

AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO ABNT 4140 NITRIDADO EM BANHO DE SAL

João Pedro Santiago Carneiro
José Rubens Gonçalves Carneiro
Gilmar Cordeiro da Silva

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Rua Dom José Gaspar, 500. Coração Eucarístico. Belo Horizonte
jsantiagocarneiro@gmail.com
joserub@pucminas.br
gilmarcord@pucminas.br

Resumo. A microestrutura e propriedades mecânicas do aço ABNT 4140 foram investigadas na condição de laminado a quente e nitretado em banho de sal. Análise química do aço ABNT4140 foi realizada em espectrometro ótico de emissão. As amostras do aço ABNT4140 foram caracterizadas por microscopia ótica, de varredura e difração de raio-X. A presença de camada branca com nitreto ϵ . As pistas de desgaste foram observadas antes e depois do ensaio de pino sobre disco e óxido foi formado. As perdas de massa foram medidas.

Palavras chave: aço ABNT 4140. Pino sobre disco. Nitretação em banho de sal

1. INTRODUÇÃO

O aço ABNT 4140 é utilizado na fabricação de engrenagens, eixos e moldes e, nessas condições, deve apresentar boa resistência à fadiga e ao desgaste aos quais normalmente são atingidas pelo processo de alteração superficial de nitretação (Wu *et al.*, 2016)

Nitretação é um tratamento termoquímico que consiste em enriquecer a superfície da peça com nitrogênio objetivando aumentar resistência ao desgaste, dureza. Pode ser realizada em ambiente gasoso, a plasma ou líquido (banho de sal) Balikici e Yaman, 2011). Tempo e temperatura de tratamento são menores no processo de banho de sal comparativamente aos processos a gás e plasma, além disso o processo em banho de sal possui reprodutibilidade e é estável dimensionamento (Arbilei e Hamed, 2018).

O processo de nitretação em banho de sal ou nitretação líquida é realizado em aço aquecido em temperaturas entre 500 e 630°C. Quanto maior o tempo, a temperatura e a concentração de cianato no banho, maior será a espessura da camada nitretada (Balikici e Yaman, 2011).

Estudo recente (Yang; Sisson Jr, 2014) fala que aços baixa liga normalmente formam duas fases distintas em sua superfície quando submetido a nitretação, $\text{Fe}_2\text{-3N}$ (fase ϵ) e Fe_4N (fase γ').

Desgaste é definido como sendo um “dano a uma superfície sólida, geralmente envolvendo perda progressiva de material devido ao movimento relativo entre essa superfície e uma substância ou substâncias em contato.” (Hutchings, 1992)

Estudos recentes (Kennedy *et al.*, 2015) falam sobre o ensaio de pino sobre disco é um ensaio realizado com o intuito de conhecer os mecanismos de desgaste que dependem das condições tribológicas tais como carga normal, velocidade de deslizamento, dureza dos corpos, etc

Recentemente, (Yang *et al.*, 2017) afirmaram que aços nitretados possuem melhores propriedades ao desgaste que aços sem tratamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado nesse trabalho foi o aço ABNT4140 laminado a quente em barras nas dimensões de 5/8” X 6m e 3” X 500mm.

A análise química foi feita em espectômetro ótico de emissão, marca Oxford a 25°C e 3,2 atm de pressão de argônio para amostras de 3”.

O tratamento de nitretação consistiu no pré-aquecimento dos corpos de prova no forno até a temperatura de 350 °C por duas horas e, posteriormente, aquecimento até a temperatura do banho para 570 °C e tempo de manutenção de 4 horas. Após o tempo de processamento nesse banho, o resfriamento dos corpos de prova foi feito em reservatório de óleo Petronas T135, seguido de um processo de limpeza com jato de água pressurizada.

A preparação das amostras para avaliação metalográfica seguiu o procedimento padrão. Utilizou-se como reativo de ataque químico Nital 2% (solução de ácido nítrico e álcool) para o aço ABNT4140. Após a preparação, os corpos

de prova foram observados em um microscópio óptico, marca Zeiss, com aumento de até 500X, e, também, microscópio eletrônico de varredura, marca Jeol JSM-IT300, dotado de detector EDS, marca OXFORD.

Um difratômetro de raios-X, marca Shimadzu, usando catodo de Cu com radiação $K\alpha$ (comprimento de onda: 1,5418 Å), tensão 40 kV, corrente 30 mA, velocidade de varredura de 1°/min e ângulo de varredura de 20 a 100°, foi empregado para identificar as fases presentes na superfície.

Foi feito ensaio de microdureza Vickers utilizando um equipamento semi-automático, marca Shimadzu, carga de 98,07 mN. Mediu-se as diagonais da impressão utilizando microscópio ótico.

A evolução do perfil de microdureza ao longo da distância na seção transversal foi feita conforme a norma ISO 4507:2000. Foram feitas impressões distantes de 0,10mm entre si em direção ao centro da peça. Foram feitas 3 indentações a cada distância. A profundidade efetiva de camada foi determinada pela interseção da reta paralela a abscissa do gráfico passando pela ordenada de 550 HV_{0,1} com a curva de ajuste. Abscissa desse ponto de interseção é a profundidade efetiva de camada.

O ensaio de pino sobre disco foi realizado com disco de aço ABNT4140 foi fixado em um eixo giratório e atritado contra pino de aço ABNT52100 temperado e revenido. Os ensaios de pino sobre disco ocorreram sempre em trajetórias circulares, cujos raios eram 17, 19,5 e 22mm, foram realizados em equipamento da marca Bruker, a temperatura de 22-28 °C e umidade relativa do ar entre 40 e 60%.

As trilhas de desgaste foram analisadas posteriormente com auxílio de microscópio eletrônico de varredura, marca JEOL, dotado de espectrômetro de energia dispersiva (EDS) marca OXFORD, para análise da presença de óxido nas trilhas.

3. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a composição química do aço adquirido na forma de barras em 70 mm de diâmetro

Tabela 1 – Composição química do aço ABNT 4140

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Al	%N	%Cr	%Ni	%Mo	%Ti	%Nb
0,42	0,78	0,27	0,034	0,0014	0,016	-	0,91	0,01	0,18	-	-

A análise química mostra que as matérias primas são mesmo do aço ABNT 4140

A Figura 1 evidencia as microestruturas do aço ABNT 4140 nas condições de laminado a quente e nitretado

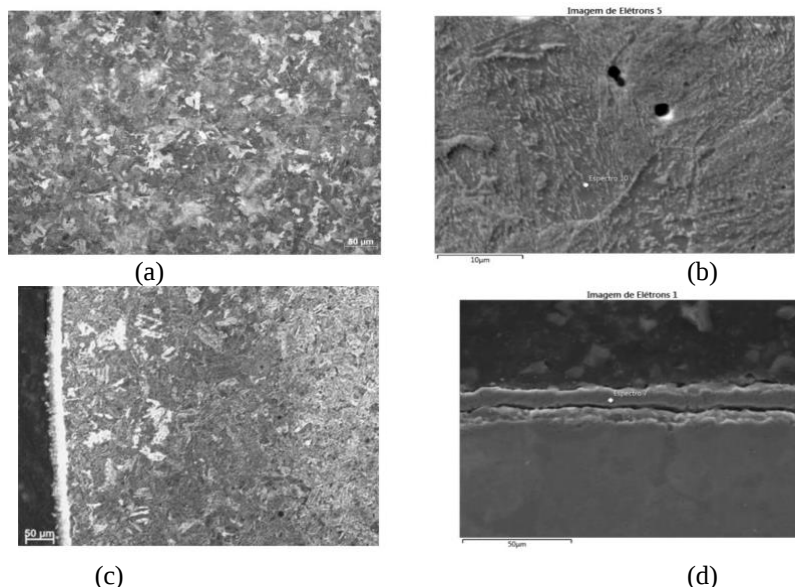


Figura 1: Microestruturas do aço ABNT4140 (a) laminado a quente em microscopia ótica (b) em microscopia eletrônica de varredura(c) nitretado em microscopia ótica (d) em microscopia eletrônica de varredura

Observa-se uma camada superficial de nitrogênio e a presença de descontinuidade entre o substrato e a camada. A espessura da camada branca situou entre 8 e 12 µm. por meio da técnica de EDS foi possível detectar nitrogênio na descontinuidade.

Os resultados de difração de raios-X estão mostrados na fig.2

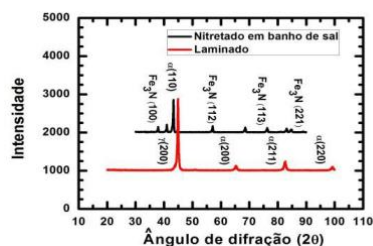


Figura 2: Espectro de difração para revelar as fases presentes na amostras

A evolução da microdureza em relação a profundidade da superfície é indicada na fig.3

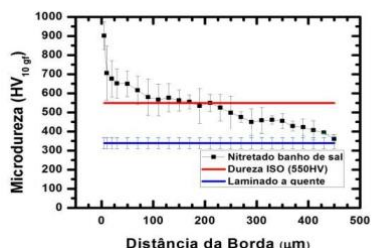


Figura 3: Perfil de microdureza do aço ABNT 4140 nas condições de laminado a quente e nitretado em banho de sal para barra de 16 mm.

Segundo norma ISO 4507-2000, a profundidade efetiva de camada nitretada foi de 0,210mm.

Como foi mostrado na fig. 3, a superfície da amostra nitretada teve maior dureza que o substrato até profundidades inferiores a 300 μm . O acréscimo é devido a presença de nitrogênio em solução sólida (camada de difusão) e, também, nitretos formados na camada branca.

A Figura 4 mostra imagens no MEV e análise por EDS obtidas nas trilhas de desgaste em ensaio de deslizamento do aço ABNT4140 laminado a quente na carga 5, 10 e 15 N

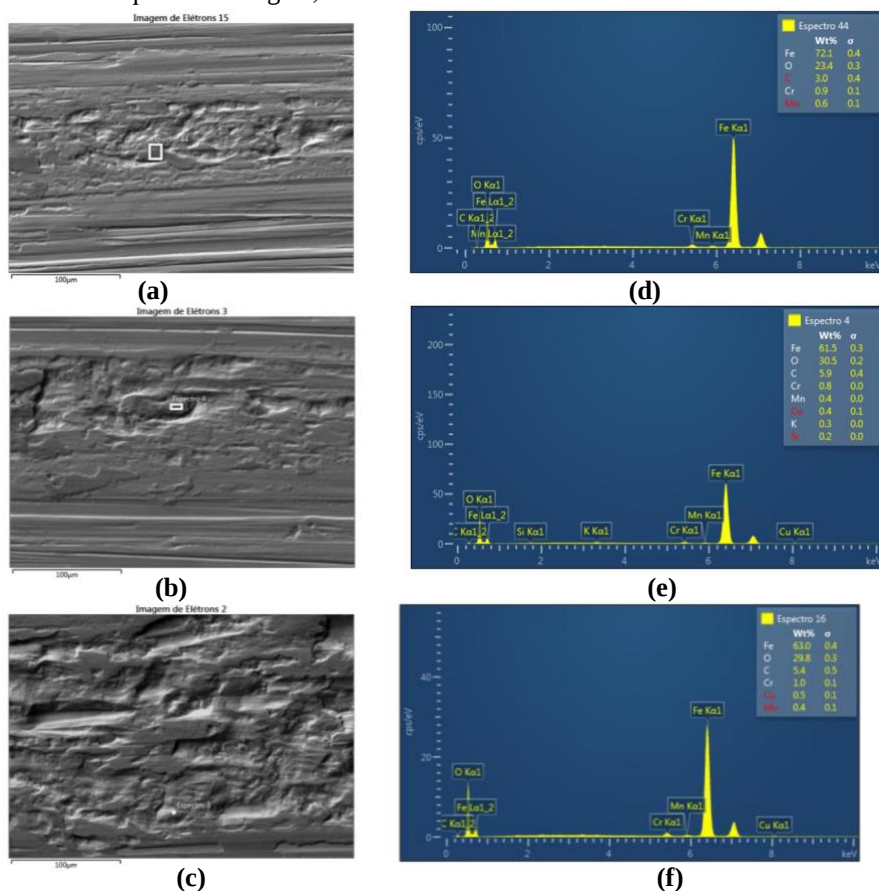


Figura 4: Imagens do MEV e EDS realizados na trilha de desgaste pós-ensaio com força aplicada de 5 N (a; d); 10N (b; e); 15N (c; f)

Apesar da imprecisão do EDS em detectar elementos como oxigênio e carbono, é possível afirmar que ocorre a formação de óxidos, que servem como lubrificantes, inibindo o contato metal-metal e reduzindo o coeficiente de atrito.

A Figura 5 mostra imagens no MEV e análise por EDS obtidas nas trilhas de desgaste em ensaio de deslizamento do aço ABNT4140 nitretado em banho de sal na carga 5, 10 e 15 N.

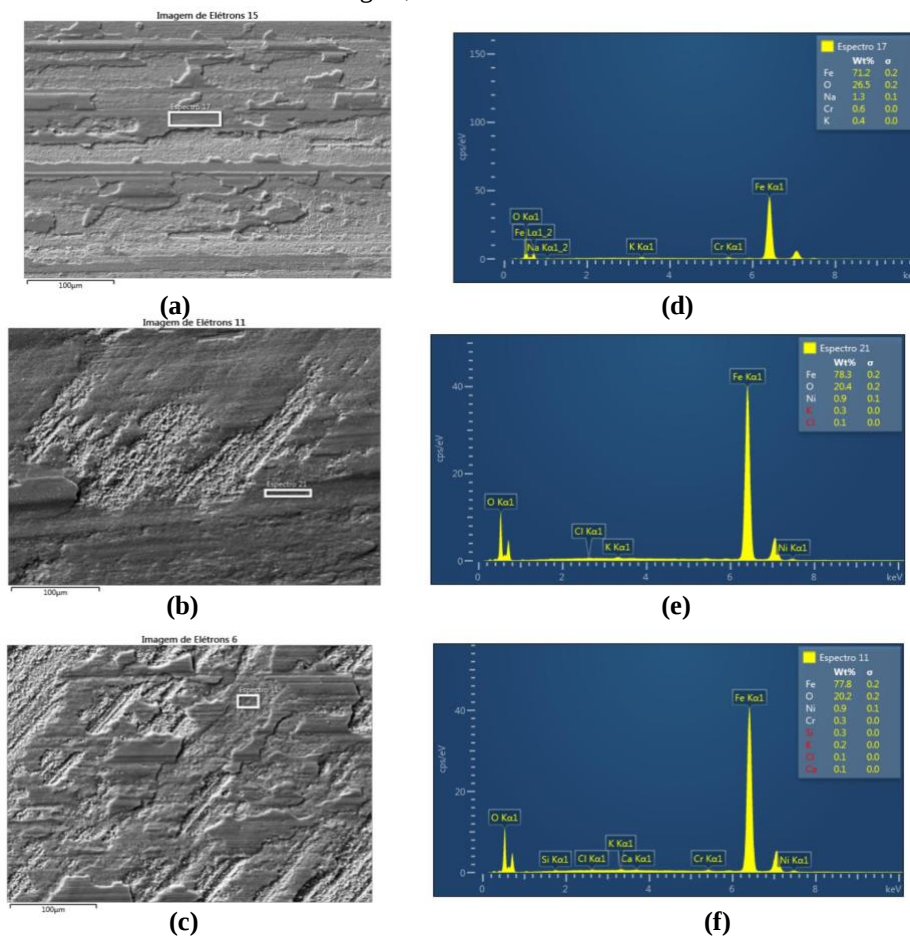


Figura 5: Imagens do MEV e EDS realizadas na trilha de desgaste após ensaio de desgaste com força aplicada de 5N (a e d); 10 N (b e e); 15N (c e f)

A parte externa da camada de compostos é de baixa resistência ao desgaste e de baixa propriedade mecânica devido aos poros descontínuos e em forma de canais. Contudo, ao longo do processo foi formada uma camada sobreposta de óxido proveniente da presença de cianato no banho ou do ar durante o processo. A formação de óxido manteve o coeficiente de atrito baixo durante todo o processo em cargas mais baixas.

A perda mássica ocorrida nos ensaios de desgaste está apresentada na fig. 6

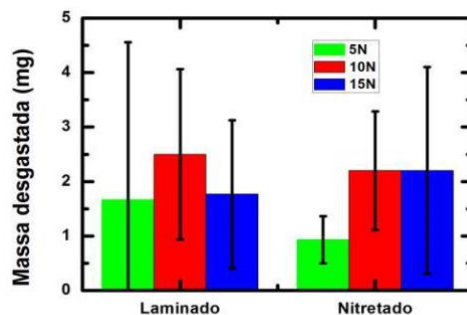


Figura 6: Perda mássica ocorrida após ensaio de pino sobre disco nas amostras.

A perda mássica não apresentou diferenças apreciáveis entre material nitretado ou laminado, as perdas de massa foram similares e não indicam mudança real dos valores entre as duas condições mesmo com os mecanismos diferentes o que se esperava.

4. CONCLUSÕES

A análise microscópica nas amostras nitretada mostrou que a presença de porosidade e presença de sais de sódio na camada nitretada com nitreto ϵ com fase predominante. O mecanismo de desgaste foi preferencialmente oxidativo com deformação plástica em razão da elevada pressão de Hertz. A presença de sais abaixo da camada oxidada da nitretação pode ter sido responsável pela queda do coeficiente de atrito do aço nitretado ABNT 4140 em relação ao laminado a quente ou a própria oxidação pode ter sido responsável pelo fenômeno.

5. REFERÊNCIAS

- Arbilei, Marwan N.; Hamed, Jamal Mohammed. Liquid Nitriding of Stainless Steel 316L to improve fatigue properties for Orthopedic Screws. **ALNAHRAIN JOURNAL FOR ENGINEERING SCIENCES**, v. 21, n. 4, p. 508-515, 2018.
- Balikici, E.; Yaman, O. Investigation on liquid bath nitriding of selected steels. **Surface Engineering**, v. 27, n. 8, p. 609-615, 2011
- Hutchings, I.M. **Tribology: friction and wear of engineering materials**. 1ª ed. Cambridge:Heinemann, 1992
- Kennedy, F. E.; Lu, Y; Baker, I. Contact temperatures and their influence on wear during pin-on-disk tribotesting. **Tribology International**, v. 82, p. 534-542, 2015.
- Yang, X; Meng, Y; Yu, T. Controllable friction and wear of nitrided steel under the lubrication of [DMIm]PF₆/PC solution via electrochemical potential. **Wear**, v.360-361, p.104–113, 2017
- Yang, M.; Sisson Junior, R.D. Alloy Effects on the Gas Nitriding Process. **Journal Material Engineering Performance**, v.23, n.12, p.4181-4186, 2014.
- Wu et al. Comparative study of plasma oxynitriding and plasma nitriding for AISI 4140 steel. **Journal of Alloys and Compounds**, v.680, p.643-645, 2016.

6. RESPONSABILIDADE PELA INFORMAÇÃO

Os autores são responsáveis pelas informações presentes no trabalho

7. AGRADECIMENTOS

J.R.G. Carneiro e todos os autores agradecem ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa CNPq nº 2016/308964-0

EVALUATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ABNT 4140 STEEL SALT BATH NITRIDED

João Pedro Santiago Carneiro

José Rubens Gonçalves Carneiro

Gilmar Cordeiro da Silva

Pontifical Catholic University of Minas Gerais. Dom José Gaspar street, 500. Coração Eucarístico. Belo Horizonte

jsantiagocarneiro@gmail.com

joserub@pucminas.br

gilmarcord@pucminas.br

Abstract. *The microstructure and mechanical properties of ABNT4140 were investigated in hot rolled and salt bath nitrided conditions. Chemical analysis of ABNT4140 steel has been made in optical emission spectrometer. The samples of ABNT4140 steel were characterized by optical, scanning microscopy and X-ray diffraction. The presence of white layer with ϵ nitride, diffusion zone and discontinuities were noted. The wear tracks were observed during and after the pin on disc test and iron oxide was formed. The weight loss was similar in all three different loads (5, 10, 15N).*

Keywords: ABNT 4140 steel. Pin on disc. Salt bath nitriding

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.