

## PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2019

### MEMORIA DEL PROYECTO Nº 19

#### 1. DATOS DEL PROYECTO

**Título:** Nuevos aceros para impedir la fatiga asistida por hidrógeno

**Investigador/a/es responsable/es:** Covadonga Betegón Biempica

**Tfno:** 985182229

**E-mail:** [cova@uniovi.es](mailto:cova@uniovi.es)

**Otros investigadores:** Emilio Martínez Pañeda (Imperial College), Lucas Castro García (estudiante)

**Empresas o instituciones colaboradoras:** Arcelor Mittal, KHIS Group

#### 2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

##### **2.1 Resumen ejecutivo**

El resumen ejecutivo del Proyecto debe ser una síntesis clara y concisa del trabajo realizado, describiendo brevemente los motivos que justifican su realización, los beneficiarios, los objetivos específicos y su grado de consecución, la metodología aplicada y los resultados obtenidos.

Extensión: un máximo de 4000 caracteres, incluidos espacios.

El objetivo de este proyecto es estudiar la influencia de las distintas trampas presentes en un acero frente a la fragilización por hidrógeno cuando se tiene un modelo sometido a una cierta carga (tanto estática como de fatiga). Los átomos de hidrógeno entran en el material y difunden hacia la zona de proceso de fractura, donde las tensiones hidrostáticas y la expansión de la red cristalina son mayores. El hidrógeno reduce la energía de fractura y el componente ingenieril se rompe cuando se alcanza una concentración de hidrógeno crítica. Debe tenerse en cuenta que parte del hidrógeno proveniente del medio ambiente queda atrapado en “trampas” microestructurales: bordes de grano, inclusiones, carburos, dislocaciones, etc.

Partiendo en primer lugar de un modelo sin trampas se estudió la difusión de hidrógeno al cabo de distintos periodos de tiempo sobre una probeta compacta sometida a carga estática que previamente había sido cargada con hidrógeno. En este caso se consideró un coeficiente de difusión aparente que había sido obtenido mediante ensayos de permeación. Después, teniendo en cuenta las distintas trampas presentes en el material objeto de estudio cuyas energías también habían sido obtenidas en los ensayos de permeación, se ajustó la densidad de cada una de esas trampas teniendo en cuenta fórmulas presentes en la literatura y se comprobó el ajuste del coeficiente de difusión tanto aparente (cuando no existen trampas) como de la red (cuando se consideran las trampas) que habían sido facilitados. Una vez definido el material, se estudió la influencia de estas trampas a distintas distancias de la punta de la grieta cuando el modelo es sometido a cargas de fatiga, variando algunos de los coeficientes que intervienen en fatiga (relación de cargas, amplitud de carga y frecuencia). En este caso, con objeto de reproducir las

condiciones que se dan en las tuberías de transporte de hidrógeno, en el modelo numérico se ha considerado que el hidrógeno se introduce en la malla cristalina de acero a una presión constante.

En este proyecto, se ha considerado el modelo de transporte de hidrógeno desarrollado por Sofronis y McMeeking, mejorándolo además para poder describir la interacción entre distintos tipos de trampas. Se ha investigado la interacción de estas trampas con el hidrógeno difusible en el frente de una grieta, donde los fuertes gradientes de tensiones hacen que se produzca una fuerte concentración de hidrógeno. El efecto de estas trampas, en especial su densidad y su energía de atrapamiento, se ha estudiado mediante análisis numérico, resolviendo las ecuaciones de comportamiento que contemplan el acoplamiento entre el transporte de hidrógeno y la plasticidad en el frente de grieta. Para ello, se ha implementado dichas ecuaciones en un programa de elementos finitos comercial, ABAQUS, en el que se ha desarrollado una subrutina de usuario que recoja este comportamiento acoplado. Se han considerado condiciones de pequeña plastificación.

Por otro lado, se ha comenzado a desarrollar un modelo “generalizado” que sea capaz de predecir tanto la fractura frágil (debida al hidrógeno) como la fractura dúctil (nucleación, crecimiento y coalescencia de microhuecos), así como estados intermedios. Para ello se ha implementado en ABAQUS por medio de una subrutina UMAT el modelo de Gurson tanto para 2D como para 3D. Además, se ha tenido en consideración el papel que juega el ablandamiento por cizalladura, siguiendo el trabajo reciente de Nahshon y Hutchinson. Por último, se decide incorporar el efecto plástico de escala. Queda por tanto completamente desarrollado un modelo multi-escala y generalizado para predecir la fractura dúctil, y el trabajo futuro irá destinado a acoplarlo con un modelo de fragilización por hidrógeno.

## **2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución**

El objetivo principal del proyecto es estudiar la influencia de las distintas trampas presentes en el material, así como la difusión del hidrógeno en el frente de grieta cuando se consideran cargas de fatiga. Además, también se ha realizado un estudio de dicha difusión en ausencia de trampas y cargando de forma estática. Por último, se han iniciado los pasos para el desarrollo de un modelo generalizado de transición dúctil-frágil.

## **2.3 Tareas realizadas**

1. Aplicación de los modelos numéricos para predecir la difusión de hidrógeno en una probeta CT previamente cargada con hidrógeno y en ausencia de trampas transcurridos diferentes periodos de tiempo.
2. Conocidos los coeficientes de difusión tanto aparente como en la red, así como la energía de cada una de las trampas presentes en el material (todo ello obtenido en ensayos de permeación), determinar la densidad de dichas trampas teniendo en cuenta las fórmulas presentes en la literatura para conseguir el ajuste de ambos coeficientes.
3. Una vez definido el material (energía y densidad de trampas), estudiar el efecto de dichas trampas cuando el modelo es sometido a cargas de fatiga y se produce la entrada de hidrógeno a presión constante.
4. Desarrollo de un modelo de Gurson incorporando la influencia del ablandamiento por cizalladura y el efecto plástico de escala.

## 2.4 Resultados obtenidos

Cuando no se consideran trampas y se tiene una probeta cargada con hidrógeno, se observa cómo al transcurrir el tiempo la concentración de H<sub>2</sub> en la punta de la grieta es mayor mientras que, a medida que nos alejamos de la entalla, la concentración disminuye.

Por otra parte, las fórmulas presentes en la literatura para calcular la densidad de las trampas han sido empleadas de forma satisfactoria para lograr el ajuste de los coeficientes de difusión.

Por último, cuando se consideran las trampas y se tiene un modelo sometido a cargas de fatiga se aprecia claramente que las trampas afectan al proceso de difusión del H<sub>2</sub>, siendo las trampas fuertes (mayor energía o densidad) las que más afectan, aunque en ningún caso se logra mitigar la fragilización por hidrógeno.

La implementación del modelo de fractura dúctil basado en Gurson, incluyendo las extensiones para cizalladura y efectos plásticos de escala, se han validado cuantitativamente (cuando existen resultados disponibles) y cualitativamente (en el caso más general, donde el modelo constituye una novedad).

## 2.5 Trabajos o necesidades futuras

Como trabajo futuro se plantea el desarrollo de un modelo generalizado de transición dúctil-frágil, que siga la estructura de los modelos de transición dúctil-frágil empleados para en análisis de clivaje en aceros ferríticos a baja temperatura.

## 2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

Se está trabajando en la publicación de dos artículos para ser publicados en revistas indexada JCR.

### 3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-19-GIJÓN-XX.	4500			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Lucas Castro García			
	Tareas	Desarrollo de modelos para fractura (dúctil y frágil) y fatiga.			
	Período	Junio a Diciembre 2019			

### 4. OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto/contrato	
Referencia	
Investigador/a/es principal/es	
Equipo investigador	
Periodo de vigencia	
Entidad financiadora	
Cantidad subvencionada	