

TEMA 5: MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ ORGÁNICA: CONTROL DE CALIDAD

5.1- Introducción

El control de calidad de los materiales compuestos es muy importante debido a:

- a) la gran variedad de **combinaciones fibra-matriz**
- b) la gran variedad de **métodos de transformación**

5.2- Acondicionamiento

Para conocer el comportamiento real del material compuesto en las condiciones ambientales de trabajo, se realizan los ensayos de acondicionamiento que pueden ser de dos tipos.

- a) Ensayos de **envejecimiento**: miden la pérdida de características (físicas y mecánicas) a lo largo del tiempo en un ambiente dado. El envejecimiento puede ser natural o acelerado y se lleva a cabo en cámaras de acondicionamiento.

En el **natural** se someten las probetas a las condiciones de trabajo reales a las que estará sometida la pieza: radiación solar, humedad.

En el **acelerado** se trata de extrapolar unas condiciones creadas en laboratorio a las condiciones reales a las que se someterá la pieza a lo largo de su vida (sobre todo humedad y temperatura).

- b) Ensayos de **corrosión**: se estudia la modificación de la constitución química y por tanto de las características de forma rápida por la acción de determinadas materias.

Los agentes que producen corrosión se denominan agresivos (agua, ácidos y bases). El acondicionamiento se realiza sometiendo el material a la acción de agentes corrosivos (agua, ácidos y bases) a unas determinadas concentraciones y temperaturas.

5.3- Ensayos mecánicos

a) Ensayo de tracción

En este ensayo, se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que se aplica a lo largo del eje de la probeta.

Para tener en cuenta los factores geométricos de la probeta, se normalizan la carga y el alargamiento obteniéndose los valores de tensión (σ) y deformación (ϵ).

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Donde F es la carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta, A_0 es el área inicial de la sección.

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Donde, l_0 es la longitud inicial de la probeta y l_i la longitud instantánea.

El ensayo a tracción sirve para medir la **resistencia a la tracción** (tensión máxima que soporta el material) y el **módulo de elasticidad** (pendiente de la curva σ - ϵ) en la zona de deformación elástica).

Los ensayos pueden ser mono- o bidireccionales. Si el ensayo se realiza en la dirección de las fibras (**dirección 0°**) la resistencia y la rigidez vienen dadas por las **fibras**. Si el ensayo se realiza en dirección transversal a la fibra (**90°**), se mide la resistencia y la rigidez de la **matriz**.

Este ensayo no es muy utilizado en los materiales compuestos, ya que la mayoría de las estructuras trabajan a tracción o a flexión.

b) Ensayo de flexión de tres puntos

En este ensayo la probeta se coloca sobre dos apoyos en sus extremos y en el centro se aplica una carga hasta la rotura, con una velocidad determinada.

Si se efectúa el ensayo con **probetas de flexión larga**, se obtiene la **resistencia y la rigidez a la flexión**.

Si se efectúa el ensayo con **probetas de flexión corta**, puede medirse la **resistencia a la cortadura interlaminar hasta la rotura**.

c) Ensayo de impacto.

Se golpea la probeta con un péndulo hasta la rotura. La diferencia entre las alturas del péndulo antes y después del impacto (h_1 y h_2) y la masa del péndulo, permiten evaluar la pérdida de energía cinética del péndulo durante el impacto, energía que puede igualarse a la absorbida por la probeta.

Hay dos variantes de ensayo de impacto:

- El **ensayo Charpy**: la probeta se coloca horizontalmente sin sujeción.
- En el **ensayo Izod**, la probeta se sujeta firmemente en posición vertical por uno de sus extremos

d) Ensayo de torsión

La probeta se somete a un par de tensión, de modo que el eje de este par coincida con el del eje de la probeta. En el seno del material se desarrollan tensiones de cortadura al estar sometido a un giro un extremo de la probeta en relación con el otro. La deformación de cortadura desarrollada puede medirse por medio de un tensiómetro

e) Ensayo de fatiga

En este ensayo la muestra se somete a esfuerzos alternativos de tracción y compresión de igual magnitud mientras se la hace girar.

f) Ensayo de dureza

La dureza es una medida de la **resistencia** de un metal a la **deformación plástica** (permanente). Existen diferentes ensayos de dureza como los de rayado o **penetración**. En ese último caso, la dureza se mide forzando un penetrador en la superficie del material por medio de la aplicación de una carga. Después, en función del diámetro o

profundidad de la huella, se determina la dureza. Los ensayos más comunes de dureza son:

- **Brinell**: el indentador es una **esfera** de acero.
- **Vicker**: el indentador es un diamante con forma de **pirámide**.

En el ensayo Brinell y Vicker, la dureza se mide a partir de la **superficie de la huella**:

$$\text{dureza} = \frac{\text{fuerza aplicada(kgf)}}{\text{superficie de la huella (mm}^2\text{)}}$$

- **Rockwell**: en este ensayo se utiliza una máquina de lectura directa de la huella.
- **Shore**: un peso cae por el interior de un tubo de vidrio sobre el material y se mide a simple vista la altura de rebote del peso en una escala graduada.

5.4- Ensayos térmicos

a) Termogravimetría (TGA)

En esta técnica una muestra se somete a un **calentamiento** a una velocidad determinada y se mide la **pérdida de peso**. También se puede llevar a cabo el ensayo a una temperatura constante y medir la pérdida de peso con el tiempo.

Los ensayos se realizan en una **termobalanza** que consta de dos platos. En uno de ellos se coloca la muestra y se introduce en el horno. El detector de temperatura se coloca lo más cerca posible de la muestra pero sin estar en contacto con ella. El cambio de peso de la muestra se registra automáticamente en el aparato.

Esta técnica permite estudiar la **degradación térmica** de polímeros que generen **volátiles** en su degradación:



Se puede relacionar el **grado de avance de la reacción** con el peso de la muestra. Si W_t es el peso del polímero todavía sin degradar, en el tiempo t y W_0 es el peso inicial de la muestra, el grado de conversión será:

$$\alpha = \frac{(W_0 - W_t)}{W_0}$$

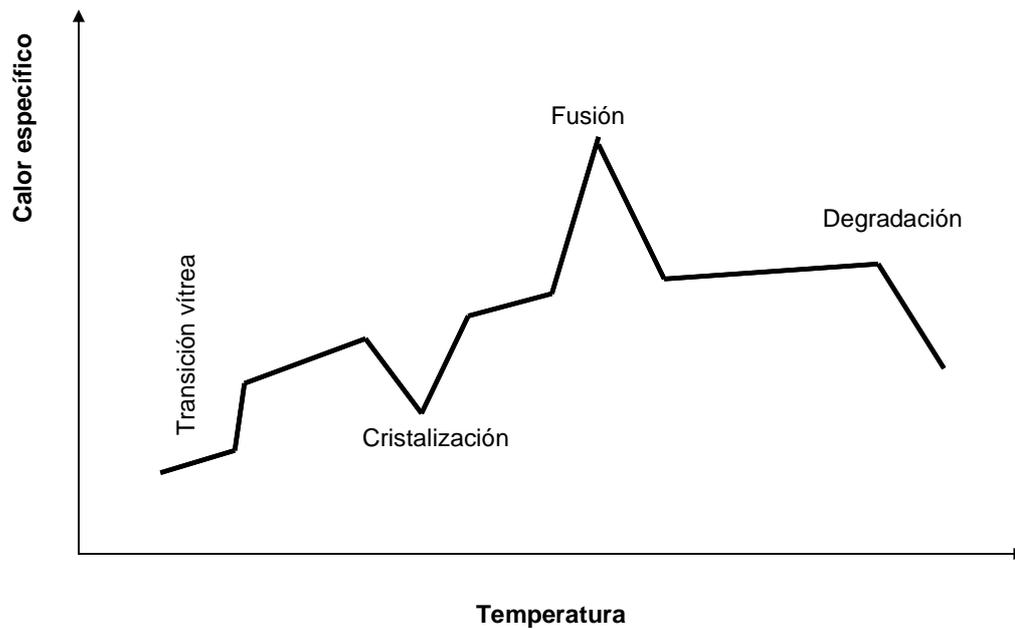
b) Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

En la técnica DSC se mide el flujo de calor que hay que suministrar, independientemente, a una muestra contenida en un crisol y a una referencia estándar, para que ambas sigan el mismo programa de temperaturas.

El equipo DSC consta de dos crisoles que contienen, respectivamente, la muestra y la referencia están equipados con sensores para la medida de la temperatura y resistencias de calentamiento independientes.

El área del termograma puede relacionarse con el calor específico de la transición.

Las transiciones que implican una variación en el flujo energético a la muestra se detectan en el termograma, bien como un pico o bien como un hombro, dependiendo del tipo de transición que tenga lugar. Además, en función de la naturaleza de la transición (exotérmica o endotérmica) los valores del flujo de energía pueden ser positivos o negativos. La figura presenta el termograma de un polímero semicristalino, que ha sido enfriado muy rápidamente a una temperatura inferior a T_g , obteniéndose después el termograma a una cierta velocidad de calentamiento. A temperaturas muy bajas la variación de calor específico con la temperatura es lineal ya que al estar el polímero en estado vítreo los movimientos moleculares están congelados. Al llegar a la transición vítrea se empiezan a mover segmentos de cadenas de polímero y se registra un salto en el calor específico, c_p , a la temperatura de transición vítrea. Al seguir calentando la muestra puede ocurrir que el polímero cristalice y este proceso exotérmico se manifiesta en el termograma como un pico. El proceso de fusión que ocurre al seguir aumentando la temperatura da lugar a un pico endotérmico. A temperaturas muy altas tiene lugar la degradación del polímero.



c) Índice de fluidez o Melt Flow Index (MFI)

Es una medida de la cantidad de material que es extruído por un pequeño orificio cuando se aplica una carga o presión constante durante 10 minutos a una determinada temperatura. Un alto índice de fluidez indica una baja viscosidad de fundido y al revés.

d) Temperatura de reblandecimiento bajo carga

En este ensayo la probeta de material compuesto se calienta y se va midiendo la deformación del material. Los ensayos más utilizados son el ensayo HDT (Heat Deflection Temperature), que utiliza la deformación del material a flexión y el ensayo Vicat, que utiliza la penetración de un indentador. La temperatura a la que se alcanza un nivel de deformación arbitrario es tomada como indicación de la resistencia del material a la temperatura en un corto período de tiempo.

5.5- Ensayos no destructivos

a) Radiografía con Rayos X

Esta técnica se basa en que el **coeficiente de absorción de la radiación es diferente**

para la fibra que para el polímero. Permite revelar defectos como inclusiones, burbujas de aire y regularidad de la disposición de las fibras de refuerzo.

b) Termografía IR

Esta técnica se basa en que fibra y matriz tienen **diferente coeficiente de transmisión de calor**. La superficie del material compuesto se calienta y se mide la pérdida de energía infrarroja.

Se detectan bien fisuras, deslaminación, burbujas de aire y espacios si el material tiene pequeño espesor.

c) Líquidos penetrantes en la superficie

La superficie del material compuesto se introduce en un baño de líquido penetrante que se introduce por capilaridad en las posibles grietas, poros, etc... Después, se lava y seca la pieza y si tiene alguna grieta el líquido queda atrapado. Este líquido se puede ver con luz normal si tiene un color intenso o con ayuda de la luz UV si el líquido es fluorescente.

Es un método simple y rápido pero sirve sólo para defectos de superficie y puede dar problemas a la pieza acabada.

d) Control por ultrasonidos

El método se basa en la **propagación de una onda sonora de frecuencia elevada** provocada por un transductor piezo-eléctrico.. Cuando la onda encuentra un defecto se produce una reflexión de la onda que es captada por otro transductor.

Se pueden distinguir dos variantes: control por contacto, apropiado para grandes piezas y control por inmersión, sólo apropiado para pequeñas piezas.

Es un método que permite detectar porosidades e inclusiones de material extraño.