



Tema: Metalurgia física e comportamento de materiais em temperaturas elevadas

DESENVOLVIMENTO DE UM AÇO MICROLIGADO FORJADO COM CARACTERÍSTICAS DA NORMA API*

Suzana Souza da Silva Scardua¹

Bruno Camara Vieira¹

André Itman Filho²

João Batista Ribeiro Martins³

Resumo

O desenvolvimento dos aços microligados representa um grande avanço tecnológico e oferece grandes vantagens econômicas para diversas áreas da engenharia. Nas últimas décadas houve um aumento expressivo na demanda mundial por tubos utilizados na construção de dutos para transporte de petróleo e gás. Neste caso são utilizados os aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) que combinam alta resistência e tenacidade necessárias para operar em altas pressões. Os tubos são produzidos a partir de placas laminadas e posteriormente soldadas atendendo a norma API 5L. Em componentes de geometria complexa, tais como juntas, acoplamentos e conexões, a laminação não é a técnica mais adequada. Para este fim, o processo de forjamento é uma alternativa, pois permite uma ampla faixa de dimensões e formas complexas com controle da microestrutura e propriedades mecânicas após tratamentos térmicos adequados. Para avaliar novas técnicas de processamento, foram fabricadas barras forjadas de um aço microligado com composição química similar à de um API 5L X70 comercial. O aço foi lingotado e forjado em barras quadradas de 35 mm de aresta. Em seguida foram retiradas amostras para tratamentos térmicos de têmpera a 920°C e 1.050°C e revenimento de 150°C a 650°C. Após analisar as microestruturas foi escolhida a similar à de um tubo comercial API 5L X70 para preparação de corpos de prova para ensaios de tração. Resultados preliminares mostram a possibilidade de obter aços com qualidade API através do forjamento.

Palavras-chave: Aço microligado; Aço forjado; Microestrutura.

DEVELOPMENT OF A FORGING MICROALLOYED STEEL WITH FEATURES OF API STANDARD

Abstract

The development of microalloyed steels is a big technological advance and offers large economic advantages to many areas of engineering. In recent decades there has been a significant world demand for pipe used in the construction of pipelines to transport oil and gas. In this case are used the HSLA (high strength low alloy) steel that combine high strength and toughness necessary to operate at high pressures. The pipe is made from rolled plates and subsequently welded answering the API 5L standard. In components of complex geometry, such as gaskets, couplings, and connections, the rolling isn't the most appropriate technique. For this purpose, the forging process is an alternative, it allows a wide swath of dimensions and complex forms with control of microstructure and mechanical properties after suitable heat treatments. To evaluate new processing techniques, forged bars of a microalloyed steel with a similar chemical composition of a commercial API 5L X70 were produced. The steel was cast and forged in the form of bars with 35mm square edge. Subsequently, samples were withdrawn for treatments of quenching at 920°C and 1,050°C and tempering between 150°C and 650°C after revealing the microstructure, was chosen similar to that of a commercial pipe API 5L X70 for preparation of specimens for tensile tests. Preliminary results shows the possibility to get steels with API quality by forging.

Keywords: Microalloyed Steel; Forging Steel; Microstructure.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (Propemm), Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória, ES, Brasil.

² Doutor, Professor, Propemm, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

³ Engenheiro, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) são utilizados em diversas áreas da engenharia, principalmente na fabricação de tubos para transporte de petróleo e gás. Estes tubos são fabricados pelo processo de laminação controlada seguida de resfriamento contínuo, que aliado à composição química garantem ao produto as propriedades necessárias para suportar as elevadas pressões geradas pela coluna da água oceânica e a vazão de óleo e gás. A norma API 5L classifica estes tubos em diversos graus segundo a tensão mínima de escoamento do aço [1].

Na fabricação de componentes de geometria complexa tais como flanges, válvulas, conexões e acoplamentos para tubos, a laminação não é uma técnica adequada.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma rota de processamento, onde o forjamento associado a tratamentos térmicos é utilizado como técnica de conformação para obter componentes de geometria complexa que apresentem propriedades semelhantes a de um aço API 5L X70.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O aço foi elaborado em um forno de indução com capacidade para 100 kg, conforme os teores da Tabela 1. O vazamento do metal líquido foi realizado em uma lingoteira de ferro fundido. Os lingotes foram aquecidos em torno de 1050°C e forjados com seção quadrada de 38mm de aresta e aproximadamente um metro de comprimento. Posteriormente as barras forjadas foram aquecidas a 930°C e resfriadas no forno para homogeneização da microestrutura.

Foram retiradas amostras da barra para realização de ensaios micrográficos e de tração. A têmpera foi realizada a 900 e 1040°C em um forno elétrico tipo mufla. As amostras foram austenitizadas e mantidas por um tempo de 30 minutos, com resfriamento em água. Em seguida, para cada temperatura de têmpera, foram realizados revenimentos nas temperaturas de 150, 250, 350, 450, 600 e 650°C, por 40 minutos seguidos de resfriamento ao ar.

As amostras foram preparadas de acordo com as técnicas convencionais de metalografia e atacadas com Nital 2%. As análises micrográficas foram realizadas no microscópio ótico modelo DCM 3D da Leica, com aumentos de 100, 200 e 500X e no MEV para melhor caracterização. Posteriormente foram confeccionados corpos de prova de acordo com a norma DIN 50125 para serem submetidos a ensaios de tração em uma máquina universal Emic DL 10000.

Foram escolhidas as amostras de 250 e 450°C de revenimento devido aos melhores resultados nos ensaios de tração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as composições químicas do aço comercial laminado e do aço microligado forjado. Na Tabela 2 encontram-se os valores referentes as propriedades mecânicas.

Tabela 1. Porcentuais em peso da composição química dos aços estudados

| Elemento | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Nb | Ti | V |
|----------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Laminado | 0,10 | 0,15 | 1,63 | 0,02 | 0,003 | 0,03 | 0,16 | 0,05 | 0,02 | 0,04 |
| Forjado | 0,09 | 0,09 | 0,42 | 0,03 | 0,013 | 0,29 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Tabela 2. Tensão de escoamento, resistência à tração e alongamento do aço comercial laminado como recebido e do microligadoforjado após têmpera e revenimento em diferentes temperaturas

| Aço | Temp. x Rev. | σ_e (MPa) | σ_{max} (MPa) | Al(%) |
|----------|----------------|------------------|----------------------|--------|
| Norma | API | 485 | 570 | 16 |
| Laminado | Recebido | 555 ± 5 | 645 ± 6 | 18 ± 2 |
| Forjado | 900 x 450 °C | 485 ± 10 | 562 ± 12 | 13 ± 1 |
| Forjado | 1040 x 250 ° C | 418 ± 10 | 567 ± 10 | 17 ± 1 |

A Figura 1 mostra a microestrutura do tubo laminado recebido, fabricado por laminação controlada.

A Figura 2 mostra a micrografia do aço temperado a 900°C e revenido a 450°C. Nela pode-se observar a presença de bainita, ferrita alotriomórfica e ferrita acicular. Na Figura 3, micrografia do aço temperado a 1040°C e revenido a 250°C, pode-se observar ferrita de Widmanstätten, ferrita alotriomórfica e ferrita acicular. A precipitação de carbonetos de Ti, V e Nb durante a transformação austenita/ferrita, segundo a literatura, pode ser possível apesar dos baixos teores destes elementos, porém não será foco deste trabalho. Estes carbonetos se apresentam finamente dispersos na matriz e restringem o tamanho de grão da austenita, refinando o grão e aumentando a resistência mecânica do material [2].

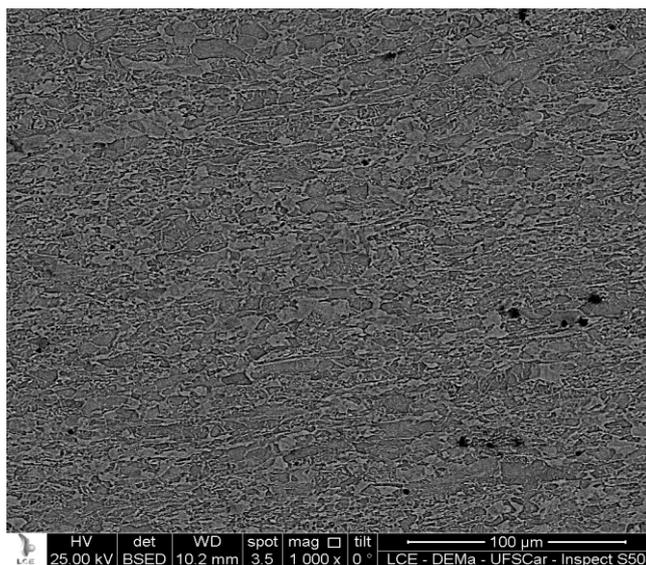


Figura 1. Aço microligado laminado (tubo recebido). Escala: 100µm.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

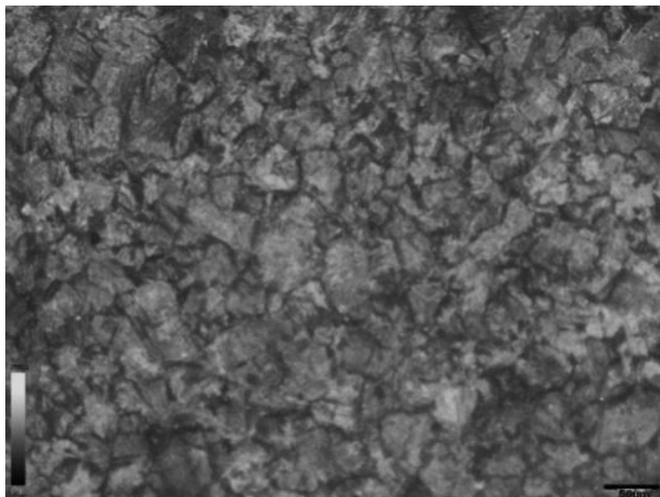


Figura 2. Aço microligado forjado, temperado a 900°C e revenido a 450°C. Escala: 50µm.



Figura 3. Aço microligado forjado, temperado a 1040°C e revenido a 250°C. Escala: 20µm.

A amostra temperada a 1040°C e revenida a 250°C atingiu o valor de alongamento exigido pela norma, mas não apresentou valores satisfatórios para a tensão de escoamento, ficando abaixo do valor mínimo estabelecido. A presença de ferrita de Widmanstätten na microestrutura pode explicar este fenômeno, uma vez que para ser formado o superesfriamento deve ser baixo, ocasionando uma possível formação de austenita retida entre as placas da ferrita em crescimento. [3]. Com ajustes nas temperaturas e tempos dos tratamentos térmicos espera-se obter a microestrutura adequada, para atingir as propriedades mecânicas determinados pela norma.

4 CONCLUSÃO

É possível a fabricação de componentes por meio de forjamento, que atendam a norma API. Para isto é necessária a realização de tratamentos térmicos adequados.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Agradecimentos

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de mestrado, à Fundação Grupo Metal pelas amostras do aço forjado e à Fapes pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 America Petroleum Institute - API, [página da internet]. Washington: A.P.I., 2008 [acessado em 16 set. 2013]. Disponível em: <http://www.api.org/publications-standards-and-statistics>.
- 2 Ratnapuli RC. Considerações metalúrgicas de fabricação de aços para tubos API 5L. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 62º Congresso de Metalurgia e Materiais; 2007; Vitória, Brazil. São Paulo: ABM;
- 3 Bhadeshia HKDH. Bainite in Steels. 2ª ed. London: Institute of Materials, 2001.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.