

Una mirada a daño por hidrógeno en materiales metálicos

INTRODUCCIÓN

El término DAÑO POR HIDRÓGENO (DPH) cubre toda una variedad de degradación de las propiedades mecánicas, desde la pérdida de ductilidad más o menos pronunciada hasta la fragilización propiamente dicha (rotura catastrófica).

El hidrógeno (H) es responsable de muchas fallas que ocurren en los metales especialmente en aquellas industrias que trabajan con ambientes que lo contienen o pueden liberarlo por reacciones con el material. Se han producido problemas en contenedores empleados en la industria gaseosa, en reactores nucleares, en productos tubulares y compresores de la industria química y petrolera, etc. A pesar de numerosos problemas acontecidos en servicio, en este momento el H es considerado como la opción del futuro para sustituir al petróleo como fuente principal de energía, tanto en el campo de la automoción y el transporte como en cualquier otro.

No obstante los esfuerzos y progresos realizados después de más de un siglo de estudios, el problema de DPH en los aceros no está resuelto ni desde el punto de vista teórico ni práctico.

A continuación describiremos el daño por hidrógeno en algunos metales y sus aleaciones.

CASO DE LOS ACEROS

En el caso de los aceros, la interacción del H con este material puede producir tres tipos de daños: ataque por H, fisuración inducida por H y fragilización asistida por H.

Ataque por hidrógeno (APH)

A comienzos del siglo pasado en Alemania, durante el desarrollo del proceso de síntesis del amoníaco, se encontró que el acero expuesto a altas temperaturas (200°C) y altas presiones parciales de hidrógeno (700 kPa) sufría importantes deterioro en sus propiedades mecánicas. Este tipo de daño conocido por APH es uno de los más importantes problemas en la industria de la



autor:
Dr. José
Ovejero García

Dr. en Física (Univ. Nac. de Tucumán)

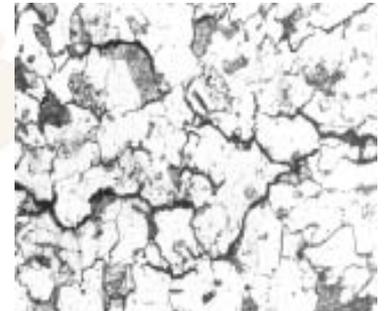
Dr. Ingeniero (Univ. de Paris, Orsay – Francia)

Director Ingeniería en Materiales, Instituto Sabato (UNSAM-CNEA)

síntesis de amoníaco, las refinerías de petróleo y las plantas petroquímicas. También puede aparecer en los tubos de calderas convencionales.

El mecanismo es el siguiente: los aceros en presencia de H a presiones elevadas (700 kPa) y temperaturas elevadas (>200°C) sufren una descarburación importante con la formación, in situ, de metano que no puede difundir debido al tamaño de sus moléculas, provocando fisuración intergranular.

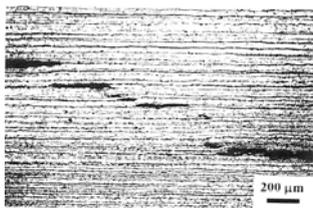
Las fisuras son finas y numerosas; la disminución de la capacidad de deformación es muy marcada; los daños son definitivos. En otras palabras, este tipo de daño es irreversible.



APH - Fisuras intergranulares y descarburación

Fisuración inducida por hidrógeno (FIH)

La FIH se produce, a la temperatura ambiente, en ausencia de tensiones, cuando parte del H atómico generado en la superficie del acero como consecuencia de una reacción de corrosión penetra y se recombina en forma molecular, en interfase entre la matriz metálica y partículas no metálicas (inclusión), alcanzando



FIH - fisuras en escalones (stepwise crack)

presiones suficientemente altas como para despegar las interfases y producir ampollas y/o fisuras.

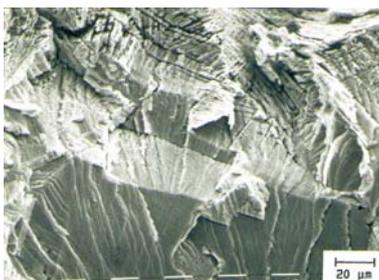
Fragilización asistida por hidrógeno (FPH)

La FPH es el daño por H más peligroso y el menos conocido en lo referente a su mecanismo. Este tipo de daño se traduce por una alteración de la mayoría de las propiedades mecánicas del material, especialmente pérdida de la ductilidad, pudiendo llegar a producir rotura catastrófica.

Para que se produzca la FPH se necesita: una cantidad mínima de H en el material (concentración crítica), una tensión mínima en el rango elástico (tensión crítica) aplicada y/o interna y una microestructura susceptible.

Es de carácter reversible, es decir que, si es detectado a tiempo, puede eliminarse mediante tratamientos adecuados. Pero es muy peligrosa, debido a que no es detectable fácilmente por control no destructivo.

Lo que es sumamente grave es que, en el caso de piezas libre de tensiones residuales o externas, la fragilización puede producirse luego de la aplicación de tensiones, es decir



FPH-Sup.de fractura, acero inoxidable austenítico 304-L

en la puesta en servicio de dicha pieza (rotura diferida).

Es más imponente a la temperatura ambiente.

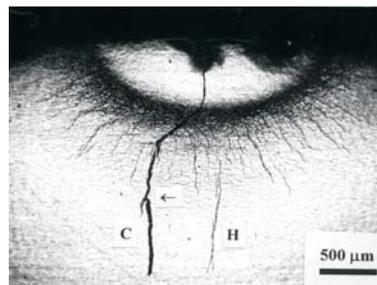
CASO DE METALES FORMADORES DE HIDRUROS (Ej: circonio, titanio, uranio)

Cuando se supera la solubilidad sólida terminal de H en la aleación se produce la

precipitación de hidruros.

Una alta densidad de hidruros produce una baja de la ductilidad y de tenacidad del material a temperatura ambiente que puede conducir a la rotura catastrófica del componente. Otro fenómeno que puede ocurrir es cuando el componente se encuentra sometido a tensiones internas o externas, se produce el fenómeno conocido como rotura diferida asistida por hidruros. El mecanismo aceptado para explicar este

proceso consiste en la producción de un flujo de H hacia la punta de la fisura, impulsado por el gradiente de tensiones



Ampolla de hidruros con fisuras ZrNb

existentes en la misma. En caso de existir hidruros precipitados podrían disolverse y actuar como fuente de H.

El mecanismo sería: precipitación de hidruros en la punta de la fisura; rotura de los hidruros precipitados; avance de la fisura. El proceso se repite, lo que conduce al avance de la fisura en pasos.

CASO DEL COBRE

El cobre también está sujeto al DPH cuando se encuentra expuesto a una atmósfera de H. Podemos mencionar los casos de recocidos en una atmósfera hidrogenada, soldadura, etc.

El H difunde en el material y luego se produce la reducción del óxido de cobre con la producción de vapor de agua.

Como el mismo se encuentra generalmente en los bordes de granos, se producen cavidades en los mismos y se observa la superficie con ampollas. La susceptibilidad depende de la cantidad de óxido.

AGRADECIMIENTOS:

El presente artículo fue realizado gracias al trabajo de: M.I: Luppo, G. Domizzi, G. Anteri, A. Hazarabedian, P. Bruzzoni, G. Merlone y R. Castillo Guerra



Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable
Comisión Nacional de Energía Atómica

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds

Av. del Libertador 8250 - (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2009 ISBN: 978-987-1323-12-8