

## Efeito da Carbonitretação Por Plasma na Resistência ao Desgaste Abrasivo de um Aço Maraging

**R. M. M. Riofano<sup>a</sup>\*, L. C. Casteletti<sup>a</sup>, G. F. Tremiliosi<sup>b</sup>, E. D. Francisco<sup>a</sup>, C. A. S. Bento<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, C.P. 440, 13566-590 São Carlos – SP, Brazil

<sup>b</sup>Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, C.P. 440, 13566-590 São Carlos – SP, Brazil

\*e-mail: romemuri@sc.usp.br

A resposta do aço “maraging” aos tratamentos superficiais de nitretação ou carbonitretação por plasma é excelente, devido a sua composição química, já que seus elementos favorecem a formação de nitretos mistos com o ferro, conferindo a esses aços maiores durezas superficiais, aumento de suas resistências ao desgaste e à fadiga, ampliando a sua faixa de utilização bem como a vida dos componentes fabricados com o mesmo. Visando-se um melhor conhecimento das características das camadas nitretadas e carbonitretadas, bem como sua resistência ao desgaste abrasivo, em função das temperaturas e tempos de tratamentos, no presente trabalho foram carbonitretadas por plasma amostras de aço “maraging” com a composição: 18Ni-4,2Mo-12,3Co-1,7Ti-Fe<sub>bal</sub>. variando-se essas condições de tratamento. As amostras foram submetidas a ensaios de abrasão do tipo “pino-sobre-disco” para determinação da melhor condição de tratamento com relação à resistência ao desgaste. Os resultados foram comparados com os obtidos em amostras nitretadas. As amostras carbonitretadas apresentaram melhora acentuada em suas resistências ao desgaste, sendo que as amostras nitretadas apresentaram o melhor desempenho.

**Palavras-chave:** Carbonitretação por plasma, Aço “Maraging”, Desgaste abrasivo.

### **Effect of the Plasma Carbonitriding on the Abrasive Wear Resistance of a Maraging Steel**

The maraging steels present excellent performance in the plasma carbonitriding treatment due to its chemical compositions that favors the carbonitrides formation, producing higher surface hardness and increasing its wear and fatigue resistance. In attempt to obtain a better knowledge of the characteristics of nitrified and carbonitrided layers, as well as its abrasive wear resistance samples of maraging steel with the composition: 18Ni-4,2Mo-12,3Co-1,7Ti-Fe<sub>bal</sub>. were treated and evaluated as a function of temperature and time of treatment. The samples were submitted to abrasive test of the type pin-on-disk. The results were compared to

that obtained in nitrided samples. The carbonitrided samples presented accentuated improvement in its wear resistance in comparison to that non carbonitrided. The nitrided samples presented the better performance.

**Keywords:** Plasma carbonitriding, Maraging steel, Abrasive wear

## Introdução

Os aços “Maraging” constituem-se numa classe de aços de ultra-alta-resistência ( $\sigma_e > 1400$  MPa) que se caracterizam por apresentarem a formação de martensita cúbica do tipo substitucional Fe-Ni, com baixos teores de carbono, e com dureza relativamente baixa (30-35 HRc)<sup>1-3</sup>.

A dureza máxima (55-57 HRC) é atingida com tratamentos posteriores de endurecimento pela precipitação dos compostos Ni<sub>3</sub>Ti, Ni<sub>3</sub>Mo, Fe<sub>2</sub>Mo e Fe<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>, na faixa de 450 a 550°C<sup>4</sup>. A variação dimensional decorrente deste tratamento é quase nula, o que permite que peças com formatos complexos e passíveis de trincas ou empenamentos nos tratamentos de têmpera, quando confeccionadas com aços convencionais, que apresentam martensita do tipo intersticial, possam ser usinadas no estado temperado quando fabricados com aços “maraging”, e posteriormente endurecidas. Peças dificilmente ou impossíveis de serem fabricadas com aços convencionais, podem ser obtidas utilizando-se os aços endurecíveis por precipitação.

Aços “maraging” são bem conhecidos pelas suas altas resistências, alta tenacidade à fadiga, alta relação resistência/peso, boa soldabilidade, boa usinabilidade na condição solubilizada e estabilidade dimensional durante o envelhecimento<sup>5</sup>.

A maior parte dos aços “maraging” produzida é utilizada em aplicações estruturais, e em componentes de máquinas de alto desempenho, uma vez que os mesmos apresentam elevada relação resistência/peso aliada à altas tenacidades, além das facilidades de fabricação e de soldagem.

Estes aços estão disponíveis há quatro décadas no mercado, porém nos últimos anos eles passaram por substancial melhora e refinamento através de pesquisas e aplicações ao nível mundial. Estes aços apresentam grandes vantagens sobre os aços convencionais, propriedades metalúrgicas muito melhoradas e comportamento previsível durante tratamentos

térmicos. Estas características tornam-os idealmente adequados para programas de qualidade total.

Algumas das aplicações, apresentadas a seguir, demostram o desempenho superior destes aços:<sup>6</sup>

- Carcaças de foguetes e de motores para usos espaciais.
- Barras de torção para o veículo de excursão lunar, que forneceram alta resistência à torção, sem perda nas propriedades na faixa de temperaturas de -157 a 149°C.
- Engrenagens para instrumento de navegação, sistemas de atuação e equipamentos para manuseio de cargas. (Engrenagens cilíndricas e planetárias foram usinadas na condição acabada, antes dos tratamentos térmicos. No caso do equipamento para manuseio de cargas, uma peça do mesmo, consistindo de cremalheira e pinhão, medindo aproximadamente 1 metro de comprimento por 10 centímetros de largura e 4 cm de espessura foram usinadas acabadas antes dos tratamentos térmicos. Durante o tratamento, elas mantiveram uma planicidade máxima de 0,0025 cm e uma variação de 0,0076 cm no comprimento. Nenhuma peça foi perdida no processo de manufatura. Anteriormente, as mesmas eram feitas de aço AISI 4340 e duravam 1 mês e com a utilização do “maraging” C-250, duraram 6 meses).
- Eixos propulsores para lanchas de competição. (, quando confeccionados com o aço C-250 apresentaram desempenhos superiores aos dos demais aços de alta resistência, devido à sua elevada tenacidade).
- A alta dureza dos aços “maraging” e seu acabamento espelhado, tornam-no adequado para moldes de injeção de plástico para a produção de viseiras para astronautas e cirurgiões.
- Matrizes para fundição sobre pressão de alumínio, incluindo o molde, guias e machos apresentam longa vida, com menores tendências a trincas térmicas nos resfriamentos intermediários. Suas altas resistências e tenacidades são os fatores de sucesso.

Apesar de seu custo superior ao dos demais aços utilizados para a confecção de matrizes, as facilidades de fabricação, tratamentos térmicos e desempenhos das matrizes, bem como ausência do sucateamento devido a tratamentos térmicos, diluem o seu custo final. O custo do material representa em média 5 a 20% do custo final da matriz, e os processos de manufatura 60 a 80%<sup>7,8</sup>.

Cerca de 10% da quantidade de aços “maraging” produzida e utilizada na produção de matrizes, principalmente as que apresentam as dificuldades de fabricação expostas

anteriormente, São também usados como insertos para matrizes submetidas a esforços elevados.

Muitas peças de plásticos são projetadas atualmente para substituírem componentes feitos de materiais metálicos ou cerâmicos. Para melhorar suas resistências mecânicas, esses plásticos são reforçados ou carregados com materiais altamente abrasivos, e os moldes usados para a produção de peças de plástico comuns não resistem às condições de desgaste decorrentes. Torna-se assim necessário o uso de tratamentos de endurecimentos superficiais, como a nitretação iônica, para o aumento da resistência à abrasão.

Endurecimento superficial é um método bastante utilizado também para se melhorar a resistência à fadiga e ao desgaste de aços. Os aços “maraging” podem ser nitretados e carbonitretados para a obtenção de uma melhora acentuada nessas características, bem como evitar o efeito de descamação, quando submetidos à abrasão<sup>9-11</sup>.

A nitretação ou a carbonitretação iônicas, torna-se as mais indicadas para o tratamento dos aços “maraging”, uma vez que permite uma faixa de variação nas temperaturas de tratamento e um controle adequado das características das camadas obtidas.

Visando-se um melhor conhecimento das características das camadas nitretadas e carbonitretadas, bem como suas resistências à abrasão, em função das temperaturas e tempos de tratamentos, foram carbonitretadas no presente trabalho amostras de aço “maraging” variando-se as condições de tratamento. Os resultados obtidos foram comparados com os obtidos anteriormente com tratamento de nitretação desse material<sup>12</sup>.

## Materiais e Métodos

Foram usinados corpos de prova de aço “maraging”, em forma de cilindro com diâmetro e altura de 10mm, cuja composição química é dada na Tabela 1. O aço foi recebido na condição solubilizada, com uma dureza de 35 HRc.

Tabela 1: Composição química do aço “maraging”.

Elemento Químico (% em peso)				
Ni	Mo	Co	Ti	Fe
18	4,2	12,3	1,7	Bal.

Anteriormente aos tratamentos de nitretação e carbonitretação as amostras foram envelhecidas durante 2 horas a 500°C.

As nitreções e carbonitreções por plasma foram realizadas em um reator cilíndrico de aço inoxidável de 300mm de diâmetro interno e 300mm de altura. A fonte possui tensão máxima de saída de 800V e corrente contínua com uma potência de 2kVA. Além da tensão contínua, pode-se obter uma tensão pulsada (onda quadrada) com freqüência variável de 1 a 10kHz.

Previamente a nitreção e carbonitreção as amostras foram lixadas e polidas mecanicamente e submetidas a um processo de limpeza com éter de petróleo em ultra-som durante 12 minutos. Após a introdução das mesmas no reator foi feito vácuo ( $\sim 6.65\text{Pa}$ ). A tabela 2 apresenta os parâmetros dos tratamentos termoquímicos de nitreção e carbonitreção por plasma.

Após os tratamentos de nitreção e carbonitreção as amostras foram cortadas transversalmente para observações metalográficas e ensaios de dureza.

Tabela 2- Parâmetros dos tratamentos termoquímicos utilizados

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Mistura de gases	Resfriamento
Nitreção por Plasma	500	3, 5 e 10	20%N <sub>2</sub> + 80%H <sub>2</sub>	vácuo
Carbonitreção por Plasma	500 550	3 e 5 3 e 5	20%N <sub>2</sub> +78%H <sub>2</sub> +2%CH <sub>4</sub>	vácuo

Para os ensaios metalográficos, as amostras foram lixadas com lixas de granulometria 80, 150, 220, 320, 400, 600 e 1200. O polimento foi feito com alumina de 0,05μm. Para o ataque metalográfico foi usado o reagente Nital 5%.

Os valores de durezas e espessuras das camadas foram obtidos, utilizando-se um microduriômetro Vickers modelo Micromet 2104 – Digital. As durezas foram obtidas com carga de 25 e 50 gf. Para as correlações de dureza-profundidade várias identações foram feitas em cada profundidade, de acordo com a norma JIS G0562 “Standards update – Method of Measuring Nitrided Case Depth for Iron and Steel”.

As amostras foram ensaiadas em máquina de desgaste abrasivo de tipo “pino-sobre-disco” usando-se lixa com grana 500. Cada ensaio foi realizado em um total de 2000 giros. Cada amostra foi limpa e pesada (balança de precisão de 0,1mg) a cada 200 giros, relacionando-se a massa inicial (M<sub>i</sub>) e a massa final a cada 200 giros (M<sub>f</sub>) para a obtenção das curvas de desgaste. Os ensaios foram realizados em um ambiente seco, usando uma carga de 320g e com velocidade de rotação de 45rpm.

## Resultados e Discussão

Os perfis de dureza em função da profundidade das camadas nitretadas e carbonitretadas são mostradas nas figuras 1 e 2 para todas as condições de tratamento. Verifica-se que as camadas obtidas na carbonitretação apresentaram valores de durezas superiores aos alcançados nas amostras nitretadas.

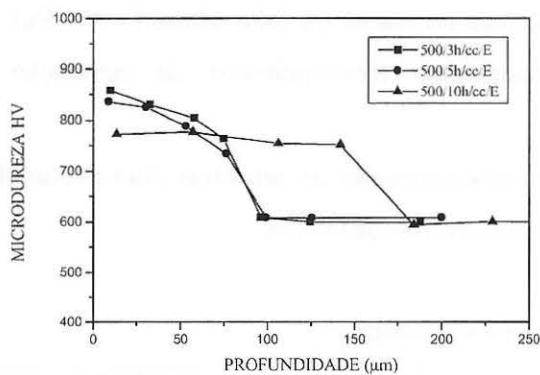


Fig. 1- Perfis de dureza das amostras nitretadas por plasma.

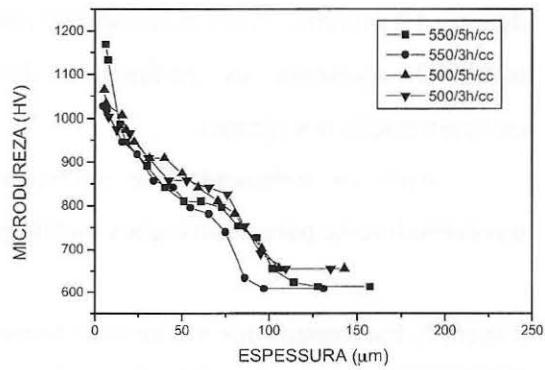


Fig. 2- Perfis de dureza das amostras carbonitretadas por plasma

As figuras de 3 a 5 mostram as microestruturas das camadas nitretadas. Verifica-se a grande espessura e uniformidade das camadas de difusão obtidas.

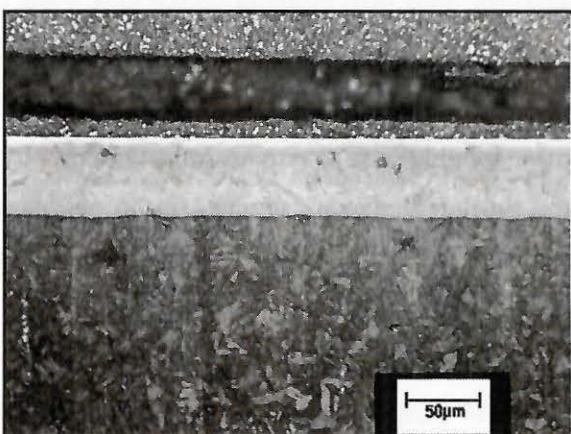


Fig. 3- Microestrutura da amostra ionitretada 3 horas a 500°C.

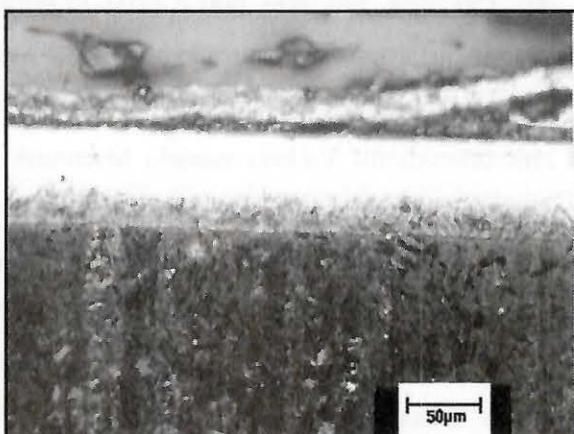


Fig. 4- Microestrutura da amostra ionitretada 5 horas a 500°C.

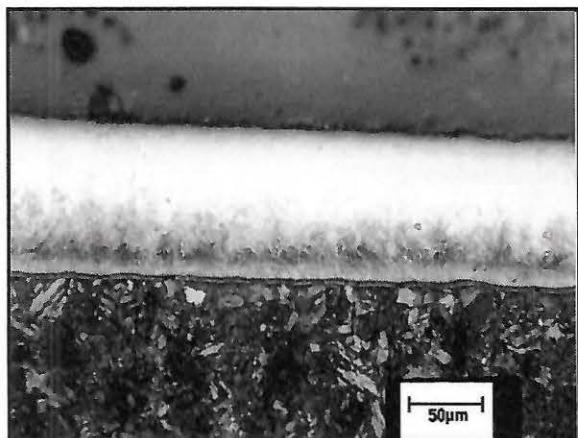


Fig. 5- Microestrutura da amostra ionitretada 10 horas a 500°C.

Nas figuras 6 a 9 são apresentados as fotomicrografias da liga carbonitretada em diferentes condições de tratamento. A matriz constituía-se de martensita substitucional Fe-Ni e a camada de difusão é também espessa e uniforme, como no caso das amostras nitretadas.

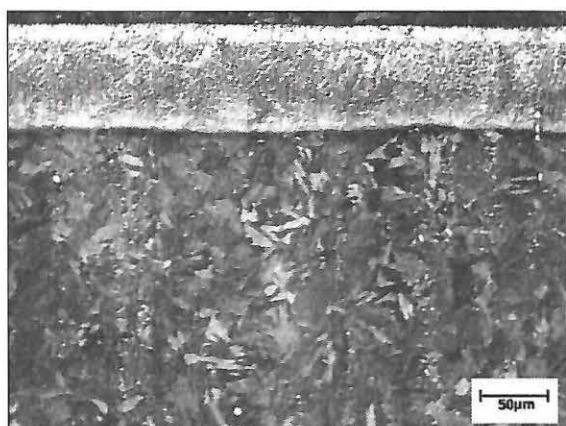


Fig. 6- Microestrutura da amostra carbonitretada por plasma 3 horas a 500°C.

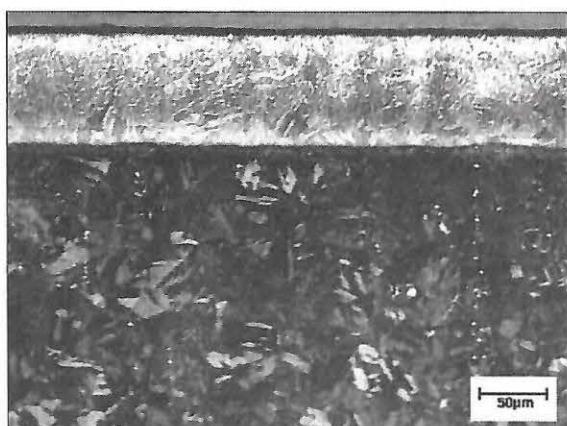


Fig. 7- Microestrutura da amostra carbonitretada por plasma 5 horas a 500°C.

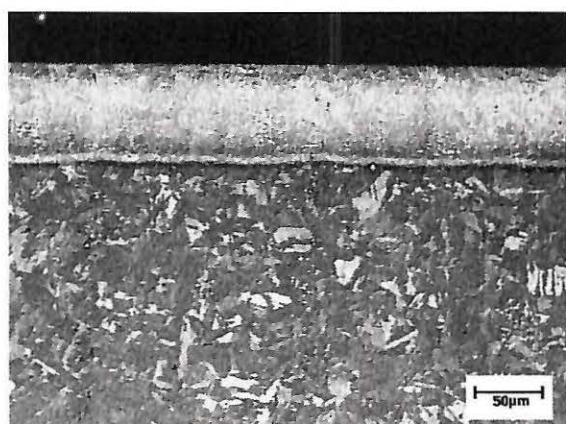


Fig. 8- Microestrutura da amostra carbonitretada por plasma 3 horas a 550°C.

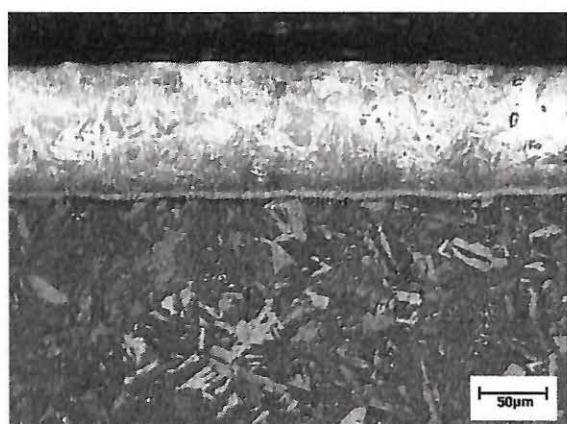


Fig. 9- Microestrutura da amostra carbonitretada por plasma 5 horas a 550°C.

As figuras 10 e 11 apresentam os resultados dos ensaios de abrasão das amostras nitretadas e carbonitretadas por plasma.

O tratamento de carbonitretação foi efetivo no aumento da resistência ao desgaste das ligas em duas condições de tratamento.

As amostras carbonitretadas apresentaram, nas condições de ensaio, resistências ao desgaste inferiores aos das amostras nitretadas, apesar de terem seus níveis de dureza superiores. Tal comportamento pode estar associado a uma maior fragilidade da camada de carbonitretos.

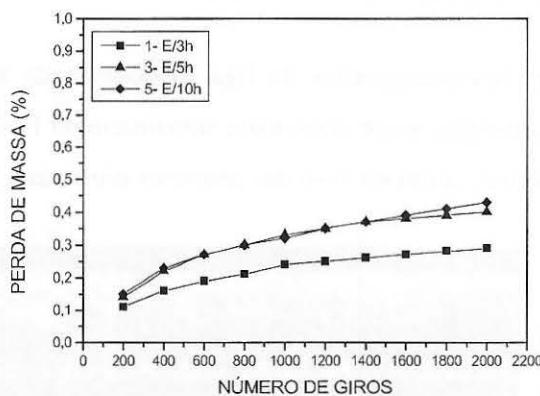


Fig. 10- Resultado dos ensaios de abrasão das amostras nitretadas por plasma

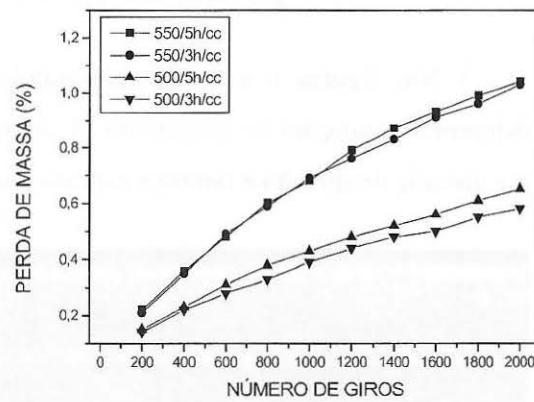


Fig. 11- Resultado dos ensaios de abrasão das amostras carbonitretadas por plasma

## Conclusões

As amostras apresentaram a formação de camadas de difusão espessas e uniformes com carbonitretos, com durezas superiores às obtidas em tratamento de nitretação.

O tratamento de carbonitretação aumentou a resistência ao desgaste da liga para duas condições de tratamento.

A resistência ao desgaste abrasivo das amostras carbonitretadas foi inferior ao das amostras nitretadas, devido provavelmente à maior fragilidade das suas camadas.

## Referências Bibliográficas

- 1- Decker, R. F. et al. – “*The Maraging Steels*”. Materials in Design Engineering v. 55, n. 5, 1962, p. 106-111.
- 2- Floreen, S. – “*Maraging Steels*” in Metals Handbook – Ninth Edition, v. 1, Properties and Selection: Irons and Steels, ASM, 1978, p. 445-452.
- 3- Ahmed, M. et al. – “*Influence of Nickel and Molybdenum on the Phase Stability and Mechanical Properties of Maraging Steel*”. Journal of Materials Engineering and Performance, v. 3, n. 2, April, 1994, p. 248-254.
- 4- Ahmed, M. et al. – “*Influence of Annealing on Texture and Magnetic Properties of 18% Nickel, 2400 MN m<sup>-2</sup> Grade Maraging Steel*”. Materials Science and Technology, v. 11, December, 1995, p.1281-1286.
- 5- Tewari, R. Et al. “*Precipitation in 18 wt% Ni Maraging Steel of Grade 300*”. Acta Mater. 48, p. 1187-2000.
- 6- Heberling J. M. – “*Maraging Stels: A Dependable Alloy*”. Heat Treating, v. 25, n. 9, September, 1993, p. 22-24.
- 7- Bengtsson, K. et al. – “*Heat Treatment of Hot Work Dies Using Different Techniques*”. Heat Treatment and Surface Engineering – New Technology and Practical Applications – Conference Proceedings. ASM International, 1988, p. 189-193.
- 8- Staff Report. – “*Tool Steels for Injection Molds*”. Advanced Materials & Processes, v. 141, n. 6, June, 1992, p. 17-21.
- 9- Graae, A. - “*How to Nitride Maraging Steel*”. Source Book on Nitriding, Compiled by ASM, Metals Park, Ohio, 1977, p. 221-223.
- 10- SeabrookK, J. B. – “*Working with Maraging Steels...Nitriding*”. Source Book on Nitriding Compiled by ASM, Metals Park, Ohio, 1977, p. 224-226
- 11- Osbaysal, K. et al. – “*Preparation Hardening of marage Grade Steels During ion Nitriding*”. Ionitriding and Ion Carburizing International Conference on Ion Nitriding/ Carburizing, ohio, USA, 18-20sept, 1980, p.91-98.
- 12- Riofano, R. M. M. et al., “*Avaliação da Resistência à Abrasão e Análise Metalográfica de Aço “Maraging” Nitretado por Plasma*”. In: 9<sup>th</sup> Meeting of portuguese Materials Society – Materials’99, Portugal, 1999. Anais V2, p. 2-34 a 2-28.

