

## Motivaciones para la investigación y el desarrollo de aceros inoxidables con capas gruesas enriquecidas con nitrógeno

Paulo César Borges<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Subeditor de Superfícies.

Grupo de Materiais Tribologia e Superfícies – GrMaTS/UTFPR, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Ecoville CEP: 81280-340, Curitiba, PR, Brasil.  
e-mail: pborges@utfpr.edu.br

### 1. INTRODUCCIÓN

Se sabe que el carbono presenta un efecto significativo en las propiedades de los aceros; las alteraciones de su contenido, en conjunto con los tratamientos térmicos y/o mecánicos, modifica todas las propiedades del acero. También es conocido que ese efecto se debe principalmente a los siguientes factores: la transformación alotrópica del hierro; la diferencia en la solubilidad intersticial del carbono y de su efecto en las diferentes fases del hierro cuando se encuentra en solución sólida; la posibilidad de formar carburos de hierro y de otros elementos de la aleación; y la transformación martensítica.

Comparando el nitrógeno con el carbono, se puede decir que: el nitrógeno presenta una mayor solubilidad y una menor tendencia a la precipitación para un mismo nivel de endurecimiento. Al igual que el carbono, estabiliza la fase gamma del hierro y permite la obtención de martensita cuando se somete a enfriamiento rápido. En contraste con el carbono, la agregación de nitrógeno al acero proporciona un mayor punto de fluencia y resistencia mecánica, sin afectar la tenacidad en la condición recocida [1]. En otras palabras, el nitrógeno tiene una influencia análoga en las propiedades y el desempeño de los aceros en comparación con el carbono, con algunas ventajas.

Así que, la adición de nitrógeno al acero afecta significativamente algunas propiedades, tales como: dureza, propiedades elásticas y plásticas, el punto de fatiga, resistencia al desgaste y a la corrosión. En consecuencia, inspirados por este fenómeno, varios grupos de investigación de todo el mundo comenzaron a dedicarse al estudio de la adición de nitrógeno al acero, analizando tanto los procesos como sus propiedades. De esta forma, según la información de la base de datos del portal de periódicos CAPES, al que se accedió el 28/03/2020, se concluye que el tema de nitruración es de gran relevancia en la actualidad. De hecho, al buscar las palabras clave "Nitriding" y "Steel", según el portal se produjeron 3225 artículos revisados por pares en los últimos 10 años.

La nitruración de aceros se puede realizar en largos períodos de tiempo y con temperaturas de hasta 560°C. En tales casos, el espesor de la capa de compuestos y de la capa de difusión depende de la temperatura, del tiempo y de la atmósfera del tratamiento, así como de la composición de la aleación. Genel *et al* [2] realizó una nitruración del acero AISI 4140 templado y revenido (320HV) en una atmósfera de 30% de N<sub>2</sub> + 70% de H<sub>2</sub> durante 16 h a una temperatura de 475°C. Luego de esos procesos, se observaron capas de compuestos de 6 µm de espesor. En cuanto a la profundidad de endurecimiento, se obtuvo un valor de 350 µm con una dureza mayor o igual a 400 HV.

Sin embargo, si el material de interés es un acero inoxidable, las temperaturas de nitruración suelen estar limitadas a 400°C, generalmente definidas como nitruración por plasma a bajas temperaturas (*Low Temperature Plasma Nitriding – LTPN*). Temperaturas más altas, o largos periodos de tiempo de nitruración, generalmente conducen a la precipitación de nitruros de cromo. El cromo es el principal responsable de la formación de la capa pasiva en aceros inoxidables. Cuando este elemento está en forma de nitruros, la película pasiva no siempre se forma, y cuando se forma no siempre es estable. Consecuentemente, el acero comienza a presentar un bajo rendimiento en términos de resistencia a la corrosión. Si se adiciona nitrógeno en solución sólida al acero, la resistencia a la corrosión aún se puede mejorar. Cuando el acero se sumerge en un medio electroquímico agresivo, el nitrógeno soluble en el acero reacciona con el medio, de acuerdo con la reacción  $N + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NH_4^+$ . Esta reacción neutraliza el efecto de la acidez y disminuye la tendencia a la

corrosión localizada [3,4].

Consecuentemente, los procesos de nitruración a bajas temperaturas de los aceros inoxidable permiten la obtención de capas resistentes a la corrosión, con alto contenido de nitrógeno, pero con espesores de capa generalmente inferiores a 10  $\mu\text{m}$ .

Considerando situaciones en las que la resistencia a la fatiga es relevante, un punto importante que se debe tener en cuenta son las tensiones residuales y la profundidad de endurecimiento. Según [2], el límite de resistencia a la fatiga responde linealmente al aumento en la profundidad de endurecimiento. Para aplicaciones donde el desempeño frente al desgaste es relevante, se deben considerar los siguientes criterios de optimización: la dureza de la capa, el límite de fluencia de la superficie y el espesor.

Una capa dura, rígida y espesa, aumenta la separación de las superficies, reduce el área de contacto y disminuye el coeficiente de fricción [5], además de mejorar la resistencia a la abrasión. Siendo así, los tratamientos superficiales que producen capas duras, rígidas, profundas y con tensiones residuales de compresión presentan un campo de aplicación en situaciones de fatiga y desgaste.

Actualmente, los procesos de nitruración que permiten obtener capas con espesores entre 500 y 1000  $\mu\text{m}$ , son los procesos de nitruración gaseosa a alta temperatura (*HTGN - High Temperature Gas Nitriding*) y el tratamiento térmico de solubilización después de la nitruración por plasma (*SHTPN - Solution Heat Treatment after Plasma Nitriding*). El proceso SHTPN, permite obtener capas con espesores de hasta 750  $\mu\text{m}$ , con durezas equivalentes a las obtenidas en el templado del acero (hasta 700 HV) y altos esfuerzos residuales (hasta 500Mpa) [6]. Además, esta superficie aún puede someterse a un tratamiento de nitruración a baja temperatura. Como resultado, se obtienen capas de fases expandidas, sobre la capa obtenida previamente con espesores del orden de 10  $\mu\text{m}$  y una dureza de hasta 1300 HV. Capas como esta, presentan alta dureza superficial, gradiente más suave y mejor soporte para la capa de fase expandida, obtenida por LTPN. Para el lector interesado, hay más información disponible sobre los tratamientos HTGN y SHTPN en la bibliografía [7-12].

Finalmente, la imposibilidad de obtener capas espesas mediante el tratamiento de nitruración a baja temperatura, alienta a los investigadores a estudiar procesos como HTGN o SHTPN concomitantes o no con otros tratamientos superficiales. Por lo tanto, debido al potencial de aplicación en la industria metalmeccánica de capas nitruradas espesas, duras y con altas tensiones residuales, el estudio de los procesos HTGN o SHTPN puede ser relevante.

## 2. BIBLIOGRAFIA

- [1] SIMMONS, J. W., "Overview: high-nitrogen alloying of stainless steels", *Materials Science and Engineering*, v.207, pp. 159-169, 1996.
- [2] GENEL, K., DEMIRKOL, M., ÇAPA, M., "Effect of ion nitriding on fatigue behaviour of AISI 4140 steel", *Materials Science and Engineering A*, v.279, pp. 207–216, 2000.
- [3] GRABKE, H.J. , "The role of nitrogen in the corrosion of iron and steels", *ISIJ International*, v.36, n.7, pp. 777–786, 1996.
- [4] OLEFJORD, I., WEGRELIUS, L., "The influence of nitrogen on the passivation of stainless steels", *Corrosion Science*, v. 38, n.7, pp.1203–1220, 1996.
- [5] TAKASHI, N., KATO, T., "Influence of a hard surface layer on the limit of elastic contact Part II: Analysis Using a Modified GW Model", *Journal. Tribology*, v.124, n.4, pp. 785-793, 2002.
- [6] BERTON, E.M., "Corrosão e propriedades mecânicas da martensita de nitrogênio formada sobre o aço AISI 409 tratado pelo SHTPN", Tese de D.Eng. UTFPR, Curitiba, Pr, Brasil, 2019.
- [7] GARZÓN, C. M., TSCHIPTSCHIN, A. P. "Nitretação gasosa em alta temperatura de aços inoxidáveis". *Revista Matéria*, v. 10, n. 4, pp. 502 – 525, 2005.
- [8] BERTON, E. M., NEVES, J. C. K., MAFRA, M., *et al.*, "Nitrogen enrichment of AISI 409 stainless steel by solution heat treatment after plasma nitriding", *Kovove Mater.*, v. 55, pp. 1–5, 2017
- [9] SUNG, J.H. KONG, J.H. YOO, D.K., *et al.*, "Phase changes of the AISI 430 ferritic stainless steels after high-temperature gas nitriding and tempering heat treatment", *Materials Science and Engineering A*, 2008, doi:10.1016/j.msea.2007.11.078
- [10] REIS, R. F., MALISKA A. M., BORGES P. C. "Nitrogen surface enrichment of austenitic stainless steel ISO 5832-1", *J Mater Sci*, v46, p846–854, 2011.
- [11] BORGES, P. C., ROCHA L. A., "Solution heat treatment of plasma nitrided 15-5PH stainless steel Part

I. Improvement of the corrosion resistance”, *Kovove Mater.*, v49, p107–117, 2011.

[12] TSCHIPTSCHIN, A.P., VARELA, L.B., PINEDO, C.E., *et al.*, “Development and microstructure characterization of single and duplex nitriding of UNS S31803 duplex stainless steel”, *Surface & Coatings Technology*, v. 327, pp. 83–92, 2017.

[13] MAFTOUM, R.A., BORGES, P.C., MARQUEZE, C.M., “Influência do nitrogênio na resistência à erosão por cavitação do aço inoxidável martensítico”, *Revista Matéria*, v. 22, n. 1, e11933, 2017.

[14] REIS, R. F., BORGES P. C., PANDOLFO, V., “Nitretação por plasma do aço ISO 5832-1 em alta temperatura: Influência do tempo de tratamento e sua aplicação no processo SHTPN”, *Revista Matéria*, v.18, n.04, pp. 1525 – 1540, 2013.

#### **ORCID**

Paulo César Borges, <http://orcid.org/0000-0002-9622-6412>