

Nitretação à plasma do aço AISI 4140: Influência do potencial de nitrogênio na formação das camadas de compostos e difusão

Plasma nitriding of AISI 4140 steel: Influence of the nitrogen potential on the formation of the compound and diffusion layer

Daniela Rosso¹, Euclides Alexandre Bernardelli².

RESUMO

O aço AISI 4140 é um aço baixa liga, que tem aplicações diversas na indústria e por sua composição pode ser facilmente nitretado. A nitretação deste aço resulta em um aumento da dureza, da resistência à corrosão, à fadiga e ao desgaste. Com isto, esse trabalho tem como objetivo realizar a nitretação a plasma utilizando diferentes potenciais de nitrogênio visando controlar a formação da camada de compostos e de difusão. A pesquisa consiste no controle da porcentagem de nitrogênio no intervalo 2P0218 (2 horas de fluxo pulsado, com fluxo de nitrogênio acionado durante dois minutos e ausente durante 18 minutos). Os resultados de dureza mostram que com o aumento da porcentagem de N₂ no tratamento há também um aumento no valor de dureza do aço, já pelos resultados de DRX observa-se que aumentando essa porcentagem, haverá a formação da fase Fe₄N (γ') na superfície das amostras. Pode-se concluir que o aumento da porcentagem de N₂ para o intervalo 2P0218 afeta a dureza, as camadas e as fases presentes no aço.

PALAVRAS-CHAVE: AISI 4140; Fluxo de nitrogênio; Nitretação.

ABSTRACT

AISI 4140 steel is a low alloy steel, which has diverse applications in industry and due to its composition it can be easily nitrided. Nitriding this steel results in increased hardness, resistance to corrosion, fatigue and wear. Therefore, this work aims to carry out plasma nitriding using different nitrogen potentials in order to control the formation of the compound layer and diffusion. The research consists of controlling the percentage of nitrogen in the 2P0218 interval (2 hours of pulsed flow, with nitrogen flow activated for two minutes and absent for 18 minutes). The hardness results show that with the increase in the percentage of N₂ in the treatment there is also an increase in the hardness value of the steel. From the XRD results, it is observed that increasing this percentage will result in the formation of the Fe₄N (γ') phase on the surface of the samples. It can be concluded that increasing the percentage of N₂ for the 2P0218 range affects the hardness, layers and phases present in the steel.

KEYWORDS: AISI 4140; Nitrogen Flow; Nitriding.

1. INTRODUÇÃO

O aço AISI 4140 é classificado como um aço-liga, com médio teor de carbono. Tipicamente, esse tipo de aço pode ser tratado termicamente por diferentes tratamentos, como a têmpera a austenitização, mas é mais comumente empregado em condição revenida. É um aço amplamente utilizado na indústria, suas principais aplicações são engrenagens, eixos, parafusos, entre outros. Pesquisas anteriores revelaram que a nitretação à plasma resulta em um aumento significativo da microdureza do AISI 4140, além de benefícios para a resistência à corrosão por causa das camadas nitretadas formadas a partir desse processo de tratamento termoquímico. Durante a nitretação á

¹ Bolsista do CNPQ. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: danielarosso@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9842854997066881>.

² Docente no Curso/Departamento/Programa. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: EBernardelli@UTFPR.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1401813353998748>.

plasma, alguns parâmetros são controlados para que haja uma uniformidade nos resultados, podem ser citados como exemplo a pressão, o tempo e a temperatura.

Em 2017, no trabalho de Sphair (2017), baseado no trabalho de Bernardelli et al (2011), propôs uma rota alternativa para controle da formação da camada nitretada do aço inoxidável ISO 5832-1. Neste, foi utilizado um fluxo pulsado de nitrogênio como forma de alterar o potencial de nitrogênio durante a nitretação e assim controlar a formação da camada nitretada. Os resultados obtidos foram controle da dureza, do crescimento e da porcentagem de nitrogênio nas camadas.

No trabalho de Gonçalves e Souza (2022) nitretando o aço AISI 4140, foi empregado o fluxo pulsado de nitrogênio utilizando porcentagens de 45 a 95% de N₂, sendo a temperatura de tratamento de 400 °C, 450 °C e 500°C. Como resultado obteve-se camadas de compostos finas e irregulares, o trabalho também conclui que o fluxo pulsado de nitrogênio é efetivo para a não formação de camadas nitretadas, dependendo dos parâmetros utilizados. É citado também, como uma sugestão de trabalhos futuros, o estudo de fluxo pulsado com a concentração de 20 a 45%.

Com isto, neste trabalho optou-se por utilizar fluxo pulsado de nitrogênio variando a concentração de nitrogênio, utilizando 20, 30 e 40% de N₂.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do tratamento, foram cortados 12 amostras do aço AISI 4140 com disco diamantado na cortadora de precisão IsoMet 4000, com espessura de 6 mm cada. Em seguida, as amostras passaram por um tratamento de têmpera a uma temperatura de 870°C por 20 minutos, seguido de resfriamento em óleo para evitar trincas e defeitos na peça. Posteriormente, as amostras foram submetidas a um processo de revenimento a 150°C durante uma hora.

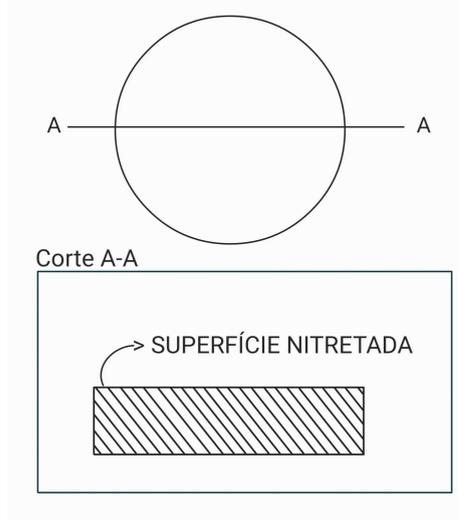
Após a conclusão dos tratamentos térmicos, as amostras foram submetidas a uma preparação metalográfica com procedimentos de lixamento e polimento, a fim de obter maior qualidade na análise topográfica das peças, sendo assim, foi feito um processo de lixamento em todas as superfícies, utilizando uma lixa de granulometria 220 mesh. Após esse procedimento, a superfície que seria diretamente nitretada que recebeu lixamento adicional até atingir uma granulometria de 1200 mesh, seguido por um polimento com alumina de 1 µm. Ademais, todos os procedimentos de limpeza e secagem necessários foram realizados, visando o controle de qualidade para a devida preparação das amostras para o processo de nitretação a plasma.

As nitretações foram realizadas no Laboratório de Plasma da UTFPR Curitiba, utilizando um reator de plasma de parede fria, e uma fonte contínua pulsada, na qual os parâmetros ton (tempo de pulso ligado), toff (tempo de pulso desligado) foram ajustados durante o processo. Foram utilizadas 3 amostras em cada nitretação, posicionadas equidistantes no cátodo.

As condições utilizadas foram de aquecimento durante 30 minutos, seguido de 2 horas de nitretação na qual foram realizados 6 ciclos de 20 minutos, sendo 2 minutos com fluxo de N₂ e 18 minutos com fluxo desligado (2P0218), finalizado com um resfriamento com fluxo de gás hidrogênio até atingir a temperatura de 150°C.

Para a realização de imagens da camada nitretada e a análise de microdureza das amostras depois de finalizada a nitretação, foi realizado um corte de perfil de uma das amostras de cada experimento, como exemplificado na Figura 2.

Figura 1 : Esquema para corte e realização da microdureza nas amostras

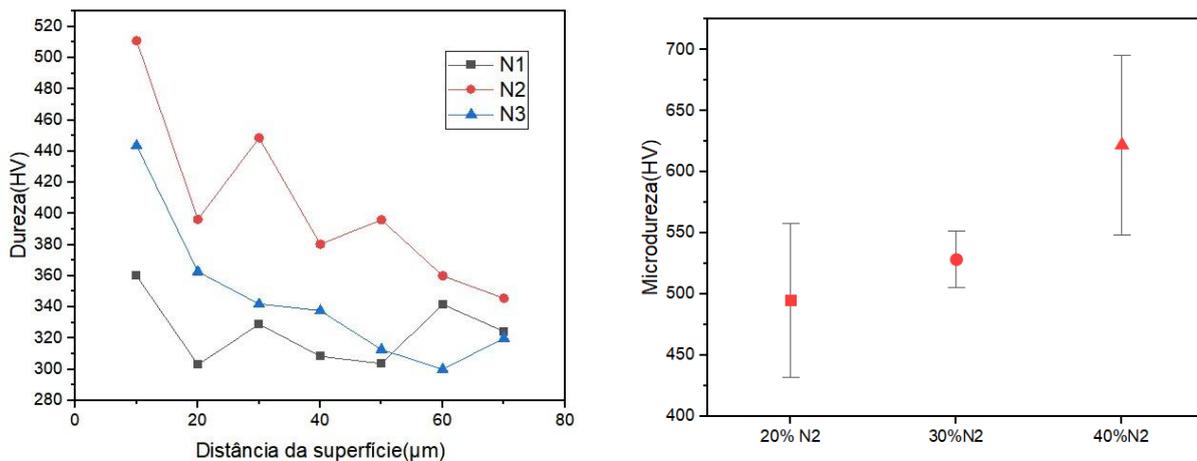


Fonte: Autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A microdureza das amostras foram analisadas, tanto a superfície nitretada das amostras quanto o perfil. Sendo as de perfil com distâncias de 10 μm cada, como mostra a Figura 3.

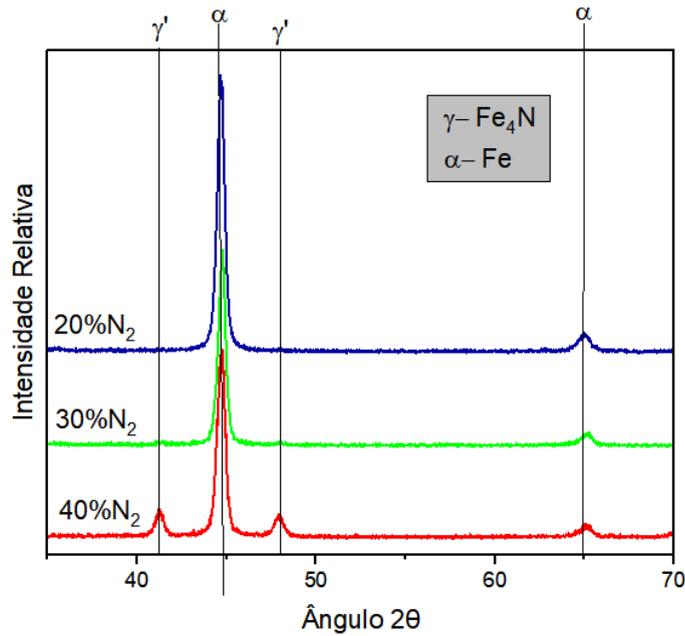
Figura 2 : Microdureza do perfil e da superfície das amostras



Fonte: Autor

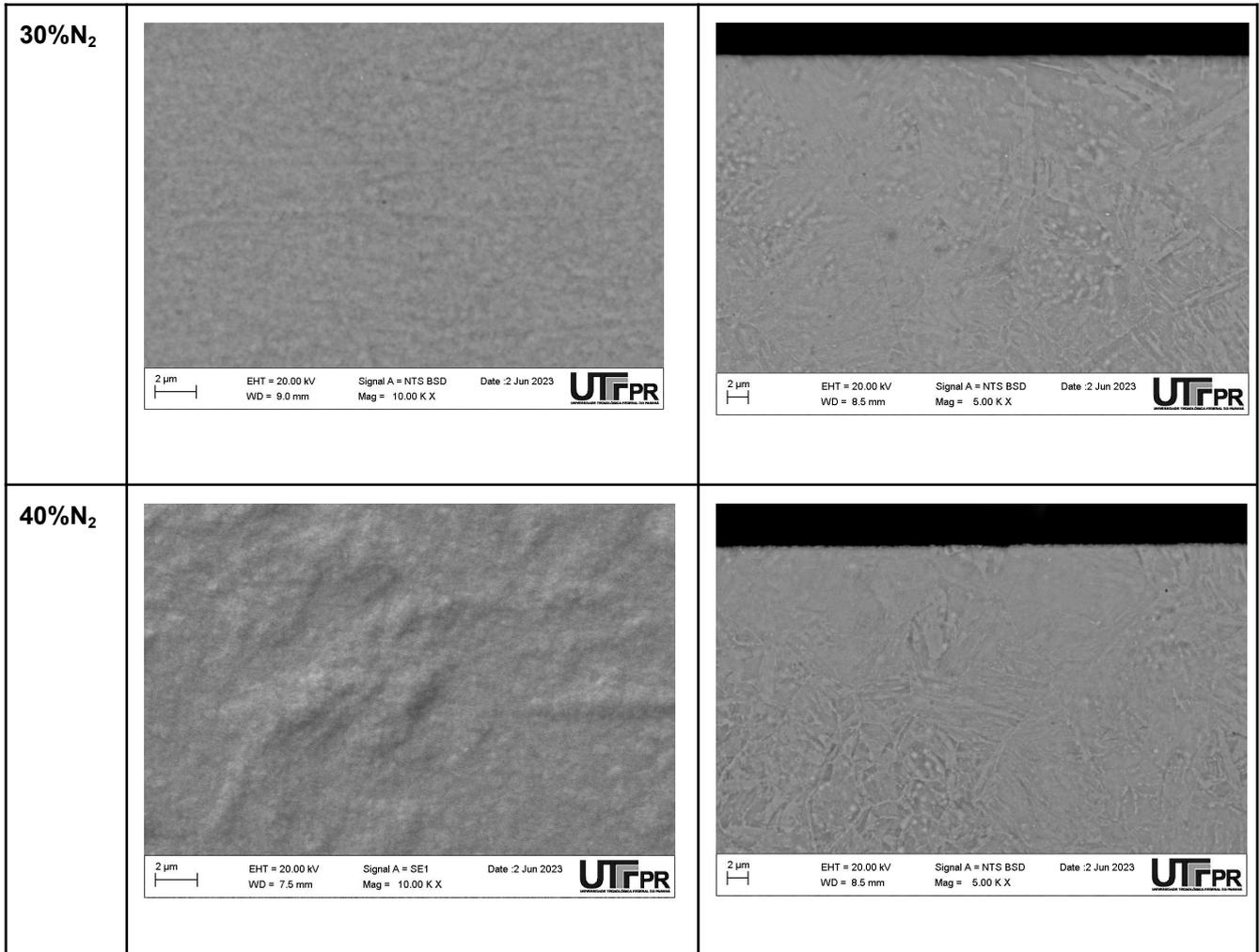
Nos gráficos de microdureza, quanto a dureza de perfil, a amostra com os valores mais altos de dureza foram os da amostra nitretada com 30% de N_2 . Distintivamente, os valores mais altos de dureza de topo foram encontrados na amostra nitretada a 40% de N_2 , o que pode indicar a formação de uma camada superficial mais dura.

Figura 3 – Gráfico de DRX das amostras nitretadas



Fonte: Autor

	Superfície	Perfil
20%N ₂	<p>2 μm EHT = 20.00 kV Signal A = NTS BSD Date : 2 Jun 2023 WD = 8.5 mm Mag = 10.00 K X UTFPR</p>	<p>2 μm EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 Date : 2 Jun 2023 WD = 8.5 mm Mag = 5.00 K X UTFPR</p>



Fonte: Autor

Os resultados da análise de DRX não indicaram presença de nitretos nas amostras nitretadas a 20 e 30% de N₂, enquanto na amostra nitretada com 40% houve a formação da fase γ', o que pode indicar a presença de camada de compósitos na superfície.

Nas imagens feitas com o microscópio eletrônico de varredura (MEV), é possível observar uma superfície irregular na amostra nitretada com 40% de N₂, o que não aparece nas outras amostras,

4. CONCLUSÃO

A partir dos testes e das análises realizadas, pode-se concluir que a maior dureza de núcleo foi obtida pela amostra nitretada com 30% de N₂, enquanto a maior dureza de topo, pela amostra nitretada com 40% de N₂. Também pode ser observada a existência de camada de compostos apenas na amostra nitretada com 40% de N₂, não apenas pelas imagens do microscópio óptico, mas também pela dureza de topo significativamente elevada e pela composição de superfície encontrada na análise de DRX. Além disso, pode-se observar que a camada de difusão presente em todas as amostras possui um valor de dureza consideravelmente maior do que o núcleo.

Agradecimentos

Os agradecimentos são feitos à instituição que forneceu a bolsa de estudo, CNPQ, à UTFPR por permitir o uso dos laboratórios e equipamentos para o desenvolvimento do trabalho, aos estagiários do Laboratório de plasma, e ao Professor Orientador.

Conflito de interesse

“Não há conflito de interesse”.

REFERÊNCIAS

DIEHL, I.L., DONG, J., ROCHA, A.S. Propriedades do aço AISI 4140 nitretado a gás. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/vsdJND8WmRwPkz4fcZJmYjS/>

BERNARDELLI, E.A., BELMONTE, T., DUDAY, D., FRACHE, G., PONCIN-EPAILLARD, F., NOEL, C., CHOQUET, P., MIGEON, H.N., MALISKA, A. Interaction Mechanisms Between Ar–O₂ Post-Discharge and Stearic Acid II: Behaviour of Thick Films.

VALDÉS, J., SOLIS, J., MERCADO, R., OSEGUERA, J., CARREÓN, H., AGUILAR, C., MEDINA, A. Influence of plasma nitriding treatment on the micro-scale abrasive wear behavior of AISI 4140. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X2200982X#b0005>

GONÇALVES, L.S., SOUZA, T. D. Nitretação a plasma do aço AISI 4140 com fluxo pulsado de nitrogênio: influência do potencial de nitrogênio e da temperatura na formação da camada nitretada Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32147>

SPHAIR, A. C. Nitretação por plasma de aço inoxidável austenítico com fluxo pulsado de nitrogênio. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2970>