



Tema: Engenharia de superfície

EFEITO DO SHTPN, DA TEMPERA E DO REVENIDO NA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DO AÇO AISI 409*

Elisiane Maria Berton¹

Paulo César Borges²

Marcio Mafra³

Resumo

Neste trabalho propõe-se o estudo do efeito do processo de SHTPN (Tratamento térmico de solubilização após nitretação por plasma), e do tratamento térmico de têmpera e revenido sobre a microestrutura, dureza e resistência à corrosão do aço inoxidável ferrítico AISI 409. Por meio do SHTPN obteve-se uma camada martensítica de nitrogênio na superfície do aço. Após o SHTPN as amostras foram temperadas de 950°C e revenidas nas temperaturas de 200, 400 e 600°C. A resistência à corrosão foi avaliada por meio da técnica de polarização cíclica e a dureza através de ensaios Vickers. Verificou-se que o SHTPN afetou significativamente a dureza do aço e o tratamento de têmpera refinou e melhorou a distribuição da martensita de nitrogênio. A camada martensítica formada apresentou espessura da ordem de 660 µm. Os resultados indicam que é possível obter uma camada martensítica com dureza de 620 HV e aumento da região passiva, bem como do potencial de nucleação de pite quando comparado à condição não tratada (ferrítico). O melhor resultado de corrosão foi obtido para a amostra revenida na temperatura de 200°C.

Palavras-chave: SHTPN; Aço inoxidável de alto nitrogênio, Corrosão.

EFFECT OF SHTPN, QUENCHING AND TEMPERING ON THE RESISTANCE OF CORROSION OF THE AISI 409 STEEL

Abstract

In this work intends to study the effect of SHTPN (Solution Heat Treatment after Plasma Nitriding) process, quenching and tempering temperature on the microstructure, hardness and corrosion resistance of AISI 409 ferritic stainless steel. Through SHTPN was produced a high-nitrogen martensitic in the surface layer of the treated steel. After SHTPN the samples were quenched for 950°C and tempered at temperatures of 200, 400 and 600°C. Corrosion resistance was evaluated by cyclic polarization technique, and hardness profiles obtained by measuring the Vickers hardness. It was found that SHTPN technique significantly affect the hardness of steel and tempering treatment refined and improved distribution of high-nitrogen martensitic. The martensitic layer formed had a thickness of approximately 660 µm. Results indicate that the treatment of SHTPN promoted the formation of a martensitic nitrogen layer with hardness of 620 HV and increase the passive region, and the pitting potential nucleation when compared to untreated conditions (ferritic). The best corrosion result was obtained for the sample treated and tempered at 200°C.

Keywords: SHTPN; High-nitrogen stainless steel; Corrosion.

¹ *Química, mestranda, PPGEM, UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil.*

² *Eng. Mecânico, Dr., Prof, GrMaTS, DAMEC, UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil.*

³ *Eng. de Prod. Mecânica, Dr., Prof, GrMaTS, DAMEC, UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil.*

* *Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.*



1 INTRODUÇÃO

Devido à alta resistência a corrosão, os aços inoxidáveis possuem uma larga aplicabilidade em diversos setores industriais, seja química, petroquímica ou alimentícia. Buscando atender solicitações ainda mais severas, métodos que melhorem a relação resistência à corrosão e propriedades mecânicas destes aços tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores.

Estima-se que a corrosão seja responsável por afetar 25 % da produção mundial de aço por ano sendo que as perdas econômicas devido a este fenômeno podem representar de 2 a 5 % do Produto Interno Bruto (PIB). No Brasil, as perdas podem chegar a cerca de US\$ 10 bilhões, sendo grande parte na indústria petrolífera [1].

Entre estes estudos, está a utilização de aços inoxidáveis enriquecidos com nitrogênio na superfície. O presente trabalho foi desenvolvido em torno do estudo do processo SHTPN (*Solution Heat Treatment after Plasma Nitriding* – Tratamento térmico de solubilização após nitretação por plasma), em desenvolvimento pelo Grupo de Materiais, Tribologia e Superfícies (GrMaTS) da UTFPR.

Essa técnica consiste em duas etapas. Primeiro utiliza-se a nitretação por plasma, para inserir o nitrogênio na superfície do material, o qual apresenta-se na forma de nitretos e em solução sólida. Na sequência realiza-se o tratamento térmico de solubilização a fim de difundir o nitrogênio para a matriz na forma de solução sólida intersticial. Com a introdução do nitrogênio em solução a microestrutura pode mudar de ferrítica para martensítica ou austenítica dependendo do teor de nitrogênio em solução. Em trabalhos anteriores Borges *et al* [2], Reis *et al* [3], e Maftoun *et al* [4] verificaram que o SHTPN promove o aumento da dureza superficial, e dependendo da microestrutura inicial pode estabilizar a austenita ou permitir a formação de martensita na superfície. Borges *et al* [2] e Maftoun *et al* [4], também verificaram melhora na resistência à corrosão e na resistência à cavitação respectivamente.

O nitrogênio melhora a resistência à corrosão por pites, reduz a tendência à precipitação, aumenta a resistência mecânica por refino de grão (Gavriljuk *et al* [5]; Garzón *et al* [6]) e melhora a estabilidade da camada passiva, bem como apresenta efeito gamagênico. Além disso, o nitrogênio reage na área anódica e minimiza a acidificação do anólito melhorando a resistência a corrosão.

O aço AISI 409 é identificado como ferrítico devido a estabilidade elevada desta fase como consequência do alto teor de elementos alfa-gamagênicos, em especial o Cr que este aço apresenta. Conforme a norma e o diagrama de Schaeffler [7] a microestrutura deste aço é predominantemente ferrítica em condições de resfriamento rápido. Com a adição de nitrogênio aumenta-se o Níquel equivalente, ou seja, a quantidade dos elementos gamagênicos possibilitando assim a formação de austenita e consequente transformação martensítica no resfriamento (Figura 01).

Neste trabalho avaliou-se a resistência à corrosão do aço inoxidável ferrítico AISI 409, após a obtenção de uma camada martensítica enriquecida com nitrogênio em solução sólida por meio do processo SHTPN. Em seguida foram avaliados os efeitos da tempera (950 °C, 30 min) e da temperatura de revenimento (200, 400 e 600°C) na microestrutura, dureza e resistência à corrosão da camada martensítica obtida.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.

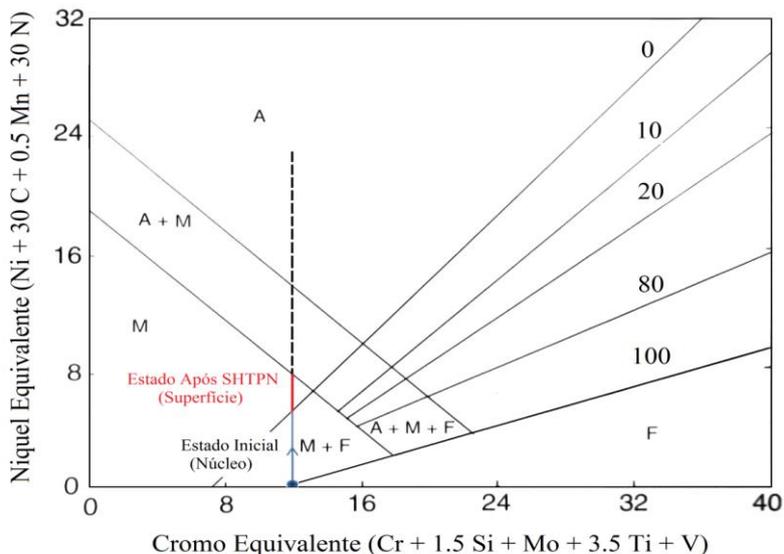


Figura 1: Diagrama de Schaeffler, mostrando o ponto no qual se encontra o aço AISI 409 no estado de fornecimento e a possibilidade de obtenção de martensita após o SHTPN (Adaptação de Kakhovskii *et al.*, 1980 *apud* Lippold [7]).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento dos experimentos realizados está descrito no fluxograma apresentado na Figura 2. As letras entre parênteses correspondem a identificação utilizada para cada condição estudada. Maiores detalhes podem ser obtidos na Tabela 01.

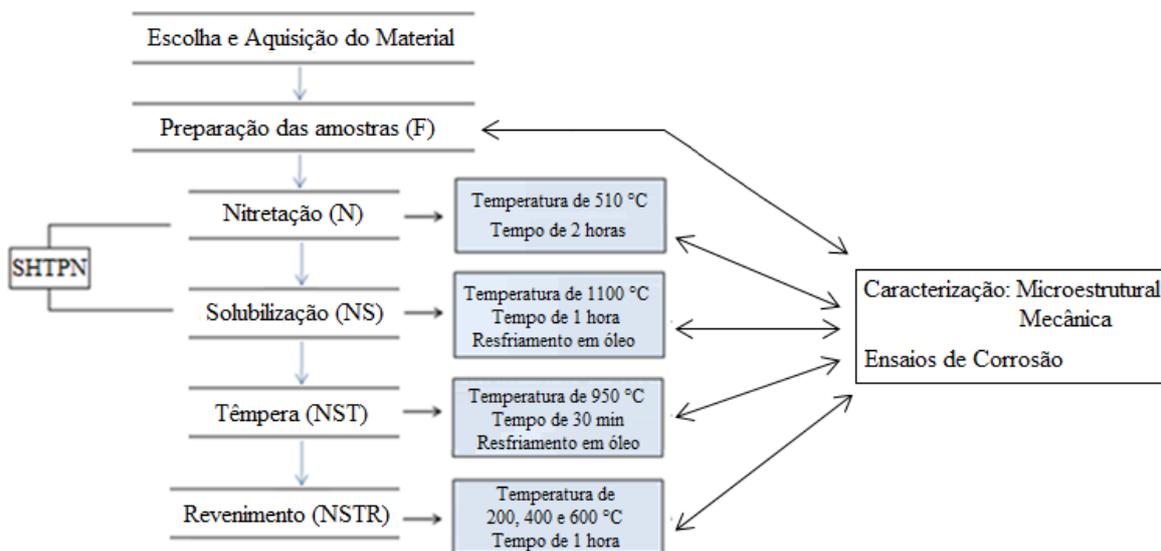


Figura 2: Fluxograma do procedimento experimental.

Tabela 1. Identificação das condições dos experimentos realizados

CONDIÇÕES	
F	Fornecimento
N	Nitretada
NS	SHTPN – Nitretada e Solubilizada
NST-950	Nitretada, Solubilizada e Temperada de 950 °C.
NSTR-950 ₂	Nitretada, Solubilizada, Temperada de 950 °C e Revenida a 200 °C.
NSTR-950 ₄	Nitretada, Solubilizada, Temperada de 950 °C e Revenida a 400 °C.
NSTR-950 ₆	Nitretada, Solubilizada, Temperada de 950 °C e Revenida a 600 °C.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



2.1 Material

O material utilizado nos experimentos foi o aço inoxidável ferrítico AISI 409. Na Tabela 2 pode-se visualizar a composição química do aço AISI 409, obtida do certificado do fornecedor e por espectrometria de absorção atômica.

Tabela 2. Composição química (% em peso) do aço AISI 409

	Elementos (% wt)									
	C	Cr	Ni	Si	Mn	Mo	Cu	P	S	Ti
Medida	0,00	10,8	0,32	0,418	0,20	0,053	0,023	0,033	0,000	0,215
Certificado	0,006	10,9	0,21	0,500	0,21	0,038	0,022	0,029	0,001	0,172

2.2 SHTPN

Primeiramente as amostras foram submetidas ao processo de SHTPN que consiste na nitretação das amostras, iniciando por um ciclo de limpeza com fluxo de H₂ na temperatura de 160°C por uma hora, e em seguida nitretadas por plasma por um período de duas horas na temperatura de 510°C. As condições de tratamento são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros utilizados para o tratamento de nitretação por plasma

Parâmetros	Limpeza superficial	Nitretação por plasma
Temperatura (°C)	160 ± 10	510 ± 10
Tensão (V)	400	600
Pressão (Torr)	1,5 ± 0,2	3,0 ± 0,2
Tempo (horas)	1	2
Atmosfera gasosa	H ₂	80% N ₂ + 20%H ₂

Após a realização da nitretação as amostras foram solubilizadas a temperatura de 1100°C por 1 hora, com o objetivo de dissolver os nitretos e obter nitrogênio em solução sólida e martensita na superfície do aço.

Os ensaios foram realizados sob atmosfera controlada de argônio. Após a solubilização as amostras foram resfriadas em óleo, para evitar a precipitação de nitretos, bem como minimizar a oxidação durante o resfriamento. A Figura 03 apresenta um esquema do ciclo de temperatura *versus* o tempo das etapas do tratamento SHTPN:

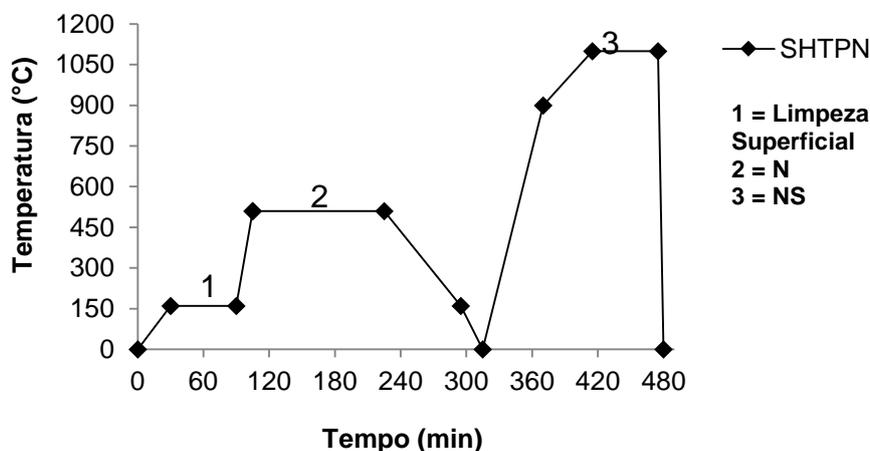


Figura 3: Ciclo térmico do tratamento de SHTPN.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



2.3 Tratamento térmico de têmpera e revenido

Após o processo de SHTPN, as amostras foram submetidas ao tratamento térmico de têmpera e revenido. A têmpera foi realizada na temperatura, de 950°C por 30 minutos, com posterior resfriamento em óleo (25°C). E os tratamentos de revenido foram realizados nas temperaturas de 200°C, 400°C e 600°C, sendo que as amostras foram mantidas por 1 hora após atingir cada patamar de temperatura, seguidas de resfriamento ao ar.

2.4 Ensaios de corrosão

Após os tratamentos termoquímicos e/ou mecânicos todas as amostras foram retificadas para remoção do empenamento e/ou óxidos formados, lixadas e polidas. Os ensaios eletroquímicos de E_{corr} versus tempo e polarização cíclica, foram realizados utilizando um potenciostato multicanal da marca Ivium Technologies, modelo Ivium-n-Stat, uma célula eletroquímica confeccionada segundo a Norma G150, um eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) e um contra-eletrodo de grafite.

Os experimentos consistiram em manter as amostras em contato com uma solução eletrolítica de cloreto de sódio (NaCl 0,5 mol/L) em temperaturas próximas a 25 °C. As medidas foram programadas para iniciarem após 1 hora de estabilização no potencial de circuito aberto (OCP). As curvas de polarização cíclica foram obtidas através da varredura de potenciais no sentido anódico e velocidades de 1 mV/s, partindo de um potencial de -0,100 V abaixo do potencial de corrosão até 1,5000 V onde o potencial foi revertido até o potencial inicial.

2.5 Caracterização

A preparação das amostras seguiu os seguintes passos: corte, embutimento, lixamento e polimento com pasta diamantada de granulometria de 3 e 1 micron. Para revelar a microestrutura dos corpos de prova, foi feito um ataque químico com reagente Villela (5 mL de HCl + 100 mL de C₂H₅OH + 1 g de ácido pícrico).

As microestruturas e a espessura das camadas foram examinadas utilizando um microscópio óptico da marca Olympus, modelo BX51M. E as regiões após os ensaios de corrosão foram analisadas através de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo EVO MA15 da marca Zeiss (MEV).

As análises de DRX foram realizadas em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-7000, com radiação incidente CuK- α ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$), corrente de 30 mA e tensão de 40 kV, em uma faixa de 20 a 120° (2θ) a uma velocidade de varredura de 0,02 °/s. O procedimento seguiu as recomendações da norma ASTM E 975 – 95.

Os perfis de dureza Vickers foram obtidos com auxílio do microdurômetro Shimadzu HMV-2. O procedimento adotado seguiu as recomendações da norma NBR 6672 (1981), a carga aplicada foi de 0,05 Kgf e tempo de 10 segundos. Os valores utilizados são a média de quatro perfis diferentes realizados em cada amostra.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização microestrutural e dureza

A microestrutura do aço inoxidável AISI 409 no estado de fornecimento (F) e após SHTPN (NS) pode ser visualizada nas Figuras 4a e 4b. Verifica-se que o material na condição F apresenta microestrutura predominantemente ferrítica. Após o tratamento de SHTPN verificou-se o aumento do tamanho de grão do substrato e formação da estrutura martensítica na superfície. Observa-se também a formação de uma rede de martensita nos contornos de grão ferríticos (conforme indicado pela seta). Isto se deve ao maior coeficiente de difusão pelo contorno de grão durante a última etapa do SHTPN (solubilização).

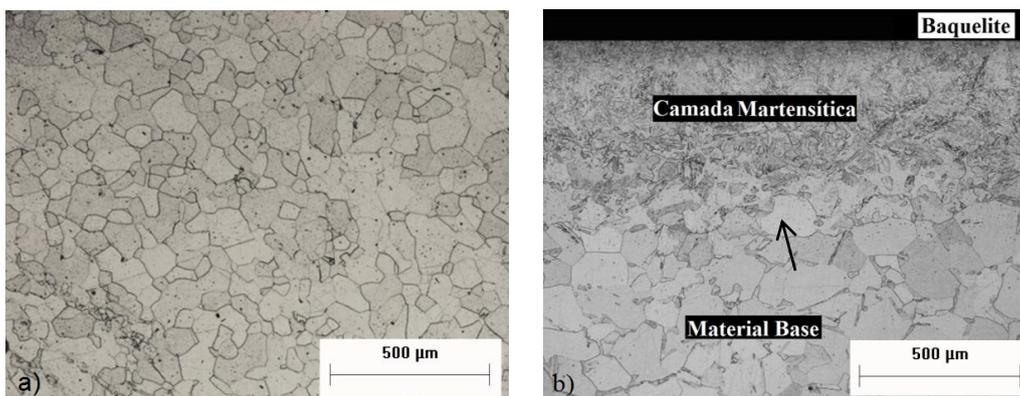


Figura 4: Micrografia do aço inoxidável AISI 409: a) Condição (F) e b) após SHTPN (NS) (Ataque: Villela).

Na Figura 5 visualiza-se a microestrutura resultante após o processo de SHTPN e têmpera em óleo com austenitização na temperatura de 950 °C por 30 min (NST-950). Comparando a microestrutura da Figura 05 com 04b nota-se um maior refinamento de grão da martensita, isto ocorre, devido a uma nova passagem de α para gama e de γ para α' . Essa transformação alotrópica ocorre apenas para a região enriquecida com nitrogênio (superfície), enquanto que para o núcleo a fase ferrita se mantém estável durante todo o ciclo térmico. Esse refinamento também pode ser resultante de uma maior homogeneidade do nitrogênio após o tratamento de têmpera.

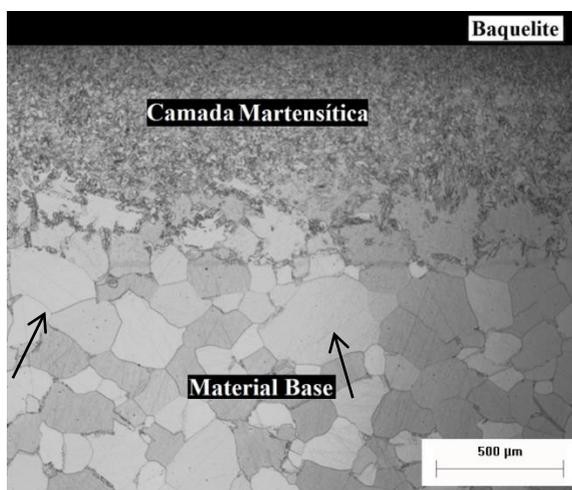


Figura 5: Micrografia do aço inoxidável AISI 409. Condição NST-950 (Ataque: Villela).

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



A dureza da condição de fornecimento evoluiu de 160 ± 6 HV para 1300 ± 6 HV após o processo de nitretação (N), e ao final do SHTPN e depois da tempera apresentou dureza máxima de 580 HV e de 620 HV respectivamente. Essa alteração se deve a formação de martensita superficial. Resultados semelhantes também foram observados nos trabalhos realizados por Maftoum *et al* [4] e Pinto *et al* [8].

O perfil de dureza obtido para as amostras N, NS e NST-950 podem ser visualizados na Figura 06. Verifica-se que o tratamento de têmpera apesar de refinar a microestrutura não apresentou efeito significativo na dureza, contudo é de se esperar uma melhora na tenacidade visto que a temperatura e tempo de austenitização do tratamento de têmpera são menores do que o utilizado durante o tratamento de solubilização do SHTPN, ou seja, a martensita se formou a partir de grão austenítico menor.

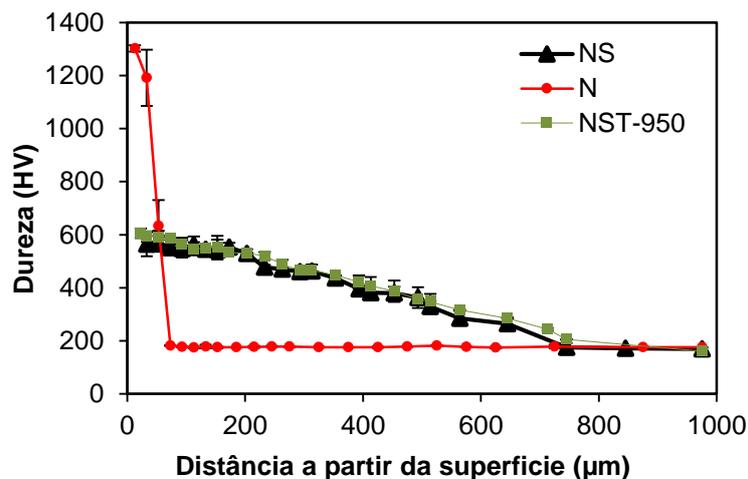


Figura 6: Perfil de dureza Vickers das condições nitretada (N) SHTPN (NS) e NST-950.

Na Figura 7 é possível observar a influência da temperatura de revenimento, para as amostras temperadas. O gráfico apresenta a curva de dureza *versus* temperatura para diferentes profundidades da camada.

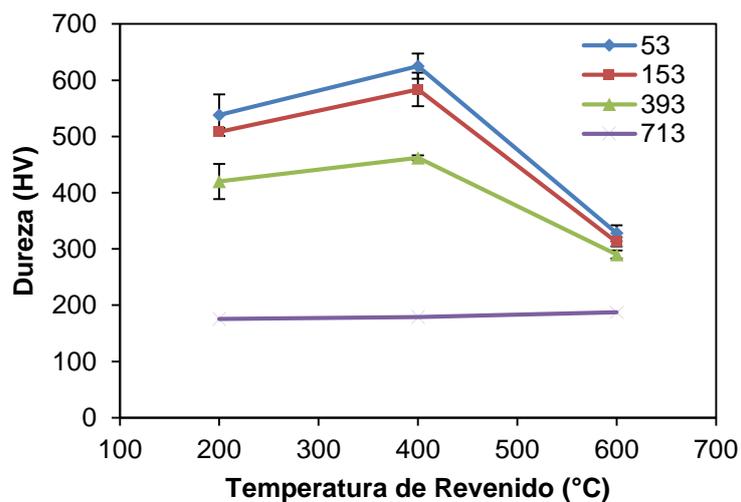


Figura 7: Curva de revenido em diferentes profundidades (µm) para as condições NSTR-950₂, NSTR-950₄, NSTR-950₆.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



Verifica-se que ocorre um pequeno aumento de dureza para a temperatura de revenido a 400 °C, provavelmente devido a precipitação de nitretos de Cr. Para a temperatura de 600°C observa-se uma redução significativa de dureza. Isto deve estar associado a um superenvelhecimento, ou seja, a uma precipitação intensa e ao coalescimento destes precipitados.

Nos estudos realizado por Sung *et al* [9] também ocorreu o efeito da queda de dureza a partir de 550°C da temperatura de revenido. Esses autores reportaram o endurecimento secundário para revenimento realizado em temperaturas superiores a 450°C da martensita formada após HTGN. Este efeito de endurecimento secundário para temperaturas de revenido próximas a 500°C também foi observado nos estudos de Toro e Tschitschin [10].

3.2 Corrosão

Na Figura 08 visualiza-se as curvas de polarização cíclica obtidas em uma solução de NaCl 0,5 mol/L para as condições F, N e SHTPN (NS).

Comparando as amostras das condições F e NS com a amostra N, tem-se E_{corr} de 58,6 mV para a condição NS e F e $E_{corr} = -208,47$ mV para a condição N, sendo assim as amostras apenas nitretadas apresentam potencial menos nobre do que as amostras F e NS. Verifica-se também que a curva apresentada para amostra N se deslocada para cima, ou seja, para maiores densidades de corrente. Isto ocorre devido à formação de nitretos de cromo, que dificultam a formação de uma camada passiva estável no aço nitretado, o qual diminui a resistência à corrosão do material apresentando-se ativa em uma maior faixa de potencial.

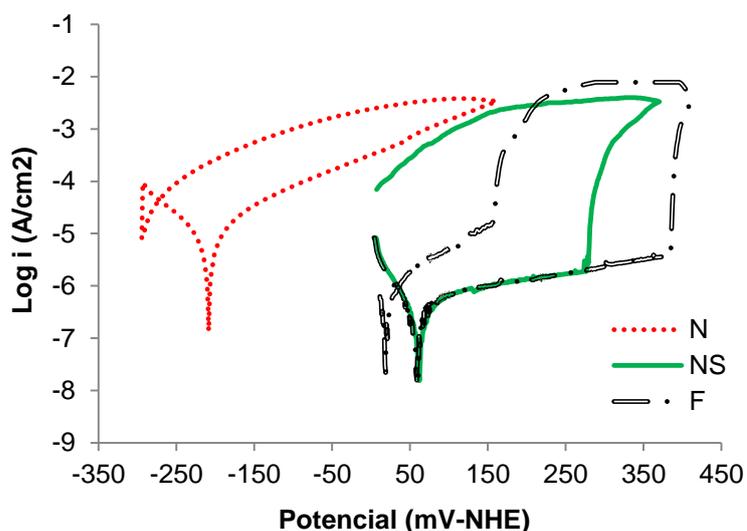


Figura 8: Curvas potenciodinâmicas cíclicas para as condições F, N e NS (solução NaCl 0,5 mol/L).

Este aspecto também foi relatado nos estudos realizados por Xi *et al.* [11] para o aço martensítico AISI 420 e nos estudos de Fossati *et al.* [12] para o aço austenítico AISI 316L, no qual ambos os autores apresentam que após a nitretação por plasma ocorre aumento na dureza superficial, porém têm-se uma diminuição das propriedades de resistência a corrosão, devido a precipitação de CrN.

Com o processo de SHTPN o nitrogênio presente na camada de compostos é difundido e se mantém em solução sólida, eliminando os nitretos de cromo [2-4], estabilizando a fase gama na temperatura de solubilização e possibilitando a formação de martensita com teor elevado de nitrogênio. Isto faz com que a

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



resistência à corrosão do aço após o processo de SHTPN apresenta resistência à corrosão maior que a condição apenas nitretada. Este resultado está de acordo com a literatura apresentada por Borges *et al.* [2]. Contudo o potencial de nucleação de pite pós SHTPN (NS) é inferior ao obtido para a amostra no estado de fornecimento. Isto pode estar associado a heterogeneidades e tensões residuais elevadas na camada.

A Figura 9 apresenta os resultados de polarização cíclica para as condições F, NST-950 e revenidas a 200, 400 e 600°C.

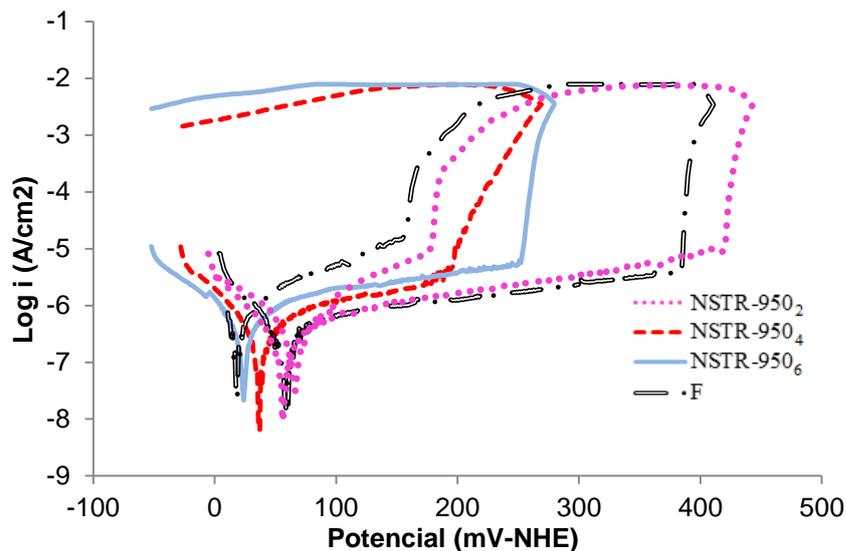


Figura 9: Curvas potenciodinâmicas cíclicas para as condições NSTR-950₂, NSTR-950₄ e NSTR-950₆ e F medidos em solução de NaCl 0,5 mol/L.

A Tabela 4 mostra a comparação dos parâmetros de corrosão, retirados da Figura 08 e da Figura 09, para todos os testes realizados:

Tabela 4: Valores do potencial de corrosão das amostras analisadas

Amostra	E_{corr} (mV)	Log i (A/cm ²)	Potencial de repassivação (mV)	Nucleação de Pite (mV)
F	58,6	-6,25	33,64	380,64
N	-208,47	-4,83	-	-
NS	58,6	-6,20	-	270,64
NSTR -950 ₂	55,85	-6,27	83,85	419,85
NSTR -950 ₄	36,08	-6,13	-	190,96
NSTR -950 ₆	23,96	-5,96	-	250,96

Verifica-se que tratamento de SHTPN, têmpera e revenido na temperatura de 200°C (condição NSTR-950₂) apresentou valores próximos ao potencial de corrosão da condição F, porém possui valores mais nobres de potencial de nucleação de pite (419,85 mV). Isto ocorre devido à formação da camada martensítica de alto nitrogênio com baixas tensões residuais e elevada homogeneidade na superfície do aço. Já com o aumento da temperatura de revenido o material se torna menos nobre, devido à precipitação de CrN. Esses nitretos são responsáveis por formar zonas de a depleção de Cr (sensitização), que diminuem a resistência da camada passiva, deixando o material mais susceptível à corrosão, conforme observado para as condições NSTR-950₄ e NSTR-950₆ [11,12].

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.



A análise da difração de Raios-X pode ser visualizada na Figura 10. Nesta Figura são apresentados os difratogramas para as condições F e N e NS. Na Figura 10 verifica que a nitretação altera a posição e quantidade de picos difratados. A identificação destes picos permite concluir que a fase presente para a condição F é a fase ferro alfa (α -Fe), relacionados ao substrato do aço AISI 409. Após nitretação as fases predominantes são ϵ (Fe_{2-3}N), γ' (Fe_4N) e CrN, e após o SHTPN os picos apresentados corresponde a fase martensita.

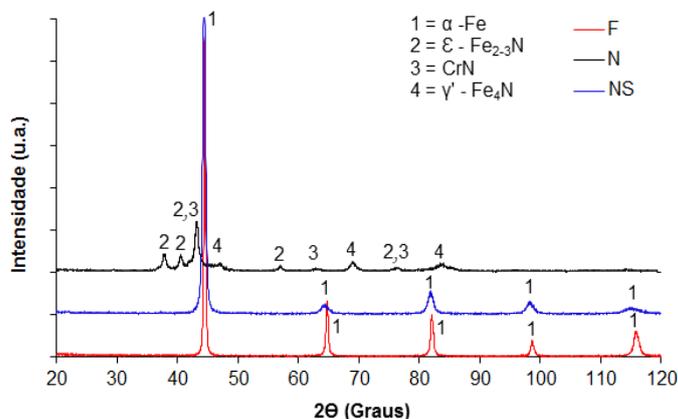


Figura 101: Difratograma de raios-X do aço AISI 409 para as amostras Nitretadas por plasma (N) e no estado de fornecimento (F).

Ao comparar os difratogramas da amostra F com as amostras tratadas termicamente (condições NS, NST-950, NST-950₆,) – Figura 11 – observa-se apenas picos coincidentes com à fase ferro alfa (α -Fe), os quais podem indicar a presença tanto da fase ferrítica quanto da fase martensítica. As fases nitretos de cromo e/ou ferro não foram identificadas na difração destas amostras. Isto ocorre, pois após a aplicação dos tratamentos térmicos os teores de precipitados são menores quando comparado com as amostras apenas N.

Através da análise dos difratogramas de DRX apresentados no detalhe da Figura 11 observa-se que os picos para NST-950 e NS ficam ligeiramente deslocados para posições de menor ângulo. Esse deslocamento está associado à distorção causada pelo aumento da porcentagem de nitrogênio e devido à distorção da fase ferrita (CCC) para tetragonal de corpo centrado (TCC), com consequente alteração da distância interplanar (d) e deslocamento do pico correspondente ao plano difratado.

Na Figura 12 visualiza-se as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para os pites formados na superfície das amostras submetidas aos ensaios de polarização cíclica nas condições no estado de fornecimento (F), SHTPN+têmpera+revenido a 200°C (NSTR-950₂), SHTPN+têmpera+revenido a 400°C (NSTR-950₄), SHTPN+têmpera+revenido a 600°C (NSTR-950₆).

Com base nas imagens obtidas por MEV, apresentadas na Figura 12, pode se verificar que o mecanismo de corrosão muda com a têmpera e revenido. As amostras no estado de fornecimento e SHTPN+têmpera+revenido a 200°C (NSTR-950₂) apresentam formação de pites aleatórios com formação de pequenas áreas anódicas e grandes áreas catódicas. Já para as amostras revenidas a 400 °C (NSTR-950₄) e 600 °C (NSTR-950₆) identifica-se regiões com ataque mais intenso em contorno de grão. Esta mudança de mecanismo se deve a precipitação de nitretos de cromo nos contornos de grão, com consequente maior intensidade do ataque na superfície do aço como é possível observar no detalhe da Figura 12c e 12d.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.

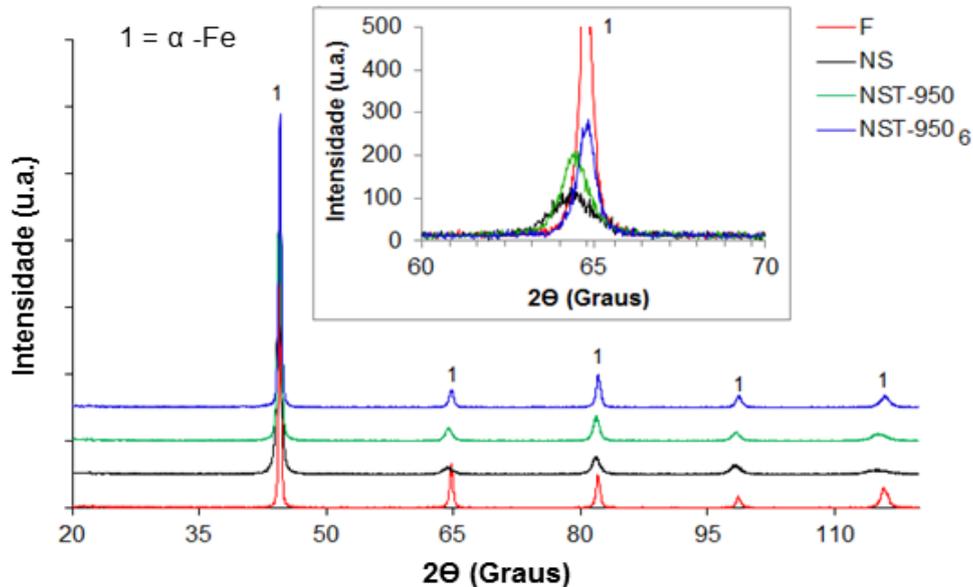


Figura 11: Difratoograma de raios-X do aço AISI 409 para as amostras nas condições F, NS, NST-950, NST-1050, NSTR-950₆ e NSTR-1050₆.

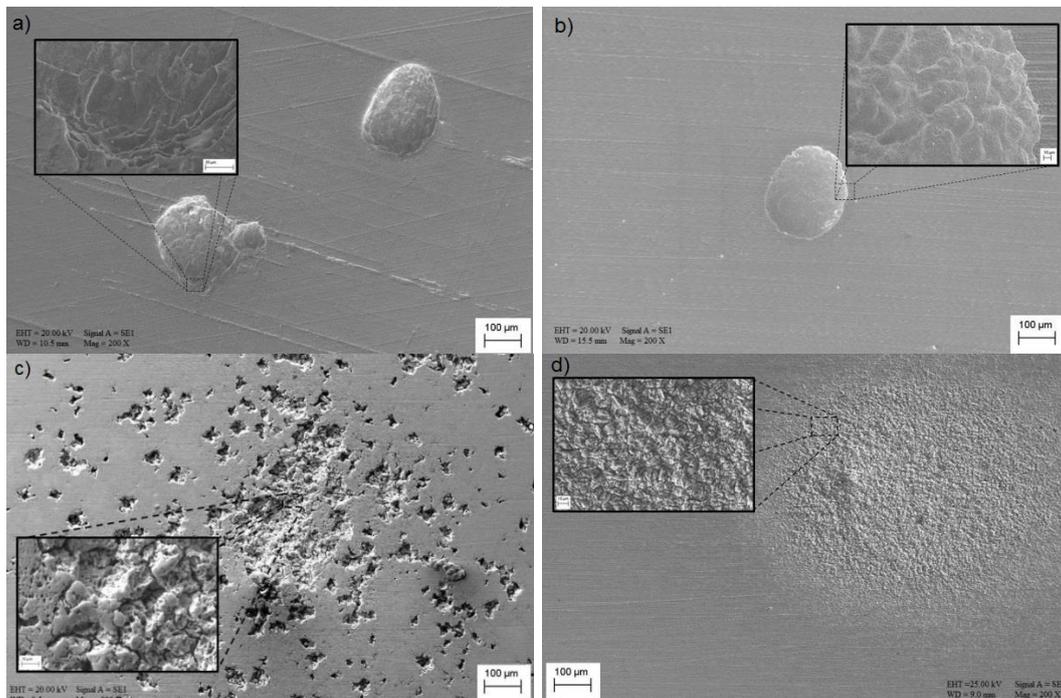


Figura 12: Micrografia obtida por MEV da superfície para as condições: a) F, b) NSTR-950₂, c) NSTR-950₄, d) NSTR-950₆, após o teste eletroquímico em solução de NaCl 0,5 mol/L, mostrando a ocorrência de formação de pites.

4 CONCLUSÃO

As principais conclusões obtidas foram:

- Após o processo de SHTPN obteve-se a formação de martensita de nitrogênio na superfície com dureza de até 580 HV e profundidade acima de 600 µm.
- O tratamento térmico de têmpera permitiu um refinamento no tamanho de grão da martensita quando comparado às amostras apenas solubilizadas.
- Os resultados de corrosão para a condição NSTR-950₂ indicou resistência à corrosão superior ou equivalente à da ferrita do material não tratado (AISI 409).

* *Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.*



Já as amostras revenidas nas temperaturas de 400 e 600°C apresentaram um decréscimo de na resistência à corrosão, devido a precipitação de CrN, bem como foi observada uma diminuição da dureza para a amostra revenida a 600°C.

- A nitretação por plasma na temperatura de 510°C também piorou a resistência à corrosão quando comparado com o aço no estado de fornecimento, isso ocorre devido a intensa precipitação de nitretos de cromo.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq, a CAPES e a FINEP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Martins JIFP. A corrosão: a outra perspectiva de abordagem. Corros. Prot. Mater. 2012;31:3-4.
- 2 Borges PC, Rocha LA. Solution heat treatment of plasma nitrided 15-5PH stainless steel Part I. Improvement of the corrosion resistance. Kovove Mater. 2011. doi:10.4149/km.
- 3 Reis RF, Maliska AM, Borges PC. Nitrogen surface enrichment of austenitic stainless steel ISO 5832-1. 2011. 846–854. doi:10.1007/s10853-010-4827-3.
- 4 Maftoum RA, Borges PC, Buschinelli AJA. Influência do nitrogênio adicionado por SHTPN na resistência à erosão por cavitação do aço inoxidável Martensítico. In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica; 2012; São Luiz, Brasil.
- 5 Gavriljuk VG, Shanina BD, Berns H. A physical concept for alloying steels with carbon + nitrogen. Materials Science Engineering A. 2008;481-482:707-712.
- 6 Garzón CM, Tschiptschin AP. Nitretação Gasosa em alta Temperatura de Aços Inoxidáveis. Revista Matéria. 2005;1–23.
- 7 Lippold JC, Kotecki DJ. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels. US: Wiley-Interscience, 2005.
- 8 Pinto RA, Hungria V, Borges PC, Pintaude G. Desgaste por deslizamento da camada martencítica obtida por meio do SHTP no aço inoxidável Ferrítico AISI 409. In: CIBEM – VI Congresso Ibero-Americano em Engenharia Mecânica; 2013; Argentina.
- 9 Sung, Kong, Yoo, On, Lee. Phase changes of the AISI 430 ferritic stainless steels after high-temperature gas nitriding and tempering heat treatment. Materials Science and Engineering. 2008; A. 489:38-43.
- 10 Tschiptschin AP, Toro A. Surface Properties of High Nitrogen Steels. In: Speidel M, Kowanda C, Diener M (eds). HNS 2003 – High Nitrogen Steels. Switzerland: vsg Hochschulverlag AG; 2003. capítulo 22.
- 11 Xi Y, Liu D, Han D. Improvement of corrosion and wear resistances of AISI 420 martensitic stainless steel using plasma nitriding at low temperature. Surface & Coatings Technology. 2008;202:2577-83. doi:10.1016/j.surfcoat.2007.09.036.
- 12 Fossati A, Borgioli E, Galvanetto TB. Corrosion resistance properties of glow-discharge nitrided AISI 316L austenitic stainless steel in NaCl solutions. Corrosion Science. 2006;48:1513-152.

* Technical contribution to the 1st Workshop on surface treatments of corrosion resistant alloys, July 21st -25th, 2014, São Paulo, SP, Brazil.