

Ablandamiento Cíclico de un Acero Inoxidable Dúplex a 773K.

S. Hereñú, I. Alvarez- Armas y A. F. Armas

Instituto de Física Rosario, CONICET – Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
Bv.27 de Febrero 210 bis – 2000- Rosario- Argentina.
e-mail: armas@ifir.ifir.edu.ar

Se estudia el comportamiento cíclico de un acero inoxidable dúplex tipo DIN W. Nr 1.4460 en el rango de temperaturas desde temperatura ambiente a 773K. Como parte de esta investigación general, este trabajo analiza el comportamiento cíclico a 773K. La respuesta cíclica a esta temperatura con un rango de deformación total $\Delta\epsilon_t = 5.7 \times 10^{-3}$ esta caracterizada por un endurecimiento cíclico inicial hasta los 200 ciclos seguido por una etapa de ablandamiento que continua hasta la fractura. Con el objetivo de correlacionar la respuesta mecánica observada con las características microestructurales, se estudió mediante microscopia electrónica de transmisión la evolución de la microestructura durante el ciclado. De acuerdo con estas observaciones, es interesante destacar que ambas fases muestran cambios considerables. Dichos cambios se evidenciarían con un aumento del tamaño de los precipitados en la fase austenítica y con una evolución marcada en la estructura de dislocaciones en la fase ferrítica. Este trabajo propone que la etapa de ablandamiento podría estar relacionada con este último fenómeno.

The analysis of the cyclic behaviour of duplex stainless steel type DIN W. Nr 1.4460 in the range from room temperature to 773K is being performed in our laboratory. As part of our general investigation, the particular purpose of the present study is to analyse the cyclic behaviour observed at 773K. The cyclic response at this temperature with a total strain range $\Delta\epsilon_t = 5.7 \times 10^{-3}$ is characterized by an initial cyclic hardening up to 200 cycles followed by a softening stage which continues until fracture. Transmission electron microscopy studies have been carried out in each constitutive phase in order to determine the substructure evolution during cycling. According to these observations, is interesting to note that both phases show considerable changes as cycling proceeds. These changes would be associated with an increase of precipitate size in the austenitic phase and an abrupt dislocation evolution in the ferritic phase. This paper proposes that the softening stage would be related with this last phenomenon.

Introducción

Los aceros inoxidables austeno-ferríticos son materiales que pueden utilizarse en condiciones de servicio que requieran buenas propiedades mecánicas conjuntamente con excelente resistencia a la corrosión. Esto hace que el uso de estos aceros ha ido incrementándose en los últimos años para su aplicación en industrias petroquímicas y marinas. Actualmente, estos aceros son una importante alternativa de los aceros austeníticos para uso en aplicaciones médicas y odontológicas.

El principal problema que presentan los aceros dúplex en servicio es que son susceptibles de fragilizarse por envejecido en el caso de ser expuestos a temperaturas en el rango de 623K a 723K. Se encuentran en la literatura⁽¹⁾ estudios sobre la influencia del envejecimiento sobre la respuesta cíclica a temperatura ambiente. En estos estudios se han analizado los mecanismos de deformación cíclica y la evolución de la subestructura en probetas envejecidas y no envejecidas. Sin embargo, no se han encontrado en la literatura investigaciones sobre el comportamiento cíclico del acero inoxidable dúplex a elevadas temperaturas. De esta manera, nuestro laboratorio está investigando sobre el comportamiento cíclico del acero inoxidable dúplex tipo DIN W. Nr 1.4460 en el rango de temperaturas desde temperatura ambiente a 773K. De particular interés en este trabajo es intentar correlacionar el ablandamiento cíclico de una probeta ensayada a 773K con su correspondiente microestructura.

Procedimiento Experimental

El acero inoxidable dúplex tipo DIN.W. Nr 1.4460 seleccionado para el estudio fue suministrado por Metales Villares de Brasil cuya composición química es la siguiente (% peso):

C - 0.027, Si - 0.430, Mn - 1.29, P - 0.034, S - 0.007, Ni - 4.8, Cr - 24.1, Mo - 1.49

El material fue recibido como barras cilíndricas trabajadas en caliente de 20mm de diámetro. A partir de estas barras se mecanizaron probetas de fatiga de 18.4 mm de longitud útil (l_0) y 5mm de diámetro. Posteriormente, estas probetas fueron recocidas a 1323K por una hora seguido por un templado en agua. Los porcentajes de ferrita y austenita resultantes fueron de 28% de austenita en una matriz ferrítica como lo muestra la Figura 1.

Se realizaron ensayos cíclicos con control de deformación total con un rango $\Delta\epsilon_t = 5.7 \times 10^{-3}$ y con una velocidad de deformación total de $d\epsilon/dt = 1.1 \times 10^{-3} s^{-1}$. Los ensayos se realizaron en aire en una máquina INSTRON modelo 1362 a 773K. Con el fin de relacionar el comportamiento mecánico con la evolución subestructural se prepararon láminas delgadas de probetas cicladas hasta 100 y 2700 ciclos, respectivamente. La microestructura fue observada con un microscopio electrónico de transmisión Philips EM 300 operado a 100kV. Dado que este material es ferromagnético, fue necesario reducir la masa de las láminas delgadas de 3mm de diámetro. A tal fin se utilizó un punzón de precisión de 1mm de diámetro adquirido de la firma Fischione

Instruments Electropolisher Accessories. La extracción de láminas delgadas utilizando este punzón no modifica la subestructura de dislocaciones. Dicho hecho puede corroborarse de la baja densidad de dislocaciones observada en las láminas correspondientes a muestras sin ensayar. Finalmente, debido al diámetro tan pequeño de las láminas extraídas, estas son colocadas en grillas de cobre doble para su observación en el microscopio electrónico.

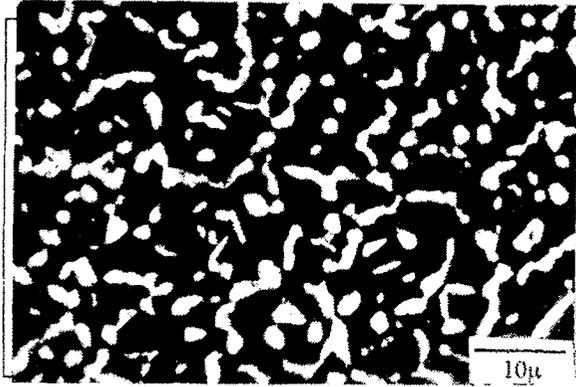


Figura 1. Microestructura del dúplex DIN W. Nr 1.4460

Resultados y Discusión

La Figura 2. muestra el comportamiento cíclico, obtenido digitalmente, de este acero a 773K. La respuesta cíclica a esta temperatura se caracteriza por un pronunciado endurecimiento cíclico inicial seguido por una etapa de ablandamiento que continua hasta la fractura. Cabe consignar que el ablandamiento que ocurre a esta temperatura es similar al observado en un acero ferrítico AISI 430F luego de un tratamiento de normalizado⁽²⁾.

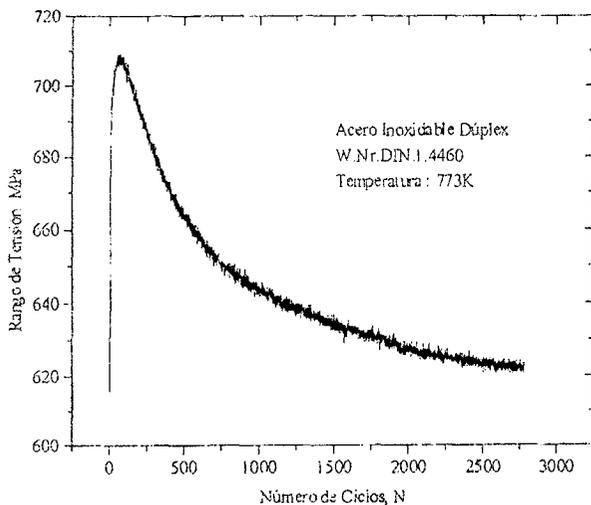


Figura 2. Comportamiento cíclico del dúplex a 773K.

La investigación de las características subestructurales se ha centrado en la comprensión de su relación con la respuesta mecánica presentada anteriormente. A tal fin, se realizó la caracterización de la microestructura de probetas cicladas hasta la zona de máximo endurecimiento (100 ciclos) y cerca de la fractura (2700 ciclos). Al hacerlo se ha puesto especial atención en intentar establecer la evolución individual en cada una de las fases: ferrita y austenita. Ambas fases muestran cambios considerables durante el ciclado. La subestructura en un grano austenítico de una probeta ciclada hasta 100 ciclos, que corresponde al máximo de endurecimiento cíclico, evidencia una distribución de pequeños precipitados entre marañas de dislocaciones (Figura 3.).

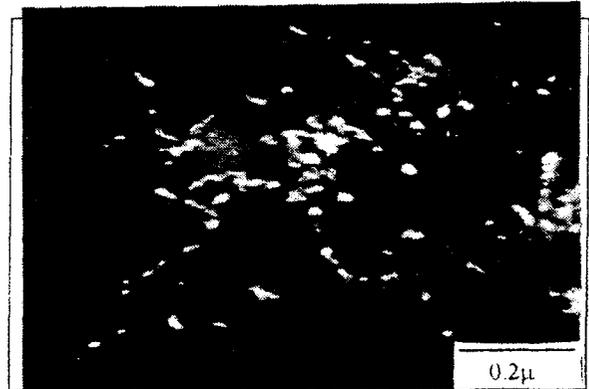


Figura 3. Imagen de campo oscuro de un grano austenítico correspondiente a una probeta ciclada hasta 100 ciclos. Distribución de pequeños precipitados entre marañas de dislocaciones.

Estudios basados en los posibles precipitados encontrados en la austenita tenderían a sugerir que las partículas que han precipitado podrían ser carburos⁽³⁾. La evolución de la estructura de dislocaciones en los granos de austenita no varía demasiado durante el ciclado. De esta manera, en probetas ensayadas hasta 2700 ciclos se siguen observando marañas de dislocaciones muy similares a las encontradas en 100 ciclos (Figura 4.).

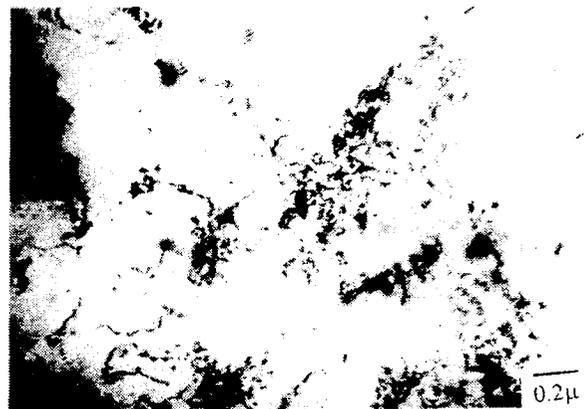


Figura 4. Estructura de dislocaciones en grano austenítico de probeta ensayada hasta 2700 ciclos.

Sin embargo, la característica más notable observada en la fase austenítica de probetas ensayadas hasta 2700 ciclos es el aumento en el tamaño y distancia entre los precipitados en comparación con 100 ciclos (Figura 5). Por otro lado, la subestructura de dislocaciones en la ferrita evoluciona desde enmarañamientos densos y rectos a los 100 ciclos (Figura 6.) hacia una baja densidad de dislocaciones a los 2700 ciclos (Figura 7.) Esta marcada evolución microestructural sería consistente con una posible aniquilación de dislocaciones por deslizamiento cruzado, hecho que dejaría más espacio libre para el movimiento de las dislocaciones móviles. El hecho que la estructura de dislocaciones no cambie demasiado durante el ciclado en la fase austenítica podría deberse a su deslizamiento planar que impediría que las dislocaciones desancladas de los precipitados se aniquilaran por deslizamiento cruzado.

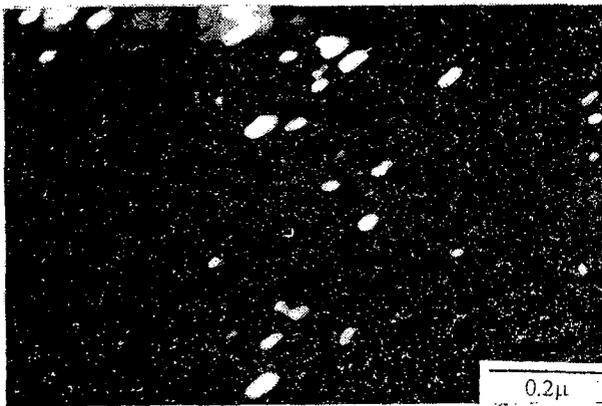


Figura 5. Imagen de campo oscuro en un grano austenítico correspondiente a una probeta ciclada hasta 2700 ciclos. Aumento en el tamaño de los precipitados producido durante el ciclado.

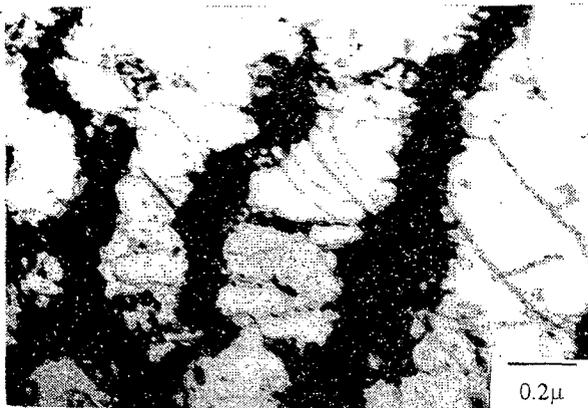


Figura 6. Maraños rectas y densas de dislocaciones en grano de ferrita correspondiente a una probeta ensayada hasta 100 ciclos.

De acuerdo con estas observaciones, es interesante notar que tanto en fase austenítica como en la fase ferrítica ocurren cambios durante el ciclado. En la fase austenítica éstos cambios podrían asociarse a un crecimiento de precipitados a expensas de otros más pequeños que podría atribuirse a un efecto sinérgico del ciclado y la temperatura. Sin embargo, la evolución de la microestructura de dislocaciones muestra cambios más marcados en la fase ferrítica pasando de una estructura de densas marañas a una baja densidad de dislocaciones. Esta última estructura de dislocaciones dejaría más espacios libres para el movimiento de las dislocaciones móviles lo que se asociaría con la etapa de ablandamiento. De este modo, la fase ferrítica sería la que tendría la mayor intervención en el mecanismo de ablandamiento. Este hecho sería consistente con el comportamiento mecánico similar observado en un acero ferrítico.



Figura 7. Baja densidad de dislocaciones en grano de ferrita en probeta ensayada hasta 2700 ciclos.

Conclusiones

- _ El endurecimiento cíclico ocurre durante la primera etapa de la vida en fatiga, y es seguido por un ablandamiento cíclico hasta la fractura.
- _ Ambas fases muestran cambios considerables durante el ciclado. En la fase austenítica son evidenciados por un aumento en el tamaño de los precipitados que podría estar causado por un efecto sinérgico del ciclado y la temperatura. Sin embargo, los cambios en la microestructura de dislocaciones son más abruptos en la fase ferrítica. Esto permitiría asumir que dicha fase sería la que tendría mayor responsabilidad en la etapa de ablandamiento.

Referencias

- 1- L. Llanes, A. Mateo, L. Iturgoyen y M. Anglada, Acta mat, vol 44, N°10, pp 3967- 3978, (1996).
- 2- A. Armas, I. Alvarez, M. Avalos, C. Petersen and R. Schmitt, 19th Symposium on Fusion Technology, Portugal, (1996).
- 3- D. Peckner y I. Bernstein, Handbook of Stainless Steel, Mc Graw - Hill Book Company, pp 4-35_ 4-38, (1977).