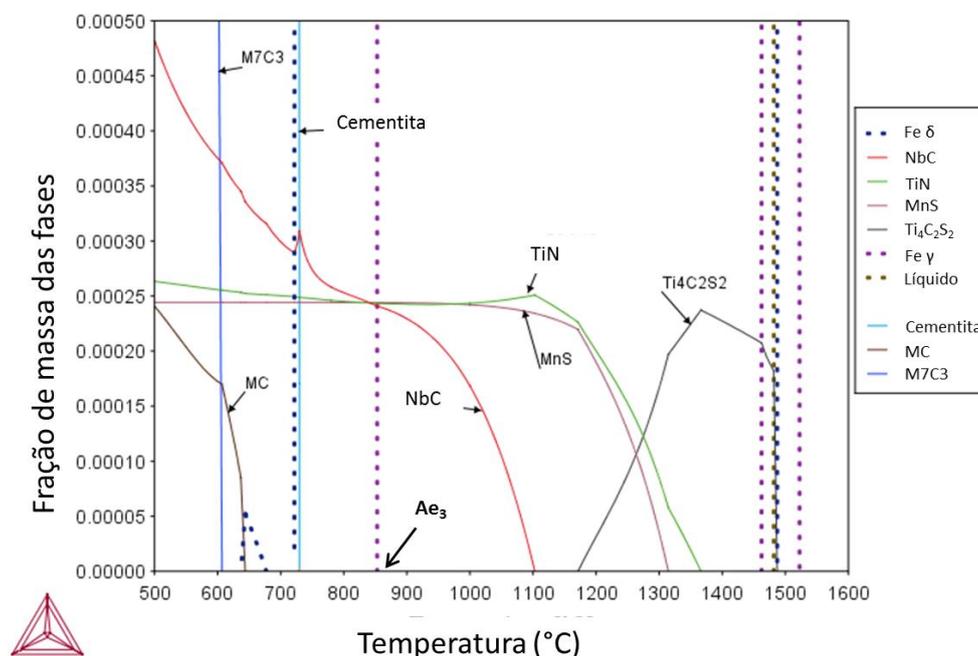


Figura 6. Resultados de simulação termodinâmica de precipitação de fases em função da temperatura de formação. ThermoCalc™.

4 CONCLUSÕES

- O aço microligado 34049 API 5L apresenta uma microestrutura de matriz ferrita poligonal, com regiões de bainita e martensita após têmpera e revenimento.
- A dureza diminui progressivamente até a temperatura de revenimento de 480 °C e após este valor ocorre um endurecimento tanto na ferrita como na segunda fase bainita.
- O endurecimento ocorrido na temperatura de revenido a 550 °C é devido à precipitação de carbonetos M_7C_3 e/ou MC previsto nas simulações termodinâmicas.
- A temperatura escolhida para têmpera está ligeiramente abaixo da temperatura A_{e3} o que favoreceu a formação da microestrutura classificada como bifásica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro de bolsa de Iniciação Científica, ao Ifes pelo uso dos laboratórios, ao Grupo Metal pela amostra do aço, e a ArcelorMittal Global R&D Brazil pelo uso do software *ThermoCalc*TM.

REFERÊNCIAS

- 1 Cruz, C.M.; Mirilla, J.C. Aços de alta resistência e baixa liga em oleodutos e gasodutos. Unisanta - Science and Technology, p. 20 - 24, Vol. 1, No 1, 2012.
- 2 American Society for Metals Handbook, Volume 1, Seção Publication Information and Contributors (PDF), 2005.
- 3 Silva, ALC; Mei, PR. Aços e Ligas Especiais. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher; 2006; 2:51-56.