

TRATAMENTO TÉRMICO E SUPERFICIAL DO AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO AISI 420 DESTINADO A MOLDES PARA INJEÇÃO DE POLÍMEROS

PARTE II – TRATAMENTO SUPERFICIAL ¹

Carlos E. Pinedo ²

Aliada a sua capacidade de endurecimento no tratamento térmico de têmpera e revenimento, o aço AISI 420 possui excelente resposta ao tratamento termoquímico de nitretação. Neste caso, em especial, o processo de Nitretação sob Plasma é o indicado por possibilitar remover o filme de óxido passivo sem a necessidade do uso de reagentes químicos ou processos de remoção mecânica. Na Nitretação sob Plasma o filme passivo é removido por um bombardeamento iônico de intensidade elevada em uma etapa prévia à nitretação, durante o mesmo ciclo de tratamento. Metalurgicamente, a superfície nitretada possui um elevado potencial de endurecimento conferido pela precipitação de nitretos de cromo na zona de difusão. A dureza original do substrato aumenta de aproximadamente 380 - 500 HV (50 HRC) para cerca de 1500 HV (> 70 HRC) na zona nitretada. Neste aço em particular, a zona nitretada, ou zona de difusão, possui característica de crescimento plana o que confere a máxima dureza por toda sua profundidade. A resistência à corrosão pode ser mantida dependendo da microestrutura da superfície nitretada.

Palavras-chave: aço inoxidável martensítico, nitretação sob plasma.

¹ 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes - ABM, 21 a 23 de Setembro, São Paulo/SP.

² Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia Metalúrgica e Doutor em Ciências. Diretor Técnico da Heat Tech Tecnologia em Tratamento Térmico e Engenharia de Superfície.

1. INTRODUÇÃO

A nitretação é um tratamento termoquímico amplamente empregado no tratamento superficial de aços e ligas. As principais vantagens do processo são o aumento nas propriedades de desgaste de atrito, corrosão e fadiga [1]. Dentre os processos atuais de nitretação, a Nitretação sob Plasma é o processo mais versátil. A possibilidade de controle sobre a metalurgia da superfície nitretada é a vantagem mais importante do processo de plasma sobre os processos convencionais de nitretação líquida e gasosa [2,3]. Este controle é realizado pela correta seleção dos principais parâmetros do processo, como composição da mistura gasosa, temperatura e tempo. Atualmente, a geração de camadas duplex e híbrida tem ganhado importância [4], requerendo muitas vezes a utilização de nitretação prévia do substrato. Para o desenvolvimento de tais superfícies, o entendimento da resposta a nitretação por plasma do aço inoxidável martensítico é uma etapa importante para o desenvolvimento de uma superfície que atue como suporte aos revestimentos duros otimizando as propriedades de adesão.

Este trabalho apresenta as características de nitretação do aço inoxidável martensítico tipo AISI 420, amplamente utilizado em moldes de injeção e até o presente momento pouco utilizado em tratamentos de nitretação que combinem endurecimento, controle microestrutural da superfície e controle da qualidade superficial do molde após polimento ou texturização. O estudo da resposta a nitretação deste aço exige que este seja considerado como uma liga com elevado teor de cromo.

Como proposto na literatura, a presença de elementos de liga, particularmente os formadores de nitreto, tem uma influência decisiva nas características de endurecimento do substrato, na morfologia e na cinética da nitretação [5,6]. A influência dos elementos formadores de nitretos depende do grau de interação destes elementos com o nitrogênio. Elementos como Al e Ti possuem uma interação forte com o nitrogênio, enquanto que a interação do cromo é dependente de sua quantidade como elemento de liga. Até teores de 5,6 % em massa o cromo é considerado como tendo uma interação intermediária e acima deste teor a interação é considerada forte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado um aço inoxidável martensítico do tipo AISI 420, proveniente de uma barra recozida e de composição balanceada para o uso em moldes de injeção de polímeros e vidros. A composição química do material é fornecida na Tabela I. No estado recozido, a microestrutura é composta de uma matriz ferrítica com uma dispersão fina e homogênea de carbonetos esferoidizados.

Tabela I – Composição química do aço tipo AISI 420 (% em massa).

C	Mn	Si	Cr	Ni	V	N	P	S
0,40	0,50	0,95	13,50	0,21	0,27	0,0350	0,027	0,001

Antes da nitretação as amostras foram previamente temperadas e revenidas. Na têmpera, as amostras foram austenitizadas a 1025°C e resfriadas em óleo. Os revenimentos utilizaram duas temperaturas, 520 e 580°C objetivando durezas de partida de 50 e 38 HRC respectivamente. Os revenimentos foram duplos, de duas horas cada, com resfriamento ao ar.

A nitretação foi realizada em um reator de parede quente com fonte pulsada, dispondo de uma câmara de 400 mm de diâmetro e 850 mm de altura. Todos os parâmetros de processo como: fluxo gasoso, pressão, tensão, duração e repetição do pulso, temperaturas da amostra e parede e tempo, são controlados simultaneamente por um microcomputador.

Durante o ciclo de tratamento termoquímico, em uma etapa que antecede a nitretação, a superfície foi submetida a um bombardeamento iônico, sob um plasma de hidrogênio puro de alta intensidade. O objetivo deste bombardeamento é remover o filme de óxido Cr₂O₃ presente na superfície do aço inoxidável. Para a nitretação foram utilizadas temperaturas entre 480 e 560°C. Os tempos de tratamento variaram entre 4 e 16 horas, em séries isotérmicas e isócronas. A composição da mistura gasosa foi sempre 3N₂:1H₂. A temperatura da carga foi controlada por dois termopares posicionados em diferentes amostras da carga, objetivando um controle preciso da temperatura.

A superfície nitretada foi observada por Microscopia Óptica, após ataque com reagente de Nital 4%. A profundidade de nitretação foi determinada por medidas em analisador de imagens integrado a um banco metalográfico. Medidas de microdureza, utilizando cargas de 100g e 25 g, foram realizadas para determinar as características de endurecimento do substrato. Adicionalmente, foi utilizada microanálise por Energia Dispersiva (EDS) e difração de Raios-X (DRX) para a caracterização da superfície.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra microestrutura na superfície do aço AISI 420 após a nitretação. Verifica-se a formação da camada de compostos em todas as temperaturas estudadas. Com o aumento na temperatura de nitretação ocorre um aumento na espessura da camada de compostos. Na nitretação a 480°C a camada de compostos é incipiente, descontínua e a zona de difusão apresenta-se livre de precipitação de nitretos em contornos de grão. Na temperatura de 560°C a superfície apresenta uma camada de compostos nítida e contínua. A zona de difusão composta de nitretos precipitados em contornos de grão alinhados à frente de difusão de nitrogênio. A fração de nitretos em contorno de grão é maior junto da camada de compostos. Nos dois casos à frente de crescimento da zona de difusão apresenta uma interface plana com relação ao substrato. Em resultados anteriores em Microscopia Eletrônica de Varredura, observou-se que no crescimento da camada de compostos os carbonetos secundários permanecem embebidos na superfície e devem participar da resistência ao desgaste da superfície [7].

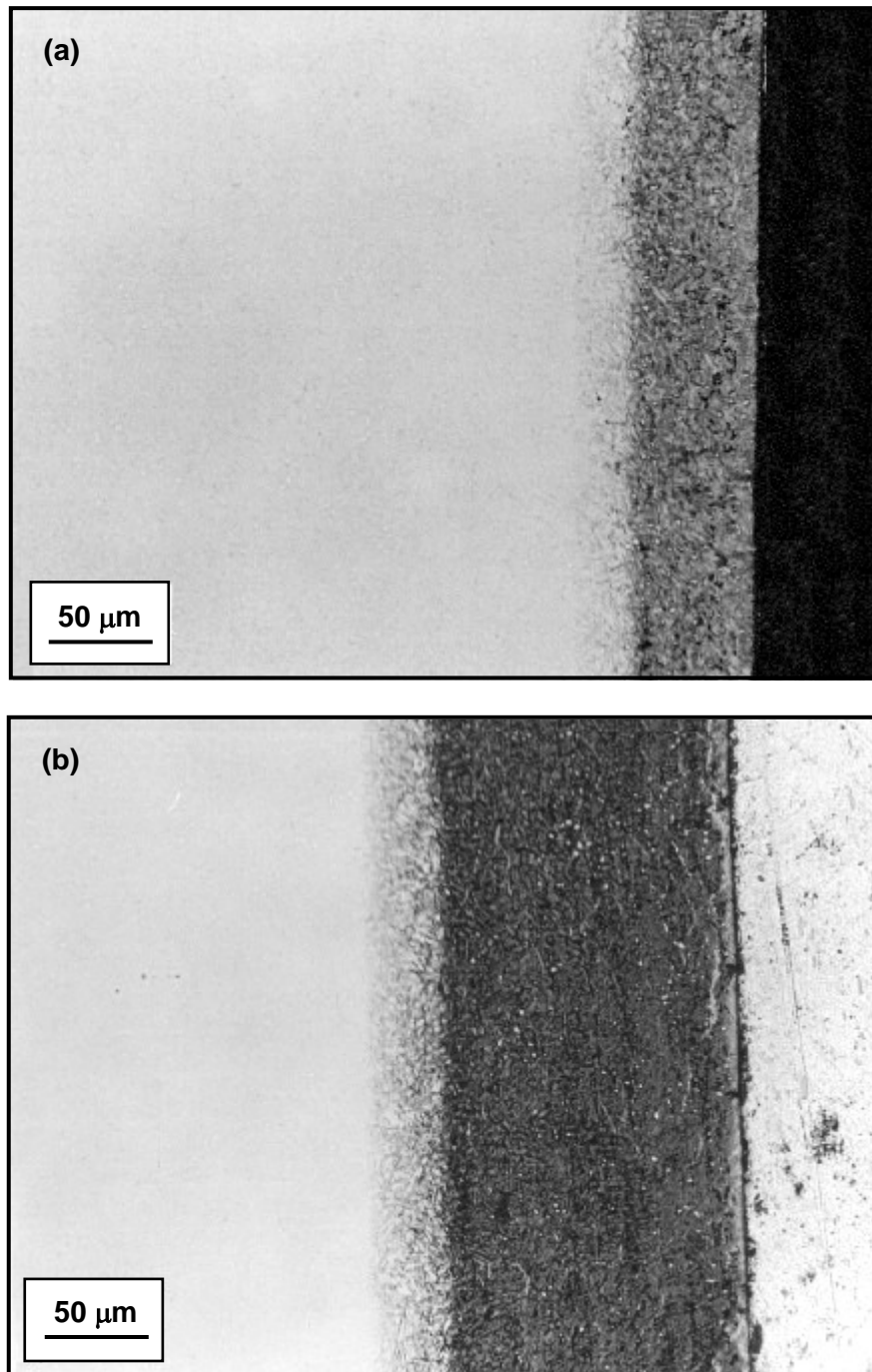


Figura. 1 – Microestruturas da superfície nitretada do aço AISI 420. Nitretação a 480°C (a) and 560°C (b). Nital 4%.

O espectro de Difração de Raios-X apresentado na Figura 2, para a amostra nitretada a 560°C por 4 horas, mostra que a camada de compostos é formada por nitretos do tipo, γ' -Fe₄N, ϵ -Fe₂₋₃N, Cr₂N e CrN. Como esperado, a forte interação entre Cr e N é suficiente para a formação dos nitretos de cromo que possuem um elevado poder endurecedor na matriz.

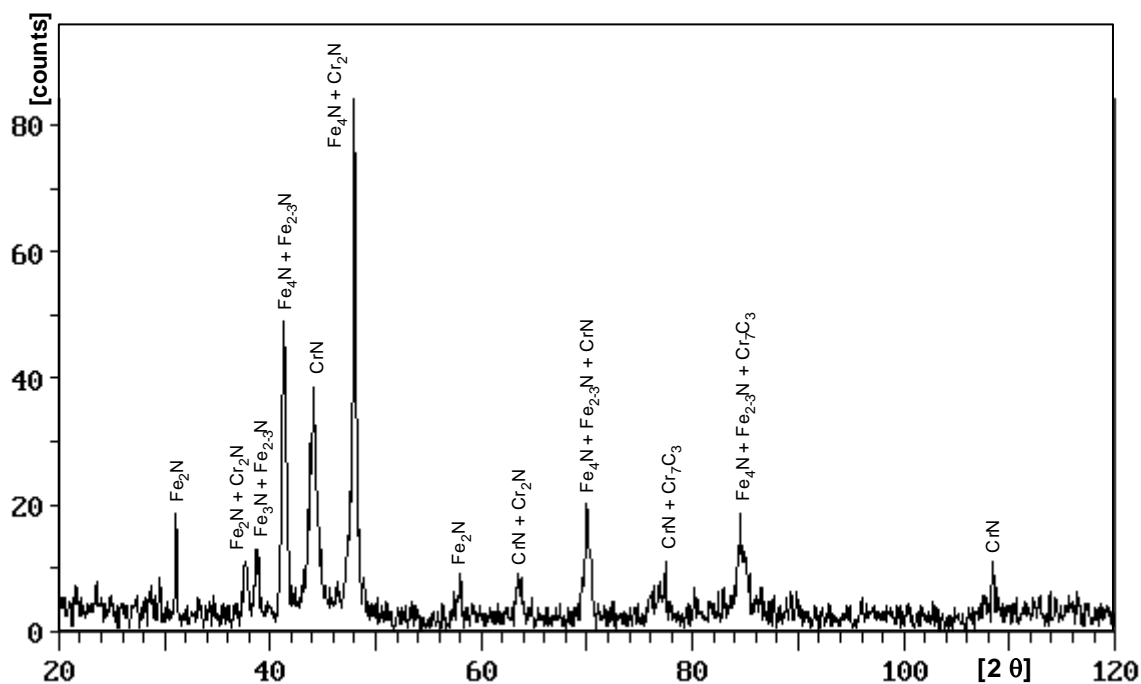


Figura 2 – Espectro de difração de Raios-X realizado na camada de compostos da amostra nitretada a 560°C.

Por microanálise em EDS verifica-se a diferença de concentração de nitrogênio medida a 80 μm de profundidade em amostras nitretadas a 480 e 560°C, Figura 3. Na amostra nitretada a 480°C a difusão de nitrogênio não foi suficiente para atingir 80 μm e o pico está ausente. De forma contrária, com o aumento da temperatura a difusão de nitrogênio é mais intensa e verifica-se um pico de elevada intensidade na mesma posição.

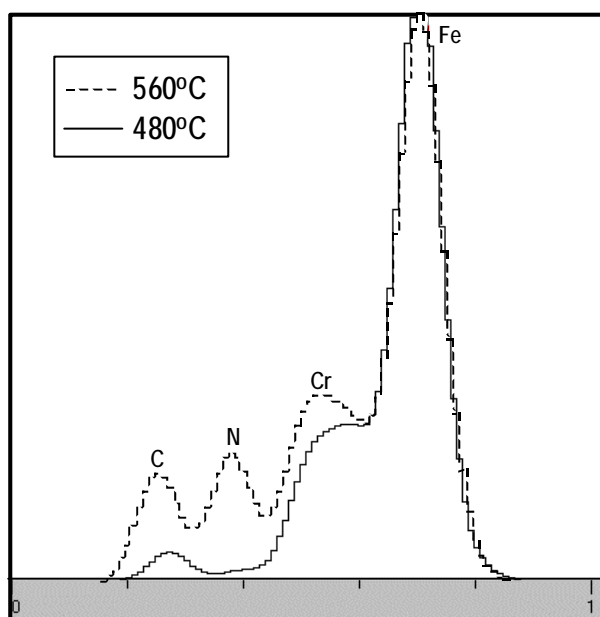


Figura 3 – Espectros de EDS em amostras nitretadas a 480 e 560°C, obtidos

na profundidade de $80\mu\text{m}$.

A Figura 4 mostra a característica de endurecimento superficial para a série isotérmica. Verifica-se um forte aumento da dureza máxima, a $0,02\text{ mm}$ de profundidade, de 1 para 4 horas de tratamento, seguido de uma diminuição desta dureza máxima para o tempo de 16 horas. Nesta série de tratamentos, a capacidade de endurecimento na nitretação é afetada por um efeito de super-revenimento do substrato. As amostras previamente revenidas a 520°C , para um valor de 500 HV , apresentam uma diminuição sensível na dureza do substrato como observado nos valores do perfil para a posição de $0,40\text{ mm}$ de profundidade, atingindo 350 HV para 16 horas na temperatura de nitretação. Este comportamento não se deve apenas ao tempo de exposição na etapa de nitretação, mas está relacionado ao tempo total em que o material permanece aquecido no ciclo completo de tratamento, ou seja, aquecimento/depassivação/patamar/resfriamento.

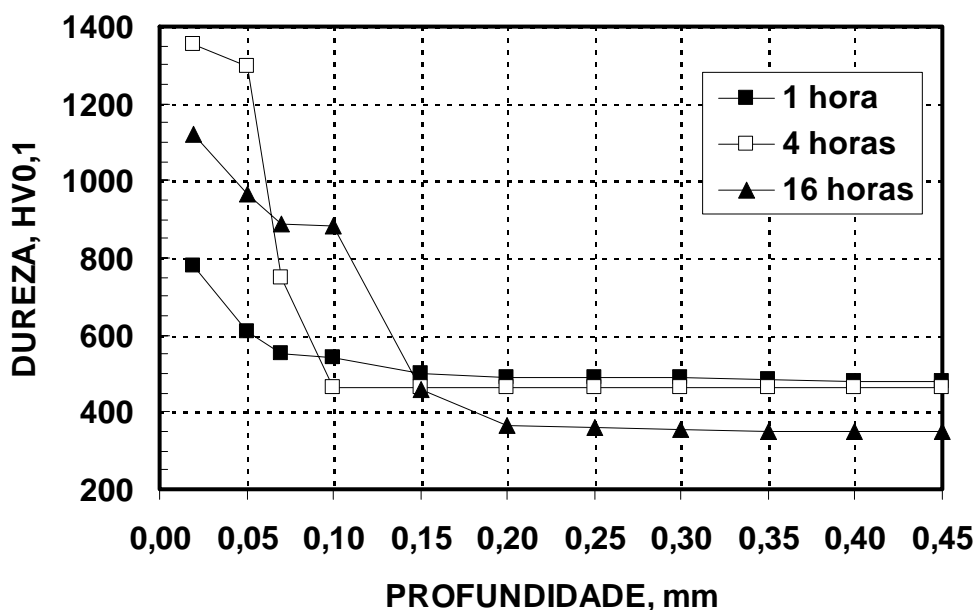


Figura. 4 – Perfis de microdureza determinados em cada condição de nitretação.

A Figura 5 apresenta as características de endurecimento para a série de tratamentos isócronos, em amostras previamente revenidas a 580°C com dureza de partida de 380 HV . A dureza máxima atingida de 1560 HV independe da temperatura de nitretação. Entretanto, o aumento da temperatura promove um aprofundamento da dureza máxima, gerando perfis de dureza deslocados para a direita. Os resultados mostram ainda que não se verifica alteração de dureza do substrato com o aumento da temperatura, já que a dureza a partir da posição de $0,20\text{ mm}$ permanece inalterada, igual a 390 HV . Este fato ocorre porque a temperatura de revenimento é sempre superior a temperatura de nitretação [8].

A principal característica destes perfis é a existência de um patamar de dureza máxima que se estende por toda a zona de difusão. À medida que a temperatura de nitretação aumenta a profundidade de endurecimento aumenta por consequência da maior difusão do nitrogênio para o interior do substrato. A dureza

máxima sofre uma queda abrupta na região da interface por consequência do mecanismo operante na formação da superfície nitretada [8-10].

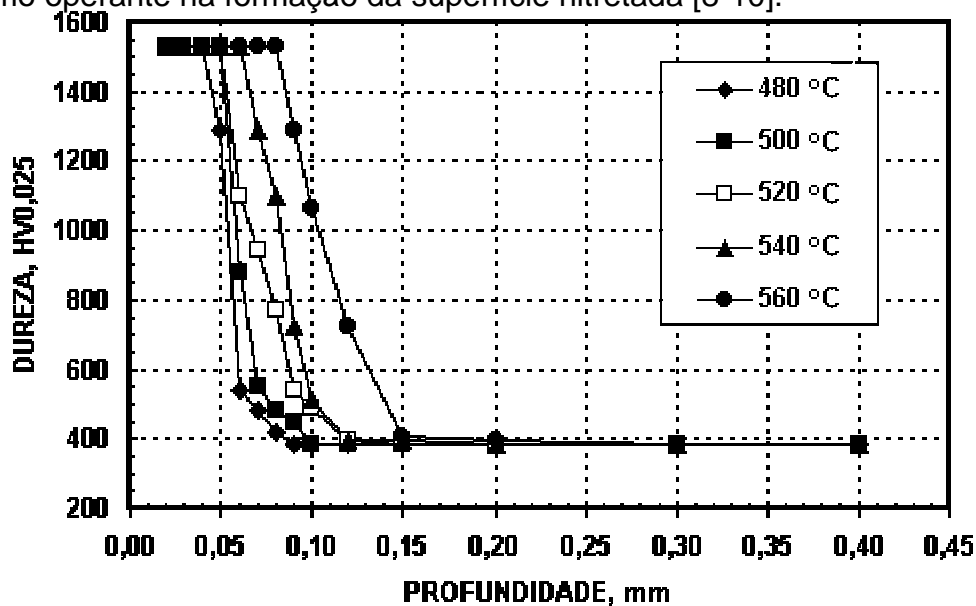


Figura 5 – Perfis de microdureza determinados para a série isotérmica.

A morfologia das superfícies nitretadas, em conjunto com os perfis de dureza, são resultado direto do mecanismo operante no sistema Fe-C-Cr do aço AISI 420 e são explicados pela forte interação existente entre cromo e nitrogênio durante a nitretação. De acordo com a literatura [4,5], ligas com elevado teor de cromo exibem uma interação entre o substitucional e o intersticial de caráter forte. Nestas condições ocorrem reações complexas de precipitação de nitretos de elemento de liga, CrN e Cr_2N , que envolvem a dissolução dos carbonetos presentes originalmente no substrato. Por efeito destas reações, a interface de nitretação de move com morfologia plana, visto que apenas o átomo intersticial se difunde e o deslocamento da interface somente ocorre após todas as reações de precipitação na frente de nitretação terem se completado. Portanto, o mecanismo de crescimento destas interfaces, no sistema de alto teor de cromo, resulta em uma interface do tipo plana ao invés do tipo difuso. O reflexo deste crescimento é evidenciado nos perfis de dureza encontrados neste trabalho.

4. CONCLUSÕES

Nas temperaturas estudadas a superfície nitretada é composta pela camada de compostos seguida da zona de difusão. A zona de difusão possui uma interface plana com o substrato, resultante do mecanismo de crescimento operante no processo.

Para substratos revenidos a 520°C , dureza inicial de 500HV, a nitretação a promove um efeito endurecedor para tempos de até 4 horas. Para tempos superiores ocorre o super-revenimento do substrato que diminui a dureza da matriz e interfere negativamente na nitretação.

Os perfis de dureza apresentam um patamar de dureza máxima em uma profundidade comparável a da zona de difusão. Na região da interface a dureza sofre uma queda acentuada em direção ao substrato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SUN, T. & BELL, T. – “Plasma Surface Engineering”, **Materials Science and Engineering**, V. 140, p. 419-434, 1991.
- [2] EDENHOFER, – “Physical and metallurgical Aspects of Ion Nitriding”, **Heat Treatment of Metals**, Part 1, p. 23-28, 1974.
- [3] PINEDO, C. E. – “Nitretação por Plasma”, Anais do **I Seminário internacional de Engenharia de Superfície**, Universidade de Mogi das Cruzes, p.13-26, 1995.
- [4] LEYLAND A. & A. MATTHEWS, in **5th International Conference in Advances in Surface Engineering**, Proc. Conf., São Paulo, Brazil, to be published.
- [5] JACK, D. H. – “Nitriding”, **Heat Treatment’73**, Proc. Conf., London, UK, 12 - 13 December, p. 39-50, 1973.
- [6] LIGHTFOOT, J. & JACK, D. H – “Kinetics of nitriding With and Without Compound layer Formation”, **Heat Treatment’73**, Proc. Conf., London, UK, 12 - 13 December, p. 59-65, 1973.
- [7] PINEDO, C. E. & MONTEIRO, W. A. – “Characterization of Plasma Nitrided Case on Martensitic Stainless Steel by Scanning Electron Microscopy”, **Acta Microscopica**, V. 1, Supplement A, pp. 315-316, 2001.
- [8] PINEDO, C. E. & MONTEIRO, W. A. – “Surface Hardening by Plasma Nitriding on High Chromium Alloy Steel”, **Journal of Materials Science Letters**, V. 20, N^o 2, pp: 147-149, 2001.
- [9] PINEDO, C. E. – “The Use of Selective Plasma Nitriding on Piston Rings for Performance Improvement”, **Materials & Design**, V. 24, pp: 131-135, 2003.
- [10] PINEDO, C. E. & MONTEIRO, W. A. – “On the Kinetics of Plasma Nitriding a martensitic Stainless Steel Type AISI 420”, **Surface and Coatings Technology**, V. 179, pp: 119-123, 2004.

HEAT AND SURFACE TREATMENT FOR THE MARTENSITIC STAINLESS STEEL TYPE AISI 420 USED ON PLASTIC MOULD PARTE II: SURFACE TREATMENT

Carlos Eduardo Pinedo²

The steel AISI 420 has a high response on hardening after the thermochemical nitriding treatment. The use of the plasma nitriding processes is, at first, important to remove the passive oxide layer from the surface and activate it to the next nitriding step. This depassivation is carried out under a high intensity hydrogen plasma. The high chromium content is the responsible by the high hardening effect observed after plasma nitriding. The hardness on surface increases from 500 HV, after quenching and tempering, to 1560 after plasma nitriding. The nitrided case has a flat interface as a consequence of the nitriding mechanism and kinetics.

Key words: martensitic stainless steel, plasma nitriding, and hardening.