



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica,
CREEM 2019

19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO ISOTÉRMICO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 4140

Alexandre Serpa Aguiar, alexandreserpaaguiar@hotmail.com¹

Denilson Santos Monteiro, denilsantos072@gmail.com¹

Rodrigo da Silva Miranda, rodrigo.sv.miranda@gmail.com¹

Adilto Pereira Andrade Cunha, adiltocunha08@gmail.com¹

¹Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, Cidade Universitária Paulo VI, Av. Lourenço Vieira da Silva, nº 1000 – Bairro: Jardim São Cristóvão

Resumo. *O presente estudo tem por objetivo avaliar o efeito do tratamento isotérmico na microestrutura e propriedades mecânicas do aço SAE 4140. As amostras foram austenitizadas a 850°C e em seguida foi realizado o tratamento isotérmico, as quais foram austemperadas em temperaturas de 350, 400 e 450°C por 1 hora. As microestruturas apresentaram bainita superior e inferior com sítios de austenita retida. Os ensaios de dureza indicaram que a amostra austemperada a 350°C teve uma maior dureza e com o aumento da temperatura de banho isotérmico o material apresentou uma tendência de queda na dureza.*

Palavras chave: *Austêmpera, Bainita, Tratamento Isotérmico, Aço SAE 4140.*

1. INTRODUÇÃO

O aço é um material de grande importância para o desenvolvimento da sociedade atual, sendo considerado um material extremamente versátil possuindo boa combinação de propriedades e conferem aos componentes a capacidade de suportar as mais diversas aplicações. Os aços se tornaram responsáveis pelo encadeamento de diferentes setores da cadeia produtiva, sendo utilizada na construção civil, produção de equipamentos, instalação de meios de comunicação, indústria bélica, naval e agrícola, indústria de bens de consumo duráveis, como na produção de automóveis e eletrodomésticos e, até mesmo na produção de bens de consumo não-duráveis como utensílios domésticos (CAMISASCA, 2013).

Os tratamentos térmicos são muito utilizados a fim de otimizar as propriedades físicas e mecânicas dos aços por operações de aquecimento e/ou resfriamento para se obter requisitos microestruturas para estágios intermediários do processo de produção, assim, como para aplicações em produtos (CHIAVERINI, 2008). Entre os tratamentos térmicos, existem também os tratamentos isotérmicos, podendo-se citar a austêmpera, transformação isotérmica utilizada para produção de bainita. Esse processo consiste em austenitizar o aço, e em seguida, resfriamento rápido em banho até a região de formação de bainita para transformação da austenita em bainita, e por fim, resfriamento até a temperatura ambiente. A temperatura, o tempo de aquecimento e resfriamento e os elementos de liga presentes são os principais fatores que influenciarão as microestruturas formadas a partir desse tratamento, e conseqüentemente as propriedades mecânicas do componente tratado (COSTA E SILVA; MEI, 2010).

O tempo de banho é um parâmetro determinante no tratamento isotérmico, no qual o aço é submetido a um período de tempo, proporcionando a formação de constituintes mais tenazes com boa relação de resistência/ductilidade, favorecidos pelas curvas TTT e outra variável que pode ser controlada no tratamento é a temperatura do banho, que é outro fator que pode modificar a microestrutura e propriedades mecânicas (COSTA E SILVA; MEI, 2010).

O aço estudado no presente trabalho é um SAE 4140, conhecido como aço-cromo-molibdênio, de médio carbono (cerca de 0,4%). Contém também outros elementos de liga além do molibdênio e cromo, entre eles estão o manganês, silício, e pequenas quantidades de enxofre e fósforo em sua composição. Apresentando alta temperabilidade, boa resistência à torção e a fadiga, elevada dureza, alta resistência mecânica e tenacidade, sendo muito utilizados na produção de eixos, engrenagens, bielas, virabrequim, parafusos, e equipamentos para exploração de petróleo (LANFREDI; PRADOS, 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Preparação dos corpos de prova

Para realização dos tratamentos isotérmicos foram feitos corpos de prova para cada temperatura de banho do aço SAE 4140, com diâmetro de 14 mm e altura de 59 mm. As amostras foram cortadas através de uma policorte Arocor 40 da

AROTEC, como mostra a Fig. 1. A composição química do material foi obtida por meio de um espectrômetro de emissão óptica e encontra-se na Tab. 1 juntamente com a especificação para essa liga.

Figura 1. Policorte



Tabela 1. Composição química do aço SAE 4140

Composição Química (%)		
Elementos	Concentração média (%)	ABNT/SAE (%) (VOORT, 1991)
C	0,38	0,38 - 0,43
Cr	0,95	0,8 - 1,10
Mo	0,17	0,15 - 0,25
Si	0,23	0,15 - 0,35
Mn	0,81	0,75 - 1,00
P _{máx}	0,022	0,03
S _{máx}	0,021	0,04

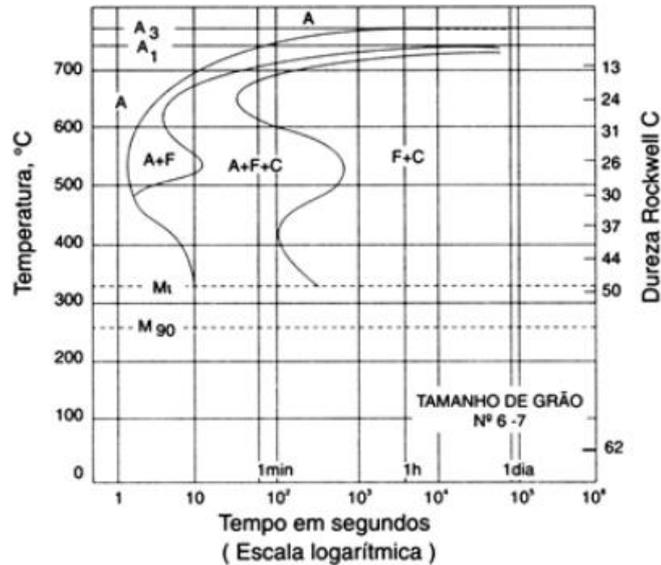
Após o corte dos corpos de prova, utilizou-se 2 fornos para fazer o tratamento. Inicialmente, as amostras foram aquecidas num forno a 850°C, durante 20 min, para completa austenitização. Logo após, as amostras são retiradas do forno e colocadas em outro forno, o qual apresenta um reservatório de aço inox contendo o estanho líquido, para onde as amostras são imersas em temperaturas de 350, 400 e 450°C. Foi utilizado um termopar Tipo K, num aparelho de aquisição de dados FieldLogger da marca Novus, conectado a um notebook para controlar a temperatura, como mostra a Fig. 2.

Figura 2. Aparato experimental para austêmpera



Quando as amostras foram imersas no banho de estanho, rapidamente a temperatura que era de 850°C se igualou à temperatura do banho, sendo mantidas por 1 hora para a transformação bainítica, conforme curva TTT do aço 4140 na Figura 3.

Figura 3. Curva TTT do Aço 4140 (VOORT, 1991)



2.2. Preparação metalográfica

Para a análise metalográfica, foi feito o lixamento dos corpos de prova foi utilizado a lixadeira Aropol 2V da Arotec, fig. 4. Foram utilizadas lixas abrasivas de SiC com granulometria de #100 a #1200, e água como fluido refrigerante.

As amostras foram posicionadas na lixadeira, começando pela lixa de granulometria #100 e assim sucessivamente até chegar na lixa #1200. Porém quando trocada a lixa, rotaciona-se a amostra em 90° para que os riscos da lixa anterior fossem retirados.

Após o lixamento, foi feito o processo de polimento dos corpos de prova utilizando a Aropol 2V da Arotec, alumina em suspensão de 1 µm como material abrasivo e álcool etílico para lubrificação. Após um certo tempo de polimento, as amostras eram limpas com álcool e secadas a ar quente, a fim de verificas se as mesmas apresentavam uma superfície espelhada.

Figura 4: lixadeira Aropol 2V da Arotec



Em seguida, foi realizado o ataque químico utilizando uma solução de Nital 2% (2% de ácido nítrico em 98% de álcool etílico durante 20 s).

Após o ataque a amostra foi lavada em água corrente e álcool etílico para paralisar o processo de corrosão provocado pelo ataque químico e em seguida secada com um soprador de ar quente. Logo depois do ataque químico, as amostras foram analisadas por microscopia ótica, no microscópio Axiovert 25 da marca ZEISS com ampliações de 500x e 1000x, revelando assim, a microestrutura.

2.5. Realização do ensaio de dureza Rockwell

Para a realização do ensaio de dureza, foi utilizado o durômetro Rockwell RBS-M da marca Pantec, conforme Fig. 4. O método de ensaio adotado foi o método Rockwell C com um penetrador cônico de diamante com 120° de conicidade e carga de 250 kgf. Foram realizadas 10 medições de dureza para cada amostra.

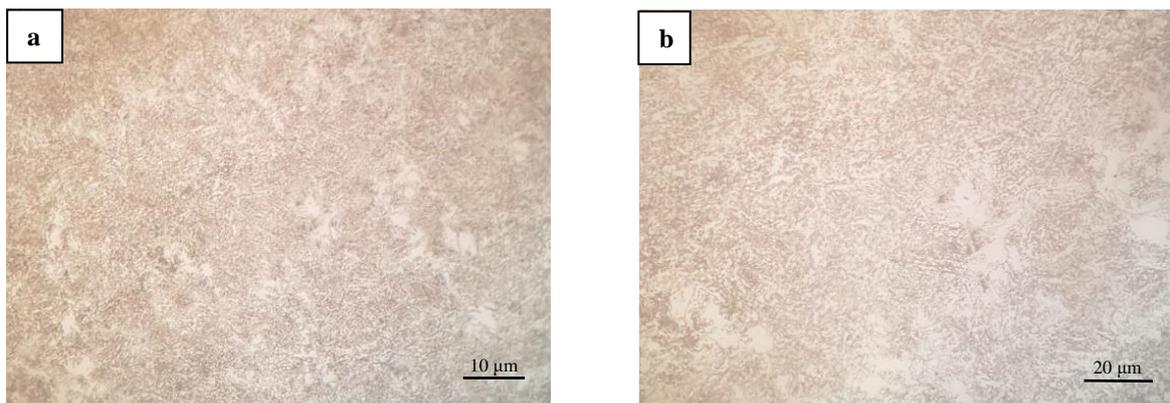
Figura 4. Durômetro Rockwell C



3. RESULTADOS

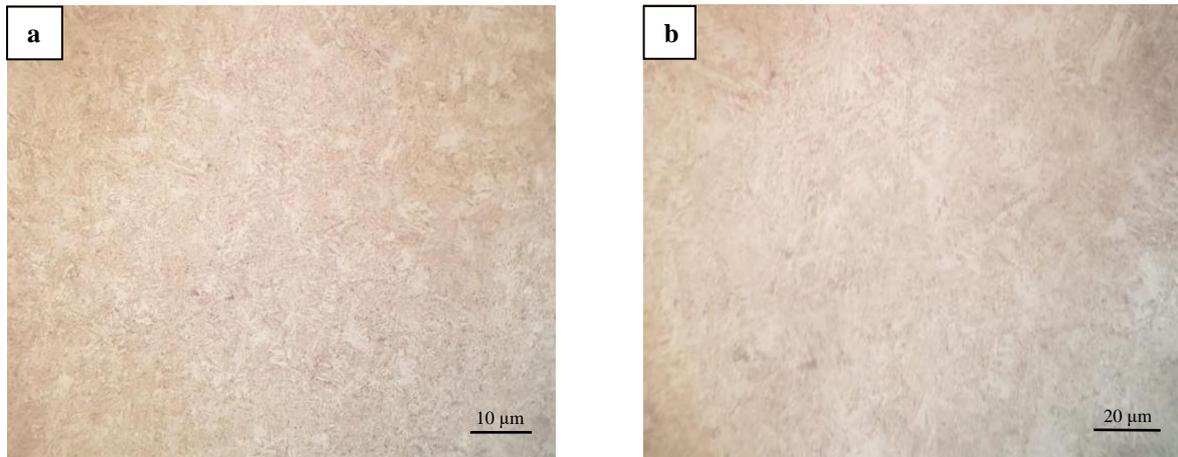
São mostradas na figura 5, as micrografias do aço 4140 obtidos para o tratamento isotérmico a 450°C . A análise da microestrutura revelou pequenas quantidades de ferrita (estrutura com tonalidade clara) e bainita superior no contorno dos grãos, identificada devido ao seu formato mais grosseiro, resultado de uma transformação lenta da fase austenita para a fase bainítica superior, que consiste de ripas finas de ferrita que crescem em conjuntos, são paralelas e de idêntica orientação cristalográfica (BHADESHIA, 2017). O tipo de bainita formada varia em função da temperatura de banho isotérmico, do percentual de carbono do aço e do tempo de permanência no banho.

Figura 5. Micrografia do aço 4140 com tratamento isotérmico a temperatura de 450°C , com aumento de 500x em (a) e 1000x em (b)



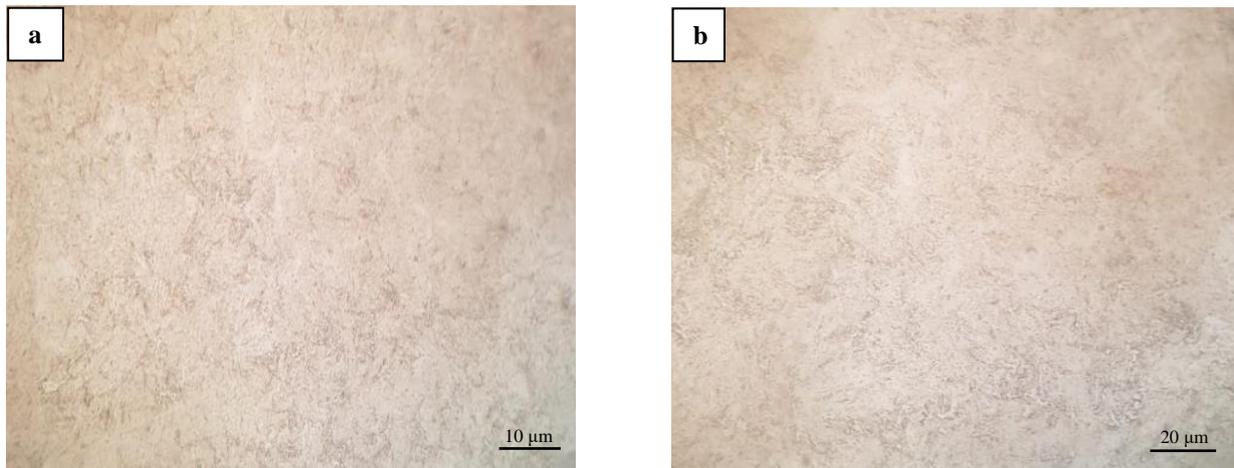
Na figura 6 são apresentadas as micrografias do aço 4140 para condições de tratamento isotérmico a 400°C . Em função da diminuição da temperatura do banho, possui em sua constituição a bainita inferior e bainita superior nos contornos do grão. A bainita inferior é bem semelhante a superior em relação a sua caracterização cristalográfica, a diferença é que carbonetos também precipitam dentro das subunidades da bainita inferior. Assim, há dois tipos de precipitação de carbonetos: um que se forma a partir da austenita que separa as placas de ferrita, e o outro que se forma a partir da ferrita supersaturada em carbono (BHADESHIA, 2017). Em geral, a bainita inferior apresenta-se na forma de placas e nucleia no interior dos grãos de austenita. A estrutura também apresenta ferrita (estrutura com tonalidade mais clara).

Figura 6. Micrografia do aço 4140 com tratamento isotérmico a temperatura de 400° C, com aumento de 500x em (a) e 1000x em (b)



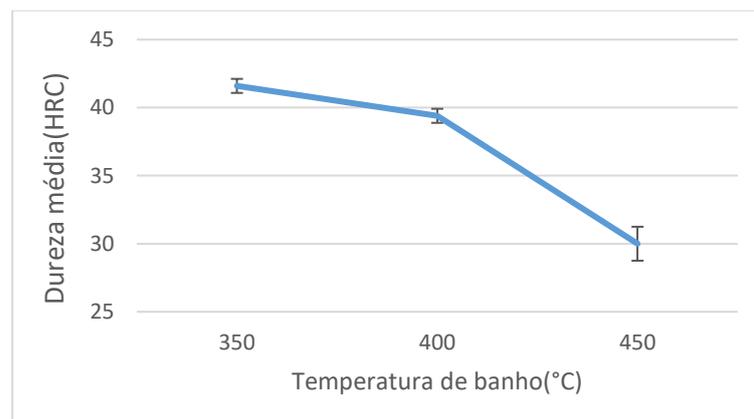
Na figura 7 são apresentadas as micrografias do aço 4140 para condições de tratamento isotérmico a 350° C. É possível perceber a bainita inferior nos contornos de grão e em relação a Fig. 6. Esta estrutura apresenta mais bainita inferior, pois ocorre devido a diminuição da temperatura de banho para 350° C. Pode-se perceber também pequenas quantidades de ferrita (estrutura com tonalidade mais clara).

Figura 7. Micrografia do aço 4140 com tratamento isotérmico a temperatura de 350° C, com aumento de 500x em (a) e 1000x em (b)



Os resultados para o ensaio de dureza são mostrados na Fig. 8, que apresenta a média da dureza juntamente com seus respectivos desvios para cada temperatura de banho. De acordo com a figura, fica evidente a queda na dureza com o aumento da temperatura de banho.

Figura 8. Dureza do aço 4140 em função da temperatura de banho



4. CONCLUSÕES

Em função dos tratamentos isotérmicos aplicados no aço SAE 4140 foi possível perceber que, ao variar a temperatura, traz uma significativa mudança na sua microestrutura. Comparando as temperaturas de 450° C e 350° C, pode-se perceber a diferença microestrutural justamente pelo comportamento do constituinte bainítico nos contornos do antigo grão austenítico. A bainita formada na temperatura de 350° C apresenta a precipitação de carbonetos na ferrita, responsável pelo aumento da dureza em relação às demais amostras, como mostra os resultados obtidos no ensaio de dureza para cada amostra. Para temperatura de 350 °C, a dureza obtida foi de $41,6 \pm 0,516$ HRC, resultado superior aos obtidos para as amostras tratadas a 400 °C, dureza de $39,4 \pm 0,516$ HRC, e 450 °C, dureza $30 \pm 1,247$ HRC, evidenciando o aumento na dureza do material com a diminuição da temperatura de banho isotérmico.

5. REFERÊNCIAS

- Bhadeshia, H. K. D. H. Steels : microstructure and properties. Fourth ed. Amsterdam: [s.n.], 2017.
- Camisasca, M. M; Neves, O. R., Aço Brasil: uma viagem pela indústria do aço. Belo Horizonte: Escritório de Histórias, 2013.
- Chiaverini, V., Aços e Ferros Fundidos, 7ª. Ed. São Paulo: ABM, 2008.
- Costa e Silva, A. L; Mei, P. R. Aços e Ligas Especiais, Editora Edgard Blücher, 3ª edição, 2010.
- Lanfredi, A.; Prados, E.F., Tópicos Experimentais em Materiais. Roteiro de laboratório; Dureza e Tratamento térmico. Universidade Federal do ABC, 2015.
- Voort, G. F. V. Atlas of time temperature diagrams for irons and steels. ASM International, 1991.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.