

## NITRETAÇÃO IÔNICA DE FERRO FUNDIDO NODULAR

F. S. Silva<sup>1</sup>, W. L. Guessser<sup>2</sup>, C. E. Costa<sup>3</sup>, L. C. Fontana<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Depto. de Engenharia Mecânica, <sup>4</sup>Depto. de Física, Centro de Ciências Tecnológicas,  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville/SC, Brasil, 89223-100  
Fones (0XX47)431-7244, (0XX47)431-7266, Fax (0XX47)421-7240

[silvafs@hotmail.com](mailto:silvafs@hotmail.com) , [wguessser@tupy.com.br](mailto:wguessser@tupy.com.br) , [dem2cec@joinville.udesc.br](mailto:dem2cec@joinville.udesc.br) , [fontana@udesc.br](mailto:fontana@udesc.br)

**Resumo** – Neste trabalho foi estudada a influência da temperatura de nitretação (400, 500 e 600°C) na formação da camadas de nitretos para o ferro fundido nodular pelo processo de nitretação iônica (por plasma). A atmosfera usada para esse estudo foi de 80%N<sub>2</sub> e 20%H<sub>2</sub> e foram comparadas matrizes perlíticas e ferríticas. Após o processo de nitretação as amostras foram analisadas por microscopia óptica (visualização da espessura das camadas de nitretos) e também por testes de microdureza.

**Palavras-chave:** Nitretação Iônica (por Plasma), Ferro Fundido Nodular, Temperatura, Matrizes Perlítica e Ferrítica.

**Abstract** – In this work the influence of nitriding temperature (400, 500 e 600°C) of ductile cast iron was studied in the formation of nitride layers, by ion (plasma) nitriding process. The atmosphere used for this studied was 80%N<sub>2</sub> and 20%H<sub>2</sub> and were compared perlite and ferrite matrices. After nitriding process the workpieces were analyzed by optical microscopy (visualization of nitride layers thickness) and also by microhardness tests.

**Key-words:** Ion (Plasma) Nitriding, Ductile Cast-iron, Temperature, Perlite and Ferrite Matrices.

## INTRODUÇÃO

A constante necessidade de se produzir componentes com elevadas propriedades mecânicas, utilizando materiais e processos de baixo custo, tem sido uma incessante busca tecnológica. A nitretação iônica é um processo de tratamento termoquímico, usado para endurecimento superficial de metais ferrosos e um crescente número de materiais não ferrosos como ligas de titânio e alumínio [1], pela obtenção de uma camada de nitretos, que eleva a resistência ao desgaste das superfícies tratadas [2].

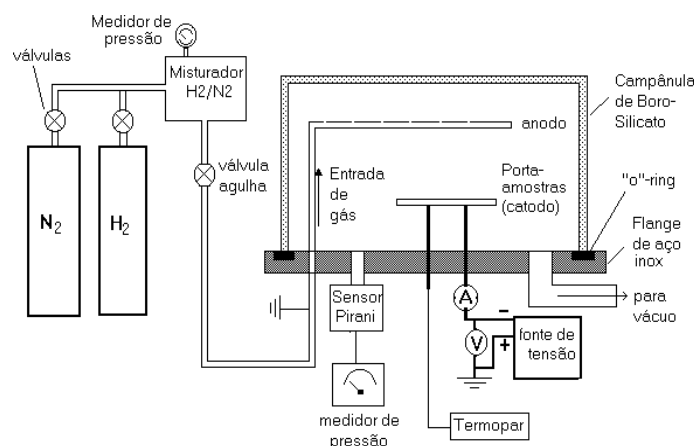
Os processos convencionais de nitretação (gasosa e líquida) são demorados e poluentes, enquanto a nitretação iônica é um processo mais rápido e não-poluente [3]. Além disso, não causa deformações estruturais significativas às peças tratadas, pois as temperaturas de tratamento são relativamente baixas [4].

O processo consiste em ionizar um gás ou mistura gasosa, contendo nitrogênio, através de uma descarga luminescente, gerada por uma diferença de potencial entre a amostra (catodo) e o anodo, em uma atmosfera a baixa pressão [5]. Os íons produzidos no plasma são acelerados em direção a amostra (catodo), chocando-se com ela e fornecendo energia suficiente para aquecê-la até a temperatura de nitretação [5].

Neste trabalho apresenta-se um estudo sobre a influência da temperatura (400, 500 e 600°C) na formação das camadas de nitretos, em matrizes perlítica e ferrítica de ferro fundido nodular, através do processo de nitretação iônica em atmosfera composta por 80% de  $N_2$  e 20% de  $H_2$ .

## METODOLOGIA

**Equipamento.** O equipamento utilizado para os experimentos de nitretação iônica no Laboratório de Física de Plasma da UDESC/Joinville pode ser dividido em quatro módulos principais: sistema de alimentação gasosa, sistema de vácuo, sistema de alimentação elétrica e câmara de descargas. O esquema de montagem do equipamento está descrito na figura 1.



**Figura 1. Esquema de montagem do equipamento usado para nitretação iônica.**

**Material.** Para a realização dos experimentos de nitretação iônica utiliza-se como material de estudo o ferro fundido nodular, cedido pela *Tupy Fundições S.A.* (colaboradora no projeto), cuja composição química é apresentada na tabela 1. Para obtenção da matriz ferrítica, faz-se um tratamento térmico de ferritização com duração de 4 horas a 700°C, em forno tipo mufla, com resfriamento ao forno até 600°C e posterior resfriamento ao ar forçado.

Tabela 1. Composição química da matriz perlítica de ferro fundido nodular.

Composição Química da Matriz Perlítica de Ferro Fundido Nodular (%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Sn	Cu	Mg
3,86	2,49	0,40	0,025	0,008	0,023	0,004	0,5	0,041

**Preparação das Amostras.** As amostras são cortadas sob refrigeração a partir dos blocos de ferro fundido nodular (matrizes perlítica e ferrítica). Procede-se a preparação das faces a serem nitretadas de cada amostra lixando-as, seqüencialmente, com lixas de granulação 100, 240, 400 e 600, sob refrigeração. Faz-se o polimento das faces a serem nitretadas utilizando óxido de alumínio como abrasivo. Lava-se as amostras em água e após em álcool, secando-as a seguir. Analisa-se as amostras no microscópio óptico, quanto a qualidade do polimento. As amostras são então furadas em uma das faces para possibilitar a fixação das mesmas no porta-amostras do equipamento. Finaliza-se a preparação das amostras lavando-as em tetracloroetileno (eliminação de impurezas), secando-as a seguir.

**Nitretação Iônica.** Antes de iniciar o processo de nitretação iônica, a câmara de descargas é evacuada até a pressão base da ordem de  $10^{-2}$  mbar. Faz-se a mistura gasosa (80%  $N_2$  e 20%  $H_2$ ) em um reservatório de gás. Regula-se o fluxo de gás na câmara de descargas através da abertura da válvula tipo agulha até se atingir uma pressão de trabalho de  $5 \times 10^{-1}$  mbar. Aplica-se uma diferença de potencial entre o anodo e o catodo até a produção de uma descarga luminescente. Com o aumento da tensão e/ou da pressão, atingi-se a temperatura desejada (400, 500 ou 600°C), iniciando a contagem do tempo de nitretação iônica e, controlando, a cada 15 minutos, os dados do tratamento (diferença de potencial, corrente, pressão e temperatura).

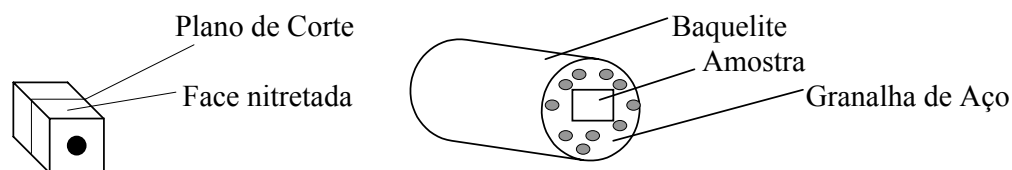


Figura 2. Plano de corte e amostra embutida.

**Análise das Amostras Nitretadas.** Para a análise de microdureza e metalografia, as amostras são cortadas, sob refrigeração, em um plano ortogonal ao da face nitretada e embutidas em baquelite, conforme é mostrado na figura 2. Procede-se a preparação das faces a serem analisadas de cada amostra lixando e polindo-as em óxido de alumínio até o grau óptico. As camadas nitretadas são reveladas através de ataque químico com nital 2%.

As medidas de microdureza Vickers são feitas em um microdurômetro Shimadzu HMV-2000, nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100 e 200  $\mu m$ , a partir da face polida,

com três impressões por profundidade, conforme a figura 3. Calcula-se a média de dureza em cada profundidade.

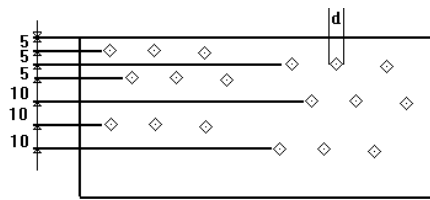


Figura 3. Metodologia para medição de microdureza Vickers.

## RESULTADOS

A seguir são apresentados as micrografias e os respectivos perfis de microdureza (da superfície em direção ao núcleo) para amostras de ferro fundido nodular perlítico e ferrítico, nitretadas durante duas horas, nas temperaturas de 400, 500 e 600°C, em atmosfera composta por 80%N<sub>2</sub> e 20%H<sub>2</sub>. Nas micrografias são observados os nódulos de grafita (regiões escuras) e a camada de nitretos (faixa mais clara próxima a superfície).

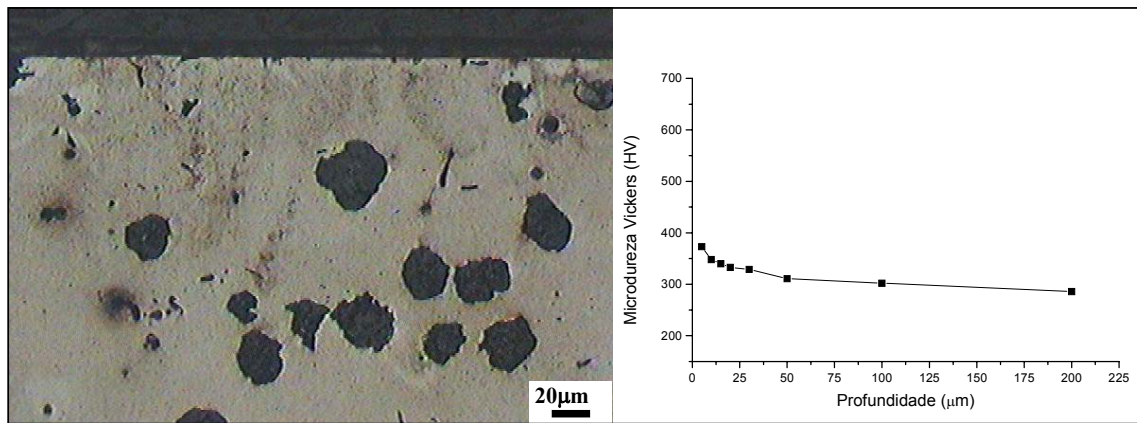


Figura 4. Micrografia da amostra de ferro fundido nodular de matriz perlítica nitretado a 400°C (Aumento 200x) e respectivo perfil de microdureza (HV).

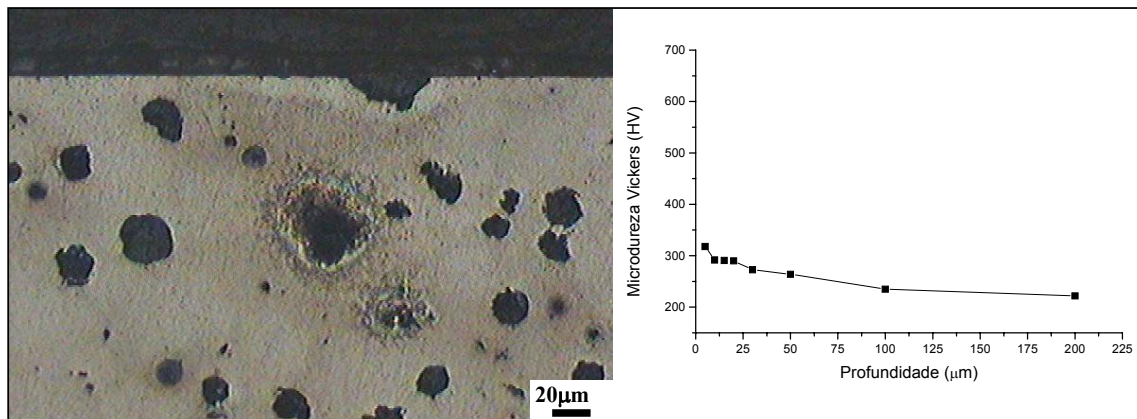


Figura 5. Micrografia da amostra de ferro fundido nodular de matriz ferrítica nitretado a 400°C (Aumento 200x) e respectivo perfil de microdureza (HV).

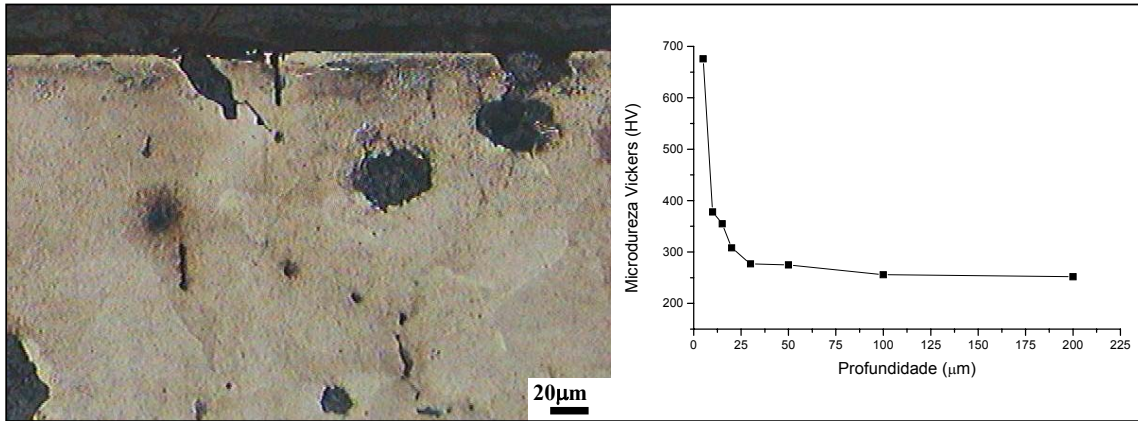


Figura 6. Micrografia da amostra de ferro fundido nodular de matriz perlítica nitretado a 500°C (Aumento 200x) e respectivo perfil de microdureza (HV).

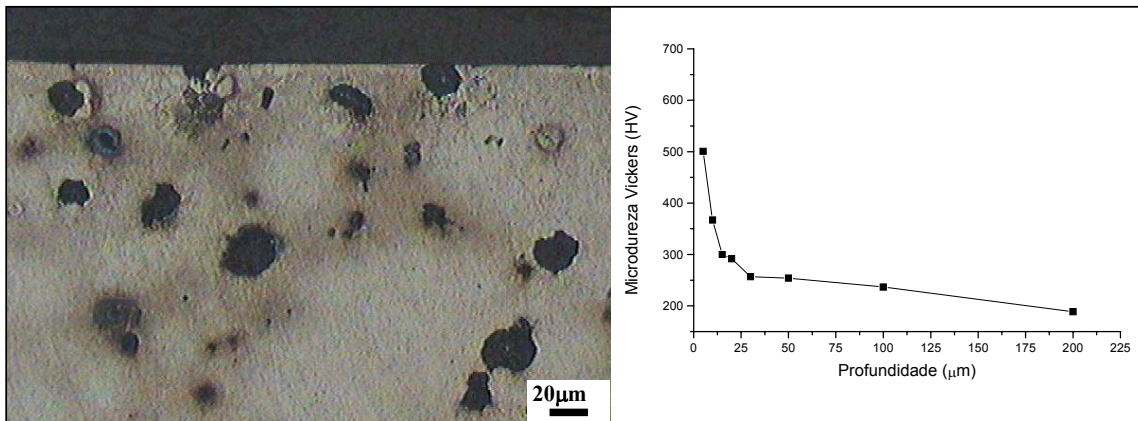


Figura 7. Micrografia da amostra de ferro fundido nodular de matriz ferrítica nitretado a 500°C (Aumento 200x) e respectivo perfil de microdureza (HV).

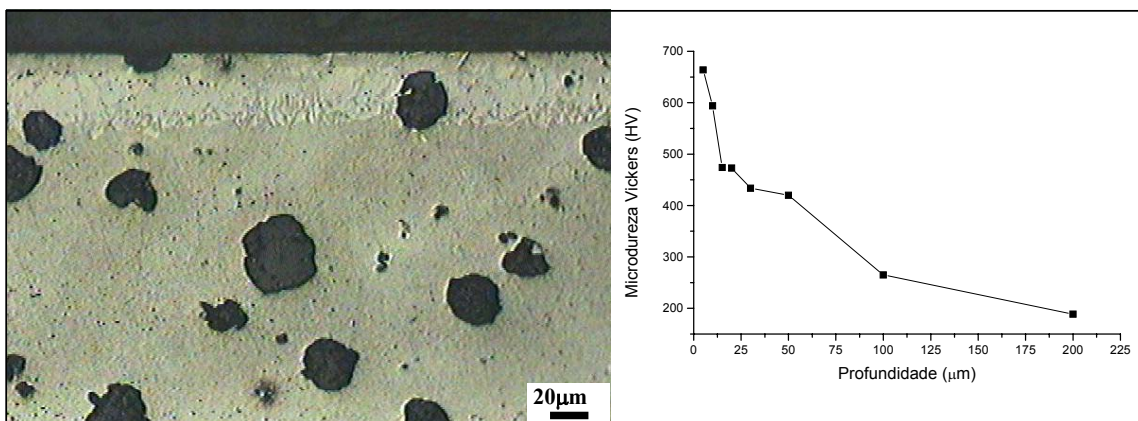


Figura 8. Micrografia da amostra de ferro fundido nodular de matriz perlítica nitretado a 600°C (Aumento 200x) e respectivo perfil de microdureza (HV).

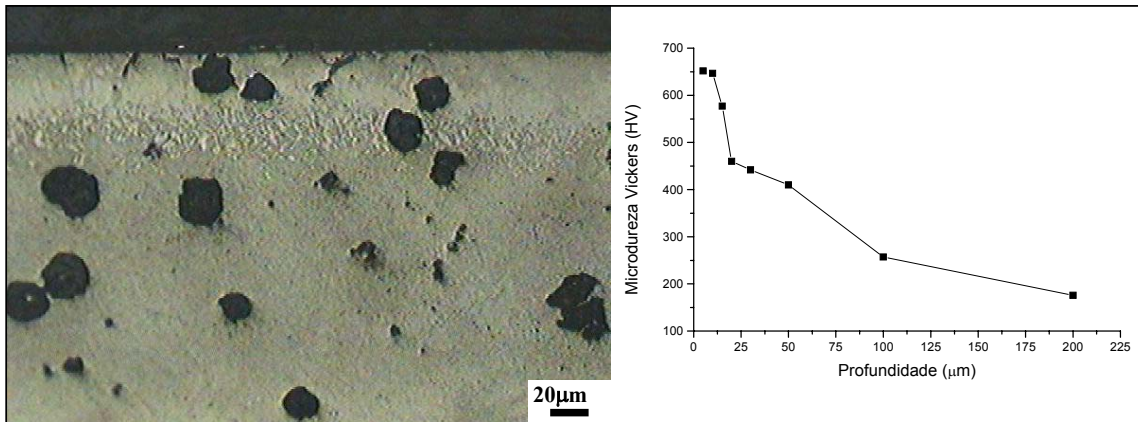


Figura 9. Micrografia da amostra de ferro fundido nodular de matriz ferrítica nitretado a 600°C (Aumento 200x) e respectivo perfil de microdureza (HV).

As figuras 10 e 11 mostram, respectivamente, comparativos dos perfis de microdureza Vickers, em função da temperatura de nitretação nas amostras de ferro fundido nodular de matrizes perlítica e ferrítica.

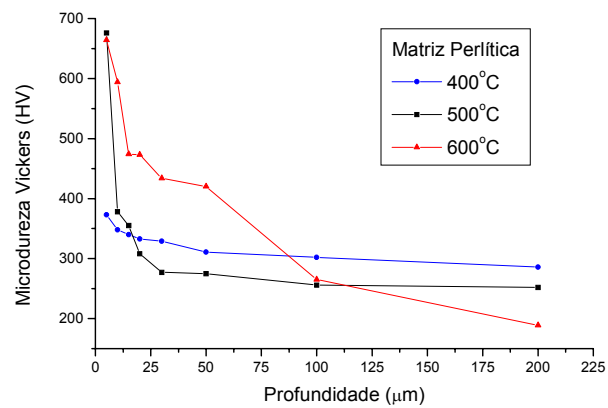


Figura 10. Comparativo dos perfis de Microdureza em função das temperaturas de nitretação nas amostras de ferro fundido nodular de matriz perlítica.

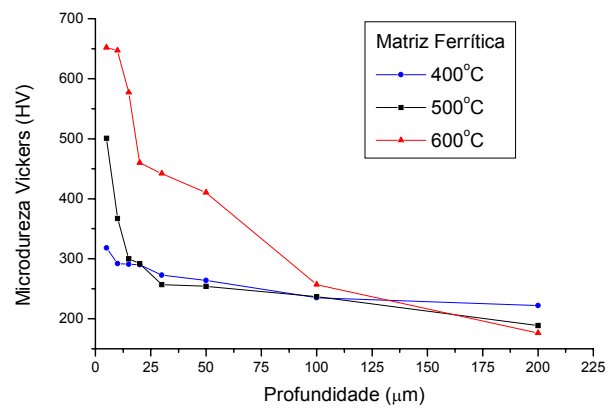


Figura 11. Comparativo dos perfis de Microdureza em função das temperaturas de tratamento nas amostras de ferro fundido nodular de matriz ferrítica.

## DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos observa-se que os valores de microdureza medidos nas camadas de nitretos são de 2,5 a 4 vezes maiores do que no núcleo das amostras. Isto pode ser observado claramente nos perfis de microdureza das figuras 6 a 9.

As micrografias das figuras 4 e 5, de amostras nitretadas a 400°C, revelam uma espessura muito fina das camadas de nitretos, tanto para a matriz perlítica como para a matriz ferrítica. Não há alteração significativa na microdureza superficial, porém a matriz perlítica apresenta um perfil de microdureza entre 15 a 30% mais elevado que na matriz ferrítica, como pode ser comparado nos perfis das figuras 4 e 5.

A 500°C a espessura das camadas de nitretos é de aproximadamente 5µm para ambas as matrizes (micrografias das figuras 6 e 7). Porém a matriz perlítica apresenta pontos onde a espessura das camadas chega a 10µm. Nos perfis de microdureza das figuras 6 e 7 é possível observar que a matriz perlítica possui microdureza maior (675 HV) do que a da matriz ferrítica (500 HV) a 5µm de profundidade. Há uma queda abrupta de microdureza em ambas as matrizes a partir deste ponto, ficando a microdureza da matriz perlítica aproximadamente 10% maior do que a da matriz ferrítica. No núcleo a microdureza da matriz perlítica é por volta de 35% maior do que a da matriz ferrítica.

A 600°C a espessura das camadas de nitretos é de aproximadamente 25µm, com microdureza de 650HV para ambas as matrizes (micrografias das figuras 8 e 9). Há uma queda suave da microdureza entre 25 e 50µm (durezas entre 500 e 400HV). A matriz ferrítica mantém o perfil de microdureza praticamente constante até 10µm onde observa-se, através da micrografia, a formação de uma outra espécie de camada que pode ser diferenciada pela sua coloração mais escura. A matriz perlítica sofre uma redução da microdureza no núcleo chegando a valores próximos aos da matriz ferrítica (perfis de microdureza das figuras 8 e 9).

A figura 10 mostra que apenas a 600°C a matriz perlítica sofre redução na microdureza do núcleo.

## CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permite a elaboração de algumas conclusões:

- Há um aumento na espessura das camadas de nitretos em função do aumento da temperatura de tratamento, como é visto nas micrografias das figuras 4 a 9;
- Amostras nitretadas a 400°C de ambas as matrizes, ferrítica e perlítica, apresentam camadas de nitretos muito finas, por isso não é possível estimar a microdureza na camada;
- Amostras nitretadas a 500°C de ambas as matrizes apresentam uma queda abrupta na microdureza a partir de 5µm de profundidade, o que indica que as camadas de difusão são finas;
- Amostras nitretadas a 600°C de ambas as matrizes apresentam camadas de nitretos com até 25µm de profundidade e microdurezas da ordem de 650HV estando em conformidade com a literatura [4], e uma camada de difusão entre 25 a 50µm de profundidade, com uma microdureza intermediária entre 500 a 400HV;

- Amostras de matrizes perlíticas nitretadas a 400 e 500°C apresentam um perfil de microdureza levemente mais elevado do que as de matriz ferrítica nitretadas na mesma temperatura. Isto deve-se ao fato da matriz perlítica apresentar maior dureza do que a matriz ferrítica;
- Amostras de matriz perlítica nitretadas a 600°C apresentam redução na microdureza do núcleo em função desta temperatura ser suficientemente alta para que haja início do processo de ferritização do material;
- A temperatura ideal para nitreção do ferro fundido nodular deve concentrar-se na faixa entre 450 a 550°C;

## AGRADECIMENTOS

**Tupy Fundições:** pelo apoio financeiro e fornecimento de amostras.

**Embraco:** pela disponibilização de seus laboratórios para caracterização de amostras.

## REFERÊNCIAS

- [1] MICHEL, H.; CZERWIEC, T.; GANTOIS, M.; ABLITZER, D.; RICARD, A. Progress in the Analysis of the Mechanisms of Ion Nitriding. SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY, 72, 103-111, 1995.
- [2] NICOLETTO, G.; TUCCI, A; ESPOSITO, L. Sliding wear behavior of nitrided and nitrocarburized cast irons. WEAR, v. 197, p. 38-41, 1996.
- [3] STAINES A.M.; BELL T. THIN SOLIDS FILMS, 86, 201-211, 1191.
- [4] \_\_\_\_ Surface Treatments – Nitriding. BCIRA TECHNOLOGY, p. 6-7, November (1991).
- [5] O'BRIEN J.M.; GOODMAN D. Plasma (Ion) Nitriding. ASM INTERNATIONAL, v. 4, p. 420-424, 1991.
- [6] CHAPMAN, B. Glow Discharge Processes. New York: Wiley-Interscience, 1980.
- [7] FONTANA, L. C. Nitreção Iônica em Aços de Baixo Carbono. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO (UFSC), 1991.
- [8] ZAPATA, W.C. Estudo Detalhado do Diagrama Fe-C – Metalografia do Aço e do Ferro Fundido. APOSTILA (UDESC), 2000.
- [9] ZAPATA, W.C. Tratamentos Térmicos dos Aços. APOSTILA (UDESC), 2000.
- [10] CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. ABM, 1983.