

ESTIMACIÓN DEL UMBRAL EN CONDICIONES DE FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS ESCALONES AL ENSAYO SMALL PUNCH

B. Arroyo^{1,*}, F. Gutiérrez-Solana¹, L. Andrea¹, J.A. Álvarez¹, P. González¹

^{1,*} Universidad de Cantabria, LADICIM, Depto. de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Avda. de los Castros 44, 39005, Santander, España

RESUMEN

En trabajos recientes, el ensayo Small Punch (SPT) ha sido utilizado para estimar las propiedades mecánicas de aceros en ambientes agresivos, donde las caracterizaciones mediante ensayos de carga constantes son lentas, y a veces presentan una dispersión considerable en los resultados. La norma ASTM F1624 resuelve esto, aplicando cargas constantes aumentadas gradualmente, llamadas escalones de carga, hasta el fallo de la probeta.

En el presente trabajo, se propone aplicar la técnica de carga por escalones incrementales de la norma ASTM F1624 adaptada al SPT. Se han propuesto modificaciones en las duraciones de los escalones de acuerdo al espesor de probeta, lo que permite obtener la carga umbral en pocos días mediante el uso de al menos 3 muestras. La propuesta se aplica a dos aceros, de media y alta resistencia, en entornos de fragilización por hidrógeno bajo tres niveles diferentes de polarización catódica en un electrolito ácido. Como referencia, probetas cilíndricas de tracción convencionales fueron ensayadas de acuerdo a ASTM F1624.

Se presenta y analiza una correlación entre tensiones umbral, obtenidas según ASTM F1624, y las cargas umbral, obtenidas según la propuesta. Finalmente, a partir de la citada correlación, se propone la estimación de tensión umbral basada sólo en SPT.

PALABRAS CLAVE: Small Punch, Técnica de carga por escalones, ASTM F1624, tensión umbral, fragilización por hidrógeno.

ABSTRACT

In recent works the Small Punch Test (SPT) has been used to estimate the mechanical properties of steels in aggressive environments, where characterizations by means of constant loading tests are slow, and sometimes presents a considerable dispersion in the results. The standard ASTM F1624 solves this, by applying constant loads gradually increased, called loading steps, until the sample fails.

In the present work, it is proposed to apply the incremental step loading technique from ASTM F1624 adapted to SPT. Modifications on the steps durations are proposed according with the sample thickness, allowing to obtain the threshold stress in aggressive environments within a few days, by using at least 3 samples. The proposed methodology is applied to a set of two steels, of medium and high-strength, in hydrogen embrittlement environments under three different levels of cathodic polarization in an acid electrolyte. As a reference, cylindrical tensile specimens were subjected to conventional standard tests in accordance with ASTM F1624.

The correlation between the threshold stresses, obtained according to ASTM F1624, and the threshold loads, obtained by the Small Punch proposal, is presented and analysed. Finally, from the aforementioned correlation, a threshold stress estimation based just on Small Punch tests is proposed.

KEYWORDS: Small Punch, Step loading technique, ASTM F1624, Threshold stress, Hydrogen embrittlement.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria cada vez es más común el empleo de aceros de media y alta resistencia, y en muchas ocasiones además trabajan en ambientes agresivos. Ello hace que sea necesario controlar su comportamiento mecánico en dichos ambientes. Los ensayos de baja velocidad de deformación son los más comúnmente empleados para obtener propiedades de fractura, mientras que los ensayos

bajo carga constante se utilizan actualmente para la determinación de la tensión umbral. La tensión umbral se ha definido históricamente como la condición de carga inferior que provocará una fractura retardada cuando la probeta esté expuesta a un entorno específico después de un cierto tiempo. Esta metodología tiene dos desventajas principales: la demanda de una gran cantidad de tiempo, ya que suele requerir alrededor de 12 probetas que pueden llegar hasta las 10000h [1] de ensayo, y su

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En el presente trabajo se presenta una nueva técnica para estimar la tensión umbral por medio de ensayos SPT en ambientes agresivos, basada en la técnica de carga incremental escalonada de ASTM F1624 [2], que permite obtener una carga umbral, P_{th-SPT} , en unos días mediante el uso de al menos 3 probetas. Para adaptar la metodología mencionada a los ensayos SPT se propone:

- Definir la carga de rotura rápida para ensayos Small Punch, $P_{FFS-SPT}$, como la carga máxima en un ensayo SPT en aire, P_{max} , según el borrador de trabajo de la norma europea [3]; además para un análisis más detallado, se obtiene la carga elástico-plástica, P_y .

- Exponer las probetas durante dos horas al ambiente antes de la aplicación de escalones, como se indica en la literatura [6] para probetas de 0,5 mm.

- Aplicar 10 escalones de carga de 20 minutos y 10 escalones más de 40 minutos, considerando la dureza de los aceros utilizados (33 y 35 HRC), los cuales son suficientes para asegurarse de que la difusión de hidrógeno a través del espesor de la muestra sea completa, así como ser operativo para realizar una secuencia de escalones completa en una jornada laboral; no obstante los tiempos de estos escalones siempre pueden ser optimizados.

En ambos casos se observaron las mismas tendencias en términos de desarrollo de perfiles de escalones. Los ensayos SPT pudieron reproducir el efecto de fragilización del hidrógeno con precisión, hasta las condiciones de saturación.

Finalmente, se propone una expresión para estimar la tensión umbral por medio de ensayos de SPT, σ_{th-SPT} , a partir de la carga umbral obtenida por la metodología de carga escalonada de ensayos propuesta, P_{th} , y de una parte elástica derivada de la carga elástico-plástica de un ensayo SPT en aire, P_y .

$$\sigma_{th-SPT} = \sigma_{el-SPT} + \sigma_{pl-SPT} = \frac{3}{2 \cdot \pi \cdot h_0^2} \cdot P_y + \frac{0.0806}{h_0^2} \cdot (P_{th-SPT} - P_y) \quad (6)$$

Como trabajo futuro, con el fin de validar esta prometedora metodología, serán necesarias más investigaciones que contemplen diferentes microestructuras, grados superiores de aceros y otros ambientes agresivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación prestada al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Cantabria por medio de la convocatoria de Proyectos Puente 2019.

REFERENCIAS

- [1] ASTM E1681-03, *Test Method for Determining Threshold Stress Intensity Factor for Environment Assisted Cracking of Metallic Materials* (2013).
- [2] ASTM F1624-18, *Standard Test Method for Measurement of Hydrogen Embrittlement Threshold in Steel by the Incremental Step Loading Technique* (2018).
- [3] EN Standard Working Draft W1, *Metallic materials-Small punch test method*, Documents of ECIS/TC 101, AFNOR (2018).
- [4] J.J. González, F. Gutiérrez-Solana, J.M. Varona, *The effects of microstructure, strength level, and crack propagation mode on stress corrosion cracking behavior of 4135 steel*, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol.27A, pp. 281-290, (1996).
- [5] M.P. Manahan, A.S. Argon, O.K. Harling, *The development of a miniaturized disk bend test for the determination of post irradiation mechanical properties*, *Journal of Nuclear Materials*, vol. 103 & 104, pp. 1545-1550 (1981).
- [6] B. Arroyo, J.A. Álvarez, R. Lacalle, C. Uribe, T.E. García, C. Rodríguez, *Analysis of Key Factors of Hydrogen Environmental Assisted Cracking evaluation by small punch test on medium and high strength steels*, *Materials Science & Engineering A*, vol. 691, pp. 180-194 (2017).
- [7] T.E. García, B. Arroyo, C. Rodríguez, F.J. Belzunce, J.A. Álvarez, *Small Punch Test Methodologies for the Analysis of the Hydrogen Embrittlement of Structural Steels*, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 86, pp. 89-100 (2016).
- [8] I.M. Bernstein, G.M. Pressouyre, *Role of traps in the microstructural control of hydrogen embrittlement of steels*, Noyes Publ, Park Ridge, NJ, Pittsburgh (1988).
- [9] B. Arroyo, L. Andrea, F. Gutiérrez-Solana, J.A. Álvarez, P. González, *Threshhold stress estimation in hydroge induced cracking by Small Punch tests based on the application of the incremental step loading technique*, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 110, 102839 (2020).
- [10] S. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, *Theory of Plates and Shells*. (1950).



Revista Española de **MECÁNICA DE LA FRACTURA**



**Volumen 1
Junio 2021**

ISSN: 2792-4246

Editado por la Sociedad Española de Integridad Estructural
Grupo Español de Fractura