Regresa al Indice

PRUEBA MECÁNICA PARA PROVOCAR EL INICIO DE LA DELAMINACIÓN DE UN LAMINADO EN LABORATORIO.

Abel Márquez Anaya [a], Alberto Díaz Díaz [b], José Castañeda Avila [a],

[a] *Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuíto Universitario I, Campus Nuevo.*
[b] *Centro de Investigación de Materiales Avanzados, Miguel de Cervantes 120. Chihuahua, Chih.*

Introducción.

Los laminados hechos de polímeros reforzados por fibras son muy utilizados actualmente con los propósitos de aumentar la resistencia y disminuir el peso de elementos estructurales. Esto se aplica en diferentes áreas como aeronáutica, construcción, artículos deportivos, etc.. Por esta razón es muy importante analizar la delaminación en estos materiales ; la delaminación ocurre cuando se despegan las capas de un laminado. Para estudiar la delaminación se necesitan pruebas mecánicas de laboratorio que la hagan aparecer sin que se rompan las capas. Actualmente, prácticamente no exísten pruebas de inicio de delaminación sin ruptura de capas.
El objetivo de este artículo es la determinación de dichas pruebas. Este artículo presenta primeramente el método teórico para diseñar pruebas mecánicas que puedan provocar la delaminación sin ruptura de capas (este trabajo permite ahorrar tiempo y descartar pruebas que no funcionarían).
De este diseño hemos obtenido dos tipos de pruebas, las cuales son descritas en la segunda y tercera parte del artículo.
Para este trabajo se consideraron laminados de compósito de fibras de carbono y de matríz epóxica.

Desarrollo de un método de diseño de pruebas.

El objetivo es determinar un arreglo laminar (un apilado de capas de compósito con diferentes orientaciones), su geometría y un tipo de carga que sea fácil de efectuar experimentalmente y que pueda provocar la delaminación sin ruptura de capas.
Dicho de otra manera, deseamos obtener esfuerzos elevados en la interfase entre las capas de interés sin que la magnitud de los esfuerzos en las capas sea considerable.
Por lo tanto es necesario evaluar los esfuerzos en el laminado mediante una herramienta de cálculo adecuada . Nosotros utilizamos el software MACLAM (Mechanical Analysis of Composites and Laminates) que permite evaluar los esfuerzos en las capas y en las interfases de un laminado [1].
Para poder afirmar que la delaminación ocurrirá antes que la ruptura de las capas, se requieren un criterio de ruptura de las capas y un criterio de delaminación. Para el primer criterio utilizamos el criterio de Tsai-Hill, cuyos parámetros fueron determinados mediante pruebas mecánicas con el carbono-epoxy [2]. En cuanto a la delaminación, no existe actualmente un criterio validado. Sin embargo se reportan en la literatura valores de ruptura de interfase (de 240 MPa para el cortante y de 100 MPa para el esfuerzo normal [3]) que utilizaremos más adelante.

Regresa al Indice

Puesto que no exísten criterios de delaminación todavía, en nuestro trabajo, para un tipo de prueba dado, el método para afirmar si existe delaminación antes que la ruptura de las capas fue el siguiente:

- se calcula la carga máxima que acarrearía la ruptura de las capas sin tomar en cuenta la delaminación.
- para ese valor de carga, se calculan los esfuerzos de interfase; si estos esfuerzos rebasan los valores reportados en la literatura, entonces la prueba mecánica es candidata para ser llevada a cabo experimentalmente.

A la fecha, hemos estudiado varios tipos de prueba que propusimos por intuición mecánica para lograr el inicio de falla en la interfase. De éstas hemos obtenido dos que parecen dar los resultados deseados.
Las características del carbono-epoxy son las que se muestran en la siguiente tabla:

Módulos de Young (GPa)	Módulo de Poisson	Resistencias máximas (MPa)
EL=133.24	NuLT=0.2	Xt=2500
ET=7.5962	NuLT=0.2	Yt= 60
EN=7.5962		S = 40

La construcción de las probetas con el material anterior es un proceso, que consiste en varias etapas, sencillo, pero que requiere de cuidados y atención especiales que serán descritos durante la presentación de este trabajo en el congreso.
El número de capas es el único parámetro que influye directamente sobre el valor de los esfuerzos de interfase en el momento en que se rompería la primer capa por lo cual no se considera necesario dimensionarlas aún.

Prueba 1
Se propone la siguiente probeta con un arreglo laminar (90,0)s, como se muestra en la figura 1, y que al aplicarle una carga de 9 N/mm. (carga antes de que se rompa la primer capa), en MACLAM , se espera que falle en las interfases que unen las capas de 0° y 90° (ver simplificación), debido a la generación de grandes esfuerzos en los bordes de la interfase, y que en su parte central son despreciables, como se muestra en la gráfica de la figura 2.

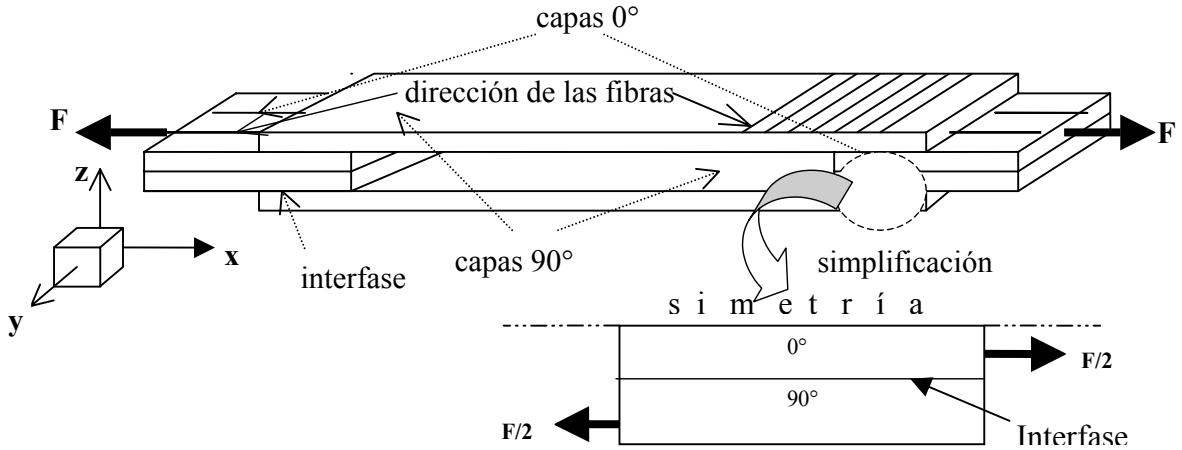

Figura 1. Probeta para prueba 1.

Mediante Maclam se obtienen la siguiente gráfica (figura 2) de los esfuerzos τyz y σzz que se puede observar son altos en los bordes de la interfase, que son los que van a provocar el inicio de delaminación .

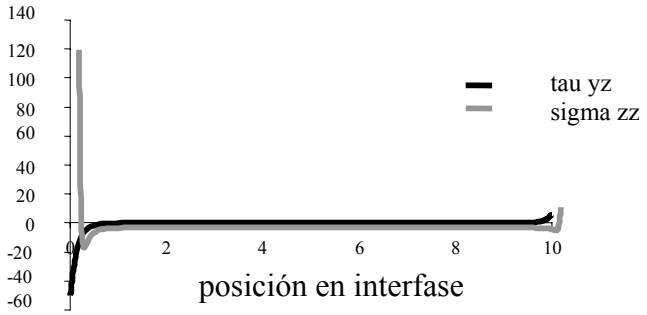

Figura 2. Gráfica de esfuerzos τyz y σzz.

Al obtener estos resultados que cumplen con el objetivo del experimento, entonces podemos decir que este laminado puede ser utilizado para medir la resistencia de la interfase.

Prueba 2

Otra probeta que puede dar resultados exitosos con el siguiente arreglo laminar (90,90,90,90,0,0)s, mostrado en la figura 3, se espera que el inicio de delaminación ocurra, en la interfase indicada en figuras 3 y 4, al aplicar una carga de 18 N/mm.

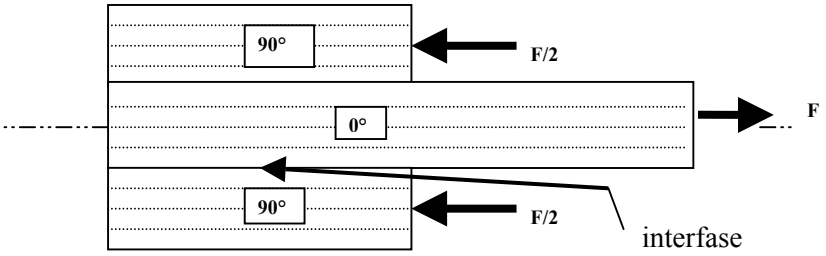

Figura 3. Probeta para prueba 2.

Y de la figura 3 obtenemos para el análisis en Maclam la figura 4.

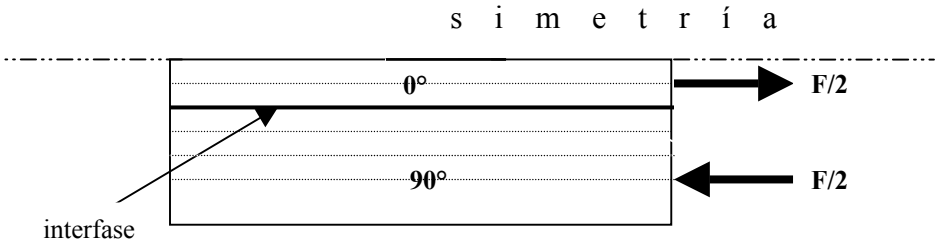

figura 4. Modelo de probeta 2.

Para la prueba 2 también se observan altos esfuerzos en los bordes de la interfase (figura 5), y por eso es un experimento que cumple con nuestro objetivo principal.

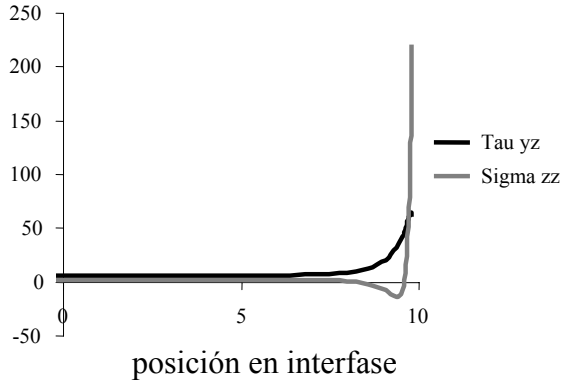

figura 5. Gráfica de esfuerzos modelo 2.

Conclusiones

Después de analizar estas dos pruebas que se van a llevar a cabo posteriormente, con diferentes laminados, geometrías y meneras de aplicar la carga tensil, podemos afirmar que ambos modelos son útiles para medir la capacidad de resistencia en sus respectivas interfases; y se van a seguir haciendo más pruebas para caracterizar la resistencia de la interfase entre las capas de un laminado.

Bibliografía

[1] DIAZ DIAZ A, CARON JF, CARREIRA RP, “Software application for evaluating interfacial stresses in inelastic symmetrical laminates with free edges”, Journal of Composite Structures, 58, 195-208, 2002
[2] DE LOS RIOS H., “Caracterización mecánica de materiales compuestos”, reporte de residencias del Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua, 2004.
[3] DIAZ DIAZ A, “Délaminage des matériaux multicouches : phénomènes, modèles et critères », Tesis de doctorado de la Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, París, 2001.