

TEMA 3: MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ ORGÁNICA: INTERFASE Y ARQUITECTURA

3.1- Interfase

Las propiedades mecánicas de un material compuesto dependen de las propiedades de sus componentes, **fibra** y **matriz** y de la unión entre ambas, es decir, de la **interfase**. Es especialmente importante:

- la **unión** entre fibra y matriz
- la **transmisión de esfuerzos mecánicos** entre ambas

Para obtener el material compuesto la matriz debe estar en estado fluido e impregnar bien el refuerzo. De esta forma, se consigue una buena unión en la interfase.

La **impregnabilidad o mojado** se define como la capacidad de un líquido para extenderse por una superficie sólida. Una buena impregnabilidad significa que la matriz fluirá perfectamente por la superficie del refuerzo y desplazará todo el aire.

Como medida matemática de la impregnabilidad se puede considerar el **ángulo de contacto, θ** , ángulo que forma con la superficie sólida.

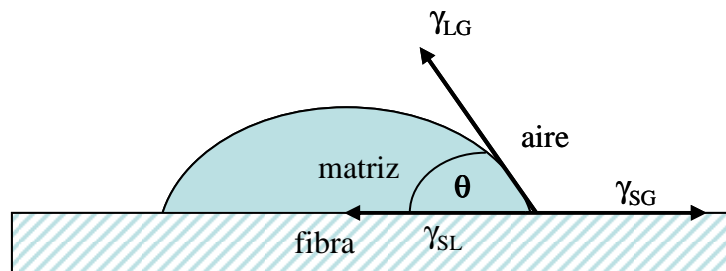


Figura 1

Según la ecuación de Dupré, el trabajo de adhesión W_a , se calcula:

$$W_a = \gamma_{SG} + \gamma_{LG} - \gamma_{SL}$$

donde: γ_{SL} (energía superficial sólido-líquido) (fibra-matriz), γ_{SG} (energía superficial

solido-gas) (fibra-matriz), γ_{LG} (energía superficial líquido-gas) (matriz-aire) .

La impregnación tiene lugar si los valores de γ_{SG} y γ_{LG} son elevados y γ_{SL} pequeño. En general, cuando la tensión superficial de la fibra es igual o mayor que la de la matriz, se garantiza una buena impregnación de la fibra por la matriz.

A partir de un equilibrio de fuerzas el ángulo de contacto se define como:

$$\cos \theta = \frac{(\gamma_{SG} - \gamma_{SL})}{\gamma_{LG}}$$

- Si $\theta = 180^\circ \rightarrow$ la gota es esférica con un único punto de contacto entre el líquido y el sólido. En este caso no se produce la impregnación.
- Si $\theta = 0^\circ \rightarrow$ Cuanto el ángulo de contacto es de 0° se produce una impregnación perfecta.

En general, se considera que el líquido no impregna el sólido si el ángulo de contacto es mayor de 90° .

3.2- Unión en la interfase

Existen diferentes **tipos de unión** en la interfase.

a) Unión mecánica

Las rugosidades entre ambas superficies dan lugar a la unión. A mayor rugosidad más efectiva es la unión en la interfase. Este tipo de unión es poco efectiva para esfuerzos de tracción pero efectiva para esfuerzos cortantes.

b) Unión electrostática

Este tipo de unión se da cuando una de las superficies tiene carga positiva y la otra negativa.

c) Unión **química**

Se da cuando la superficie del refuerzo tiene grupos químicos compatibles con grupos químicos de la matriz. La resistencia de la unión depende del número de uniones por unidad de área.

d) Unión mediante **interdifusión**

En este tipo de unión la superficie del refuerzo y de la matriz tienen cadenas poliméricas que se difunden entre ellas. La resistencia de esta unión depende del número de entrelazamientos entre cadenas y aumenta con la adición de disolventes o plastificantes.

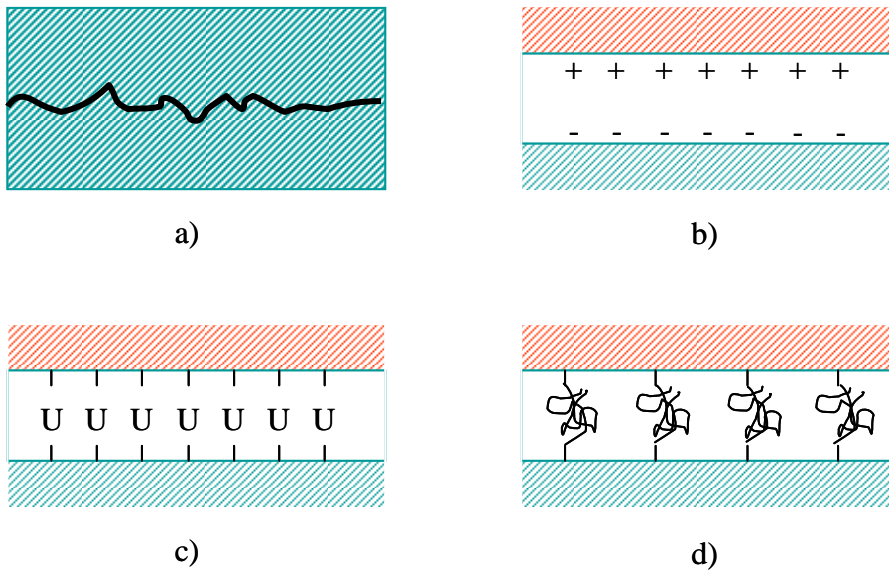


Figura 2

3.3- Interfase matriz-fibra

Para mejorar la unión entre los grupos óxido de la superficie de la fibra de vidrio y de la matriz se utilizan unas sustancias denominadas **agentes** de acoplamiento de tipo silano.

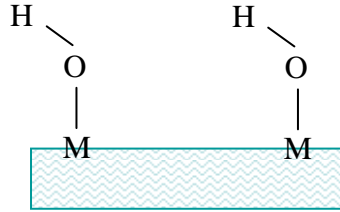
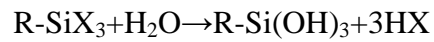


Figura 3 (M es Si, Fe y Al)

Los silanos ($R-SiX_3$) protegen la superficie de la fibra de vidrio y mejoran la unión en la interfase: según el siguiente proceso:

- a) El silano ($R-SiX_3$) sufre hidrólisis dando lugar a la formación de **silanol** ($R-Si(OH)_3$).



- b) Se forman enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo ($-OH$) del silanol y la superficie de la fibra de vidrio. De esta forma se evita que se reduzca la impregnabilidad de la resina al impedir que la superficie de la fibra de vidrio se una a moléculas de agua.

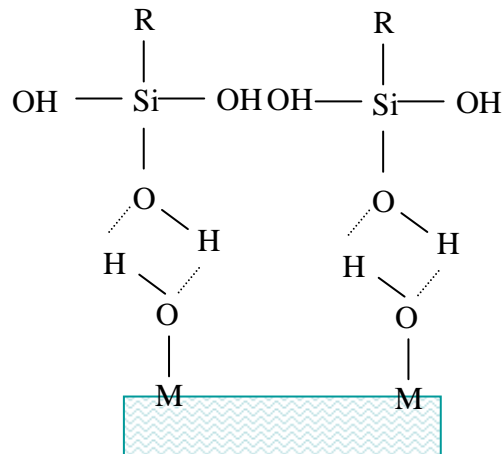


Figura 4

- c) Se producen reacciones de condensación entre el silanol y la superficie de la fibra y entre moléculas adyacentes de silanol. En consecuencia, se forma una capa de **polisiloxano** unida a la fibra de vidrio. Los agentes de acoplamiento pueden tener grupos R reactivos con la resina y durante la reticulación pueden quedar unidos

fuertemente a la fibra de vidrio.

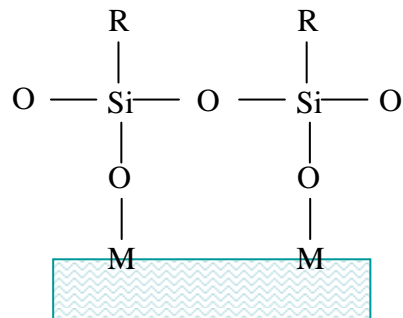


Figura 5

3.4- Arquitectura de los materiales compuestos de matriz orgánica

Teniendo en cuenta la arquitectura de los materiales compuestos de matriz orgánica, existen dos tipos de composites:

- a) **Plásticos reforzados:** están constituidos por matrices en las que se introducen refuerzos de tipo fibra o partícula.
- b) **Materiales compuestos estructurales:** están formados por materiales compuestos y homogéneos y sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Pueden ser de dos tipos:

- **Materiales compuestos laminares:** formados por láminas o paneles que tienen una dirección preferente con elevada resistencia.
- **Paneles sandwich:** compuestos de núcleo y alas.

3.4.1- Plásticos reforzados

Las propiedades de los materiales compuestos dependen básicamente de la relación volumétrica fibra/matriz y de la ordenación de las fibras en la matriz.

- a) Efecto de la **fracción volumétrica** de fibra

Cuanto más alta es la fracción volumétrica de fibras en el material compuesto, mayor es el módulo de elasticidad y la resistencia.

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes ya que permiten conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad, es decir, elevada resistencia específica y alto módulo específico.

b) Influencia de la **orientación y concentración** de la fibra

La orientación relativa también influye en las propiedades del material compuesto. Existen dos tipos de orientación: (1) alineación **paralela** y (2) alineación **al azar**. Las fibras continuas se presentan alineadas, mientras que las fibras discontinuas se pueden presentar alineadas u orientadas al azar.

- Materiales compuestos con fibras **continuas y alineadas**: las propiedades dependen de la dirección en la que se miden (anisotropía). La dirección longitudinal es la que presenta mayor grado de reforzamiento. En la dirección transversal el reforzamiento es prácticamente nulo. Los esfuerzos aplicados en otras direcciones encuentran resistencias comprendidas entre estos extremos.
La mayoría de compuestos laminares constan de varias capas superpuestas con fibras alineadas en diferentes direcciones. De esta manera, el material puede ser sometido a esfuerzos multidireccionales,
- Materiales compuestos con fibras **discontinuas y alineadas**: la eficacia del reforzamiento es menor, pero el coste es inferior y es posible la obtención de piezas con formas complicadas.
- Materiales compuestos con fibras **discontinuas y orientadas al azar**: se utilizan cuando las fibras están sometidas a esfuerzos totalmente multidireccionales ya que son materiales isótropos.

3.4.2- Materiales laminados

Estos materiales compuestos están formados por **láminas apiladas** y unidas por medio de un adhesivo. Las láminas pueden estar formadas por roving, mat o tejido impregnado de polímero. Las láminas pueden estar formadas por materiales diferentes y en este

caso, se denominan laminados híbridos.

La orientación en cada lámina puede ser:

Unidireccional: cuando todas las fibras están paralelas. Esta orientación se utiliza, por ejemplo, en palos de golf.

Bidireccional: cuando la mitad de las fibras están orientadas en ángulo recto con respecto a la otra mitad. Esta orientación se utiliza en materiales para aplicaciones estructurales.

Multidireccional: en este caso, el material es isotrópico.

Las propiedades de cada lámina dependen de los siguientes factores:

- **Naturaleza** de la fibra
- **Presentación** de la fibra (roving, mat, tejido, etc...)
- **Porcentaje** de fibra
- **Orientación:** el material se caracteriza por una secuencia de apilamiento, o definición de la orientación de cada lámina respecto de un eje arbitrario de referencia.

A la hora de definir la secuencia de apilamiento se deben tener en cuenta una serie de factores:

- La resistencia y rigidez en una dirección dependen de la orientación de la fibra.
- Las orientaciones más utilizadas usuales son 0, 90, +/-45. La combinación adecuada de estas orientaciones permite controlar la resistencia y rigidez en cualquier dirección. . Utilizar orientaciones distintas es posible, pero en general solamente complicará la fabricación de la estructura.
- Los laminados siempre deben ser simétricos respecto de su plano medio, y equilibrados para evitar distorsiones anómalas de la estructura debido a cambios de temperatura.

3.4.3- Materiales sandwich

Una estructura sándwich está compuesta principalmente por tres elementos:

- a) **Alas:** compuestas por unas láminas delgadas, resistentes y generalmente con mejores propiedades que el resto de componentes. Se caracteriza por su rigidez y su resistencia a la compresión.
- b) **Núcleo:** es un material ligero cuya función principal es separar las alas y transmitir los esfuerzos cortantes de un ala a la otra. Se caracteriza por su baja rigidez y resistencia en tracción.
- c) La interfase de unión entre las alas, y el núcleo, que tiene como objeto mantener unidos el núcleo y las alas y permitir la transferencia de las cargas entre ambos.

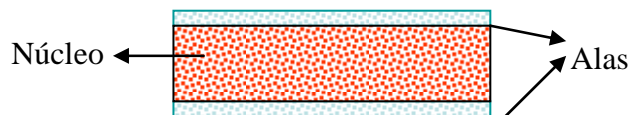


Figura 6

Los plásticos reforzados tienen una elevada resistencia pero su rigidez no es lo suficientemente elevada para algunas aplicaciones. Los materiales sandwich, por el contrario, presentan una elevada rigidez sin apenas incremento de peso. Estas estructuras son las más utilizadas en el área de los materiales compuestos.

Los materiales sandwich presentan las siguientes ventajas:

- alta resistencia y rigidez específicas
- aislamiento térmico y acústico
- gran capacidad de absorción de energía

Entre sus desventajas destaca la complejidad del control de calidad.

3.4.3.1- Materiales utilizados para las alas

- a) **Metálicos:** acero y aleaciones de aluminio
- b) **No metálicos:** madera laminada, cemento, composites de matriz polimérica

reforzados con fibra. Estos últimos son los más utilizados.

Los materiales utilizados para las alas de los materiales sandwich deben tener las siguientes propiedades: principales propiedades que deben tener los materiales son:

Elevada resistencia a la tracción, compresión, impacto y abrasión

Alta rigidez

Buen acabado superficial

Resistencia a los factores ambientales (calor, UV,...)

3.4.3.2 Materiales utilizados para los núcleos

Se pueden utilizar diferentes materiales que deben tener las siguientes propiedades:

Baja densidad

Resistencia a la cortadura

Rigidez perpendicular a las caras

Aislamiento térmico

Los principales tipos de núcleo son: corrugados, nido de abeja, balsa de madera y espumas celulares.

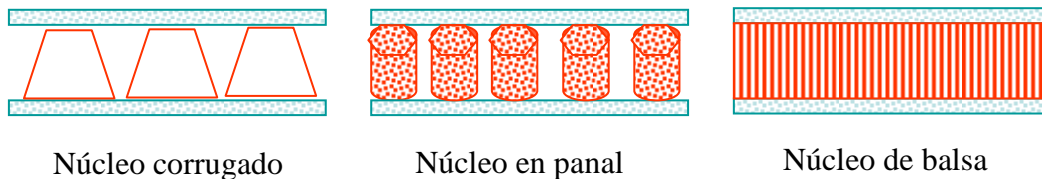


Figura 7

a) **Nido de abeja**

Están formados por celdas que pueden tener diferentes formas pero la más frecuente es la celda hexagonal. Destacan por sus elevadas propiedades mecánicas (resistencia y módulos específicos). Su principal desventaja es el precio.

Existen dos métodos de fabricación de núcleos de nido de abeja:

- Procesos de **expansión**

Las láminas de material que formarán el núcleo se unen con un adhesivo y se expanden.

Es el método más empleado.

- Procesos de **corrugado u ondulación**

Las láminas sufren un proceso de ondulación al pasar entre cilindros acanalados que producen la ondulación deseada.

Para la producción de núcleos de nido de abeja se pueden utilizar diferentes materiales:

- **Aluminio** se han utilizado mucho en la industria aeroespacial debido a sus elevadas propiedades específicas y a su alto precio.

- **Papel Kraft**: es papel impregnado con resina. Este tipo de núcleo es barato pero presenta buenas propiedades mecánicas.

- **Plástico reforzado con fibra**. Se utilizan fibras de vidrio, aramida o carbono impregnadas en una matriz fenólica. Se caracteriza por presentar menor densidad que el aluminio pero peores propiedades mecánicas.

b) Madera de **balsa**

Se caracteriza por una estructura de celdas cerradas.

Este tipo de núcleo se caracteriza principalmente por su facilidad de uso, excelente durabilidad y propiedades mecánicas.

c) **Espumas**

Las espumas son dispersiones de grandes volúmenes de gas en pequeños volúmenes líquidos con burbujas que crecen mucho, quedando muy cerca unas de otras, con delgadas capas de líquido entre ellas que solidifica.

Las principales ventajas de este tipo de núcleo son:

Capacidad de aislamiento térmico y acústico

Transparente al radar

Su principal desventaja es su poca resistencia a la llama que puede mejorarse con la incorporación de aditivos halogenados.

Las propiedades de la espuma dependen de una serie de factores como:

composición del polímero

estado del polímero (orientación, cristalinidad, ...)

densidad de la espuma

estructura de las celdillas

composición del gas espumante