

MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO POR PROCESSO DE NITRETAÇÃO SOB PLASMA PULSADO

Wanderson Rodrigues da Silva¹; Carlos Eduardo Pinedo²

Estudante do Curso de Engenharia Mecânica; e-mail: wrs_wanderson@hotmail.com¹
Professor da Universidade de Mogi das Cruzes; e mail: pinedo@heattech.com.br²

Área de Conhecimento: Engenharia de Materiais

Palavra Chave: Nitretação sob plasma, Ferrita expandida, Nitreto, Dureza.

INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis constituem uma família com uma ampla aplicação. Em todas estas aplicações, a excepcional resistência à corrosão é a principal propriedade requerida destes aços. Entretanto, em inúmeras aplicações, a resistência mecânica destes aços não é suficiente para promover uma ótima resistência ao desgaste. Uma forma de elevar a resistência ao desgaste é a elevação de sua dureza superficial por meio de uso de tratamentos de superfícies. A nitretação é um tratamento termoquímico amplamente estudado para tratamento de superfície de aços inoxidáveis. As principais vantagens do processo são o aumento da resistência ao desgaste, à corrosão e à fadiga. A nitretação sob plasma é o processo mais atual e versátil em uso industrial. A possibilidade de controle da microestrutura da camada nitretada é a vantagem mais importante para a nitretação sob plasma sobre o processo de nitretação convencional líquida ou gasosa. Este controle microestrutural é realizado com a seleção correta dos principais parâmetros do processo, tais como a composição da mistura gasosa, temperatura e tempo. Particularmente, no caso dos aços inoxidáveis, o controle da microestrutura obtida no processo de nitretação é uma questão essencial para aumentar o desempenho. Apesar de outros trabalhos existentes para aços inoxidáveis da família dos martensíticos e austeníticos, o mecanismo de nitretação não pode ser completamente transposto para aços inoxidáveis ferríticos. Poucos trabalhos são apresentados na literatura sobre a nitretação dos aços inoxidáveis ferríticos, sendo mais frequentes algumas citações em trabalhos não específicos. Entretanto, o entendimento das transformações que ocorrem na ferrita livre de tensões, em condições em que a única variável de processo é a composicional, é uma forma importante e única para se elaborar os mecanismos envolvidos na formação da ferrita expandida.

OBJETIVOS

O presente projeto pretende estudar as transformações na Nitretação sob Plasma para o aço inoxidável ferrítico tipo 410 em temperaturas correspondentes a região baixa, 400°C e a região elevada, 530°C, a fim de caracterizar as camadas nitretadas e os mecanismos envolvidos no seu crescimento e endurecimento.

METODOLOGIA

Para o estudo referente ao projeto foi recebido o material correspondente ao Aço Inoxidável Ferrítico sob a designação comercial ACE P410D. O material foi recebido na forma de chapa laminada a frio com 3,0 mm de espessura na condição solubilizada. Os tratamentos de nitretação foram realizados em um reator de plasma pulsado-DC. Antes da nitretação as amostras tiveram a superfície previamente polida até o

acabamento com pasta de diamante de 1 μm . A nitretação das amostras ocorreu nas temperaturas de 400°C, Nitretação a Baixa Temperatura (LTPN), e 530°C, Nitretação a Alta Temperatura (HTPN). Nas duas temperaturas o tempo do processo foi de 20 horas, utilizando uma mistura gasosa de 75%N₂:25%H₂. Antes da etapa de nitretação foi incluída uma etapa de bombardeamento iônico com hidrogênio puro, por um período de 90 minutos a 380°C, com a finalidade de remover a camada passiva de Cr₂O₃ e ativar a superfície. O endurecimento foi estudado por medidas de microdureza Vickers com cargas de 25 e 50 gramas para determinar o potencial de endurecimento superficial e o perfil de endurecimento transversal. A qualidade do acabamento superficial das amostras nitretadas foram comparadas com o acabamento de uma amostra sem tratamento na condição polida. As observações da microestrutura foram feitas por microscopia óptica (MO). A identificação das fases presentes em cada processo de nitretação, nas superfícies nitretadas, foi realizada pela técnica de Difração de Raios-X (DRX) em simetria de Bragg-Brentano, operando com radiação Cu-K α , usando um ângulo de varredura de (2 θ) de 30 a 120° e usando uma velocidade de varredura angular de 1°/min, com passo de 0,02°.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a nitretação ter sido concluída, primeiramente, observa-se que há mudanças nos acabamentos aspectos superficiais das superfícies nitretada. Quando o processo foi realizado à baixa temperatura (LTPN), nota-se que as amostras nitretadas têm um aspecto visual próxima ao substrato polido, com uma pequena diminuição de seu brilho superficial. Por outro lado, quando a nitretação é realizada a alta temperatura (HTPN), a aparência da amostra se altera completamente em relação ao polido, caracterizando-se por um aspecto superficial escurecida. Numa segunda fase, mediu-se a microdureza de topo, superficial, para verificar a intensidade do endurecimento causado pela difusão do nitrogênio na nitretação, comparando com a condição inicial não nitretada. O material na condição recebida, solubilizada, apresentou a dureza de 247HV. Para a nitretação à baixa temperatura obtêm-se uma dureza média de $1296,4 \pm 148$ HV, média de cinco medidas. Realizando as medidas para a nitretação a alta temperatura, anteriormente descritas, obteve-se uma dureza média de $1274,9 \pm 55,4$ HV. O endurecimento superficial pela nitretação está ligado a mecanismos diferentes para a LTPN e a HTPN. Na nitretação a alta temperatura (HTPN) ocorre à formação intensa de nitretos de ferro e de nitretos de cromo, que causam endurecimento por precipitação. Em contrapartida, a nitretação a baixa temperatura o mecanismo de nitretação se modifica. Verifica-se por DRX a formação de “ferrita expandida-(α_n)”. Isso ocorre devido à supersaturação de nitrogênio nos interstícios do reticulado cristalino CCC causando uma distorção em sua rede cristalina, gerando tensões residuais de compressão na camada nitretada que é responsável pelo endurecimento superficial. Observa-se, também, que houve apenas a formação de nitreto de ferro do tipo $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$, em comparação com a HTPN, e que não houve a formação de nitretos de cromo devido à baixa difusividade do cromo, na temperatura de processo, 400°C. Analisando as microestruturas das camadas nitretadas podemos observar que a microestrutura nitretada a 530°C foi fortemente atacada pelo reagente de Nital 4% deixando a Camada Branca e a Zona de Difusão evidenciadas. A Zona de Difusão é a região da amostra que houve a precipitação de nitretos de cromo e de ferro, assim o cromo retirado de solução sólida para reagir com o nitrogênio e formar o nitreto CrN é o motivo pelo qual a camada nitretada sofre um grande ataque do reagente, indicando que houve no material uma redução na sua resistência à corrosão. A camada nitretada tem uma profundidade de aproximadamente 185 μm , medida até o fim da precipitação de nitretos. Já a baixa temperatura (LTPN) a microestrutura da camada

nitretada é formada pela matriz ferrítica supersaturada em nitrogênio e não atacada pelo reagente de Nital, demonstrando a preservação da resistência à corrosão, com precipitação de nitretos de ferro ao longo dos contornos de grão. A profundidade é de aproximadamente 30 μm .

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste projeto de pesquisa permitem concluir que o material fornecido à pesquisa pela empresa Arcelor Mittal Inox Brasil, aço inoxidável ferrítico sob a designação comercial ACE P410D, possuiu todos os requisitos metalúrgicos necessários para a aplicação bem-sucedida deste projeto, tanto em relação à sua microestrutura como a sua composição química. Na nitretação a baixa temperatura o acabamento superficial do aço é pouco alterado, mantendo a coloração cinza metálica, apenas com uma mudança para o aspecto fosco, consequência da formação de ferrita expandida. Na nitretação a alta temperatura o acabamento superficial é severamente comprometido tornando a superfície totalmente escurecida, consequência da intensa precipitação de nitretos e formação da Camada de Compostos. Os resultados obtidos mostraram a eficácia do processo de nitretação sob plasma pulsado no endurecimento superficial do aço em estudo. Ficou evidente que é possível elevar a dureza superficial do aço em cerca de cinco vezes, atingindo valores superiores a 1200HV para as duas temperaturas pesquisadas. Para a nitretação a alta temperatura, 530°C, foi observado que este método de endurecimento superficial do aço é eficaz, aumentando a sua dureza para 1274,9 HV. Entretanto, devido à intensa formação de nitretos, principalmente nitreto de cromo, houve uma redução significativa na resistência à corrosão na HTPN. Para a nitretação a baixa temperatura, 400°C, foi observado que a dureza superficial do material um aumento de dureza para 1296,4HV, mas, em contrapartida com a nitretação a alta temperatura, ocorre à formação da ferrita expandida devido à supersaturação do nitrogênio nos sítios intersticiais do reticulado. A resistência à corrosão do material não foi prejudicada, pois não houve formação de nitretos de cromo. Os perfis de endurecimento transversal, do tipo patamar e tipo difuso, são dependentes da temperatura de nitretação. Na HTPN o perfil de dureza e do tipo patamar em consequência da forte interação entre o nitrogênio e o cromo auxiliando na formação de nitretos de cromo, com sua dureza permanecendo constante por toda a camada nitretada e sofrendo uma queda acentuada quando em direção ao seu núcleo. Já para a LTPN o perfil de dureza é do tipo difuso devido à interação do nitrogênio com o cromo serem do tipo intermediário, esse tipo de interação dificulta a formação de nitretos de cromo da qual foi totalmente inibida e só há a presença de nitretos de ferro. Sua dureza tem a característica de diminuir gradativamente ao longo da camada nitretada. A profundidade de nitretação é superior para a temperatura de 530°C comparativamente com 400°C por consequência da maior difusividade do nitrogênio na temperatura mais elevada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCELOR MITTAL INOX BRASIL. Aço Inoxidável Ferrítico ACE P410D.

CAETANO, R. R.; FRANCO JR, A. R.; PINEDO, C. E. Características de formação da austenita expandida na nitretação por plasma do aço inoxidável austenítico AISI 316 Grau ASTM F138, CBECMAT - Anais de Congresso, 2003

DONG, H. S-phase surface engineering of Fe-Cr, Co-Cr and Ni-Cr alloys. International Materials Review, v. 55, p. 1-34, 2010.

EDENHOFER, B. Physical and metallurgical aspects of ion nitriding. Heat Treatment of Metals, v. 1, p. 23-28, 1974.

JACK, D. H. Nitriding. Heat Treatment'73, London, p. 39-50, 1973.

KIM, S.K.; YOOA, J.S.; PRIEST, J.M.; FEWELL, M. P. Characteristics of martensitic stainless steel nitriding a low-pressure RF plasma. Surface and Coatings Technology, v. 163-164, p. 380-385, 2003.

LIGHTFOOT, J.; JACK, D. H. Kinetics of nitriding with and without compound layer formation. Heat Treatment'73, London, p. 59-65, 1973.

MINGOLO N; TSCHIPTSCHIN, A. P.; PINEDO, C. E. On the formation of expanded austenite during plasma nitriding of an AISI 316L austenitic stainless steel. Surface and Coatings Technology, v. 20, p. 4215-4218, 2006.

PINEDO, C. E. The use of selective plasma nitriding on piston rings for performance improvement. Materials & Design, V. 24, p. 131-135, 2003.

PINEDO, C. E.; MAGNABOSCO, R. Mecanismos de nitreção sob plasma do aço inoxidável martensítico AISI 420 nitretado a alta e baixa temperatura Technol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 12, p. 257-264, 2015.