

Análisis estadístico del comportamiento de un termoplástico reforzado con fibra de vidrio ante secuenciación de daño

M. A. GARCÍA¹, A. ARGÜELLES¹, A. FERNÁNDEZ CANTELI¹, L. CHACÓN², J. VIÑA¹

¹Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo. Campus de Viesques. Ed. Este, 33204. Gijón

²Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, Universidad Central de Venezuela

En el presente trabajo se lleva a cabo un análisis, según la distribución de Weibull, de la influencia de la permutación secuencial de daño en la resistencia a tracción última de un material compuesto de matriz termoplástica PEI reforzado con tejido de fibra de vidrio. Los daños simulados han sido los siguientes: fatiga hasta un millón de ciclos a una tensión máxima del 20% de la resistencia a tracción, el daño a impacto desde una altura de 750 mm, el envejecimiento acelerado en las condiciones 95% H.R., temperatura de 70 °C y periodo de permanencia 360 horas y por último el envejecimiento térmico a 150 °C durante 360 horas.

Palabras clave: compuesto, resistencia mecánica, fibra de vidrio, PEI.

Statistical analysis of the mechanical behaviour of a thermoplastic matrix composite reinforced with glass fiber subjected to different damage sequence.

An statistical analysis according to Weibull distribution has been carried out in order to test the influence of the damage sequence permutation in the ultimate tensile strength of a PEI matrix composite reinforced with glass fiber. The damages carried out have been: fatigue to a million of cycles with a stress of 20% tensile strength, impact damage from 750 mm, hygrothermal ageing to 95% H.R. and 70°C during 360 hours and thermal ageing to 150°C during 360 hours.

Keywords: composites, mechanical strength, glass fiber, PEI.

1. INTRODUCCION

Los materiales de aplicación en ingeniería se ven sometidos a lo largo de su vida en servicio a condiciones cada vez más severas (carga, temperatura, ambientes agresivos) lo cual ha conducido a que desde hace años varios grupos de investigación se hayan centrado en el estudio del comportamiento mecánico ante situaciones y ámbitos más o menos corrosivos, con objeto de comprobar el posible efecto de estas exposiciones sobre los elementos constitutivos del material: las fibras, la matriz y la intercara fibra matriz (1). La finalidad de este trabajo es el análisis estadístico del estudio experimental realizado sobre la resistencia última a tracción de un material compuesto de matriz termoplástica, que ha sido sometido a determinadas secuencias de daño. Para la elección de los distintos envejecimientos se ha atendido a criterios de influencia de los mismos en las prestaciones del material así como disponibilidad de medios para su reproducción en laboratorio.

Se ha utilizado un programa para el análisis de problemas de valores extremos, importante para la discusión e interpretación práctica de resultados experimentales de variables aleatorias.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1-Material

Se ha empleado un material compuesto proporcionado por la empresa holandesa Ten Cate Advanced Composites constituido por una matriz polimérica y como elemento de refuerzo fibra de vidrio tipo E dispuesta en forma de tejido. La estructura del tejido es del tipo 8Harness Satin.

La matriz es un polímero termoplástico amorfo de altas prestaciones, la polieterimida, cuyas principales características son su elevada temperatura de transición vítrea ($T_g \approx 217^\circ\text{C}$) y su baja absorción de agua, lo que le permite mantener un elevado porcentaje de sus propiedades mecánicas tras elevados tiempos de exposición a ambientes húmedos.

2.2-Dispositivos de ensayo y procedimiento experimental

Para la simulación de los diferentes envejecimientos se han utilizado distintos equipos. El daño a fatiga (F) se ha realizado en una máquina universal de ensayos servohidráulica con una capacidad de carga de 100 kN, marca MTS-mod. 810, a una frecuencia de 4 Hz y durante 10^6 ciclos (2). El impacto (I) se ha llevado a cabo en una torre de caída de peso, marca CEAST de 100 julios, para una altura de 750 mm con un peso fijo de 0.690 kg lo que supone una energía de 5.07 J (3). Para el envejecimiento térmico (T) se han introducido las probetas en una estufa a una temperatura de 150°C durante un periodo de 360 horas (4); idéntico ha sido el tiempo elegido en el caso higrotérmico (N), para el cual las probetas han permanecido en una cámara climática VÖTSCH mod. 2020 en unas determinadas condiciones de humedad relativa (95%) y temperatura (70°C) (5).

Los ensayos de tracción se han llevado a cabo en una máquina universal de ensayos INSTRON mod. 5582 según las recomendaciones de la norma ASTM D-3039. La velocidad de ensayo ha sido de 2 mm/min, realizándose 5 ensayos de cada una de las secuencias. Las dimensiones de la probeta son de 200 x 10 x 1.6 mm, utilizándose talones como elementos de protección en la zona de amarre.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se representan los valores de la resistencia residual obtenidos para cada una de las secuencias (símbolos pequeños) así como el valor medio obtenido para cada una de ellas (símbolos grandes) y el valor medio general (línea vertical). En general la mayoría de estas medias se sitúan en torno a una banda estrecha respecto a la media general, con la excepción de algunos casos que se encuentran más descentrados respecto a la media, los cuales se podrían agrupar en dos bloques, aquellos que se encuentran desplazados a la izquierda de la media y tienen una influencia negativa, cooperando a la pérdida de resistencia y los que se encuentran a la derecha de la media global y con una influencia positiva respecto a la pérdida general.

Se muestra a continuación el análisis estadístico de los resultados obtenidos, utilizando el modelo de Castillo (6). Se estimó, mediante ajuste en papel probabilístico, el valor del parámetro de localización, y a partir de él se evaluaron los parámetros de forma y de escala de la función de distribución de Weibull de la muestra global, utilizando el criterio de máxima verosimilitud. La determinación del dominio de atracción de las muestras de resultados se realizó utilizando el papel probabilístico de Gumbel. En este caso, la figura 2.a representa el dominio de atracción de Weibull. En ella se aprecia la convexidad de la cola izquierda lo que es indicativo de que la muestra pertenece a la familia de funciones de Weibull de tres parámetros.

El proceso de estimación de parámetros se inicia con un ajuste del de localización, λ , hasta lograr una linealización apreciable de los resultados en la cola izquierda en el papel probabilístico de Weibull, lo que se consigue para $\lambda = 230$ (Figura 2.b). A partir de ese valor se estimaron los otros parámetros, el de forma, β , y el de escala, δ . Se puede apreciar una buena distribución para la mayor parte de los puntos representados. Mediante esta representación es posible calcular la probabilidad de rotura del 5% y del 50% del material y que se corresponderían con niveles de resistencia de 274 y 310 MPa. Con objeto de poder conocer mejor la influencia o los efectos que determinadas series provocan en los resultados globales se muestran a continuación los resultados obtenidos para agrupamientos determinados de las mismas tomando como criterio el daño ejecutado en último lugar. En la figura 3.a (daño higrotérmico en primer lugar) se desprende que las

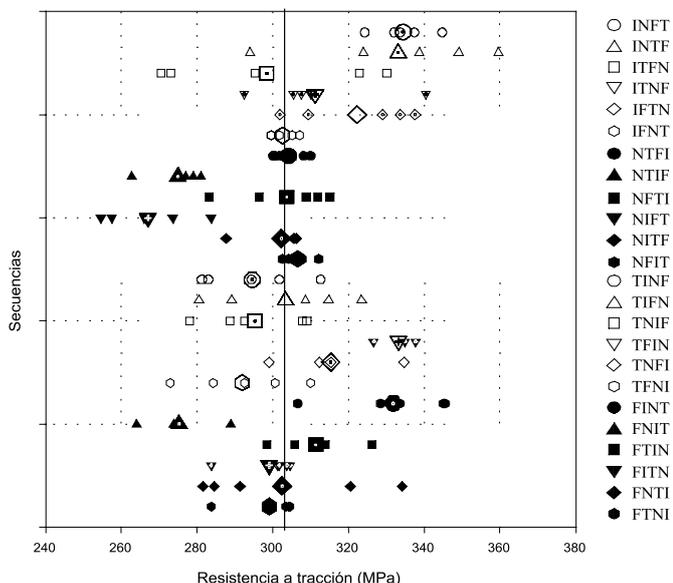


Figura 1. Valores de resistencia residual obtenidos para cada una de las secuencias.

secuencias NTFI y NFTI son aquellas menos negativas apareciendo los valores correspondientes a ellas en la parte superior de la representación y provocando la NTIF el peor efecto. Las probabilidades de rotura se situarían en 270 MPa para una estimación del 5% y en 304 MPa para una probabilidad del 50%.

En la Figura 3.b (daño térmico en primer lugar) la secuencia TFIN es la que presenta los mejores resultados frente a la secuencia TFNI que sería la peor de todas las representadas. Por otra parte, la TIFN se encuentra homogéneamente distribuida a lo largo de toda la representación. Los valores de probabilidad considerados en este caso se sitúan en 273 y 302 MPa. En la Figura 4.a (impacto en primer lugar) los mejores efectos se logran con las secuenciaciones IFNT y INFT frente a aquellas que se distribuyen a lo largo de la parte inferior como es el caso de ITNF e INFT; los valores de probabilidad se sitúan en este caso en 268 y 294 MPa, valores inferiores respecto al resto de las representaciones. En cambio en la Figura 4.b (fatiga en primer lugar) estos valores resultan ser los más elevados de todos, 281 y 315 MPa respectivamente. La secuencia FINT resulta ser en este caso la que produce los mejores efectos. En el tercio central se concentran los valores de FNIT.

4. CONCLUSIONES

Se observan cambios significativos en algunas secuencias mientras que en otras los cambios son reducidos bajo condiciones presumiblemente similares. Del análisis estadístico realizado se desprende que la muestra de resultados pertenece a la familia de funciones de Weibull de tres parámetros. Asimismo en las diferentes representaciones se

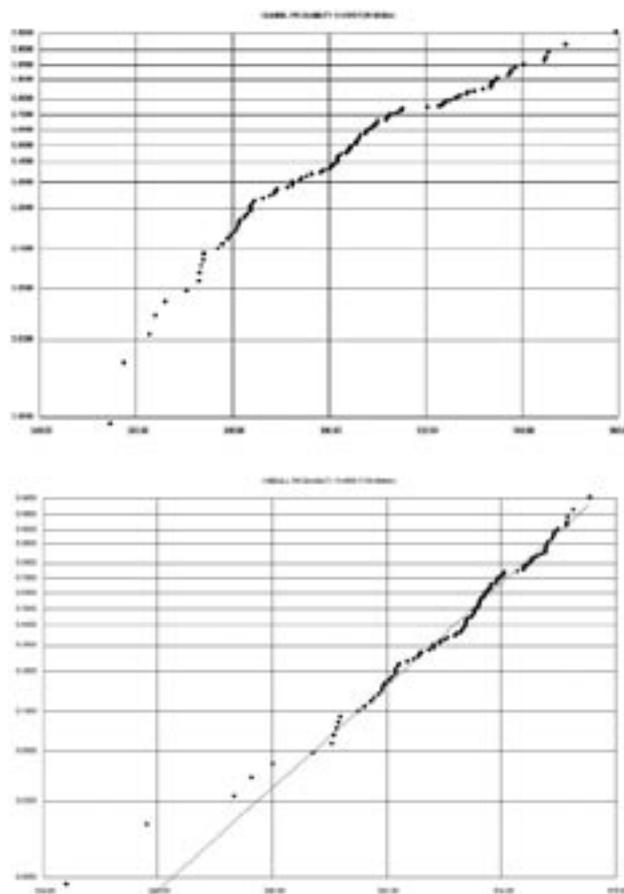


Figura 2. Dominio de atracción (a) y representación de Weibull (b) para los resultados de todas las secuencias.

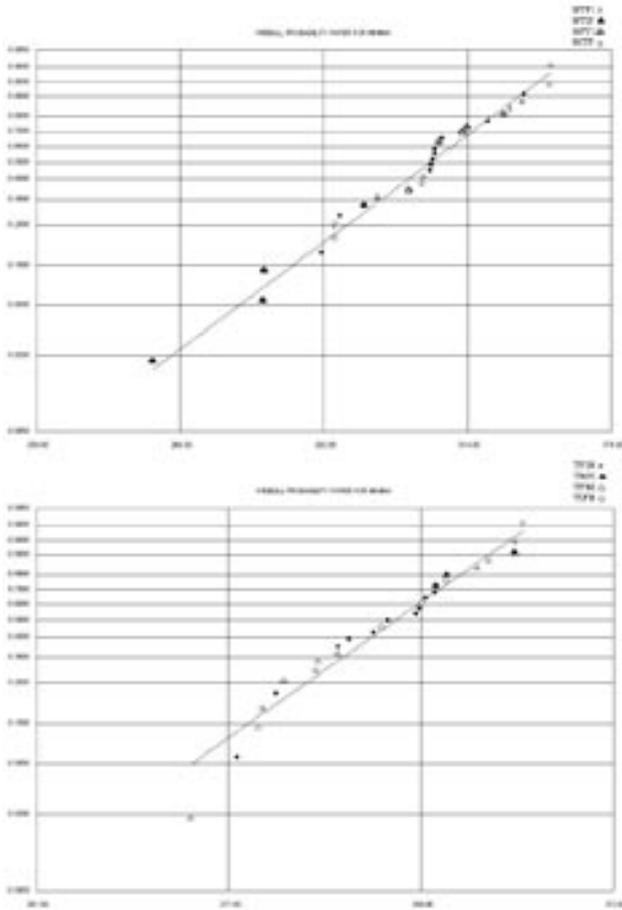


Figura 3. Representación de Weibull para los resultados de todas las secuencias cuyo primer daño ha sido la permanencia en un ambiente higrotérmico (a) y térmico (b).

observa la buena linealidad de los resultados lo que pone de manifiesto que la distribución de Weibull para este ajuste es acertada. Esto permitiría predecir el comportamiento en cuanto a vida a fatiga del material para otros niveles de carga con un estudio de secuencias menos extenso al aquí realizado.

5.-AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación recibida por la CICYT por medio del proyecto MAT2000-0416.

6.-REFERENCIAS

1. J. Viña, A. Argüelles, M. A. García, M. A. Castrillo, I. Viña. "Descenso de las propiedades mecánicas del PEI reforzado con fibra de vidrio y carbono en ambientes químicos". Bol. Soc. Esp. Ceram. V., Vol. 39, nº 4, pp. 511-513,

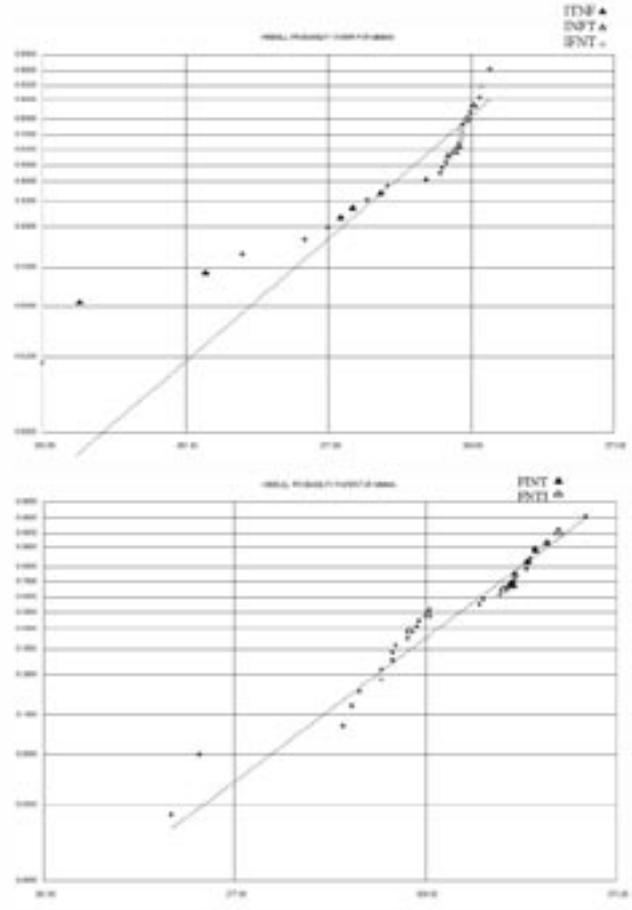


Figura 4. Representación de Weibull para los resultados de todas las secuencias cuyo primer daño ha sido el impacto (a) y la fatiga (b).

(2000).
 2. H. A. Withworth, "Evaluation of the residual strength degradation in composite laminates under fatigue loading". Comp. Struct., Vol. 48, pp. 261-264 (2000).
 3. D. D. R. Cartié, P. E. Irving, "Effect of resin and fibre properties on impact and compression after impact performance of CFRP". Comp. part A, Vol. 33, pp. 483-493 (2002).
 4. K. J. Bowles, "Durability of graphite-fiber-reinforced PMR-15 composites aged at elevated temperatures", J. Comp. Tech. & Res., Vol. 21, No. 3, pp. 127-132 (1999).
 5. L. J. Burcham, M. R. Vanlandingham, R. F. Eduljee, J. R. Gillespie, "Moisture effects on the behaviour of graphite/polyimide composites". Pol. comp., Vol. 17, No. 5, pp. 682-690 (1996).
 6. E. Castillo, E. Alvarez, A. Cobo, T. Herrero. "Some basic statistical theory on extremes", pp. 26-56 en An expert system for the analysis of extreme value problems. University of Cantabria. 1993.

Recibido: 1.2.03

Aceptado: 30.11.03

