

C. Bertorello^a, J. Viña^a, A. Argüelles^b, I. Viña^b^a Dpto de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Oviedo, 33204 Gijón, Asturias.^b Dpto de Construcción e Ingeniería de Fabricación, Universidad de Oviedo, 33204 Gijón, Asturias.

Comportamiento a fractura dinámica en modo III de laminados epoxi-carbono

RESUMEN

Historia del artículo:

Recibido 5 de Mayo 2017

En la versión revisada 5 de Mayo 2017

Aceptado 31 de Mayo 2017

Accesible online 21 de Junio 2017

Palabras clave:

Fractura interlaminar

Fatiga

Modo III

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de una nueva metodología de ensayo para la caracterización de materiales compuestos frente a deslaminación bajo de modo III de fractura y sollicitación dinámica (fatiga). El fenómeno de deslaminación es uno de los principales mecanismos de fallo en materiales compuestos configurados mediante el apilamiento de capas sucesivas. El modo de fractura que se ha estudiado es el modo III a fatiga, con la dificultad que su simulación implica y la práctica inexistencia de información sobre la sollicitación a fatiga. El dispositivo de ensayo empleado, que permite someter los compuestos laminados a este modo de carga, ya ha sido contrastado previamente en ensayos estáticos. Se realizaron ensayos de caracterización en dos materiales diferentes, ambos con diferentes matrices y fibras de carbono. Se ha empleado un modelo analítico desarrollado para el caso de fractura estática y se ha llevado a cabo un análisis estadístico de los resultados obtenidos. Asimismo se ha realizado una fractografía de la superficie de fractura con el fin de determinar las características de este tipo de fractura en régimen dinámico.

Mode III dynamic fracture performance of carbon-epoxy laminates

ABSTRACT

Keywords:

Interlaminar fracture

Fatigue

Mode III

The aim of this work is the development of a new test methodology for the characterization of delamination of composites under mode III of fracture and dynamic stress (fatigue). The phenomenon of delamination is one of the main failure mechanisms in composite materials configured by stacking several layers. The mode of fracture that has been studied is mode III to fatigue, with the difficulty that its simulation implies. The test device employed, which allows subjecting to the laminates to this loading mode, has already been previously tested in static tests. Characterization tests were performed on two different materials, both with different matrices and carbon fibers. An analytical model developed for the case of static fracture has been used and a statistical analysis of the results obtained has been carried out. A fractography of the fracture surface was also performed in order to determine the characteristics of this type of fracture in a dynamic regime.

1 Introducción

Una de las desventajas más citadas de los materiales compuestos laminados es su escasa resistencia a cargas de impacto localizado y a deslaminación. La relación entre daño generado, deslaminación y estado de sollicitación asociado es un dato relevante en el diseño de elementos fabricados con estos materiales. Es la mecánica de fractura la herramienta utilizada para predecir su comportamiento, para lo cual se han desarrollado y se siguen desarrollando métodos y normas que permiten la ejecución de ensayos bajo los diferentes modos de fractura con el objetivo de poder cuantificar a nivel experimental su comportamiento a la vez que obtener datos útiles para optimizar el diseño de piezas en condiciones de servicio real.

Este trabajo se centra en el modo III, también conocido como modo de desgarramiento; ocurre cuando el esfuerzo cortante mueve los labios de la grieta en una dirección paralela al frente de la grieta y a la vez perpendicular al crecimiento de la grieta.

Numerosos trabajos han sido publicados sobre este modo de fractura usando diferentes dispositivos de carga, incluso varios métodos del modo III fueron ampliamente discutidos por Ge et al. [1].

En este trabajo se ha empleado un dispositivo diseñado por López-Menéndez et al. [2] para la realización con alto grado de fiabilidad de ensayos estáticos en modo III de este tipo de materiales.

2 Análisis-Procedimiento experimental

Dispositivo de ensayo

El dispositivo de ensayo utilizado se ha adaptado para el caso de este estudio donde las fuerzas son dinámicas y no estáticas.

El dispositivo (figura 1) consiste en una pieza prismática mecanizada en forma de T (6) que tiene una ranura a lo largo de toda su cara superior con las dimensiones exactas de la anchura y la mitad del espesor de la muestra objeto de ensayo (5).

Este dispositivo puede unirse a la máquina de ensayo en diferentes posiciones por medio de la mordaza (2), que a su vez está fijada al bastidor de la máquina de ensayo.

La carga se aplica a la probeta a través de un bloque de carga (7) fijado a un cojinete lineal (4) que se mueve a lo largo de un carril de guía. El raíl de guía está fijado a la mordaza (1), que a su vez está acoplada al actuador de la máquina de ensayo. El bloque de carga incluye dos pequeños cilindros de 2 mm de diámetro (8) situados uno a cada lado de la muestra que son responsables de transmitir la carga. Estos cilindros actúan tangencialmente sobre la probeta, asegurando una carga puntual en su mitad superior (labio superior). Está claro que sólo uno de los cilindros aplica la carga, el otro lo haría si el par se aplicara en la otra dirección.

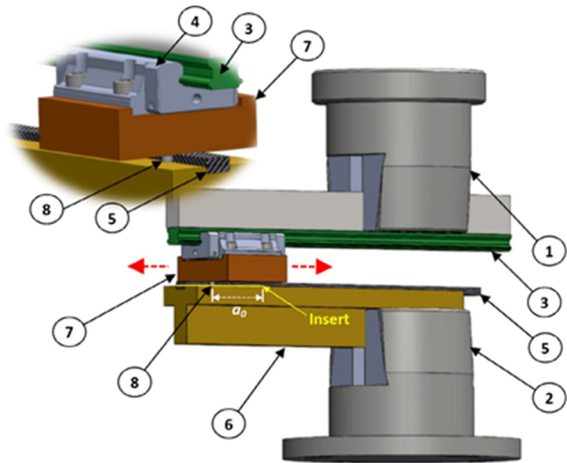


Figura 1. Dispositivo de ensayo con señalización de cada uno de sus componentes.

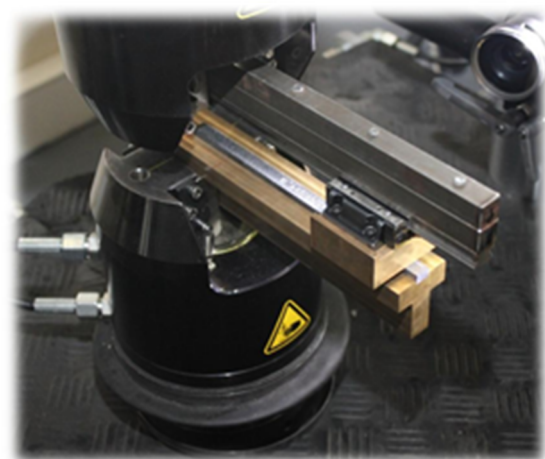


Figura 2: Fotografía del dispositivo instalado en la máquina de ensayos, en el que se pueden apreciar los componentes fundamentales.

Materiales utilizados

Se utilizaron dos tipos de materiales compuestos. Uno de los materiales está hecho de Hexply 8552 prepreg de resina epoxi como matriz y HexTow AS4 de alta resistencia y tolerancia al daño unidireccional como refuerzo de fibra de carbono, comercializado bajo el nombre Hexply AS4/8552 RC34 AW196. El otro material con denominación MTM45-1/IM7, emplea una matriz epoxídica MTM45-1 y fibra de carbono tipo IM7.

Se utilizaron probetas tipo DCB (double cantilever beam) para la caracterización dinámica de la deslaminación bajo fractura de modo III. El laminado utilizado en las probetas era simétrico, con un número par de capas unidireccionales. El estratificado está compuesto de 32 capas con una orientación de 0° con respecto al refuerzo de fibra de carbono, en el que se colocó un inserto antiadherente de 10 μm de espesor (película Tygavac RF-242 de PTFE) en su plano medio



durante el proceso de fabricación, obteniendo de esta manera la configuración: 16 capas a 0° / inserto / 16 capas a 0° . Las dimensiones de las probetas utilizadas en los ensayos realizados fueron:

- Longitud (L): 160-200 mm
- Ancho (b): 10 mm
- Espesor (h): 6 mm

La máquina de ensayos empleada fue una máquina servohidráulica Walter + Bai, con una célula de carga axial de 100 kN y una célula de par torsor de 500 Nm, controlada por software. Los ensayos se realizaron bajo control angular (control de desplazamiento) con el actuador torsional, y siempre partiendo de cero y realizando todo el giro hacia el mismo lado.

La relación entre G_{\min}/G_{\max} , o lo que es lo mismo R (cociente de asimetría), a lo largo de todos los ensayos se ha mantenido en 0.1.

3 Resultados y discusión

3.1 Resultados experimentales

Los ensayos se realizaron sobre probetas con las mismas longitudes iniciales de grieta, a_0 : 30 mm, para ambos materiales AS4 / 8552 y MTMA45-1/IM7.

La resistencia a la fractura interlaminar bajo carga de modo III se calculó empleando la teoría de Timoshenko para vigas cortas (considerando alabeo de la sección), desarrollada previamente [3].

En las Figuras 3 y 4 se pueden observar las curvas de resultados con un 5 % y 50% de probabilidad de rotura para los materiales AS/8552 y MTMA45-1/IM7.

Del análisis de ambas figuras se puede concluir que las curvas del 50% están situadas más a la derecha que las del 5%, esto es, dan valores más conservadores, lo cual es lógico. Además en ambos casos el comportamiento a fatiga del material MTM45-1/IM7 es mejor que el del AS4/8552, puesto que para el mismo valor de la tasa de relajación de energía máxima el número de ciclos que resiste es superior y además su límite de fatiga está situado ligeramente por encima.

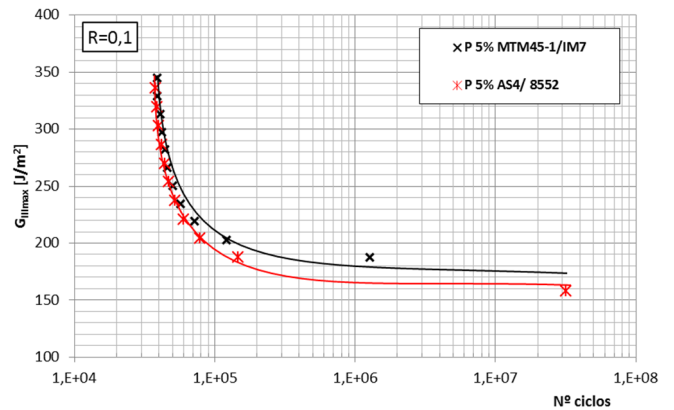


Figura 3. Curvas de probabilidad de rotura a fatiga del 5 % de ambos materiales.

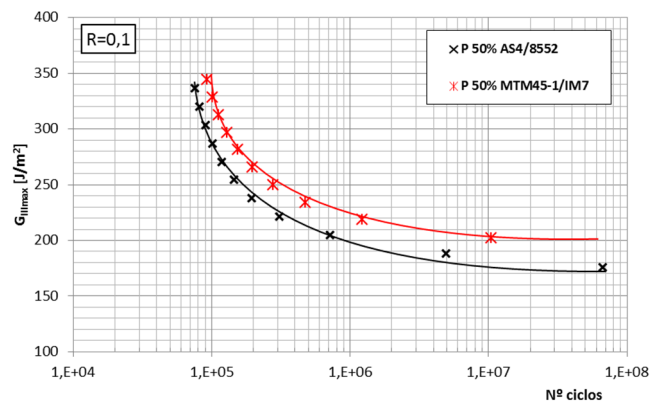


Figura 4. Curvas de probabilidad de rotura a fatiga del 50 % de ambos materiales.

3.2 Análisis fractográfico

Además se ha realizado un análisis fractográfico de las superficies generadas en el proceso de fractura del material AS4/8552 sobre una probeta ensayada previamente bajo fatiga en modo III, utilizando un microscopio electrónico de barrido (SEM) JEOL-6610LV.

El estudio fractográfico se ha realizado tanto en la zona contigua al inserto como en zonas más internas con objeto de tratar de identificar los mecanismos de daño presentes en las diferentes zonas de fractura. La zona contigua al inserto siempre está situada a 30 mm del punto de aplicación de la carga. Se ha podido constatar, tal como se aprecia en la figura 5, la existencia de características en la matriz propias de la rotura en modo III que ya habían sido detectadas en la rotura estática como las escamas diente de sierra [4]. Además, en las zonas cercanas al inserto se ha podido observar (ver figura 6) la presencia de una especie de cama de resina generada como consecuencia de los movimientos cíclicos. Esta cama con el paso del tiempo se va agrietando y se desprende de la probeta.



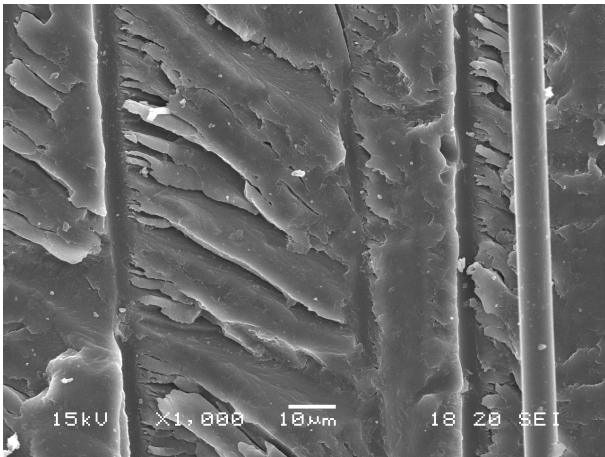


Figura. Fractografía típica de modo III de fractura con escamas situadas a 45° de la dirección de las fibras

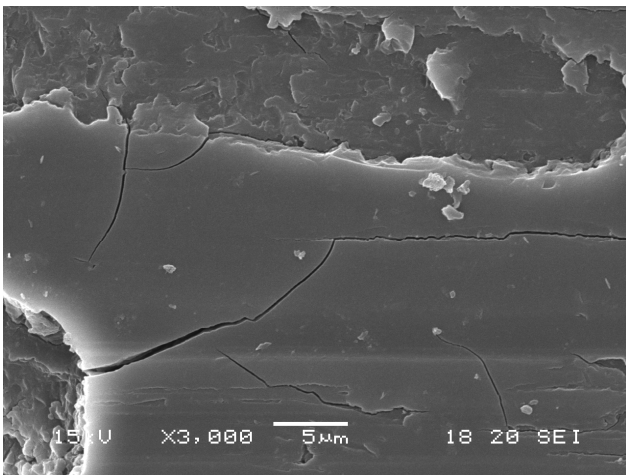


Figura. Fractografía específica del modo III de fractura dinámica con la aparición de capas de resina consecuencia del roce entre una parte y otra de la probeta.

4 Conclusiones

En primer lugar se ha comprobado la validez del dispositivo desarrollado para el estudio de fractura estática en modo III estático para los ensayos dinámicos. De la misma manera, la probeta tipo DCB usada para los ensayos estáticos se ha mostrado válida para los ensayos dinámicos, de igual manera que lo era para los dinámicos.

Se puede concluir del estudio experimental que los dispositivos de ensayo y la metodología desarrollada en este documento para caracterizar materiales compuestos sometidos al proceso de deslaminación bajo carga dinámica de fractura de modo III son adecuados y garantizan el inicio del proceso bajo modo III puro.

La combinación de dos actuadores en el equipo de prueba, uno lineal y el otro angular, proporciona un alto grado de fiabilidad en los resultados al impedir la deformación longitudinal de la probeta, al mismo tiempo que simplifica el

método de ensayo en comparación con otras metodologías actuales.

El análisis estadístico de los resultados ha permitido realizar una comparación de los resultados obtenidos con los dos materiales ensayados, mostrándose claramente la mayor fiabilidad del configurado con fibra IM7 que el que posee fibra tipo AS4.

Mediante el análisis fractográfico se ha podido determinar particularidades en la matriz propias de la rotura en modo III, como las escamas de sierra y en las zonas cercanas al inserto se ha de destacar la generación de capas de resina que, con posterioridad, se agrietan y terminan desprendiendo del material compuesto.

Referencias

- [1] Ge Y, Gong X, Hurez A, de Luycker E. Test methods for measuring pure mode III delamination toughness of composite. *Polymer Testing* 2016;55:261–8.
- [2] López-Menéndez, A., Viña, J., Argüelles, A., Rubiera, S., Mollón, V., A new method for testing composite Materials under mode III fracture, *Journal of Composite Materials* 50 (28) (2016) 3973-3980.
- [3] López-Menéndez, A., Viña, J., Argüelles, A., Viña, I., Rubiera, S., Analysis of mode III interlaminar fracture toughness of laminated composites using a novel testing device, *Engineering Fracture Mechanics* 173 (2017) 55-63.
- [4] López-Menéndez, A., Viña, J., Argüelles, A., Lozano, M., Validation of the longitudinal half fixed beam method for characterizing mode III delamination of composite laminates. *Composite Structures* 147 (2016) 74-81.

