

Anexo: Resumen en español

El proyecto fin de carrera trata sobre los materiales compuestos, explicando detalladamente su composición, clasificación y su comportamiento mecánico.

1. Composición materiales compuestos

Los materiales compuestos se definen como aquellos materiales formados de dos o más componentes, obteniéndose una material final cuyas propiedades son mejores las propiedades de los materiales de partida. La fase continua del material se le denomina matriz y la fase dispersa refuerzo.

Las funciones de cada fase son muy distintas; la matriz se encarga de distribuir la carga al refuerzo y de proteger a las fibras de los agentes externos, por tanto la matriz debe ser deformable y compatible con el refuerzo. Por su parte el refuerzo, es quien aporta resistencia y rigidez al material, en general es componente con menor porcentaje dentro del material pero en ciertos casos puede llegar al 80% en volumen.

Las propiedades de los compuestos depende de diversos factores: propiedades de la matriz y el refuerzo, el contenido en volumen del refuerzo, orientación de la armadura, y el método de producción del material compuesto.

2. Clasificación materiales compuestos

Los materiales compuestos pueden ser clasificados según la forma o naturaleza de los constituyentes y por el tamaño de la fase dispersa.

a. Clasificación según la forma de los constituyentes

- **Fibras:** El refuerzo es una fibra, es decir, un material con una relación de longitud a diámetro muy grande. Las fibras pueden ser continuas o discontinuas (esta última puede ser aleatoria o unidireccional).
- **Partículas:** El refuerzo está formado por partículas cuyas dimensiones son aproximadamente iguales en todas las direcciones.
- **Estructurales:** Los materiales compuestos estructurales están formadas por los materiales compuestos y materiales homogéneos. Los laminados o panel sándwich son los más utilizados.

b. Clasificación según la naturaleza de los constituyentes

- Compuestos de matriz orgánica.

Sus características principales son: su baja densidad, la capacidad de obtener componentes complejos y actualmente es la matriz más utilizada. Su mayor desventaja es su baja resistencia al fuego.

- Compuestos de matriz metálica

Las características principales son: Largo periodo de vida útil, alta conductividad térmica y eléctrica, estabilidad frente a la humedad y gran resistencia al desgaste. Su principal desventaja es su elevado precio.

- Compuestos de matriz cerámica

Su ventaja es su alta resistencia a temperaturas elevadas y su principal desventaja es su fragilidad y poca resistencia a los choques térmicos.

c. Clasificación de acuerdo con el tamaño de la fase dispersa:

- Microcompuestos o composites convencionales

El tamaño del refuerzo es del orden de una micra (10^{-6} metros). Las propiedades mecánicas se mejoran, pero presentan problemas de procesamiento. Es imposible, conseguir películas o fibras.

Estos problemas resultan de la diferencia de tamaño entre el refuerzo y los componentes de la matriz. Esta diferencia da lugar a interacciones débiles.

- Nanomateriales

El tamaño del refuerzo es del orden del nanómetro (10^{-9} metro). En este caso las interacciones matriz-refuerzo se producen a nivel molecular.

2.1 El uso de materiales compuestos: Ventajas y limitaciones generales.

Los materiales compuestos son la solución de muchas aplicaciones que exigían baja densidad y buenas características mecánicas, y que no cumplían los materiales convencionales. Los materiales compuestos han permitido mejorar propiedades tales como: alta resistencia, alta, bajo peso, flexibilidad, estabilidad dimensional, alta resistencia dieléctrica, resistencia a la corrosión y alta variedad de acabados.

Por otra parte, en los materiales compuestos parecen limitaciones como pueden ser: falta de conocimiento debido a que es una nueva tecnología, las herramientas de cálculo no son tan extensas o utilizadas como las de los metales, falta de información en el comportamiento durante su vida útil, exige un estricto control durante la

fabricación dependiendo del método usado, altos precios de matrices y fibras y la reducción de la ductilidad de los materiales.

2.2 Utilización de materiales orgánicos en composites.

2.2.1 Matrices Orgánicas

Matrices poliméricas puede ser termoestables o termoplástica sobre la base de si debe o no reticulaciones.

a) Termoestables

Matriz termoestables tiene enlaces covalentes formados en la reacción de reticulación. Sus características son: facilidad de procesamiento antes del curado (debido al bajo peso de resina precursor molecular), y alta tenacidad pero son más frágiles que los termoplásticos.

Obtención de matriz termoestable se produce en dos etapas: se polimeriza parcialmente el monómero forma cadenas lineales (policondensación) y el curado completo bajo calor y presión (reticulación). Estas matrices son rígidas, insolubles y no fundibles.

b) Termoplásticos

Las matrices de termoplástico no son uniones permanentes, sino que se componen de moléculas lineales unidas por enlaces sencillos, que por encima de una cierta temperatura comenzarán a fluir y al enfriar por debajo de esa temperatura volverán de nuevo a su estado sólido.

El procesado de las matrices de termoplástico comprende una etapa de calentamiento para ablandar el material y realizar colada y una fase de enfriamiento posterior para endurecerlo. El calentamiento se realiza generalmente después del moldeo del material.

Las ventajas generales son: buena resistencia química, baja absorción de humedad, buenas propiedades mecánicas, alta tasa de producción debido al ciclo de moldeo más corto, las piezas pueden ser fácilmente reparadas solo hace falta aplicar calor para ablandar los componentes y unir las partes, que son reciclables, son almacenable bajo condiciones de temperatura y humedad controlada. Mientras que sus inconvenientes son: Tendencia a la fluencia a temperaturas elevadas, para obtener buenas propiedades mecánicas el peso molecular debe ser alto y por tanto la viscosidad también y a su vez, esto dificulta la impregnación de las fibras, son necesarias temperaturas y presiones elevadas para el moldeo.

2.2.2 Refuerzos poliméricos

La función de refuerzo es transmitir cargas a la matriz, por lo que los refuerzos más utilizados son las fibras poliméricas, a continuación se explican las más utilizadas:

- Fibra de vidrio

Es la más utilizada porque: su resistencia mecánica específica es superior a la del acero, buenas relación propiedades/coste, estabilidad dimensional, facilidad de fabricación y buena resistencia térmica.

Se Caracteriza por dos valores:

- Título: Relación entre el peso y la longitud de un hilo (depende del diámetro y el número de hilos en un cable) (g / km).
- Peso: relación en peso de un tejido y su superficie (g/mm²)

- Fibra de carbono

Las ventajas de la fibra de carbono son: resistencia química, bajo coeficiente de expansión térmica, elevadas propiedades específicas.

Por otro lado son caros y propensos a formar pilas de diferencia de potencial con metales causando corrosión.

- Polímero de fibras

a) Las más utilizadas son fibras de aramida (Kevlar nombre comercial). Tienen un módulo elástico mayor que la fibra de vidrio, pero inferior a la del carbono. Se utilizan cuando se necesitan buenas propiedades mecánicas y ligereza.

b) Las propiedades de las fibras de polietileno son similares a las de las fibras de aramida, pero su punto de fusión bajo hace que sus propiedades disminuyen rápidamente con la temperatura. También tiene mala adhesión a la matriz.

- Material de refuerzo híbridos

Se forman por la combinación de dos o más tipos de fibras. La combinación más utilizada comprende fibras de vidrio y de carbono en la matriz de polímero. El compuesto obtenido tiene mejores propiedades que si hubiera sólo fibra de vidrio y es más barato que si estuviera compuesto únicamente de fibras de carbono. Las fibras pueden estar alineadas y se mezclan íntimamente o se puede laminar en capas alternativas a la matriz.

2.2.3 Interfaz

Las propiedades mecánicas de un material compuesto dependen también de la interfase. Es especialmente importante:

- La unión entre la fibra y matriz.
- La transmisión de los esfuerzos mecánicos entre las dos fases.

Esto depende principalmente de la impregnabilidad, porque la matriz debe estar en estado líquido y tener facilidad para mojar el refuerzo. La impregnabilidad o mojado se define como la capacidad de un líquido para extenderse sobre una superficie sólida. Una buena impregnabilidad significa que la matriz fluirá perfectamente por la superficie del refuerzo y desplazará todo el aire.

Podemos determinar la impregnabilidad, matemáticamente, usando el ángulo de contacto.

Si $\cos \theta = 180^\circ \rightarrow$ La gota es esférica con un único punto de contacto entre el líquido y el sólido, no consiguiendo una buena impregnación.

Si $\cos \theta = 0^\circ \rightarrow$ El Angulo de contacto es cero consiguiendo una perfecta impregnación.

En general se considera que un líquido no es permeable a un sólido si el Angulo de contacto es mayor que 90° .

Las diferentes uniones son mecánicas, electrostática, química, mediante interdifusión.

Clasificación de los materiales compuestos:

a) Según la arquitectura:

Plásticos reforzados: matrices consisten en la introducción de tipo reforzado con fibras o partículas. Las propiedades de los compuestos dependen fundamentalmente de la relación volumétrica de la fibra-matriz y la gestión de las fibras en la matriz. Y los más comunes son: Compuestos con fibras continuas y alineadas, Los materiales compuestos de fibra y alineado discontinua y Compuestos con fibras discontinuas orientadas al azar.

b) Compuestos estructurales:

Se componen de materiales homogéneos y compuestos y sus propiedades dependen no sólo de los materiales constituyentes, sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Hay dos tipos: materiales compuestos laminares y paneles sándwich.

2.3 Materiales compuestos metálicos

Las matrices metálicas se caracterizan por alta resistencia y módulo, alta resistencia a la temperatura y conductividad térmica y eléctrica.

Los materiales compuestos de matriz metálica se usan principalmente en la industria aeroespacial, porque en estas aplicaciones los materiales deben ser resistentes a las altas temperaturas ya la abrasión.

Las matrices utilizadas son metales con baja densidad y para que los compuestos tengan propiedades específicas elevadas. Así, los metales utilizados son: aluminio, magnesio y titanio. Las fibras de refuerzo más utilizadas para estas matrices son: fibras continuas de boro, fibras continuas de carburo de silicio y fibras continuas de grafito.

Diferentes métodos de fabricación del material compuesto son adhesión por difusión, pultrusión, rapid-press y colada.

2.4. Composites de matriz cerámica

Las matrices cerámicas incluyen los sólidos inorgánicos no metálicos. Se clasifican en: vidrios, los materiales cerámicos tradicionales, nuevos materiales cerámicos, son los compuestos a base de óxidos y carburos entre ellos destacan la alúmina (Al_2O_3) y el carburo de silicio (SiC).

Los materiales de cerámica se caracterizan por su gran resistencia a altas temperaturas y alta resistencia a la compresión, pero no en la tracción.

Los aspectos importantes a tener en cuenta en estos materiales son los diferentes coeficientes de expansión térmica de la fibra y la matriz.

- Si el coeficiente de expansión de la matriz es mayor que la de las fibras, la rotura puede ocurrir en la matriz durante el enfriamiento.
- Si el coeficiente de expansión de la matriz es menor que el de las fibras disminuye la adhesión fibra-matriz ya que las fibras se encogen.

Los diferentes tipos de fibras que se pueden utilizar son:

- Metálicas, se debe tenerse en cuenta la compatibilidad química con la matriz cerámica y el coeficiente de expansión. Las desventajas de este tipo de fibras son: Fácil oxidación y alta densidad mientras que la principal ventaja de este refuerzo es que aumenta la resistencia al choque térmico (agrietamiento como resultado de cambio rápido de temperatura).
- Las fibras de carbono con la que se aumenta la rigidez, la fuerza y la fractura del material. Además tienen una baja densidad y soportar altas temperaturas en atmósfera inerte, sin embargo, se oxidan fácilmente en presencia de oxígeno.

- Fibras de cerámicas La fibra más comúnmente utilizado es el carburo de silicio (SiC). Estas fibras tienen una mejor resistencia a la oxidación que el metal y fibra de carbono.

Para la fabricación de estos materiales se siguen los siguientes pasos

- En la Preparación de la materia prima el material se reduce a polvo y se puede llevar a cabo por métodos mecánicos o químicos. Después tiene lugar de mezclar los varios componentes y aditivos que comprenden el material de moldeo.
- Moldura: En esta fase se mezclan con los componentes y se da el material de la forma deseada. Se puede llevar a cabo por diferentes métodos: Moldeado deslizante, prensado isostático en frío y prensado en caliente isostático.
- Sinterizarían: Se trata de una operación de tratamiento térmico se lleva a cabo en la pieza moldeada para unir las partículas y aumentar su resistencia mecánica. Posteriormente, el acabado se lleva a cabo utilizando material de partida de material de alta dureza con abrasivos.

2.5 Nanomateriales

Los nanocompuestos son materiales compuestos en los que al menos una dimensión de las partículas dispersas en la matriz polimérica tiene dimensiones en el nanómetro (10^{-9} m): nanopartículas (tres dimensiones), Nanotubos (Dos dimensiones) y nanoláminas (una dimensión).

Las técnicas de preparación más conocidas son: polimerización in-situ, en solución e intercalación en fundido.

Las propiedades de los nanocompuestos so

- Propiedades mecánicas: buenas propiedades mecánicas y estabilidad, baja densidad y son menos dañinos para el medio ambiente.
- Propiedades de barrera: disminuye la permeabilidad de los materiales restringe la movilidad de las cadenas de polímero.
- Las propiedades térmicas mayor estabilidad térmica temperatura de ablandamiento alta
- Las propiedades ópticas: Los materiales transparentes reforzados se obtienen cuando las partículas son tan pequeñas que no pueden dispersar la luz.

3. Comportamiento mecánico de los materiales

Para estudiar el comportamiento mecánico de materiales compuestos deben seguir los siguientes pasos:

- Problema elástico: El problema elástico sirve para determinar el campo de desplazamiento, el tensor de tensión y tensor de deformación, que se denominará fuerzas externas o acciones externas, por el equilibrio, constitutiva y ecuaciones de compatibilidad.
- Relación del comportamiento El tensor de tensión, en general, depende del movimiento, el tiempo y la temperatura. Pero si tenemos en cuenta el tipo de material que podemos encontrar relaciones más simples.
- Ecuaciones constitutivas: En materiales elásticos lineales de la relación más general entre la deformación y la tensión Duhamel-Neumann: el tensor inverso: El tensor es simétrico. Para materiales anisótropos y elásticos, requiere 21 constantes independientes.
- Materiales simétricos: Un plano de simetría significa que el comportamiento elástico del material es la misma en las dos direcciones perpendiculares al plano.
- Materiales ortotrópicos: Un material ortotrópico tiene dos o tres ejes binarios mutuamente ortogonales de simetría rotacional de modo que sus propiedades mecánicas son, en general, diferente a lo largo de cada eje. Materiales ortotrópicos si son anisotrópicos; sus propiedades dependen de la dirección en la que se miden.
- Láminas: Las láminas están en estado de deformación plana, por lo tanto, son las ecuaciones constitutivas:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} - \frac{\nu_{12}}{E_2} \cdot \sigma_2$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} - \frac{\nu_{21}}{E_1} \cdot \sigma_1$$

$$\gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}}$$

Micromecánica de la lámina es el de estudiar el comportamiento de la película teniendo en cuenta las interacciones de los materiales constituyentes. Sin considerar por separado las propiedades de las fibras y matrices,

Los modos de fallos pueden ser por fractura de la matriz se produce en los casos en que la resistencia de la fibra es mayor que la de la matriz y por fractura de la fibra, se produce en los casos en que la resistencia de la matriz es mayor que el de las fibras.

Resistencia a la tracción mecánica en dirección transversal puede ser más crítica para la atracción de la baja resistencia de la resina. Se produce cuando las cargas que actúan en la dirección transversal de la hoja, a continuación, las concentraciones de tensión se producen en las zonas cercanas a las fibras de matriz (interfase fibra - matriz). Esto depende de muchos factores: Propiedades de las fibras y la matriz, la interfaz de resistencia de fibra-matriz, la presencia y la distribución de huecos e interna distribución de tensiones y deformaciones.

Resistencia a la compresión mecánica en la dirección transversal, hay varios mecanismos: El fallo por parte cortante de la matriz, por parte cortante de la matriz con descuento fibra matriz y por aplastamiento de las fibras

El error se produce por cizallamiento en un plano paralelo a las fibras en una dirección perpendicular a ellas. El plano forma un ángulo de 45° a la dirección de carga.

Resistencia mecánica a plano de corte en estas condiciones, aparece una gran concentración de tensiones a lo largo de la interfase fibra-matriz. Estas tensiones pueden provocar un fallo por cizallamiento de la matriz y fibra-matriz.

La teoría del fallo es la ciencia de la predicción de las condiciones en las que los materiales sólidos fallan bajo la acción de cargas externas. El hecho de que un material se clasifican generalmente en rotura frágil (fractura) o rotura dúctil (rendimiento). Dependiendo de las condiciones (tales como la temperatura, estado de estrés, la tasa de carga) la mayoría de los materiales puede fallar en una manera frágil o dúctil o ambos. Sin embargo, para la mayoría de las situaciones prácticas, un material puede ser clasificado como sea frágil o dúctil

4. Efectos del medio ambiente sobre el comportamiento mecánico

Un material compuesto pueden estar expuestos a ambientes diversos, tales como la humedad del aire, de alta temperatura, baja temperatura, radiación solar, ataque químico, rayos, entorno espacial que puede cambiar su comportamiento mecánico, los factores más importantes son: el cambio de las propiedades de los componentes mecánicos, pérdida de adhesión fibra-matriz, aparición de tensiones asociadas con las diferencias en las propiedades.

Efectos del medio ambiente sobre el comportamiento mecánico:

- Efectos higrotérmicas

Higrotérmicas efectos son debidos principalmente a la temperatura y humedad a las que los materiales se someten, pero sus efectos también depende de otros factores tales como: tipo de matriz y la fibra, el tiempo de exposición y la geometría del componente. Problemas más comunes: aumento de peso, hinchamiento de la matriz, disminución de la temperatura de transición vítrea (T_g) de la resina, delaminación del material, superficie ampollada, y degradación química, En general, se concluye que: condiciones cálidas y húmedas causar un aumento de la ductilidad de la matriz. Ambientes secos y fríos aumentar la fragilidad de los ciclos alternantes de la matriz de pérdidas condiciones húmedas y secas rigidez derivadas uniones mecánicas.

Voltajes higrotérmicas fuente se asocian con diferencias en los coeficientes de expansión (térmica y humedad) entre fibra y matriz y / o entre las hojas adyacentes con diferente orientación.

- La radiación solar

Efectos de la radiación infrarroja y visible: no tienen suficiente energía para romper los enlaces, y su único efecto es térmico.

Efectos de las radiaciones ultravioleta tienen suficiente energía para romper los enlaces e iniciar reacciones químicas, y puede ocurrir por lo tanto: peso debido a la rotura de la cadena de polímero pérdida, aparece la porosidad y se genera tensiones internas

Para los polímeros son afectadas por la luz ultravioleta en lugar de metales o de materiales cerámicos

- Medio ambiente

El entorno de espacio es un entorno en el que los materiales se someten a choque térmico, la reacción con el oxígeno atómico, el impacto, la desgasificación y la radiación

- El rayo Los sistemas de protección más utilizados son: malla de aluminio, capa de aluminio, fibras recubiertas de níquel, fibras de metal incrustadas en el material, pintura conductora, barras conductoras y polímeros conductores.
- Efectos biológicos afectan principalmente a los materiales poliméricos, con la participación de su degradación.

Hay varios métodos de ataque:

- Ataque directo en la matriz: Los microorganismos pueden producir ácidos o enzimas que destruyen el polímero
- Formación de ampollas: Parece delaminación.
- Rotura a través de depósitos calcáreos: La formación de partículas de materiales extraños en el interior del laminado

- Comportamiento al fuego

Los factores que controlan el comportamiento del fuego: Matriz de tipo, tipo de fibra, volumen de fibra, distribución de fibras, aditivos o retardantes.

Los materiales compuestos de matriz polimérica no pueden cumplir con los requisitos de comportamiento al fuego

- Corrosión

La corrosión es la destrucción gradual de material, generalmente metales, por reacción química con su entorno.

Los materiales compuestos de matriz polimérica muestran un mejor comportamiento frente a la corrosión de los metales, en este caso también el factor dominante es la matriz o corrosión galvánica

La corrosión galvánica se produce cuando dos metales diferentes tienen contacto físico o eléctrico entre sí y se sumergen en un electrolito común, o cuando el metal mismo está expuesta al electrolito con diferentes concentraciones. Factores tales como el tamaño relativo de ánodo, los tipos de metal, y las condiciones de operación (temperatura, humedad, salinidad, etc.) afectan a la corrosión galvánica. La relación de área de superficie del ánodo y el cátodo afecta directamente a las tasas de corrosión de los materiales.