

NITRURACIÓN IÓNICA DEL ACERO SAE-1020 ALUMINIZADO

M.A. Béjar y R. Lozano

Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, CHILE

E-mail (M.A. Béjar): abejar@ing.uchile.cl

RESUMEN

Probetas de acero SAE-1020 de forma cúbica, de 20 mm por lado, fueron previamente normalizadas, pulidas, desengrasadas, decapadas y limpiadas con alcohol. Luego, la mayoría de estas probetas fueron aluminizadas manteniéndolas sumergidas en una aleación de aluminio a 850°C durante 15 minutos. El resto de las probetas fueron sumergidas durante 10 y 20 minutos a temperaturas de 750 y 950 °C. En seguida, todas las probetas fueron recubiertas con arcilla y calentadas a 900°C durante 1, 3 y 6 horas, con el objeto de provocar la difusión del aluminio. Posterior a este tratamiento de difusión, las probetas fueron limpiadas e introducidas en una solución de hidróxido de sodio durante 30 minutos, con el objeto de eliminarles el exceso de aluminio superficial. Finalmente, las probetas fueron nitruradas durante 2 horas a 475 y 532 °C, en un plasma continuo de una mezcla de 25%N₂+75%H₂ a una presión de 3 Torr. Algunas otras probetas de acero SAE-1045 también fueron sometidas al mismo tratamiento de aluminizado y nitruración anteriormente descrito.

Los resultados de este trabajo permiten concluir que un tratamiento de aluminizado y nitrurado iónico es efectivo para endurecer superficialmente el acero SAE-1020. Para un aluminizado con una sumersión en aluminio a 850 °C durante 15 minutos y un nitrurado iónico a 532 °C durante 2 horas, este acero alcanzó una dureza superficial de 1300 HV y un espesor de capa endurecida de 150 micrones. Con este mismo tratamiento, el acero SAE-1045 no logró ser endurecido.

Tópico: Tópico 2: Materiales Metálicos

Palabras clave: Nitruración, Plasma, Aluminizado, Acero.

1. INTRODUCCIÓN

La nitruración es un proceso termoquímico que difunde nitrógeno a través de la superficie de materiales metálicos. Este proceso se utiliza, típicamente, para endurecer la superficie de algunos metales y aleaciones, y el endurecimiento que se produce se debe a los nitruros que se forman. En el caso de hierro puro o de aceros al carbono, la dureza superficial que se alcanza es relativamente baja (350-450 HV) [1,2] porque los nitruros son nitruros de hierro. Para que la dureza superficial de materiales ferrosos sea alta, el material debe contener algunos elementos de aleación como cromo y aluminio [2-7].

La motivación de este trabajo fue estudiar si un acero de bajo carbono, sin ningún elemento de aleación puede ser endurecido superficialmente mediante un aluminizado por inmersión en caliente y un posterior nitrurado por plasma.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Probetas cúbicas (20 mm por lado) de acero SAE-1020 fueron primeramente recocidas (900 °C, 1 hora, enfriadas en aire), desengrasadas con acetona, pulidas con lija malla 400, decapadas con una solución de ácido sulfúrico al 12%, limpiadas con alcohol y finalmente secadas con aire caliente. Luego, las probetas fueron mantenidas sumergidas en un baño de una aleación de aluminio-silicio fundido (6.4%Si0.59%Mg0.23%Fe) durante tiempos de 10, 15 y 20 minutos, a temperaturas de 750, 850 y 950 °C. En seguida, las probetas fueron cubiertas con arcilla y calentadas a 900 °C durante 1, 3 y 6 horas. Después de este calentamiento, las probetas

fueron limpiadas e introducidas en una solución acuosa de NaOH (10%, 80°C) durante 30 minutos. Adicionalmente, el mismo procesamiento se realizó con algunas probetas de acero SAE-1045. Finalmente, las probetas aluminizadas fueron nitruradas iónicamente durante 2 horas a dos temperaturas: 475 y 532 °C en un plasma continuo de una mezcla de 25% N₂+75% H₂ a una presión de 3 Torr.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Aluminizado

En la Figura 1 se muestra una micrografía óptica del corte de una probeta de acero 1020, después de permanecer durante 15 minutos sumergida en el Al-Si a 850 °C. Se encontró que en la superficie del acero se formó una capa intermetálica que, para el caso mostrado, fue de un espesor aproximado de 70 micrones. Al sumergir otros aceros al carbono (SAE-1010 y -1045), el espesor de esta capa intermetálica disminuyó con el porcentaje de carbono, tal como se muestra en la Figura 2. Este resultado concuerda con los resultados mostrados por Hwang et al. [8]. Por otro lado, la composición de esta capa intermetálica dependería del contenido de carbono del acero. Para el acero 1020 la capa intermetálica estaría constituida por Al₆Fe₂Si y Al₂₁Fe₁₀Si; en tanto que para el acero 1045 sería de Al₅FeSi y Al₂₉Fe₁₂Si [8]. En todas las probetas, una cierta capa residual de la aleación Al-Si permaneció en la superficie de ellas.

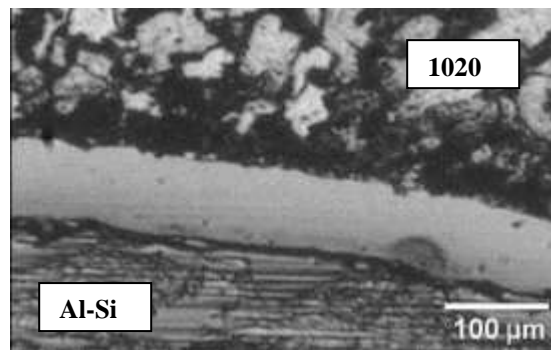


Figura 1. Acero 1020 sumergido en aluminio (850 °C, 15 min)

El valor del espesor de la capa intermetálica formada sobre el acero 1020, para distintas condiciones de sumersión, se presenta en la Figura 3. Se observa que el espesor aumentó tanto con la temperatura como con el tiempo. Para una sumersión a 750 °C durante 10 minutos, esta capa no se formó; en tanto que para una sumersión a 950 °C durante 20 minutos, el espesor fue de 125 micrones.

En relación a la Figura 1, al calentar a 900 °C durante 1 hora la probeta de acero 1020 con una sumersión a 850 °C durante 15 minutos, el espesor de la capa intermetálica aumento de 70 a aproximadamente 120 micrones, como se observa en la Figura 4. En la misma figura 4 se observa además, que el Al-Si residual desapareció. Al aumentar la duración del calentamiento a 900 °C, el espesor de la capa intermetálica disminuyó. Así, para una duración de 3 horas, el espesor fue sólo de entre 35 y 50 micrones, como se muestra en la Figura 5.

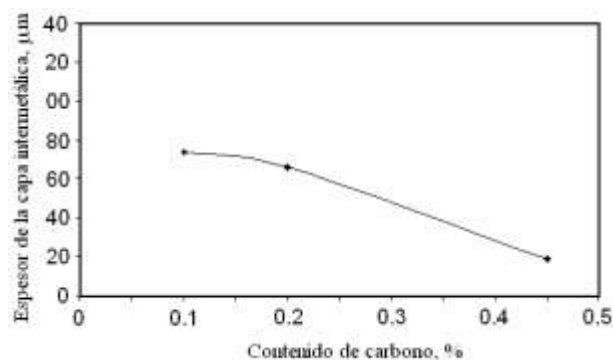


Figura 2. Influencia del contenido de carbono del acero en el espesor de la capa intermetálica

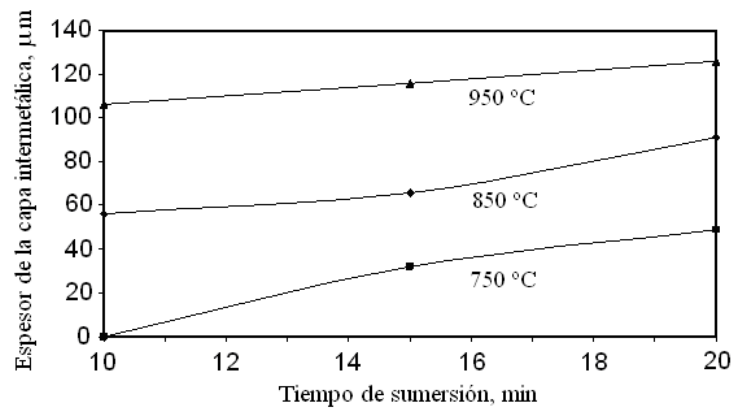


Figura 3. Influencia del tiempo de sumersión y de la temperatura en el espesor de la capa compuesta

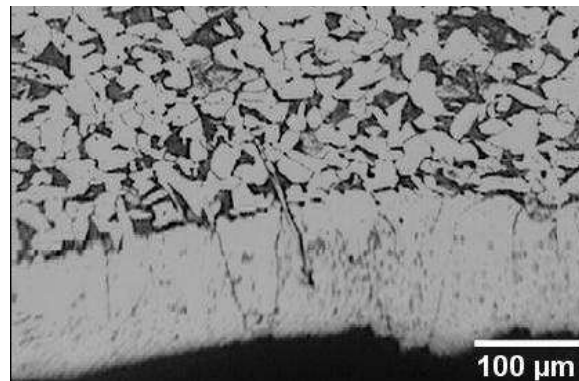


Figura 4. Acero 1020 de la Figura 1 calentado a 900 °C durante 1 hora

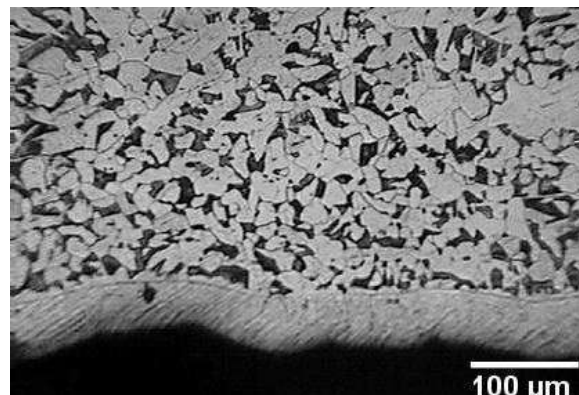


Figura 5. Acero 1020 de la Figura 1 calentado a 900 °C durante 3 horas

Estos resultados indican que con el calentamiento a 900 °C, mientras exista Al-Si residual en la superficie, la capa intermetálica crece más rápidamente de lo que ella se disuelve en el acero. Una vez que se agota el Al-Si residual, la capa intermetálica sigue disolviéndose, por lo que su espesor disminuye. Después de un calentamiento a 900 °C durante 6 horas, sólo trazas de la capa intermetálica permanecieron en la superficie de las probetas. Después de sumergir estas probetas con 6 horas de calentamiento en la solución de NaOH, su

contenido de aluminio fue como se muestra en la Figura 6. El contenido máximo de aluminio de estas probetas fue de 8.5 % (en la superficie) y su microdureza superficial de 160-180 HV.

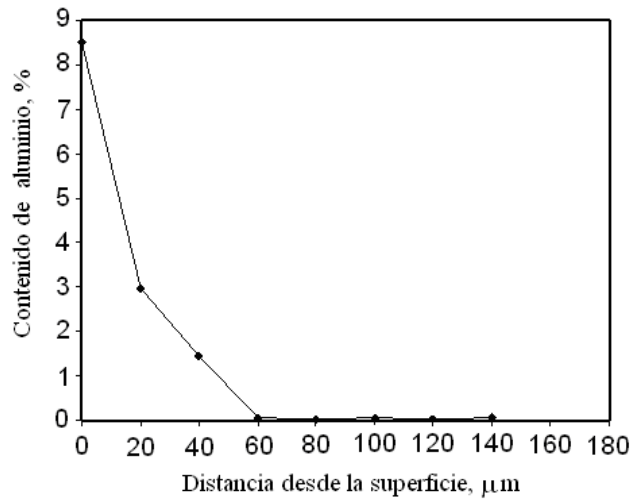


Figura 6. Contenido de aluminio del acero 1020 de la Figura 1 calentado a 900 °C durante 6 horas

En el caso del acero 1045, para iguales condiciones de procesamiento, los resultados fueron muy diferentes: el aluminio adherido a las probetas (aluminizado) no desapareció con el calentamiento post-sumersión, tal como se muestra en la Figura 7. Este resultado indicaría que la capa intermetálica sería una capa bastante estable, lo que impediría la difusión del aluminio. Este resultado concuerda con los resultados obtenidos por Rajendran et al. [9]. Ellos encontraron que para un acero con un contenido medio en carbono aluminizado por sumersión, el espesor de la capa intermetálica no se reduce después de un recocido a 900 °C por 5 horas.

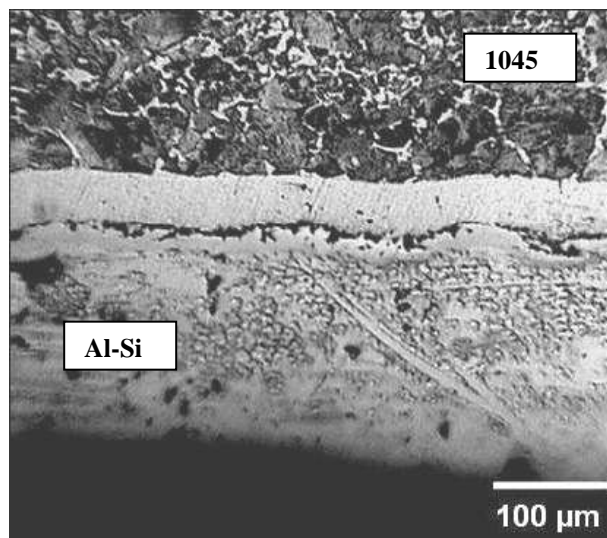


Figura 7. Acero 1045 sumergido en aluminio (850 °C, 15 min) y calentado a 900 °C durante 3 horas

3.2 Nitruado por plasma

En las Figuras 8 y 9 se muestran los perfiles de microdureza de las probetas de acero 1020 aluminizado (850 °C, 15 minutos y con 6 horas de recocido), después de haber sido nitruadas por plasma. Como se puede observar, la dureza superficial aumentó significativamente. Para un nitruado a 475 °C, la microdureza superficial aumentó hasta lo 875 HV; en tanto que para un nitruado a 532 °C, subió hasta los 1300 HV. Para estas temperaturas de nitruado el espesor de la capa endurecida fue de aproximadamente 100 y 150 μm , respectivamente.

Los relativamente altos valores de dureza superficial y de espesor de la capa endurecida podrían resultar sorprendentes si se tiene en cuenta: a) que el contenido superficial de aluminio de las probetas previo al nitruado fue relativamente alto (8.5%), y b) que una alta dureza superficial y un significativo espesor de capa endurecida se obtienen en aceros de baja aleación que contengan del orden de 1% de aluminio [10]. Lo anterior se explicaría porque durante el nitruado iónico se produjo una pérdida de aluminio, como consecuencia del bombardeo iónico asociado. En la Figura 10 se puede observar que durante el nitruado el perfil de contenido de aluminio se modificó significativamente. Después del nitruado, el contenido superficial de aluminio fue de sólo un 0.3% y el espesor de la capa aluminizada aumentó de aproximadamente 60 a 160 micrones.

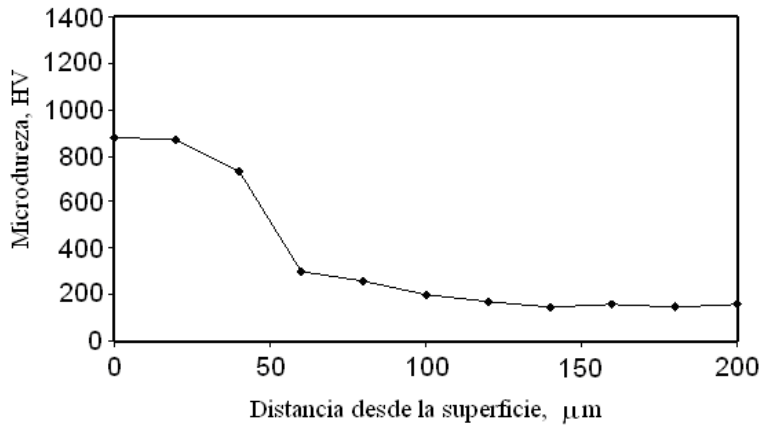


Figura 8. Microdureza del acero 1020 de la Figura 1 calentado a 900 °C durante 6 horas y nitruado a 475 °C

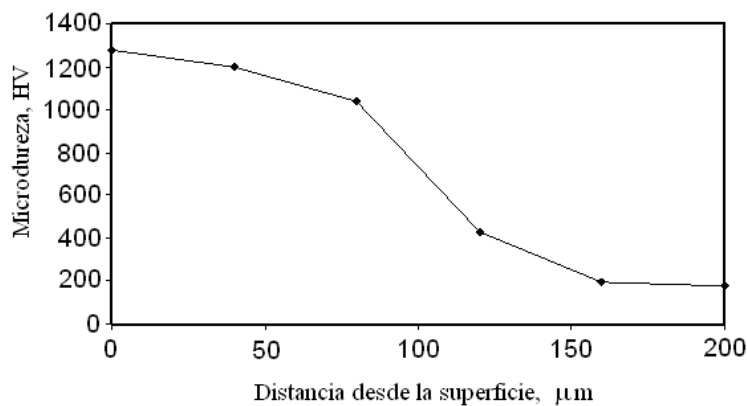


Figura 9. Microdureza del acero 1020 de la Figura 1 calentado a 900 °C durante 6 horas y nitruado a 532 °C

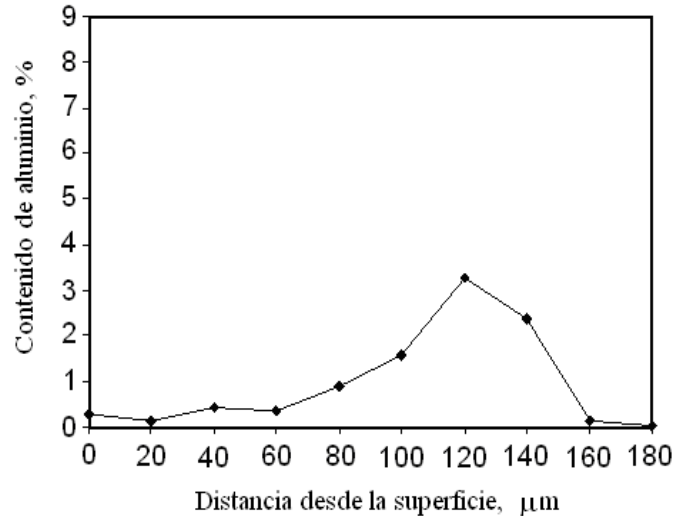


Figura 10. Contenido de aluminio del acero 1020 de la Figura 1 calentado a 900 °C durante 6 horas y nitrurado a 532 °C

4. CONCLUSIONES

El acero SAE-1020 puede ser endurecido superficialmente mediante un tratamiento dúplex consistente en un aluminizado por sumersión en aluminio fundido seguido por un nitrurado por plasma. Mediante este tratamiento, la microdureza superficial puede alcanzar los 1300 HV. Este tratamiento no es efectivo para endurecer superficialmente aceros con un contenido medio de carbono.

REFERENCIAS

1. C.-Z. Chen, X.-H. Shi, P.-C. Zhang, B. Bai, Y.-X. Leng and N. Huang, “The microstructure and properties of commercial pure iron modified by plasma nitriding”; *Solid State Ionics*, Vol. 179 (2008), p. 971–974.
2. C. Alves Jr., F.O. de Araújo, K.J.B. Ribeiro, J.A.P. da Costa, R.R.M. Sousa and R.S. de Sousa, “Use of cathodic cage in plasma nitriding”; *Surface & Coatings Technology*, Vol. 201 (2006), p. 2450–2454.
3. N.E. Vives Díaz, R.E. Schacherl, L.F. Zagonel and E.J. Mittemeijer, “Influence of the microstructure on the residual stresses of nitrided iron–chromium alloys”; *Acta Materialia*, Vol. 56 (2008), p. 1196–1208.
4. W. Liang, “Surface modification of AISI 304 austenitic stainless steel by plasma nitriding”; *Applied Surface Science*, Vol. 211 (2003), p. 308–314.
5. D. Kim, M. Kim, K.S. Nam, D. Chang and S.C. Kwon, “Duplex coating for improvement of corrosion resistance in chromium deposit”; *Surface and Coatings Technology*, Vol. 169 –170 (2003), p. 650–654.
6. P. Vissutipitukul and T. Aizawa, “Wear of plasma-nitrided aluminum alloys”; *Wear*, Vol. 259 (2005), p. 482–489.
7. G. Straffelini, G. Avi and M. Pellizzari, “Effect of three nitriding treatments on tribological performance of 42CrAlMo7 steel in boundary lubrication”; *Wear*, Vol. 252 (2002), p. 870-879.
8. S.-H. Hwang, J.-H. Song, and Y.-S. Kim, “Effects of carbon content of carbon steel on its dissolution into a molten aluminum alloy”; *Materials Science and Engineering A*, Vol. 390 (2005), p. 437–443.
9. R. Rajendran, S. Venkataswamy, U. Jaikrishna, N. Gowrishankar and A. Rajadurai, “Effect of process parameters in hot dip aluminizing of medium carbon steel”, FISITA2006 (World Automotive Congress), JSAE Paper N°20068416, Oct. 2006.
10. ASM, “Source Book on Nitriding”, American Society for Metals, 1977, p. 125-143.