

MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD DE LOS ACEROS DE ALTA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN BAJO TENSIÓN

J. Fulla C. Alonso C. Andrade

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
c/ Serrano Galvache s/n 28080 Madrid Spain
Telephone 00 43 91 3020440
Fax 00 34 91 3020700
E-Mail fulla@ietcc.csic.es

Resumen Las Normas Europeas proporcionan las líneas generales para la selección de los diversos métodos de ensayo que permiten evaluar la susceptibilidad a la corrosión bajo tensión (CBT). Cada técnica de ensayo tiene sus propias limitaciones y la elección de una técnica particular dependerá sobre todo del objetivo del trabajo o de la investigación. Mientras algunos ensayos son de utilidad para la selección de un determinado acero sometido a unas especiales condiciones electroquímicas o mecánicas, otros son mas apropiados para predecir la vida de un componente en unas determinadas condiciones de servicio

El objeto de esta comunicación es dar una visión general de los métodos de ensayo para evaluar la susceptibilidad de los aceros empleados en el hormigón pre y pos tensado a la CBT.

Abstract. European Standards, give the general guidelines for the selection of the diverse tests methods in order to evaluate the susceptibility to the SCC. Each test technique has its own limitations and the choice of a particular technique depends upon the aim of the investigation. While some tests are of utility for screening the material under given electrochemical or mechanical conditions, other are more realistic in order to predict the life of a component in given service conditions.

The aim of this paper is to provide a general vision of the available test methods to evaluate the susceptibility of pre-stressing steels to SCC.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión bajo tensión es un problema de gran interés científico y tecnológico, es causa de frecuente de fallos en numerosas aplicaciones de los metales. Su naturaleza es aun tema de discusión.

Existe una gran diversidad de métodos de ensayo para evaluar el comportamiento de los metales con respecto a la CBT. No hay un ensayo de CBT marcadamente superior a los otros métodos. Cada método tiene sus ventajas para una determinada situación Las Normas

Europeas proporcionan las líneas generales para la selección de los diversos métodos de ensayo que permiten evaluar la susceptibilidad a la CBT Cada técnica tiene sus propias limitaciones y la elección de un determinado ensayo dependerá del objeto del mismo. Mientras algunos ensayos son de utilidad para la selección de un determinado acero sometido a unas especiales condiciones electroquímicas o mecánicas, otros son mas apropiados para predecir la vida de un componente en unas determinadas condiciones de servicio

Numerosos mecanismos han sido propuestos para explicar la fractura de metales por efecto del medio pero sólo unos pocos han resistido el paso del tiempo, entre todos hay que destacar tres mecanismos como los más relevantes A) Mecanismo de disolución anódica cuyo desarrollo se debe principalmente a Parkins[1]. B) Mecanismo de fisuración discontinua cuyos aspectos teóricos han sido desarrollados por Newman[2] y C) Mecanismo de movilidad superficial desarrollado por Galvele[3].

Hay una amplia experiencia en la fragilización de aceros de alta resistencia, cabe destacar los trabajos de Elices [4] , sobre la fragilización de aceros de alta resistencia en medios que contienen cloruros como agresivo, Nürnberger [5]ha realizado una amplia investigación sobre la gran influencia que tiene el tipo de acero sobre su comportamiento frente a la CBT. Alonso [6]. demuestra en sus trabajos que el medio bicarbonato induce CBT en aceros de pretensado. Parkins[7] observa que el acero con estructura ferrítica presenta CBT en medio bicarbonato con presencia simultánea de Fe_3O_4 y FeCO_3 como productos de corrosión.

La temperatura incrementa la fragilización del metal inducida por el medio, Speidel [8] observa mayores velocidades de propagación de la fisura que la esperada a temperaturas bajas, Galvele explica este hecho por la presencia de hidrógeno en la red del metal que provoca un aumento en la movilidad de las vacantes, a temperaturas superiores el hidrógeno difunde a través de la red metálica hacia el exterior del metal.

2.METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE LA CORROSIÓN BAJO TENSIÓN

Desde el punto de vista de la duración del ensayo, hay dos métodos para el estudio de la corrosión bajo tensión:

- Métodos de ensayo naturales
- Métodos de ensayos acelerados

2.1 Métodos de ensayo naturales

La principal característica de este ensayo es reproducir lo más fielmente posible en el laboratorio, las condiciones en que se encuentra el material en servicio, por lo que se espera una buena relación entre los resultados obtenidos y el comportamiento real del material. Es conveniente usar probetas sin que se haya modificado su superficie (pulido, entallas etc.) ya que el estado superficial puede tener una influencia significativa sobre la iniciación de la CBT.

Las probetas son ensayadas en el medio que simula las condiciones reales a **carga constante** o a **deformación constante**

En condiciones de carga constante y una vez iniciadas las fisuras se produce un incremento en la intensidad de tensión en el fondo de la grieta., que dependiendo de su valor puede dar lugar a su propagación. El valor característico de este ensayo es el tiempo que transcurre hasta que se produce la fractura. Este ensayo ha sido cuestionado basándose en el hecho de que muy pocas estructuras están realmente sometidas a una carga constante, más bien se producen fluctuaciones de la misma que tienen tendencia a reducir el nivel de carga crítico para producir CBT.

En condiciones de deformación constante, al contrario del ensayo de carga constante, la tensión en la punta de la fisura va decreciendo a medida que esta se propaga y dependiendo del valor de la deformación, es posible que la fisura deje de propagarse y la fractura no tenga lugar.

Esta metodología no distingue entre el tiempo de iniciación y el de propagación de la fisura, El ensayo es de larga duración y requiere un gran número de probetas debido a la alta dispersión de resultados inherente al proceso de iniciación

2.2 Métodos de ensayo acelerados

En este tipo de ensayo se pretende reducir la duración del mismo, generalmente minimizando el periodo de iniciación de las fisuras

Existen varias posibilidades para alcanzar este objetivo:

- Incrementar la agresividad del **medio**.
- Actuar sobre las condiciones **electroquímicas** del sistema.
- Elevar el nivel de **tensiones** del material

Por medio de estos cambios se han desarrollado distintos ensayos con fines distintos, unos útiles para los ingenieros de diseño y otros más apropiados para estudios de mecanismos.

3.ENSAYOS PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN BAJO TENSIÓN DE LOS ACEROS DE PRETENSADO

3.1 Corrosión bajo tensión en solución de tiocianato

Este es un ensayo donde el **medio** se ha hecho más agresivo. El ensayo está definido en la Norma ISO/ DIS 156030 "Steel for reinforcement and prestressing of concrete -Test methods- Part 3:Prestressing steel". Se trata de determinar el tiempo hasta la fractura del acero mantenido a carga constante sumergido en una solución de tiocianato a una temperatura dada.

La carga aplicada es del 80% de su resistencia y pueden utilizarse dos soluciones:

- Disolución A: 5 g de SO_4^{2-} , 0.5 g de Cl^- y 1 g de SCN^- (como potasio)

- Disolución B: 200 g de NH_4SCN en 800 ml de agua destilada.

En ambos casos la temperatura de la disolución será de 50°C

3.2 Ensayo a velocidad de deformación constante.

Esta técnica utiliza probetas sin entalla sometidas a una velocidad de deformación lenta y constante hasta que se produce su fractura. El ensayo se realiza en el medio que reproduce las condiciones de servicio. El modo de acortar la duración del ensayo es por modificación de las condiciones **electroquímicas**, ya que se impone a la probeta a un potencial que produce una corrosión localizada favoreciendo la iniciación de fisuras que podrían originar la fractura frágil del acero.

Las probetas se cargan hasta un valor del 0.2% de la deformación antes de iniciar el ensayo a una velocidad de deformación lenta. Bajo estas condiciones la propagación de la fisura tiene lugar prácticamente desde el inicio del ensayo.

Es importante seleccionar bien la velocidad de deformación, ya que velocidades excesivamente lentas podrían permitir que el material se pase y evitar así la contribución del medio y con velocidades excesivamente rápidas no habría tiempo suficiente para que se produzca el ataque de la probeta.

La susceptibilidad a la CBT en este tipo de ensayo se determina a través de parámetros tales como:

- Parámetros de mecánicos (deformación máxima, carga máxima carga de rotura)
- Reducción de área
- Tiempo de fallo
- Fisuración del material
- Velocidad de propagación de la fisura
- Examen al microscopio de la superficie de fractura

La velocidad de propagación de la fisura se determina por medio del cociente entre la mayor longitud de las fisuras secundarias obtenida por examen al microscopio de la sección transversal de la probeta y el tiempo de ensayo. Estos parámetros son comparados con los obtenidos en el mismo ensayo realizado en medio ambiente.

3.3 Ensayos con probetas prefisuradas. Aplicación de la mecánica de la fractura

La mecánica de la fractura es una herramienta de gran interés en los estudios de CBT. La aceleración del ensayo es debida en este caso al hecho de que las muestras son prefisuradas por fatiga lo que produce una intensificación de la tensión en la punta de la grieta reduciendo el periodo de iniciación

El parámetro que se obtiene por medio de esta técnica el factor de intensidad de tensiones K_I , que incluye tanto la longitud de la grieta como la tensión lo que da una información de la severidad del estado tensional en las inmediaciones del fondo de la fisura

Los estudios de la mecánica de la fractura pueden ser realizados ensayos de carga constante o de velocidad de tracción lenta constante, los resultados son presentados como la velocidad de propagación de la fisura en función del factor de intensidad de tensiones de esta representación se obtiene el valor de K_{ISCC} definido como el valor del factor de intensidad de tensiones por debajo del cual no se produce la fractura del material.

El valor de K_{ISCC} permite la determinar cual es la tensión máxima que puede soportar un material con un tamaño determinado de fisura para que no exista riesgo de fractura o determinar el tamaño crítico de fisura para un determinada carga

Las características más destacadas de este método de ensayo son:

- Buena reproducibilidad
- Tiempo de ensayo reducido
- Valiosa información obtenida a partir del factor K_I

Los inconvenientes son el hecho de que no permite obtener información del estado de la superficie de la probeta y que introduce la incertidumbre de la composición del medio dentro de la grieta

4. NUEVAS TECNICAS PARA LA DETECCION DE LA CORROSION BAJO TENSION

Recientemente se están desarrollando técnicas no destructivas para la detección de la CBT con el fin de ser empleadas en el control de estructuras susceptibles de presentar este problema y para poder aplicar medidas preventivas y evitar el colapso de las mismas. Entre ellas cabe destacar la **emisión acústica** y el **ruido electroquímico**.

5 APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCION LENTA AL ESTUDIO DE LA CORROSION BAJO TENSION DE ALAMBRES DEL HORMIGON ARMADO

El ensayo tiene los siguientes pasos:

- Determinar el potencial electroquímico que origine un ataque que pueda inducir la CBT.
- Evaluación de la susceptibilidad a la CBT por medio parámetros como la reducción de área, porcentaje de elongación o tiempo de fallo obtenidos a través de ensayo de tracción lenta.

- Examen fractográfico y metalográfico de las muestras.

5.1 Datos experimentales

El acero ensayado en este trabajo es de composición eutectoide como puede verse en la tabla y su resistencia a la tracción es de 1300 N/mm^2

Table 1.- Composición química del acero.

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.8	0.2	0.7	≤ 0.02	≤ 0.03

La disolución utilizada como medio agresivo fue NaHCO_3 0.05 M a la temperatura de 10°C , 30°C , 50°C y 75°C . El potencial seleccionado de -300mV (SCE) produce roturas localizadas de la capa pasiva, dándose entre las condiciones para fragilizar al acero. La velocidad de tracción mantenida durante el ensayo fue de $3 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

5.2 Resultados

En las siguientes figuras se comparan diferentes parámetros obtenidos en medio agresivo y en medio inerte a diferentes temperaturas. Se observa una pérdida significativa de las características mecánicas del acero ensayado en medio NaHCO_3 con respecto a los resultados obtenidos en medio inerte en todo el rango de temperatura.

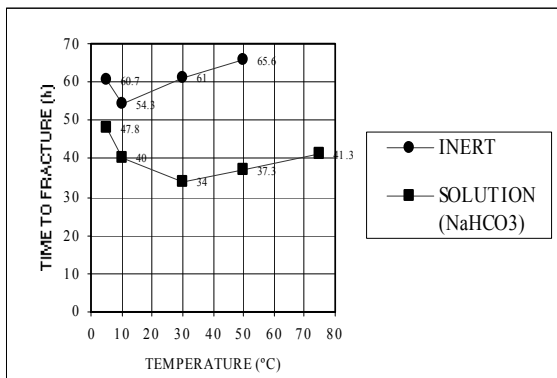


Fig.1.- Comparación del tiempo de rotura entre el ensayo en medio inerte y NaHCO_3

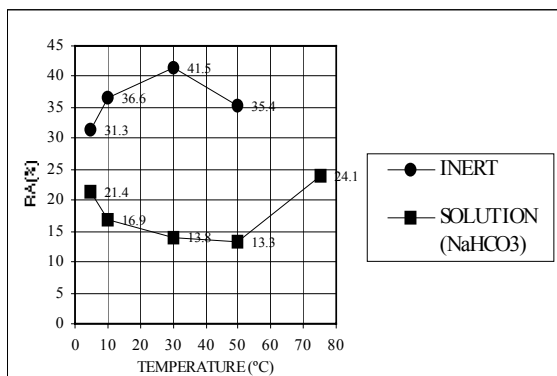


Fig. 2 Comparación de la reducción de área entre el ensayo en medio inerte y NaHCO_3

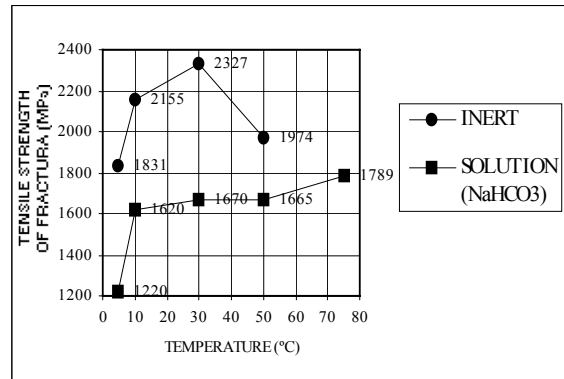


Fig.3.- Comparación de la carga máxima el ensayo en medio inerte y NaHCO_3 .

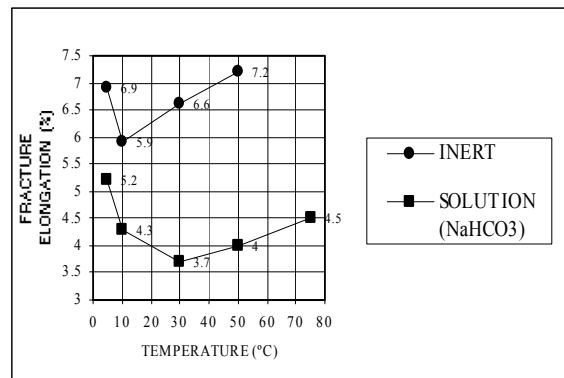
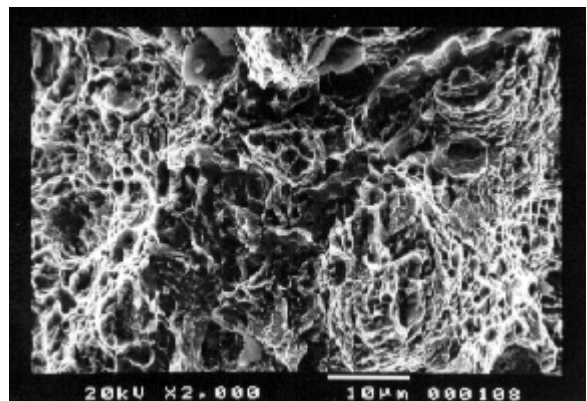


Fig. 4 Comparación del % elongación entre el ensayo en medio inerte y NaHCO_3 ..

El examen fractográfico y metalográfico de la superficie de la fractura permite completar la información obtenida con los parámetros mecánicos con el fin de determinar la susceptibilidad a la fisuración del acero. La Figure 5 representa una superficie de fractura representativa de una rotura dúctil correspondiente al ensayo realizado a 30°C en medio inerte. La figure 6 corresponde al ensayo realizado en NaHCO_3 a la misma temperatura, donde puede verse planos de clivaje representativos de una fractura frágil.



corrosion cracking of prestressing steel in NaHCO_3 solution” Corr. Scien. Vol 34 N° 6 pp. 961 1993.

Fig. 5 Ensayo en medio inerte a 30°C. Fractura dúctil

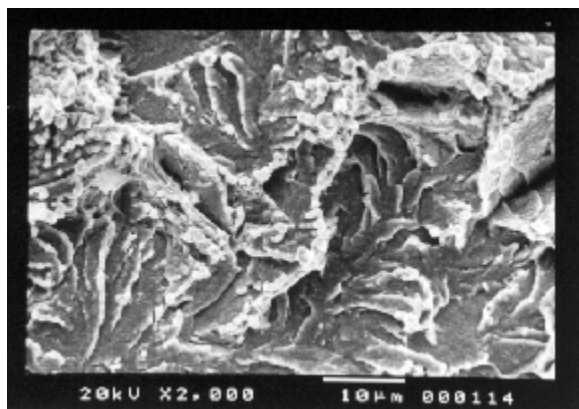


Fig.6 Ensayo en NaHCO_3 a 30°C Fractura frágil

5.3 Conclusión

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el ensayo de deformación lenta y constante con selección del potencial electroquímico detecta la fragilización del acero de alta resistencia en el medio 0.05M de NaHCO_3 en el rango de temperaturas de 10 a 75°C.

6.REFERENCIAS

1. Parkins,R.N; Metal Environmental Reactions, vol. 1 Chapter 8(Ed. Newness Butterworth) 1976.j
2. Sieradzke, K. and Newman, R.C; Stress Corrosion Cracking Journal of Phiys. and Chem. of Solids, vol. 48 N° 11 pp.1101. 1987
3. Galvele, J. R; “Surface mobility mechanism of stress corrosion cracking” International Conference Advances in Corrosion Protection, Manchester U.K. 1992.
4. Elices,M. Maeder ,G.and Sanchez- Galvez, V; “Effect of surface residual stress on hydrogen embrittlement of prestressing steels” Brit.Corr.J. vol. 18 N° 2 pp.81 1983.
5. Nürnberger U; “Special corrosion problems in post-tensioned structures” Proceedings of Third International Workshop of Bridge Rehabilitation,Darmstad Germany, pp.79 1983.
6. Alonso,C. Procter,R.P.M. Andrade, C. and Saenz de Santa Maria, M. “Susceptibility to stress

7. Parkins,R.N Elices,M Sanchez- Galvez, V and Caballero,L; Corr. Scien. Vol 22 N° 5 pp. 397 1993.
8. Vogt, H. and Speidel OM; Corr. Scien. Vol 40 N° 2,3 pp 270 1998