

OBTENÇÃO DE FERRITA ACICULAR EM AÇOS API X-70 ATRAVÉS DE TRATAMENTOS TERMOMECÂNICOS.

Rodrigo José Ferreira da Silva, rjfs@ymail.com
Carlo Reillen Lima Martins, reillen@gmail.com
Yogendra Prasad Yadava, yadava @ufpe.br
Ricardo Artur Sanguinetti, ras@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida Professor Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, CEP:50.740-530, Recife-PE

Resumo: *O melhoramento das propriedades mecânicas em um aço, como por exemplo a resistência a tração ou dureza, podem ser conseguidas mediante mudanças microestruturais. Este trabalho apresenta a obtenção da ferrita acicular em um aço API-X70, aço largamente usado na indústria petrolífera e de mineração, e que apresenta em sua microestrutura geralmente ferrita e perlita. A ferrita acicular é uma fase que tem como características a melhoria significativa da resistência a tração, dureza e tenacidade. Para obtenção desta fase foram realizados experimentos com 8 ciclos termomecânicos diferentes. Dois conjuntos de amostras foram aquecidas a 950°C em forno mufla por 15 minutos e logo em seguida foram sujeitas a diferentes condições como: resfriadas bruscamente em água e submetidas a deformações de 10% na espessura, em um laminador laboratorial, e resfriadas em água. Seis outros conjuntos de amostras foram submetidos as seguintes condições: três conjuntos foram aquecidos a 950°C em forno mufla por 15 minutos e logo em seguida foram sujeitos a banho de chumbo nas temperaturas de (450°C, 500°C e 550°C), e três conjuntos de amostras sofreram deformações de 10% na espessura, em um laminador laboratorial, e em seguida submetidos a banhos de chumbo nas seguintes temperaturas (450°C, 500°C e 550°C). Após esses ciclos termomecânicos, corpos de prova foram preparados por metalografia tradicional para caracterização microestrutural em microscopia ótica. As análises microestruturais revelaram a formação da ferrita acicular nas amostras que passaram por diferentes ciclos, com ou sem deformação prévia. As amostras deformadas e resfriadas em banho de chumbo a 500°C revelaram a formação da ferrita acicular, segundo um certo direcionamento. Nesta condição microestrutural, as análises revelaram ainda a presença de uma fase ainda não identificada no conjunto. Ensaios de tração foram realizados mostrando um significativo aumento nas propriedades de tração para amostras que sofreram deformação e foram resfriadas bruscamente, já as amostras que foram em banho de chumbo perderam propriedades de tensão de escoamento e tensão última mas aumentaram significativamente o alongamento.*

Palavras-chave: *Ferrita Acicular, tratamentos termomecânicos, análise microestrutural, ensaios de tração.*

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais setores de desenvolvimento da indústria de aços nas últimas décadas claramente é o setor petroquímico. As linhas de oleodutos e gasodutos têm crescido a cada ano ANP (2009), devido ao aumento da produção e devido aos custos mais baixos para deslocamento de fluidos via tubos de condução. Conjuntamente a isso tudo surgiu condições operacionais, como velocidades de escoamento e pressões de trabalho, ainda maiores. Para equalizar as necessidades surgidas, a indústria de processamento de aços precisa atualmente produzir tubos de diâmetros maiores com paredes menores (Schedule) bem como uma resistência mecânica que suportem condições de operações ainda maiores (Kalwa *et al*, 002). Melhorar as propriedades de um aço possibilitam aplicações estruturais mais refinadas mas também exigem esforços para o entendimento de diversas variáveis que atuam no processo, atualmente sabe-se que o melhor caminho para o aumento das propriedades mecânicas é o emprego do refinamento microestrutural (Abdollah *et al*, 2007). A adição de elementos de elementos de liga que funcionam como bloqueadores de discordâncias e que formam precipitados finos, como o cobre, por exemplo (Ghosh *et al*, 2003), e o uso de tratamentos termomecânicos (Kneissl *et al*, 1993). Uma forma de aumentar significativamente as propriedades de um aço seria por meio da alteração microestrutural, no caso dos aços Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL) ou HSLA (High Strength low alloy) significa a formação de fases como ferrita bainítica, ferrita acicular, ferrita granulométrica ou até mesmo um mix dessas estruturas. A ferrita acicular é uma microestrutura que tem uma excelente combinação de

tensão e tenacidade (Furen *et al* 2005), para projetos de tubulações que venham a ser instalados em condições severas de operações ou ambientais (regiões árticas por exemplo) essa microestrutura tem um comportamento bem acima da microestrutura convencional ferrita-perlita. A microestrutura acicular é caracterizada por agulhas alinhadas, não equiaxiais, alongadas e, algumas vezes vêm acompanhadas de ilhas de martensita e austenita retida, que pode também ser chamada de constituinte M/A (Kraus *et al*, 1995). Essa fase é formada durante resfriamentos contínuos em aços que contenham baixo teor de carbono e elementos de liga como (vanádio, nióbio, cobre, titânio) a partir de transformações com caráter cisalhante e difusional. O presente trabalho investigou a formação da ferrita acicular bem como suas propriedades mecânicas, através de ensaios de tração, em um aço API X70, visando inicialmente um aumento das propriedades de tração por meio de 8 rotas de tratamentos termomecânicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos experimentos foram cortadas amostras retiradas de um tubo API X70 de 20" de diâmetro, fornecido pela Petrobras, cuja composição química encontra-se tabela 1. As amostras utilizadas nos experimentos foram cortadas na direção longitudinal do tubo conforme mostrado na figura 1. Após o corte as amostras foram aplainadas e logo em seguida fresadas, chegando as seguintes medidas média 5 x 10 x 18 (espessura, largura e comprimento). Após esta etapa de confecção foram realizadas oito seqüências termomecânicas, conforme mostradas na figura 2. Dois conjuntos de amostras foram aquecidas a 950°C em forno mufla por 15 minutos e logo em seguida foram sujeitas a diferentes condições como: resfriadas bruscamente em água e submetidas a deformações de 10% na espessura, em um laminador laboratorial, e resfriadas em água. Seis outros conjuntos de amostras foram submetidos as seguintes condições: três conjuntos foram aquecidos a 950°C em forno mufla por 15 minutos e logo em seguida foram sujeitos a banho de chumbo nas temperaturas de (450°C, 500°C e 550°C), e três conjuntos de amostras sofreram deformações de 10% na espessura, em um laminador laboratorial, e em seguida submetidos a banhos de chumbo nas seguintes temperaturas (450°C, 500°C e 550°C). Para caracterização microestrutural, retiraram-se amostras de cada rota de tratamento, que sofreram embutimento passando antes pelo processo de lixamento com as seguintes lixas (220, 400, 600, 1000), polimento com pasta diamantada e finalmente atacadas em nital com solução a 5%. As microestruturas resultantes foram observadas por microscopia ótica, com uso de luz polarizada. Para realização dos ensaios mecânicos, corpos de prova foram confeccionados com medidas próximas de (5,20 x 4,5 x 26,5 mm) como mostrado na figura 2. Estes corpos de prova foram ensaiados numa máquina de tração servo-hidráulica equipada com célula de carga com capacidade de carga de 100 KN, precisão de 1 N, a uma taxa de deformação de 1mm/min (fig. 4).

Tabela 1. Composição química (%) do aço APIX70 fornecida pela Petrobras.

| C | Mn | Cr | Cu | Ni | Si | Nb | Mo | Al | P | Ti | V | W | S |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|---|
| 0,03 | 1,52 | 0,29 | 0,23 | 0,15 | 0,14 | 0,09 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0 |



A)



B)



C)

Figura 1. Material como recebido (A), amostras sendo cortadas na direção longitudinal em pedaços do tubo (B) e em (C) confecção dos corpos de provas para os tratamentos termomecânicos realizados.

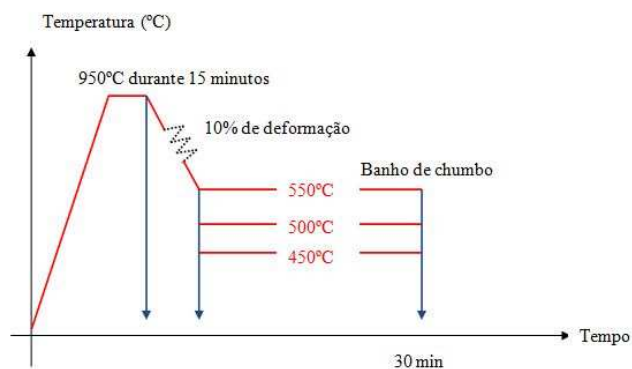


Figura 2. Rotas do tratamento termomecânico utilizadas.

As linhas mostradas na figura 2, em azul, representam o resfriamento brusco (em água a temperatura ambiente), as linhas em vermelho representam aquecimento até a temperatura solubilização (linhas vermelhas horizontais), seguido de deformação e resfriamento em banho de chumbo nas temperaturas de 450, 500 e 550°C.

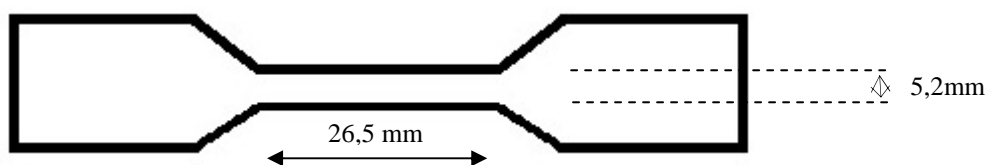


Figura 3. Corpo de prova usado para o ensaio de tração e suas dimensões.

A máquina servo-hidráulica (fig. 4) usada nos experimentos (ensaios de tração uniaxial) é equipada com uma interface integrada que possibilitou a construção de diagramas σ versus ϵ , a partir do uso de um aplicativo comercial fornecido pelo fabricante da própria máquina.

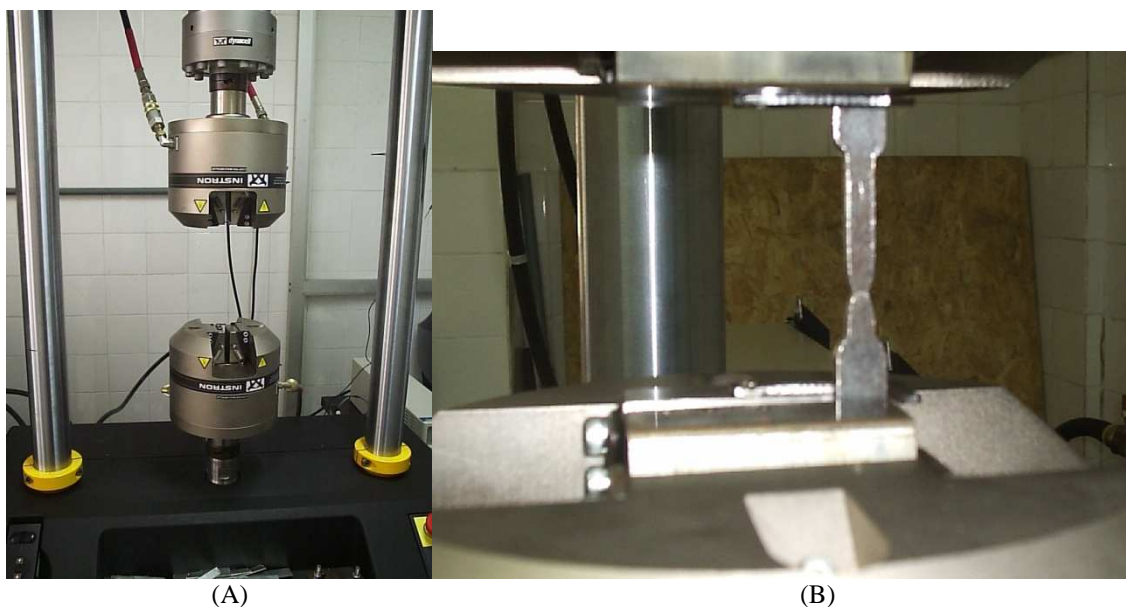
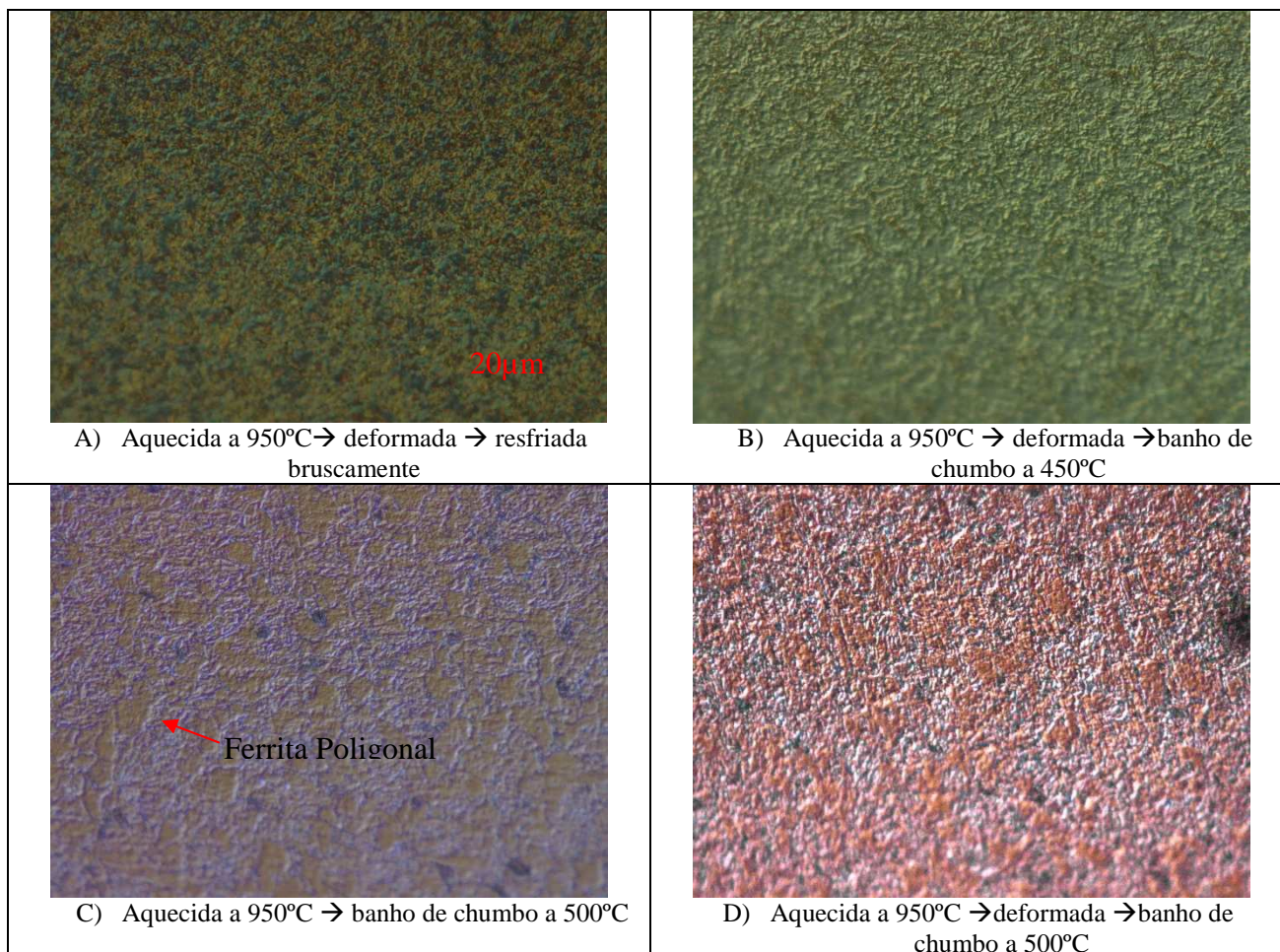


Figura 4. Máquina de ensaio de tração (A) e corpo de prova sendo ensaiado na máquina de tração (B).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Microscopia Óptica

Os resultados de microscopia óptica, apresentados com um aumento de 1000x, estão mostrados na figura 5. Foram 8 resultados para condição de tratamento térmico, sendo mostrados os seis melhores. Nesta escala de observação (1000X), não se consegue diferenciar facilmente os microconstituintes, nem mesmo os contornos de grãos. A microestrutura acicular é particularmente uma fase de difícil visualização, pois a mesma tem morfologia muito semelhante a ferrita bainítica ou até mesmo bainita granular (Furen *et al* 2005). No presente trabalho foi adotada a nomenclatura asiáticas, que considera a ferrita acicular na verdade como um mix de microestruturas. As análises microestruturais realizadas em microscopia ótica, apesar do aumento praticado (1000X), não nos permitiu a distinção destes diferentes constituintes do mix.



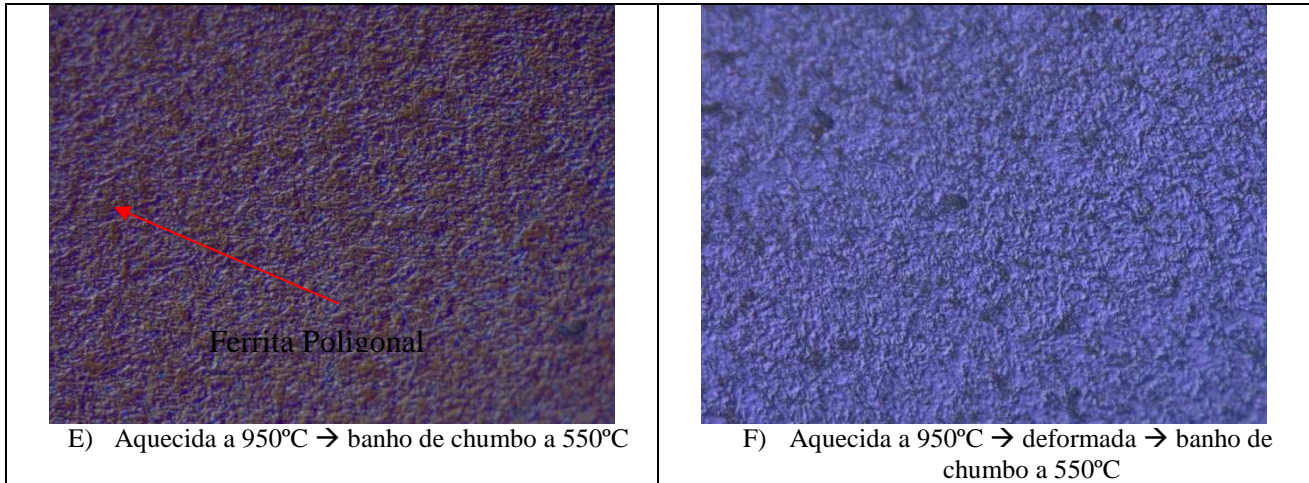
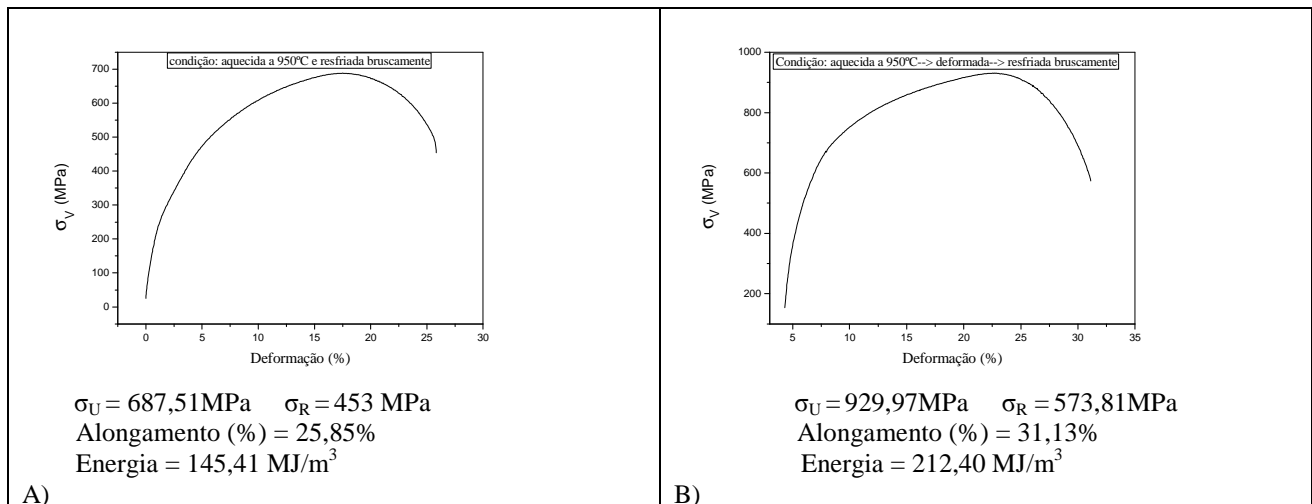


Figura 5. Microestruturas obtidas no microscópio óptico com aumento de 1000 vezes, todas as imagens tem uma resolução de 20 μ m.

Essas microestruturas produzidas neste trabalho são muito similares às microestruturas encontradas por Kim *et al* (2005). Podem-se observar algumas agulhas de forma aleatória, característica da ferrita acicular, e também algumas ilhas de ferritas poligonais (setas em vermelho). Nesta escala de observação não foi possível observar a presença do microconstituinte M/A. Este detalhamento microestrutural com a microscopia óptica foi realizado através de luz polarizada o que permite ver os constituintes em alto relevo ou baixo relevo, característicos das transformações por cisalhamento.

3.2 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração uniaxial revelaram algumas surpresas quanto ao que era esperado em termos de propriedades mecânica do aço API X-70. Através do diagrama tensão verdadeira e deformação verdadeira (fig 6 A-H) foram analisados as tensões de ruptura, tensão última, alongamento e energia abaixo da curva (tenacidade estática). O melhor resultado obtido, em termos de todas as propriedades analisadas, foi para amostra que foi aquecida a 950°C, deformada de 10% por laminação, seguido de resfriamento brusco em água à temperatura ambiente (fig. 6.B). Isto pode ser atribuído a estrutura acicular em uma quantidade muito mais pronunciada, conforme pode ser visto na figura 5.a, e também ao resfriamento contínuo e brusco, que a fase ferrita acicular precisa para ser formada, conforme sugeriu Kim *et al* (2005).



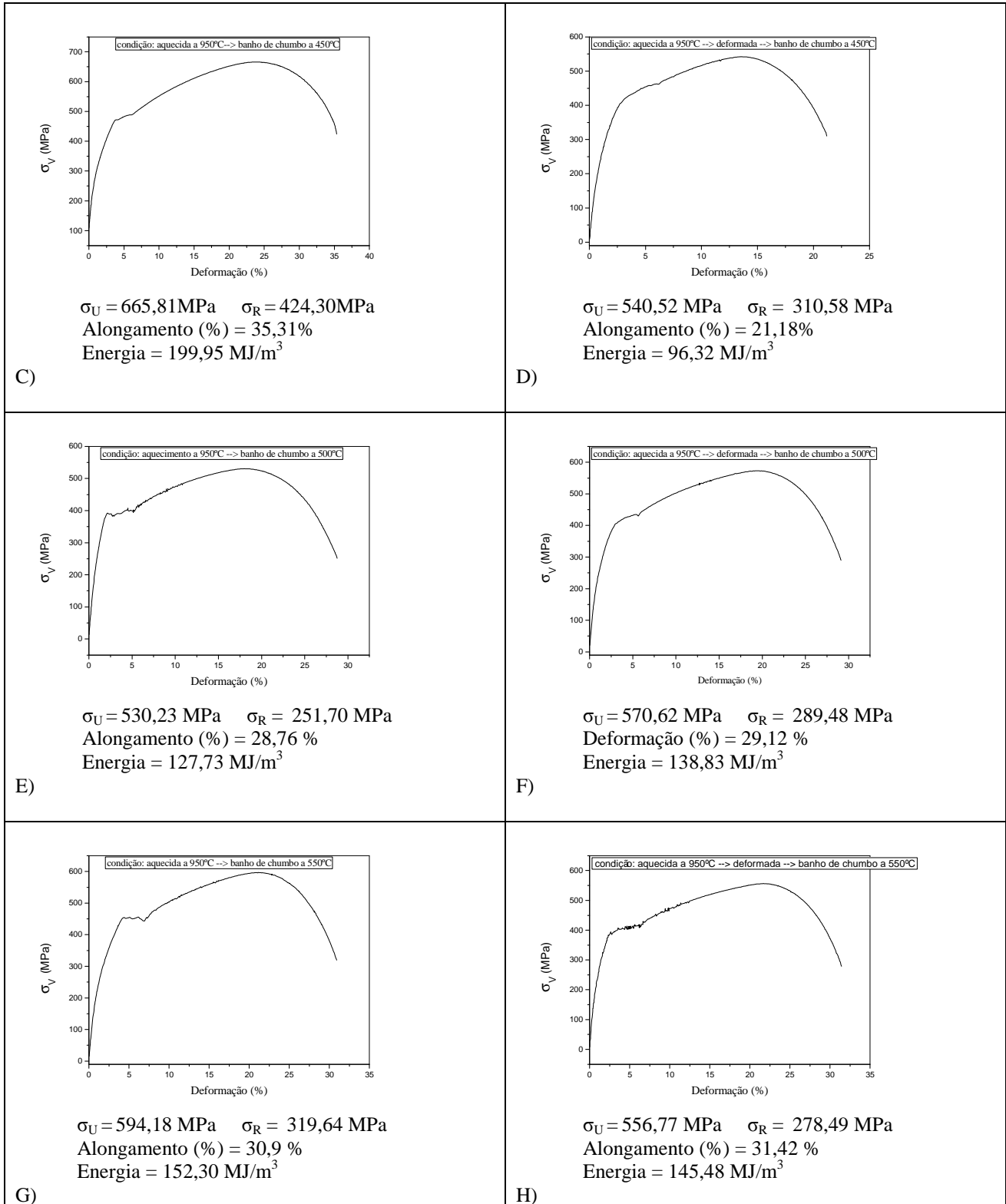


Figura 6. Resultados de tensão verdadeira versus deformação verdadeira, conjuntamente os valores da tensão última, tensão de ruptura, deformação percentual e energia.

Os resultados das amostras resfriadas em banho de chumbo foram muito abaixo do esperado, propriedades como tensão de ruptura, última e energia decresceram bastante quando comparada a amostra que foi deformada e resfriada bruscamente. Isto pode ser atribuído no caso dos banho de chumbo a 500 e 550°C provavelmente a formação da ferrita poligonal, que tem como característica grãos mais grosseiros, o que faz com que as propriedades mecânica decaiam, (Fu-Ren Xiao *et al*, 2006). Então, com bases nos gráficos das que sofreram banho de chumbo comparou-se as amostras que tinham melhores resultados entre elas as com deformação ou sem deformação antes do banho de chumbo. As figuras 7.A e 7B logo abaixo mostram o comparativo dos resultados.

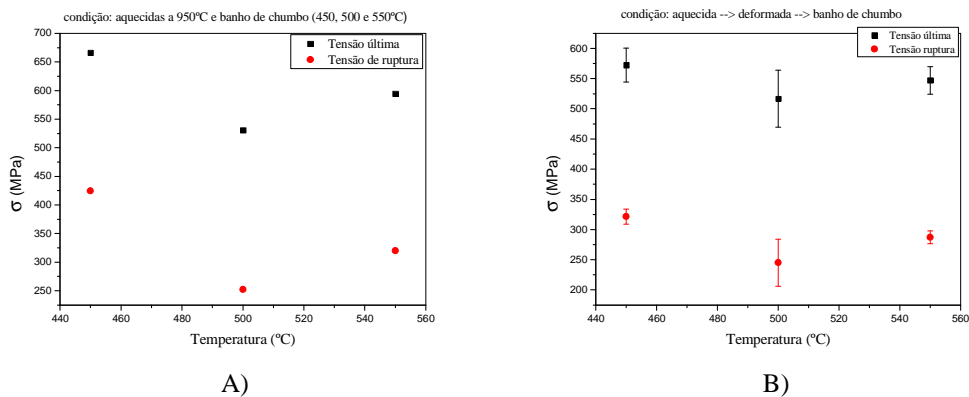


Figura 7. Avaliação da tensão verdadeira para as amostras que apenas sofreram banho de chumbo (A) e amostras que sofreram deformações antes do banho de chumbo (B).

A partir das figuras 7.A e 7.B vê-se que as amostras resfriadas em banho de chumbo tiveram praticamente os mesmos resultados quer sejam deformadas ou não-deformadas (figs. 7.a e 7.b). Estes resultados se justificam pelo tempo demasiadamente grande para decomposição da austenita, considerando-se que os principais microconstituintes (ferrita acicular e ferrita bainítica) são produzidos por transformações de fase adifusionais (cisalhamento), num tempo muito curto. A permanência no banho, por cerca de 30 minutos, reduziu o teor dos microconstituintes aciculares que tendem a evoluir, numa transformação por difusão, para ferrita poligonal. Kim *et al* (2005) obtiveram maiores teores de microconstituintes aciculares pois os tempos utilizados em seus experimentos foram bem menores. Por outro lado, nossos resultados mostraram que um resfriamento prolongado em banho de chumbo aumenta significativamente o alongamento, embora diminua o limite de escoamento e a resistência a tração (figuras 8.A e 8.C).

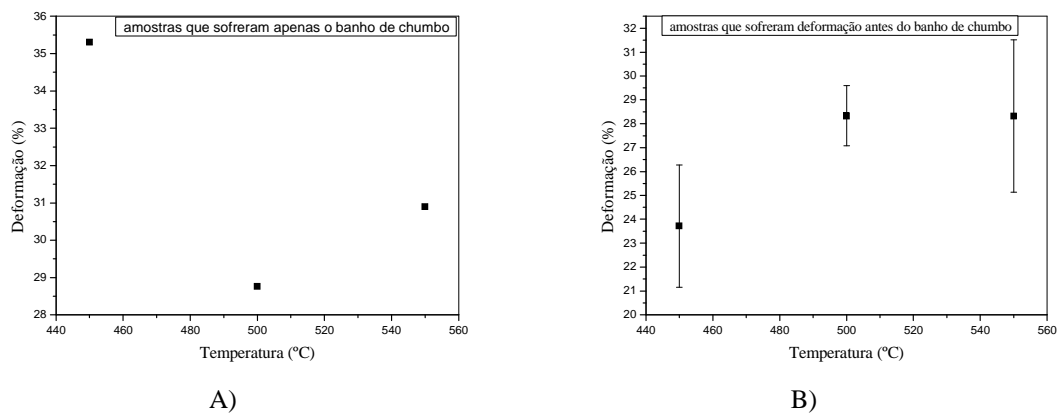


Figura 8. Gráfico (A) Deformação percentual das amostras que apenas sofreram banho de chumbo. Gráfico (B) deformação percentual das amostras que sofreram deformação antes do banho de chumbo.

4. CONCLUSÕES

As propriedades mecânicas do aço API 5L X-80 podem ser significativamente modificadas por tratamentos termomecânicos, onde a deformação previamente aplicada à decomposição da austenita incrementa as propriedades mecânicas.

As condições de resfriamento também têm papel relevante nas propriedades finais deste tipo de material. Quanto mais rápido o resfriamento, maior o teor de microconstituintes aciculares. O melhor resultado foi obtido com a amostra aquecida a 950°C, deformada a 10% (laminação) e resfriada bruscamente em água à temperatura ambiente: esta condição permitiu a obtenção de valores altíssimos de tensão última, cerca de 930MPa e com um alta percentual de alongamento

A decomposição isotérmica em banho de chumbo tende a incrementar o alongamento, reduzindo um pouco a resistência à tração. O melhor resultado obtido nesta condição (alongamento maior que 35%) foi com a amostra aquecida a 950°C, resfriada bruscamente em banho de chumbo a 450°C. Para o material com deformação (10% de laminação) o melhor resultado foi obtido para amostra decomposta em banho de chumbo a 550°C.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a FACEPE pelo apoio financeiro, ao Professor Tiago Rolim (UFPE) e a Orlando, Técnico da oficina mecânica (UFPE), pelo apoio e ajuda na preparação dos corpos de prova. Agradecemos também ao Técnico Diniz (UFPE) pela realização aos ensaios de tração.

REFERENCIAS

A.Abdollah-Zadeh, B.Eghbali. *Mechanism of ferrite grain refinement during warm deformation of a low carbon Nb-Microalloyed Steel*. Materials Science and Engineering. A547: 219-225, 2007.

A. Ghosh; Samar Das; S. Chatterjee; B. Mishra; P.Ramachandra Rao. *Influence of Thermo-mechanical processing and different post cooling techniques on struture and properties of an ultra low carbon Cu bearing HSLA forging*. Materials Science and Engineering. A348: 299-308, 2003.

Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2009, Rio de Janeiro, 8-225, 2009.

Furen Xiao; Bo Liao; Deliang Ren; Yiyin Shan, Ken Yang. *Acicular ferritic microstructure of low-carbon Mn-Mo-Nb microalloyed pipeline steel*. Materials Characterization. 54:305-314, 2005.

Furen Xiao; Bo Liao; Yi-Yi Shan; Gui-Ying Qiao, Yong Zhong. *Challenge of mechanical properties of an acicular ferrite pipeline steel*. Materials Science and Engineering. A431: 41-52, 2006.

Kalwa, C; Hillebrand, H.G; Gräf, M. *High strength steel pipes: new developments and applications*. Onshore pipeline conference, Houston, June, 2002, 12p.

Kneissl, A,C; Baldinger, P. *Structure and properties of TM processed HSLA Steels*. Journal de Physique IV, volume 3: 77-81, Novembre. 1993.

Krauss, George; Thompson, Steven W. *Ferritic microstructures in continuously cooled low and ultralow carbon steels*, Review. ISIJ International, VOL 35, N° 8: 937-945, 1995.

Y.M.Kim; H.Lee; J.Y.Yoo; N.Jkim. *Microstructural characteristics of acicular ferrite in linepipe steels*. Proceedings of the fifteenth international offshore and polar engineering conference, Soul Korea, June, 2005, 8p.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluído neste trabalho



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

GETTING OF ACICULAR FERRITE IN API 5L X-70 STEEL THROUGH THERMOMECHANICAL TREATMENT.

Rodrigo José Ferreira da Silva, rjfs@ymail.com
Carlo Reillen Lima Martins, reillen@gmail.com
Yogendra Prasad Yadava, yadava @ufpe.br
Ricardo Artur Sanguinetti, ras@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida Professor Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, CEP:50.740-530, Recife-PE

Abstract. *The improvement of mechanical properties in a steel, such as tensile strength or hardness can be achieved by microstructural changes. This work presents the synthesis of acicular ferrite in a steel API-X70 steel, widely used in the oil and mining, and presenting in its microstructure usually ferrite and perlite. The acicular ferrite is a phase that was characterized by significant improvement in tensile strength, hardness and toughness. To obtain this phase experiments were carried out with 8 different thermal cycles. Two sets of samples were heated at 950 ° C in muffle furnace for 15 minutes and were soon subjected to different conditions, such as suddenly cooled in water and subjected to deformation of 10% in thickness, in a laboratory mill, and cooled in water. Six other sets of samples were submitted to the following conditions: three sets were heated to 950 ° C in muffle furnace for 15 minutes and were soon subjected to a bath of lead in temperatures (450 ° C, 500 ° C and 550 ° C), and three sets of samples were deformation of 10% in thickness, in a laboratory mill, and then subjected to steam lead to the following temperatures (450 ° C, 500 ° C and 550 ° C). After these thermomechanical cycles, specimens were prepared by traditional metallography for microstructural characterization in light microscopy. The microstructural analysis revealed the formation of acicular ferrite in the samples that went through different cycles, with or without prior deformation. The samples deformed and cooled in a water lead to 500 ° C revealed the formation of ferrite acicula, according to a certain direction. This microstructural condition, the analysis also revealed the presence of a phase not yet identified in the set. Tensile tests were performed showing a significant increase in tensile properties for samples that have undergone deformation and were cooled sharply, since the samples were in water lead to lost properties yield stress and tension last but increased the elongation.*

Keywords: *Acicular ferrite, thermomechanical treatment, microstructural analysis, tensile tests.*