

## Nitretação por plasma do aço inoxidável AISI 2507

### Plasma nitriding of AISI 2507 stainless steel

**Lucas de Souza Gonçalves**  
[lucasg.1998@alunos.utfpr.edu.br](mailto:lucasg.1998@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Márcio Mafra**  
[mafra@utfpr.edu.br](mailto:mafra@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

#### RESUMO

Dentre as classes de aços inoxidáveis destacam-se os duplex devidos suas melhores propriedades mecânicas. Isso ocorre porque esses aços têm uma microestrutura formada por duas fases, a ferrita e a austenita. Entretanto para melhorar ainda mais o desempenho desses materiais com relação à dureza superficial, o processo de nitretação por plasma tem sido muito empregado, pois ele possibilita a obtenção de ótimos resultados em menores tempos de tratamento. Sendo assim este trabalho tem por objetivo estudar a cinética do processo de nitretação por plasma do aço inoxidável superduplex AISI 2507. Para isso foram realizados tratamentos com combinações de tempo e temperatura diferentes, e os resultados obtidos revelam transformações na microestrutura do material. Essas transformações se referem a formação da fase metaestável chamada de austenita expandida ( $\gamma_N$ ), que se forma a partir da austenita ( $\gamma$ ) e da ferrita ( $\alpha$ ) devido a introdução de nitrogênio pelo processo de nitretação em baixas temperaturas. Essa fase obtida pelo processo proporciona um aumento substancial da dureza superficial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço inoxidável duplex. Nitretação por plasma. Fase expandida.

#### ABSTRACT

Among the classes of stainless steels, the duplex ones stand out due their improved mechanical properties. This happens because these steels have a microstructure formed by two phases, ferrite and austenite. In order to further improve the performance of these materials regarding surface hardness, the plasma nitriding process has been widely adopted since it allows obtaining excellent results in shorter treatment times. The aim of this paper was to study the kinetics of the plasma nitriding process of AISI 2507 superduplex stainless steel. For this purpose, different time and temperature combinations were performed, and the results show transformations in the microstructure of the material. These transformations refer to the formation of the metastable phase called expanded austenite ( $\gamma_N$ ), which is formed from austenite ( $\gamma$ ) and ferrite ( $\alpha$ ) through the introduction of nitrogen by the nitriding process at low temperatures. The phase obtained by this process provides a substantial increase in surface hardness.

**KEYWORDS:** Duplex stainless Steel. Plasma nitriding. Expanded phase.

**Recebido:** 31 ago. 2018.

**Aprovado:** 04 out. 2018.

#### Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.





## INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são sem dúvida ligas de extrema importância para a fabricação de componentes mecânicos, principalmente em casos onde tais componentes serão expostos à ambientes corrosivos. Isso porque a principal característica desse tipo de liga é a maior resistência à corrosão se comparada à outras ligas à base de ferro (CARDOSO; MAFRA; BRUNATTO, 2016).

Existem 5 classes de aços inoxidáveis, são elas: ferríticos, austeníticos, martensíticos, duplex e de endurecimento por precipitação. A classe de aços inoxidáveis duplex, que é a classe do aço utilizado neste trabalho, se destaca por ter uma microestrutura composta por grãos de austenita e ferrita, e dessa forma eles conseguem conciliar uma boa resistência à corrosão, semelhante aos aços inoxidáveis austeníticos, com melhores propriedades mecânicas (NAGTSUKA, NISHIMOTO; AKAMATSU, 2010).

O tratamento de nitretação por sua vez, é aplicado aos aços inoxidáveis visando a obtenção o aumento de propriedades importantes como uma elevada dureza superficial e aumento da resistência ao desgaste e à fadiga. Essas características são obtidas devido à introdução de nitrogênio na superfície do aço a uma certa temperatura. E dentro das técnicas conhecidas para esse tratamento, como nitretação a gás e nitretação líquida, a nitretação por plasma apresenta bons resultados com menores tempos de tratamento e melhor controle da composição química e uniformidade da camada (CHIAVERINI, 2012). Além disso, a nitretação por plasma também tem vantagens do ponto de vista ambiental, por gerar menos poluentes, e econômico, por ser um processo de baixo custo operacional.

A nitretação por plasma se baseia em um processo de descarga luminescente para introduzir nitrogênio (atômico) na superfície do material. A formação do nitrogênio nesse estado ocorre pela geração do plasma, e para que isso ocorra é necessária uma pressão baixa e uma diferença de potencial entre a amostra que se deseja tratar (catodo) e a carcaça do reator (anodo), assim como o gás nitrogênio que será dissociado e ionizado. Com essas condições satisfeitas, o plasma é formado, e dessa forma átomos de nitrogênio chegam na forma atômica à superfície do aço e assim difundem no material (DAVIS, 2002).

É importante ressaltar que em tratamentos de nitretação de aços inoxidáveis em temperaturas muito elevadas, ocorre precipitação de nitretos de cromo devido a afinidade entre o nitrogênio inserido pelo tratamento e o cromo presente na liga. Então o que tem sido feito para esses aços é um tratamento de nitretação a baixa temperatura. No caso desse tratamento, o que ocorre é um enriquecimento da superfície de tal forma que o nitrogênio inserido no material fique em solução sólida supersaturada não se combinando com o cromo, causando uma distorção na rede cristalina e gerando fases metaestáveis. Essas fases são conhecidas como fases expandidas, pois ocorre uma expansão dos parâmetros de rede devido à presença do nitrogênio. Além disso, elas geram tensões residuais de compressão na superfície do material, contribuindo para o aumento da dureza superficial sem diminuir a resistência à corrosão (PINEDO, VARELA; TSCHIPTSCHIN, 2013).

Considerando as aplicações e características vantajosas dos aços inoxidáveis duplex, e as propriedades que podem ser adquiridas com a nitretação, justifica-se

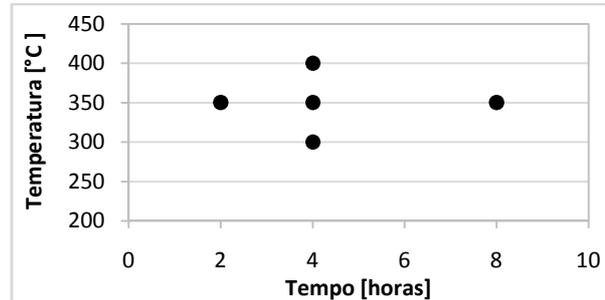
a pesquisa da nitretação por plasma nessa classe de material. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é o estudo da cinética de nitretação do aço inoxidável duplex AISI 2507, e para isso foram investigadas as influências das variáveis tempo e temperatura de tratamento, sendo as amostras caracterizadas por difração de raios-X e nanodureza.

## MÉTODOS

Inicialmente as amostras foram fornecidas polidas e cortadas em um tamanho que facilitasse o tratamento e as caracterizações. O material utilizado foi o aço inoxidável superduplex AISI 2507, que é um aço inoxidável superduplex com 25% de cromo e 7% de níquel, em peso.

Para analisar a influência do tempo e da temperatura foram realizadas 5 nitretações que combinavam os tempos de 2, 4 e 8 horas e as temperaturas de 300, 350 e 400°C. Para analisar a variável temperatura foram feitos 3 processos de 4 horas em temperaturas de 300, 350 e 400°C. E para avaliar a variável tempo foram feitos 3 processos em 350°C com tempos de 2, 4, e 8 horas. A Figura 1 contém um gráfico que ilustra os tratamentos feitos, onde cada ponto representa uma nitretação. Os outros parâmetros como composição da atmosfera gasosa, potência de plasma, frequência de excitação, tensão, corrente e forma de resfriamento das amostras foram mantidas iguais para todos os tratamentos.

Figura 1 – Temperaturas e tempos de nitretação utilizados



Fonte: Autoria própria (2018).

Após as nitretações as amostras passaram pelas caracterizações de difração de raios-X (DRX) e ensaio de nanodureza. Para difração de raios-X foram coletados valores de intensidade em função do ângulo  $2\theta$  de 35° até 75°. No caso das medições de nanodureza foi utilizado um indentador piramidal com diferentes cargas de aplicação para que fosse possível se obter um gráfico da dureza em função da profundidade da camada nitretada. Além disso não foi feita a distinção entre os grãos de austenita e ferrita, dessa forma o que foi obtido com o ensaio foi uma dureza média do material, que envolve as duas fases presentes.

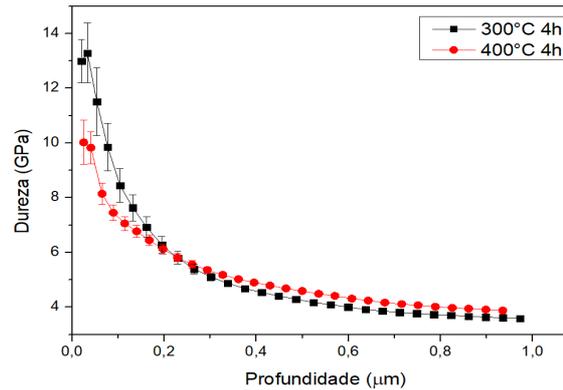
## RESULTADOS

Os resultados do ensaio de nanodureza e difração de raios-X (DRX) da amostra tratada em 350°C por 4 horas mostraram que houve algum problema com essa nitretação, pois a dureza foi muito baixa e as fases presentes na DRX

mostraram pouca transformação de austenita( $\gamma$ ) em austenita expandida( $\gamma_N$ ). Isso pode ter ocorrido devido a algum problema no processo de nitretação como leitura equivocada de temperatura por exemplo.

Para analisar a influência que a temperatura tem na dureza das amostras, foi possível fazer uma comparação entre as durezas das amostras nitretadas em 300°C e 400°C. A Figura 2 contém a comparação da dureza de cada um desses dois casos em função da profundidade de penetração.

Figura 2 – Perfis de nanodureza comparando a influência da temperatura

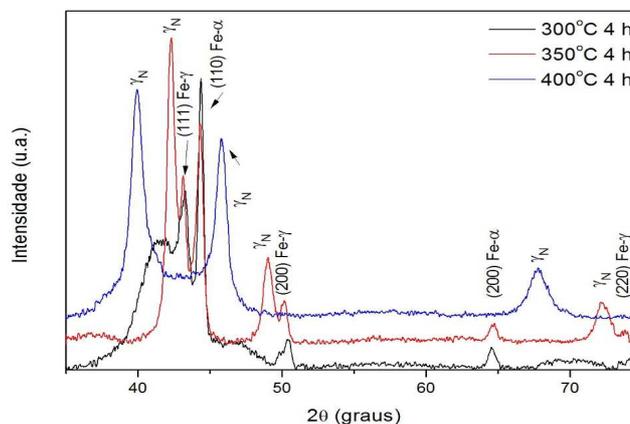


Fonte: Autoria própria (2018).

Os perfis de nanodureza da Figura 2 revelaram uma dureza maior na superfície da amostra tratada em 300°C em comparação com a tratada em 400°C. Entretanto para profundidades de penetração maiores essas durezas se invertem e a amostra nitretada a 400°C passa a ter maior dureza, indicando que nesse caso a espessura de camada é maior. Essa inversão nas durezas pode ter ocorrido pela difusão do nitrogênio em profundidades maiores na amostra tratada em temperatura mais alta, dessa forma ela obteve uma camada mais espessa, porém um pouco menos dura superficialmente.

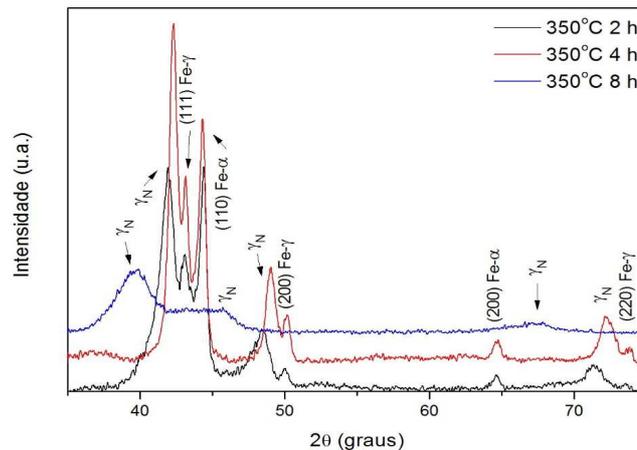
Com os difratogramas provenientes da análise de DRX foi possível fazer uma análise interessante com relação as fases formadas em cada tratamento. As Figuras 3 e 4 trazem os difratogramas comparando a influência da temperatura e do tempo respectivamente.

Figura 3 – Difratograma das amostras tratadas onde observa-se a influência da temperatura



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 4 – Difratoograma das amostras tratadas onde observa-se a influência do tempo



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Figura 3, onde observa-se a influência da temperatura, foi possível identificar o surgimento de picos de austenita expandida ( $\gamma_N$ ) em todos os casos. Comparando os tratamentos de 300°C por 4 horas e 400°C por 4 horas, nota-se que no tratamento feito em 300°C ainda existem picos de austenita ( $\gamma$ ) e ferrita ( $\alpha$ ), já no caso da nitretação feita em 400°C os únicos picos que foram identificados foram de austenita expandida ( $\gamma_N$ ), indicando que nessas condições de tratamento tanto a austenita quanto a ferrita foram transformadas em austenita expandida ( $\gamma_N$ ).

Fazendo a mesma comparação para a Figura 4, onde observa-se a influência do tempo, foi possível observar o mesmo comportamento encontrado para a influência da temperatura, onde em tempos maiores foram obtidos resultados semelhantes aos obtidos em temperaturas maiores.

## DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das durezas obtidas e das microestruturas formadas no aço inoxidável superduplex AISI 2507 devido ao processo de nitretação por plasma nos tempos e temperaturas utilizados, foi possível se estudar a cinética do processo além de demarcar faixas aproximadas de tempo e temperatura para este tratamento. Essa combinação de tempo e temperatura teve por objetivo a formação de austenita expandida ( $\gamma_N$ ) a partir da austenita ( $\gamma$ ) e da ferrita ( $\alpha$ ), e isso ocorreu mais intensamente nos processos feitos em 400°C por 4 horas e 350°C por 8 horas.

## REFERÊNCIAS

CARDOSO, R. P.; MAFRA, M.; BRUNATTO, S. F. **Low-Temperature Thermochemical Treatments of Stainless Steels -An Introduction**. In: MIENO, T. Plasma Science and Technology -Progress in Physical States and Chemical Reactions, 2016. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.5772/61989>>. Acesso em: 8 ago. 2018.



CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos.** São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2012, v. 7, p. 144-150.

DAVIS, J. R. **Surface Hardening of Steels.** Process Selection Guide. [S.l.]: ASM International, 2002. p. 177-187.

NAGTSUKA, K.; NISHIMOTO, A.; AKAMATSU, K. **Surface hardening of duplex stainless steel by low temperature active screen plasma nitriding.** Surface and Coatings Technology, 2010. Disponível em :<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897210006493?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

PINEDO C.E.; VARELA L.B.; TSCHIPTSCHIN A.P. **Low-temperature plasma nitriding of AISI F51 duplex stainless steel.** Surface and Coatings Technology, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.06.109>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

#### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de pesquisa, a UTFPR por ceder os laboratórios e estrutura, a PUC-PR por realizar as difrações de raios-X, a UFPR pelas medições de dureza e ao NESAP pela ajuda na pesquisa.