

Mecanismo de Falla en Materiales Compuestos Termoplásticos Multilaminados

Martín-Barrera, C., González-Chi, P.I.*
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
Unidad de Materiales
Calle 43, No.130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97200,
Mérida, Yucatán, México.
* ivan@cicy.mx

1. Resumen.

Multilaminados a base polipropileno reforzado con fibras de Twaron, fueron preparados consolidando placas delgadas con fibras orientadas en diferentes direcciones. La arquitectura a base de una celda de 8 capas a $\pm 45^\circ$ fue dimensionalmente escalada en el espesor, en el plano y en tres dimensiones. Los especímenes fueron probados a tensión y sus superficies de falla y fractura fueron estudiadas por microscopía óptica y electrónica.

Una matriz termoplástica es tenaz, esta propiedad cambia el mecanismo de falla: cuando una de las fibras falla, se genera un flujo local de la matriz perpendicular a la fibra rota, este fenómeno se observa en diferentes puntos generando muchas micro-fisuras que se propagan en muchas direcciones a lo largo de la interfase; este mecanismo no necesariamente provoca la ruptura del material; esta ocurre cuando varias de las fisuras se encuentran o cuando el flujo plástico de la matriz en una falla interfacial es extenso.

La evidencia presentada en el presente trabajo contribuye al entendimiento de como las cargas son balaceadas y como el escalamiento dimensional afecta la distribución de la mismas y a la fractura. Así mismo se muestra como el mecanismo de falla en un material compuesto termoplástico multilaminado, está gobernado por una combinación de la falla interfacial y del flujo plástico.

2. Introducción.

Un material compuesto multilaminado se caracteriza por estar formado por un conjunto de láminas en las que el refuerzo guarda una orientación en una dirección específica. Esta unidireccionalidad hace que una placa individual sea anisotrópica, por lo tanto, para una aplicación real que requiere refuerzo multidireccional será necesario unir varias láminas con el refuerzo en la orientación requerida. La práctica tradicional es que las láminas se apilen guardando simetría respecto a la orientación del refuerzo de una placa.

Cuando una carga es aplicada a un material compuesto multilaminado, un estado esfuerzo complejo es generado en el interior del material distribuyéndose de tal forma que, cada lámina se deforma de manera diferente dependiendo de la dirección en la que se aplica la carga y de la orientación del material de refuerzo en cada lámina [1].

El mecanismo tradicional de falla en este tipo de materiales a base de una matriz termofija consiste en la formación de fisuras en zonas donde la distribución de esfuerzos se encuentra en desbalance [2], la cual normalmente se encuentran entre láminas adyacentes cuyo refuerzo está orientado en la misma dirección. Dos láminas adyacentes con su refuerzo orientado en direcciones opuestas se dice que están balanceadas, ya que su deformación también tendrá direcciones opuestas, sin embargo, si las dos láminas tienen su refuerzo con la misma orientación, entonces las deformaciones no están balanceadas y consecuentemente los esfuerzos tampoco, lo que genera una concentración de esfuerzos.

La fisura formada, normalmente genera una falla conocida como delaminación, es decir, la zona de unión entre láminas es la más débil ya sea por que se usó algún tipo de adhesivo débil o por que en esta zona, la cantidad de refuerzo es mínima o nula, el resultado final es la separación de las láminas que conduce a la falla del material.

En el caso de materiales compuestos multilaminados a base de matrices termoplásticas, el mecanismo puede ser diferente debido a la tenacidad de la matriz y a su capacidad de presentar grandes deformaciones plásticas antes de fallar; además la unión entre láminas es por fusión por lo que estrictamente no existe entre-cara, por lo que la posibilidad de delaminación es nula.

3. Condiciones Experimentales.

3.1 Laminados estudiados.

Las probetas fracturadas que se estudiaron fueron de los sistemas escalados a $\pm 45^\circ$ de Polipropileno reforzado con fibras de Twaron, de 8 Capas-1x, 8 Capas-2x, 8 Capas-3x, 16 Capas-1x y 24 Capas-1x. El índice 1x corresponde a el escalamiento del espesor, 2x al escalamiento en el plano, (largo y ancho) y 3x es el escalamiento tridimensional.

3.2 Preparación de muestras para microscopía óptica.

Las dos caras principales en las zonas con fisuras fueron observadas en un microscopio óptico Leica DMLM. Inicialmente se hizo una exploración general con un objetivo de 10x, después, se seleccionaron las fisuras mejor definidas y se fotografiaron primero, con el objetivo de 10x, y luego se capturaron las mismas zonas a mayor magnificación (20x y

50x); todas las imágenes fueron tomadas con luz reflejada, campo oscuro y zoom de 0.8. Las mejores fisuras fueron marcadas en el microscopio con la micro-punta de un cautín.

3.3 Preparación de muestras para microscopía electrónica de barrido.

Las fisuras marcadas fueron cortadas de la probeta en secciones de 10 mm x 25 mm, y estos bloques fueron metalizados en un baño de oro (metalizador Denton Vacuum Desk II) y fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido JEOL modelo JSM 6360LV equipado con un detector SEI a 25 KV con alto vacío.

4. Resultados y discusión.

La figura 1 muestra dos de las características de la falla del material que controlaron el proceso de ruptura de los materiales compuestos multilaminados termoplásticos simétricos y balanceados de $\pm 45^\circ$ a base de Polipropileno reforzado con la fibra de Twaron.

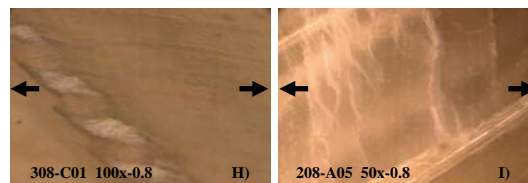


Figura 1. Imágenes observadas con el microscopio óptico del sistema 8 Capas-3x (H) y 8 Capas-2x (I).

La primera de estas características fue observada en el SEM (figura 2), muestra un alto nivel de deformación plástica rodeando las fibras, la interfase falló y la matriz se desgarró con altos niveles de deformación, la fibra es liberada y atrapada en la cavidad generada (Figura 3).

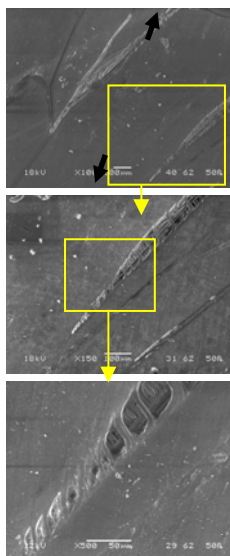


Figura 2. Falla interfacial discontinua, SEM del sistema 8 Capas-3x.

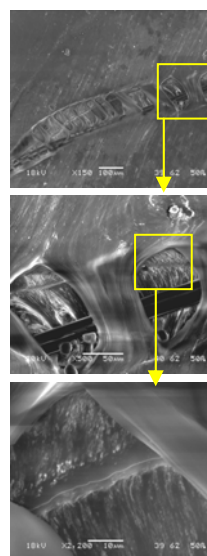


Figura 3. Fisura interfacial con fibra libre, SEM del sistema 8 Capas-2x.

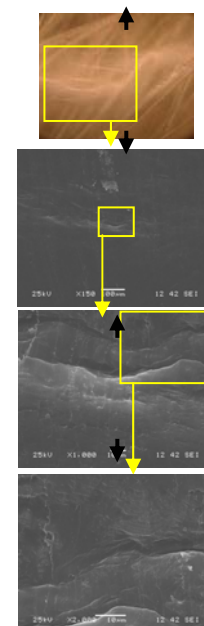


Figura 5. Flujo superficial del PP (8 Capas-3x).



Figura 4. Kink bands en una fibra embebida antes de la prueba a tensión.

La falla interfacial conduce a la falla total del material, esta falla interfacial es promovida por la presencia de *kink bands* a lo largo de las fibras que son generadas durante el proceso de manufactura; una *kink band* es un tipo de falla estructural en fibras de ingeniería cuando son sometidas a compresión. En el presente estudio, las probetas fueron probadas a tensión, pero el moldeo de las probetas fue a compresión, por lo tanto, las *kink bands* existen desde antes de la prueba a tensión (figura 4), durante la cual promueven la falla interfacial y un gran flujo de la matriz antes de su falla (figura 3).

La figura 5 muestra la segunda característica del proceso de falla que corresponde al flujo de la matriz: Normalmente estas líneas, lucían en el microscopio óptico como líneas blancas perpendiculares a la dirección de carga, y siempre tocan a las fibras con *kink bands*, al observarlas en el SEM, se pudo confirmar que el Polipropileno de la zonas cerca de las fibras había formado ondulaciones superficiales cuya finalidad muy probablemente fue la de proveer de material a la zona de falla, en donde antes de la ruptura, se presentan niveles de flujo y deformación muy altos.

5. Conclusiones.

La falla de los materiales compuestos termoplásticos multilaminado simétricos y balanceados de $\pm 45^\circ$ a base de Polipropileno reforzado con la fibra de Twaron es controlada por la falla interfacial, la cual es a su vez promovida por la presencia de *kink bands*; estas son generadas durante el proceso de moldeo a compresión de las probetas, sin embargo, la concentración de esfuerzos que generan, promueven la falla interfacial durante la prueba a tensión, que es acompañada por un alto nivel de deformación y flujo, lo que hace que el Polipropileno forme ondulaciones en zonas cercanas a las fibras con falla interfacial en las *kink bands*.

6. Referencias.

1. L.S. Sutherland, R.A. Shenoi, S.M. Lewis “Size and scale effects in composites: I. Literature review” *Composite Science and Technology*, **60** (2000) 283-299.

2. A.T. Nettles, M. J. Douglas, E. E. Estes “Scaling effects in carbon/epoxy laminates under transverse quasi-static loading” Report from The National Aeronautics and Space Administration. Report No. NASA/TM-19991209103, USA, 1-39, 1999.