

COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DO AÇO ABNT 4140 NITRETADO POR PLASMA

Bruna de Freitas Zappelino, zappelino.bruna@gmail.com¹

Maxwel Pedro, maxwelmp@hotmail.com¹

Júlio César Giubilei Milan, julio.milan@udesc.br¹

Luis Cesar Fontana, luis.fontana@udesc.br¹

César Edil da Costa, cesar.edil@udesc.br¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Laboratório de Engenharia Mecânica – PGCEM/UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas – CCT / Rua Paulo Malchitzki, Campus Universitário Prof. Avelino Marcante – Bairro: Zona Industrial Norte – CEP: 89225-100 – Joinville – SC – Brasil.

Resumo: O desenvolvimento de revestimentos tribológicos nos últimos anos é em grande parte devido à disponibilidade de novos processos de revestimentos. Por meio de técnicas de endurecimento superficial, os tratamentos termoquímicos tornam-se uma maneira eficaz e econômica de proporcionar redução de desgaste, atrito, corrosão em ferramentas e sistemas mecânicos. No presente estudo, amostras de aço ABNT 4140 foram submetidas ao processo de nitretação a plasma. Com isso, objetiva-se a avaliação comparativa do comportamento mecânico e tribológico do aço ABNT 4140 com e sem nitretação por plasma. Todas as amostras foram anteriormente temperadas e revenidas. No tratamento termoquímico de nitretação foram controlados parâmetros de temperatura, tempo e concentração de gases. A caracterização das camadas nitretadas se fez pela utilização microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Posteriormente foram determinadas as propriedades mecânicas e do comportamento tribológico das camadas nitretadas a partir de ensaios de microdureza e ensaios de pino sobre disco. Por meio de microscopia confocal foi possível analisar o perfil de desgaste, com o objetivo de obter o coeficiente de desgaste. Os resultados da mínima formação de camada branca na superfície nitretada permitiram uma ótima uniformidade e qualidade superficial sem a presença dos efeitos de bordas e deslocamento da camada. A partir de ensaios realizados em pino sobre disco, o coeficiente de atrito aumentou em comparação ao material sem tratamento. Outro aumento significativo foi referente às propriedades de dureza e resistência ao desgaste, onde o aço ABNT 4140, tenaz, aliado a uma superfície nitretada apresentou um melhor resultado de dureza superficial e um baixo coeficiente de desgaste, comparado ao aço temperado e revenido.

Palavras-chave: Nitretação a plasma; Camada branca; Desgaste; Dureza.

1. INTRODUÇÃO

A nitretação é um tratamento termoquímico, desenvolvido inicialmente para ligas ferrosas, realizado no campo de estabilidade da ferrita, comumente entre 500°C e 570°C (Silva; Mei, 2010). O objetivo principal no tratamento de nitretação a plasma é de conferir melhores propriedades mecânicas na superfície do material, tais como resistência à compressão, resistência ao desgaste, resistência à corrosão e resistência à fadiga (Cubberly, 1989) e (Sun; Bell, 1991).

Dentre os três diferentes tipos de nitretação: sólida, líquida, gasosa e a plasma (ou iônica), o último método utiliza por meio de descarga luminescente a introdução de nitrogênio na superfície do material por meio de difusão. Esse processo é conduzido em vácuo, de forma que íons são acelerados e colidem na superfície do substrato (Czerwinski, 2012).

No processo termoquímico de nitretação, em sua maioria, há a formação de duas camadas nitretadas características: uma camada superficial, conhecida como camada branca e uma camada subsuperficial, denominada zona de difusão. A camada branca é constituída basicamente por dois tipos de nitretos de ferro: a camada superficial, ϵ ($\text{Fe}_{2,3}\text{N}$) e a camada interna γ' (Fe_4N), apresentando um melhor desempenho de resistência ao desgaste, corrosão e fadiga. A camada de difusão é constituída de nitretos γ' (agulhas) e nitrogênio dissolvido na matriz ferrítica (α) e responde principalmente pela melhoria das propriedades de fadiga (Vendramim, 2002), (Pinedo, 2004) e (Zambon, et al., 2010).

A nitretação iônica apresenta inúmeras vantagens quando comparadas aos tratamentos convencionais de nitretação sólido e gasoso (Alves Junior, 2001). As vantagens mais importantes deste processo são a baixa temperatura, tempo inferior, controle e uniformidade das camadas nitretadas (Pye, 2003).

Vários parâmetros do processo devem ser considerados, a fim de garantir o sucesso da nitretação em termos de distorção e metalurgia. As modificações ocorridas na superfície nitretada dependem do teor de nitrogênio incorporado e é uma função da temperatura, do tempo e das condições de processo (Pinedo, 2004). As seguintes condições de processo controladas são: atmosfera ou tipo de mistura, nitretação com descarga pulsada ou contínua, percentual de carbono e elementos de liga do aço, entre outros (Pye, 2003).

Esse trabalho tem como o objetivo geral avaliar o comportamento tribológico, resistência ao desgaste e dureza do aço ABNT 4140 com e sem nitretação por plasma.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Composição Química e Corpos de Prova

O estudo foi realizado a partir de amostras de aço ABNT 4140 com 25mm de diâmetro e 8mm de espessura, fabricadas a partir de uma barra laminada. A composição química do material é apresentada na Tabela 1), fornecida pela fabricante. O aço ABNT 4140 apresenta características de boa temperabilidade, com boas propriedades mecânicas em seções grandes. Além disso, este aço possui aplicações em virabrequins, bielas, braços, juntas, eixos, peças para equipamentos de perfuração, engrenagens, parafusos de alta resistência.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 4140 fornecida pelo fabricante

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo
Percentual (%)	0,38-0,43	0,15-0,35	0,75-1,00	0,80-1,10	0,15-0,25

A Figura (1) apresenta o ciclo térmico dos tratamentos com os respectivos parâmetros. Foi realizado um duplo revenimento, garantindo uma transformação completa da austenita em martensita, além da formação de uma microestrutura de granulação refinada. Aços como o ABNT 4140 atingem a sua máxima dureza depois do primeiro revenimento. No segundo revenimento a dureza é reduzida para o nível desejado.

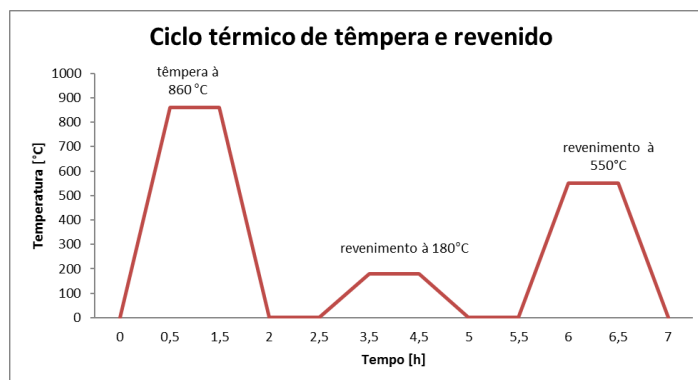


Figura 1. Esquema do ciclo térmico correspondente ao tratamento térmico de têmpera e revenimento do aço ABNT 4140

2.2. Procedimento Experimental

A partir desse material foram utilizados oito CDPs (corpos de provas). Um CDP foi definido como referência, ou seja, como recebido. Quatro CDPs foram utilizados na condição temperada e revenida e três CDPs foram nitretados. O fluxograma descrito na Fig. (2) mostra de forma sucinta, a metodologia experimental empregada, das etapas realizadas, assim como caracterização e metalografia para os CDPs de aço ABNT 4140.

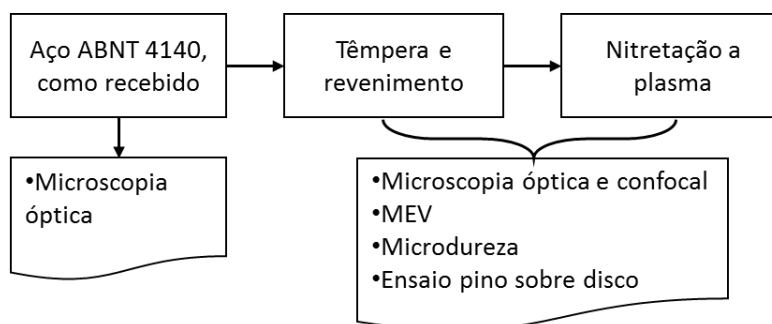


Figura 2. Fluxograma da metodologia experimental empregada para o aço ABNT 4140

2.3. Tratamento Termoquímico

Para o processo de nitretação a plasma, foi utilizado o reator de nitretação iônica do laboratório de plasma – LABPLASMA do Departamento de Física da UDESC Joinville. A Figura (3) representa o modelo esquemático desse reator. O equipamento consiste de uma campânula, ou seja, uma câmara de descarga, um sistema de vácuo, um sistema de alimentação de gás e uma fonte de alta tensão. Existem três janelas de inspeção localizadas uma na tampa e duas nas paredes laterais do corpo da campânula, que permitem o controle visual do processo.

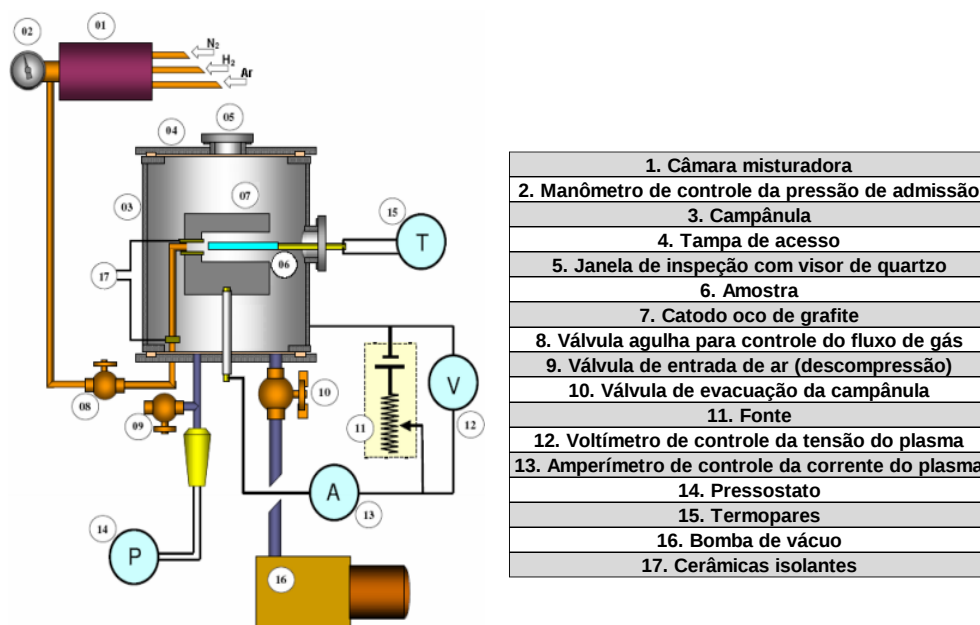


Figura 3. Representação esquemática do reator de nitretação iônica

Foram realizados furos na configuração longitudinal dos CDPs, a fim de garantir a fixação dos mesmos no suporte do reator. Os parâmetros de voltagem, pressão, corrente elétrica e tempos de tratamento usados nos processos de ativação superficial das amostras estão representados na Tab. (2). Antes do tratamento, as amostras foram submetidas aos processos de limpeza por imersão em acetona em uma cuba de ultrassom por 15 minutos e uma limpeza por *sputtering* de 20 minutos no reator de plasma, a fim de eliminar impurezas e contaminantes tanto no reator como nas amostras.

Tabela 2. Parâmetros utilizados na nitretação a plasma

Composição média dos gases	95% H_2 5% N_2
Temperatura de nitretação	500°C
Tempo de nitretação	3h
Pressão parcial do N_2	4,5Torr
Limpeza por <i>Sputtering</i>	20min
Potência	122W
Voltagem	603V
Corrente	0,20A
<i>Duty cycle</i>	4,0 μ s
Frequência	100kHz

Para produzir o plasma em atmosfera 95% H_2 5% N_2 foi utilizada uma fonte pulsada. Os pulsos positivos intermitentes têm por objetivo suprimir arcos voltaicos que podem ocorrer no plasma, além de permitir a produção de plasma em pressões maiores do que aqueles produzidos por fonte DC (*Direct Current*) (Scholtz, 2016). Com a descarga pulsada, a temperatura é uniforme em toda a região do reator, reduz defeitos cristalinos nas camadas formadas, interferindo na espessura, rugosidade, microdureza e aderência com o substrato. Outro aspecto importante da polarização pulsada é que, durante o intervalo t_{off} , há tempo para nucleação e difusão dos átomos durante a formação da camada, reduzindo a criação de defeitos cristalinos provocados pelo bombardeamento iônico. Assim, cria-se uma condição intermitente de bombardeamento iônico (produzindo aquecimento e ativando a difusão) e sem bombardeamento iônico (favorecendo a difusão de nitrogênio) (Stryhalski, 2015).

A Figura (4) mostra um gráfico da tensão pulsada em função do tempo. Os parâmetros de controle podem ser descritos como tensão, frequência e *duty cycle*. A variação que a fonte pulsada DC proporciona no tempo de pulso e tempo de

pausa, bem como a capacidade de variar a pressão interna no reator, permite que o operador controle melhor o processo de nitretação (Pye, 2003).

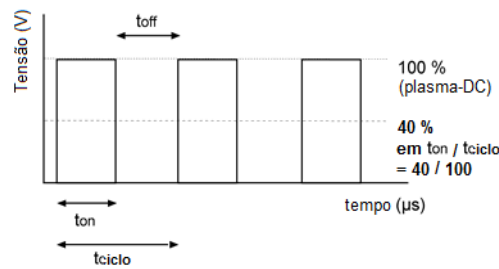


Figura 4. Representação esquemática da fonte pulsada no processo de nitretação a plasma

2.4. Análise Metalográfica

Corpos de provas submetidos à análise metalográfica foram cortados na configuração transversal e longitudinal e submetidos individualmente ao processo de embutimento em resina termofixa de cura a quente (baquelite) por um tempo de 15 minutos. As amostras foram lixadas até granulometria de #1200 e realizado o polimento com solução de diamante em suspensão de 3μm. Após essa etapa, foi feito o ataque químico nas amostras, para permitir a visualização dos grãos. O ataque se deu por cerca de 3 a 5 segundos, com Nital 3%. Cada amostra foi visualizada no microscópio óptico, onde foram registradas imagens de cada seção dessas.

2.5. Ensaio de Microdureza

Foi realizado ensaio de microdureza que obedeceu a norma NBR-6672 ao qual estabelece que o centro de cada impressão e a borda da impressão contínua deve ser pelo menos 2,5 vezes o comprimento médio das duas diagonais. O objetivo deste ensaio foi de quantificar a superfície das condições experimentais. As medidas foram realizadas a uma distância de 5μm das bordas e utilizada carga de 100g em um microdurômetro Vickers.

2.6. Ensaio de Pino sobre Disco

Para a realização de ensaios de desgaste por deslizamento foi utilizado um tribômetro do tipo pino sobre disco situado no laboratório de metalurgia do pó do Departamento de Engenharia Mecânica da UDESC Joinville. O ensaio de pino sobre disco é um dos ensaios mais utilizados no que diz respeito à avaliação do coeficiente de atrito e desgaste de materiais. O tribômetro consiste basicamente de um corpo (CDP geralmente na forma de disco) e um contra corpo (esfera de determinado raio fixada num pino posicionado perpendicularmente ao CDP plano). O equipamento realiza o movimento de rotação sobre o pino formando a pista de desgaste por meio da remoção de material. Uma carga é aplicada na mesma direção do pino, de modo a garantir que haja sempre o contato esfera-disco em todo o ensaio. A Figura (5) mostra esquematicamente a configuração do ensaio.

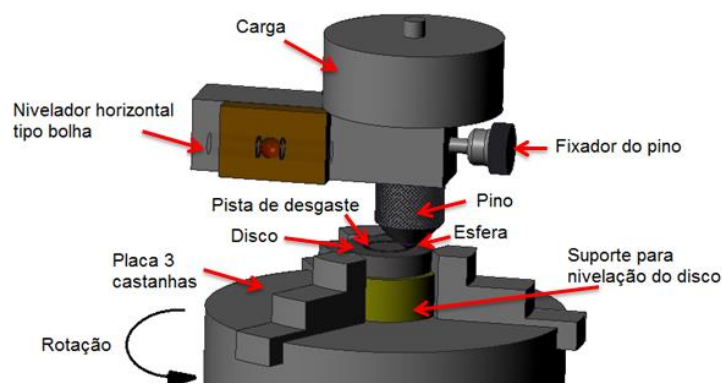


Figura 5. Esquema ilustrativo do ensaio de pino-sobre disco

Baseado na norma ASTM G99-95a, o volume de material removido foi convertido em milímetros cúbicos. O volume do material removido será calculado com auxílio de um software matemático por meio do mapeamento da superfície desgastada obtida pelo microscópio confocal. As variáveis de ensaio estão descritas na Tab. (3).

O coeficiente de atrito foi monitorado pela medição da força de atrito. O equipamento utiliza células de carga, de modo que seja possível medir a força resistente ao movimento, ou seja, a força de atrito. Conhecendo a carga perpendicular aplicada, é possível determinar o coeficiente de atrito como sendo a razão entre a força de atrito e a força normal. Para cada condição de tratamento foram utilizados três corpos de prova (CDP). Desta forma, foram realizados seis ensaios de pino sobre disco em cada condição experimental, utilizando ambas as faces de cada CDP.

Tabela 3. Variáveis utilizadas no ensaio pino sobre disco

Carga	10N
Velocidade	0,1m/s
Distância percorrida	1000m → 26.526 voltas
Tempo de ensaio	2,8h/ensaio
Raio da pista	6mm
Umidade relativa do ar	48%~66%
Temperatura ambiente	27°C~31°C
Contra corpo	Esfera de alumina Ø 6mm

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos Materiais

A microestrutura do aço ABNT 4140 como recebida e após tratamento térmico são apresentadas na Fig. (6). O material como recebido, apresentou uma dureza média de 240HV_{0,1}. Observa-se na Fig. (6a) o aço ABNT 4140, como recebido, a presença de ferrita acicular (em formato de agulhas - 1) e perlita do tipo esboroada (2). Após a têmpera e revenimento, verifica-se a formação de uma microestrutura formada por martensita revenida fina e homogênea, como pode ser visualizado na Fig. (6b). A dureza média obtida após tratamento térmico de têmpera e revenimento foi de 478HV_{0,1}.

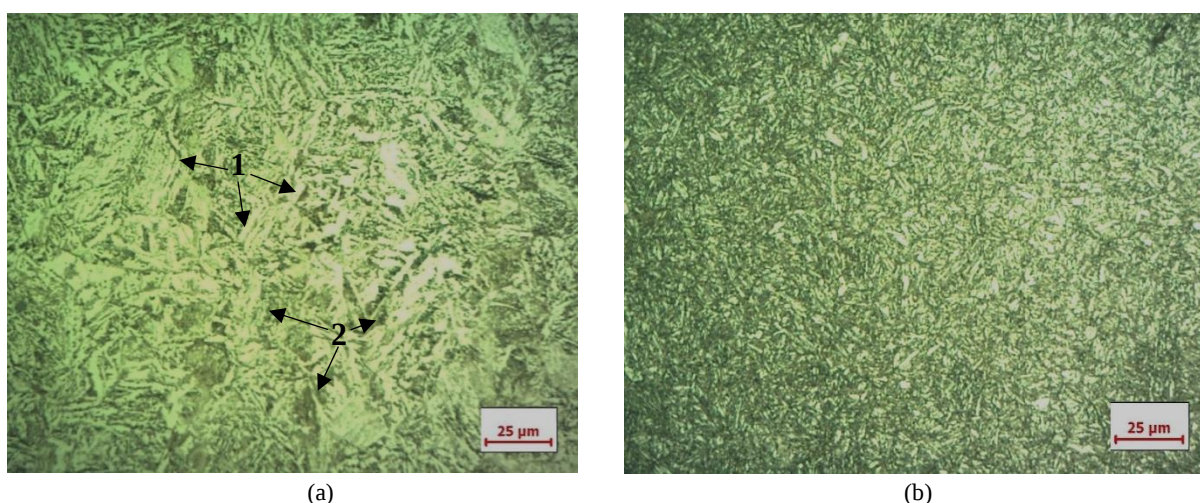


Figura 6. Microestrutura do aço ABNT 4140 (a) no estado recebido e (b) no estado temperado e revenido, nital 3%, 500x

3.2. Caracterização das Camadas Nitretadas

Como mostrado na Fig. (7), percebe-se a presença de uma fina camada branca, não uniforme, de espessura em torno de 1µm, na superfície. Abaixo dessa camada pode-se visualizar a zona de difusão, com uma espessura média de 10µm. A zona de difusão foi facilmente identificada por meio de microscopia óptica.

Apenas com o auxílio de MEV e ampliação em torno de 3000 vezes, pôde-se identificar e comprovar a microestrutura das camadas nitretadas. Normalmente para aços ao carbono e baixa liga, a camada branca pode apresentar uma pequena espessura. É importante destacar a influência que os parâmetros atmosfera, temperatura e tempo de tratamento promovem no crescimento e controle dessas camadas.

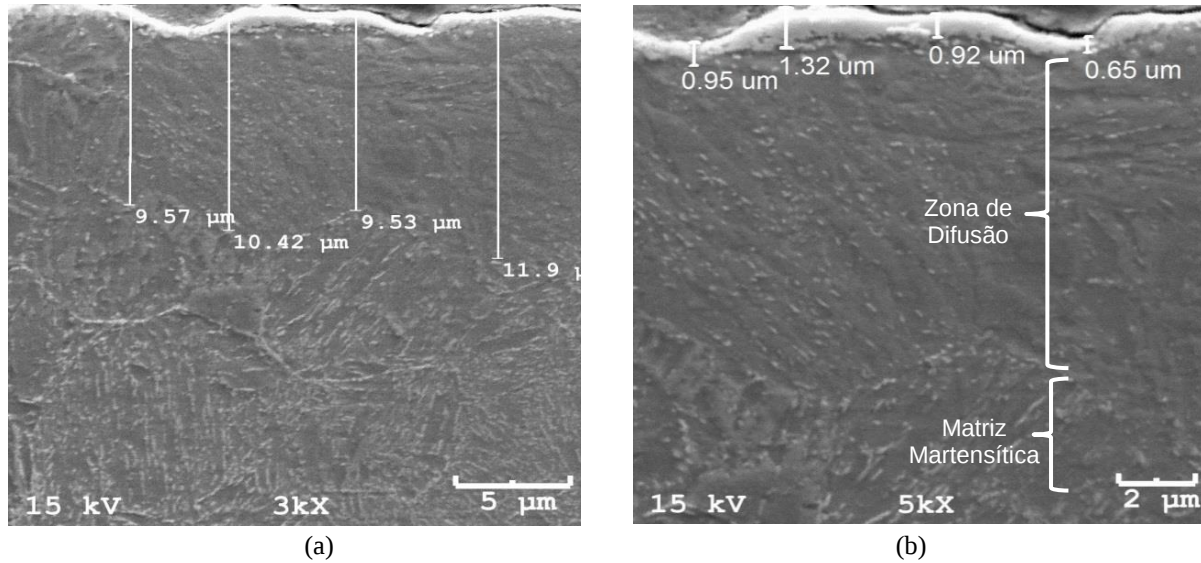


Figura 7. Formação das camadas nitretadas MEV (a) Ampliação 3000 vezes e (b) Ampliação 5000 vezes

Para o tratamento termoquímico de nitretação, não se pode afirmar qual a contribuição teve influência direta na formação e na espessura da camada branca formada. Porém, se essas mesmas condições de tratamento fossem aplicadas para um aço ferramenta, o H13, por exemplo, haveria apenas a presença de uma camada composta por zona de difusão. Isso pode ser afirmado por meio da composição química do aço estudado, principalmente elementos de liga formadores de nitretos como Cr, V, Mo, são fundamentais para prever a microestrutura das camadas nitretadas (Kieckow, 2008), (Recco, 2008).

3.3. Dureza das Camadas

De acordo com a Fig. (8), o aço ABNT 4140 na condição nitretada apresentou uma dureza média de $750HV_{0,1}$, maior em comparação à condição temperada e revenida, que resultou numa dureza média de $478HV_{0,1}$. Isso resulta em um aumento de 56,9% da dureza na condição nitretada em comparação à dureza na condição temperada e revenida. Analisando inicialmente os valores de microdureza para ambas as condições, houve pouca variação de valores, o que comprova a confiabilidade dos resultados obtidos.

Para esse estudo, avaliou-se a dureza na superfície, utilizando para esse fim uma carga de 100g. A dureza na condição nitretada está dentro da faixa de dureza de 650 a $1000HV_{0,1}$, que conforme estudos semelhantes, está de acordo com valores de dureza encontrados (Vendramim, 2002), (Pinedo, 2004) e (Zambon, et al., 2010).

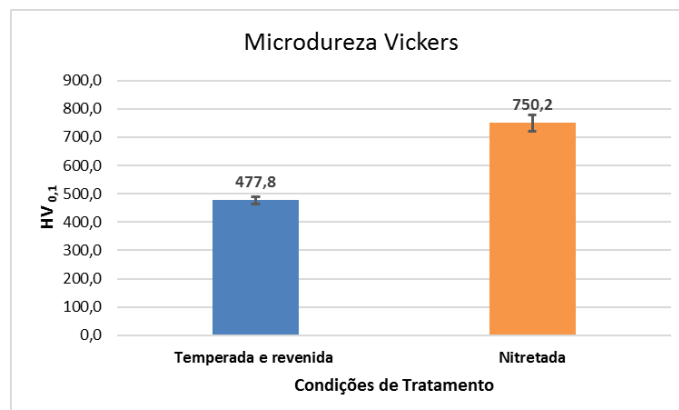


Figura 8. Gráfico de microdureza Vickers ($HV_{0,1}$) nas condições de tratamento do aço ABNT 4140

3.4. Avaliação do Coeficiente de Atrito

A Figura (9a) e (9b) apresentam os gráficos de coeficiente de atrito em função da distância percorrida, para cada condição de tratamento. Para todos os ensaios realizados, a condição nitretada foi a que apresentou maior dispersão de valores do coeficiente de atrito. Realizando uma análise comparativa desses gráficos, percebeu-se que as curvas do

coeficiente de atrito na condição nitretada convergiu para um valor constante. Em alguns casos essa estabilização foi rápida, já em outros, notava-se uma tendência a estabilizar após a metade do ensaio como mostra o gráfico da Fig. (9b).

A Figura (10) mostra o gráfico das médias dos coeficientes de atrito para cada condição de tratamento. O aço ABNT 4140 na condição temperada e revenida apresentou um coeficiente de atrito médio de 0,50. Por outro lado, na condição nitretada, o coeficiente de atrito foi maior, em torno de 0,61. Aplicando um teste de validação das hipóteses na ANOVA, em um intervalo de confiança de 95%, pode-se afirmar que há diferença entre os tratamentos, pois $p\text{-valor} < \alpha$. Portanto, o coeficiente de atrito na condição nitretada é maior comparado a condição temperada e revenida.

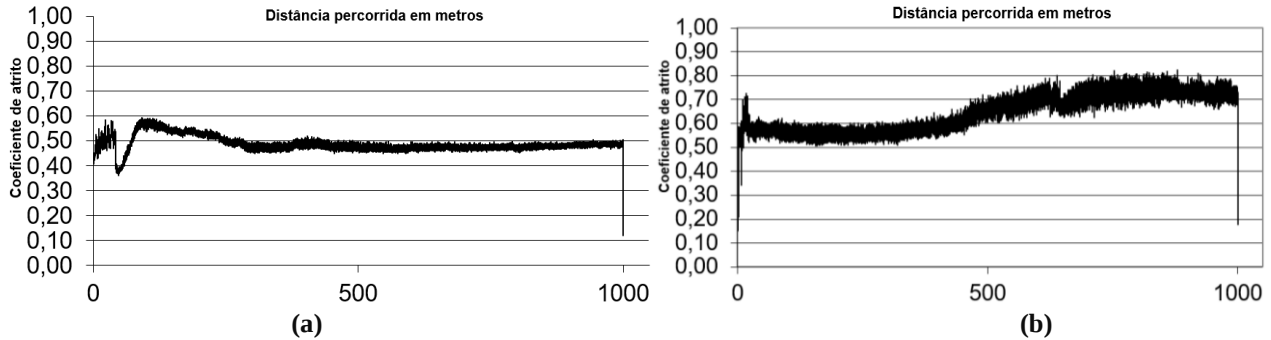


Figura 9. Gráfico do coeficiente de atrito em função da distância percorrida condição (a) Temperada e revenida (b) Nitretada

3.5. Avaliação do Coeficiente de Desgaste

A Figura (10) apresenta o gráfico das médias do coeficiente de desgaste nas condições de tratamento temperada e revenida e nitretada. A condição nitretada apresentou uma redução em torno de 78% do coeficiente de desgaste em comparação a condição temperada e revenida. Essa redução no volume de desgaste é justificada pela introdução superficial do nitrogênio nos aços, formando uma camada com dureza elevada pelo aparecimento de fases de nitretos de ferro ou nitretos formadores de elementos de liga. (Vendramim, 2002), (Pinedo, 2004) e (Zambon, et al., 2010).

Aparecida, Milan e Costa (2015) verificaram que o aço N-8550 nitretado a plasma, apresentou um aumento no coeficiente de atrito.

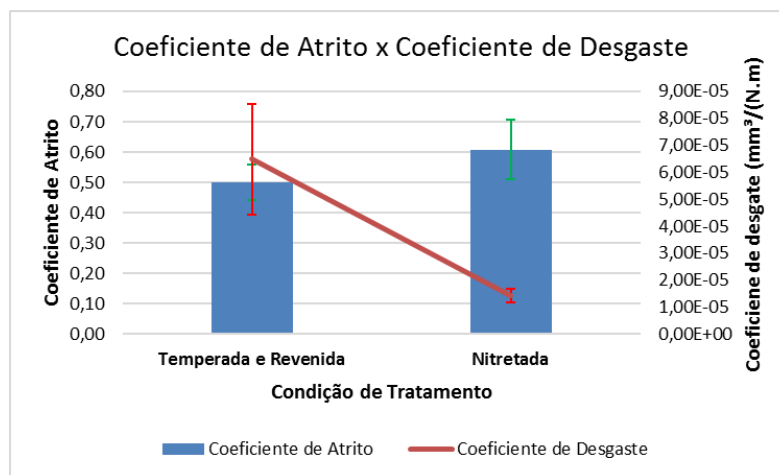


Figura 10. Coeficiente de desgaste e coeficiente de atrito em função das condições de tratamento do aço ABNT 4140

A Figura (11) e Figura (12) ilustram os perfis da pista de desgaste formados para condição temperada e revenida e nitretada. A área do perfil da pista na condição temperada e revenida, da amostra 1A foi em torno de três vezes maior que a área do perfil da pista nitretada da amostra 4A. De acordo com a Fig. (12), a profundidade máxima alcançada pela esfera de alumina foi de 8µm. Portanto, a esfera não alcançou o substrato, porém rompeu toda a camada branca e boa parte da zona de difusão.

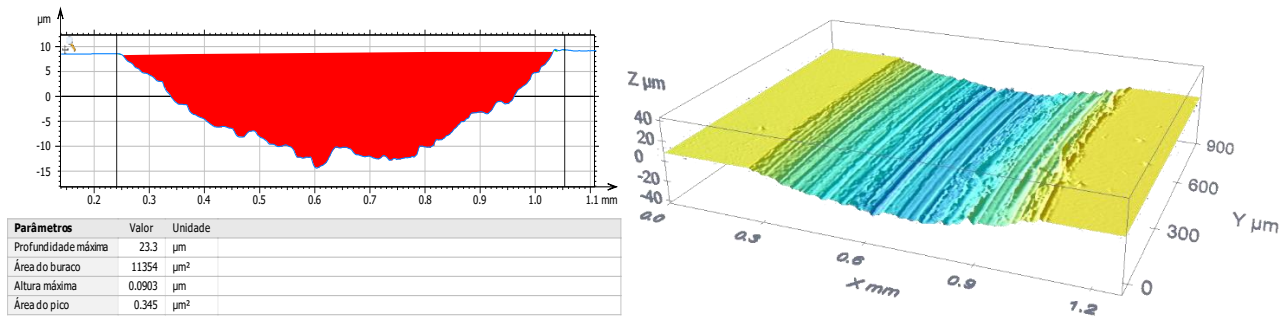


Figura 11. Perfil de desgaste do aço ABNT 4140 na condição temperada e revenida, amostra 1A

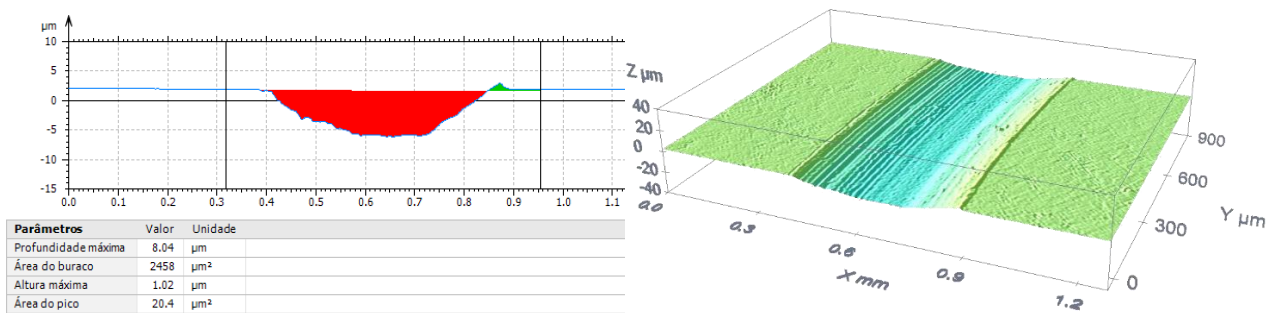


Figura 12. Perfil de desgaste do aço ABNT 4140 na condição nitretada, amostra 4A

4. CONCLUSÃO

Esse estudo teve como objetivo a avaliação do comportamento tribológico do aço ABNT 4140, comparando amostras na condição de tratamento temperada e revenida e nitretada.

As amostras na condição nitretada houve a formação de camada branca com espessura média de 1 μm. Pode-se afirmar que o baixo teor de elementos de liga teve influência na formação e espessura da camada branca. Se esse mesmo estudo fosse avaliado para um aço ferramenta, por exemplo, apenas uma camada formada por zona de difusão estaria presente para as mesmas condições de nitretação. A zona de difusão apresentou uma espessura média de 10 μm.

O aço ABNT 4140 na condição temperada e revenida, apresentou um valor médio de dureza de 478 HV_{0,1}. Na condição nitretada a dureza aumentou para um valor médio de 750 HV_{0,1}. Essa dureza se encontra no intervalo de 650 a 1000 HV_{0,1}, que compreende um valor de dureza consistente para uma camada branca. O aço ABNT 4140, como recebida, apresentou uma dureza média de 240 HV_{0,1}.

Na condição temperada e revenida o aço ABNT 4140 apresentou um coeficiente de atrito médio de 0,50. Por outro lado, na condição nitretada, o coeficiente de atrito foi maior, em torno de 0,61. Ensaios realizados na condição nitretada, constatou-se uma estabilização do coeficiente de atrito. Em alguns casos essa estabilização era rápida, já em outros, havia uma tendência a estabilizar na metade do ensaio.

Quanto ao coeficiente de desgaste, houve uma redução significativa do mesmo na condição de tratamento nitretada. Isso pode ser confirmado pela profundidade da pista de desgaste, pois nenhuma das amostras alcançou o substrato do material.

De um modo geral, diante dos resultados experimentais obtidos e a partir das discussões apresentadas, a nitretação por plasma resultou num método de modificação superficial eficiente quando o objetivo é, principalmente, aumentar dureza superficial e melhorar resistência ao desgaste.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por: CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e pelo LABPLASMA (Laboratório de Plasma da UDESC).

6. REFERÊNCIAS

- Alves Junior, Clodomiro, 2006. "Nitretação a Plasma: Fundamentos e Aplicações". Natal: EDUFRRN, 2001.
Aparecida, E.; Milan, G.; Costa, C. E, 2015. "Acquired Properties Comparison of Solid Nitriding , Gas Nitriding and Plasma Nitriding in Tool Steels". Materials Research, v. 18, n. 1, p. 27–35.

- Cubberly, W., 1989. "Tool and Manufacturing Engineers". 4. ed. Dearborn: Desk Edition, 1250p.
- Czerwinski, Frank. "Heat Treatment - Conventional and Novel Applications". 4. ed. Hamilton: Intech. 420p.
- Kieckow, Flávio, 2008. "Caracterização das Superfícies e Regiões Interfaciais de Filmes Nanométricos de TiN/Ti/Aço AISI M2 Nitretado a Plasma". 107p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Pinedo, C. E., 2004. "Tratamentos Superficiais para Aplicações Tribológicas". Caderno Técnico Metalurgia & Materiais.
- Pye, David, 2003. "Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing". ASM International, 256 p.
- Recco, Abel André Cândido, 2008. "Estudo da Obtenção e das Propriedades dos Filmes de TiN e TiC Depositados sobre Aços Ferramentas AISI H13 e D2 Nitretados e Não Nitretados". 163p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Scholtz, Juliano Sadi, 2016. "Densificação de Plasmas Não Térmicos Proporcionada pela Maior Emissão de Elétrons Secundários dos Eletrodos". 263 p. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Catarina, Joinville.
- Silva, André Luiz V. da Costa e; Mei, Paulo Roberto, 2010. "Aços e Ligas Especiais". 3. ed. Sumaré: Blucher, 664p.
- Stryhalski, Joel, 2015. "Propriedades Óticas e Elétricas de Filmes de Óxido de Titânio Dopados com Nióbio". 127 p. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Física, Universidade Estadual de Santa Catarina, Joinville.
- Sun, Y.; Bell, T., 1991. "Plasma Surface Engineering of Low Alloy Steel". Materials Science and Engineering: A. Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing. Birmingham, p. 419-434.
- Vendramim, João Carmo, 2002. "Influência da Nitretação na Resistência a Fadiga por Flexão Rotativa de Molas para Válvulas Automotivas". Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Unicamp, São Paulo.
- Zambon, M. F. et al., 2010. "Influência da Temperatura na Nitretação Iônica dos Aços DIN16MNCr5, AISI-420 e SAE-4140". Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, São Carlos, v. 29, n. 2, p. 77-80.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF PLASMA NITRIDED ABNT 4140 STEEL

Bruna de Freitas Zappelino, zappelino.bruna@gmail.com¹

Maxwel Pedro, maxwelmp@hotmail.com¹

Júlio César Giubilei Milan, julio.milan@udesc.br¹

Luis Cesar Fontana, luis.fontana@udesc.br¹

César Edil da Costa, cesar.edil@udesc.br¹

Santa Catarina State University – UDESC, Laboratory of mechanical engineering – PGCEM/UDESC, Center of Technological Sciences – CCT / Paulo Malschitzki Street, University Campus Prof. Avelino Marcante - District: Zona Industrial Norte – Zip Code: 89225-100 – Joinville – SC – Brasil.

Abstract: The upward development of tribological coatings in recent years is largely due to the availability of new coating processes. By means of surface hardening techniques, thermochemical treatments become an effective and economical way of providing considerable performance in reducing wear, friction, corrosion in tools and mechanical systems. In the present study, ABNT 4140 steel samples were submitted to the plasma nitriding process. The objective of this study was to evaluate the mechanical and tribological behavior of the wear resistance of ABNT 4140 steel with and without plasma nitriding. All samples were previously quenched and tempered. In the thermochemical treatment of nitriding were controlled parameters of temperature, time and gas concentration. The nitrided layers characterization was done using optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM). Subsequently, the mechanical and tribological properties of the nitrided layers were determined from microhardness tests and pin-on-disk wear tests. By means of confocal microscopy it was possible to analyze the wear profile in order to obtain the wear coefficient. The compound layer minimal formation results allowed an excellent uniformity and superficial quality without the presence of the undesirable "edge effects" and layer displacement. The friction coefficient, from tests performed on pin on disk, showed an increase in comparison to the material without treatment. Another significant gain was the hardness and wear resistance properties, where the tenacious ABNT 4140 steel, added with a hard surface of nitriding presented excellent results of superficial hardness and a low wear coefficient.

Keywords: Plasma nitriding, compound layer, wear, hardness.