



Los materiales compuestos

————— Por A. Besednjak —————

La evolución de la humanidad, desde diferentes aspectos, tanto sociales como culturales y técnicos, ha sido condicionada por el descubrimiento de nuevos materiales.

Las edades de piedra, del cobre, del bronce, del hierro, constituyen etapas en la historia de la humanidad en las cuales a través del conocimiento y manejo de nuevos materiales y técnicas, permitieron al hombre desarrollar nuevas estructuras políticas y sociales gracias a esos materiales.

Al contrario de lo que se pudiera pensar, el concepto de material compuesto es tan antiguo como la naturaleza misma. Un ejemplo de ello lo tenemos en la madera, en la cual las fibras de celulosa se unen mediante una matriz de lignina. En el caso de los huesos, existen también estructuras reforzadas y rigidizadas con fibras. Las chozas de adobe y paja constituyen otro ejemplo más de materiales compuestos.

Sin embargo, en lo que a construcción naval se refiere, estudiaremos los materiales compuestos de matriz polimérica.

Mediante la elección de un sistema de matriz adecuado y su asociación con fibras de refuerzo, se obtiene un material con cualidades que no son alcanzables por cada uno de los materiales homogéneos que lo componen.

El reto actual de los materiales compuestos consiste en dar con las mejores asociaciones de fibra-matriz, proporcionando cada vez materiales con mejores prestaciones para el fin que son concebidos.

Los materiales compuestos

Se define como material compuesto a todo material combinado a partir de una unión (no química) de dos o más componentes, que da lugar a propiedades características específicas, no siendo ninguna de las anteriores.

Los componentes de un material compuesto no deben disolverse ni fusionarse completamente unos con otros. Su caracterización, y la de su interfase, debe ser

posible de identificar por medios físicos; Dicho de otra manera, que las propiedades del material compuesto dependen del tipo de interfase y de las características de los componentes.

De las diferentes clasificaciones que podemos hacer de los materiales compuestos, quizás la más importante sea la que se refiere a su matriz, y en la cual podemos identificar tres grupos principales:

- Materiales compuestos de matriz metálica
- Materiales compuestos de matriz cerámica
- Materiales compuestos de matriz polimérica

Son éstos últimos a los que dedicaremos este estudio, debido a que ocupan el papel más importante dentro de la construcción naval actual en embarcaciones de recreo. Son polímeros reforzados fundamentalmente con fibra de vidrio, fibra de carbono y fibras aramídicas.

El concepto de matriz -refuerzo

En contraposición al uso de materiales isotrópicos convencionales, como puede ser el acero o el aluminio, con los materiales compuestos se puede diseñar las características del material dando lugar a materiales anisotrópicos. Esto se traduce en un cambio en la forma de plantear estructuras, una forma totalmente nueva que permite mayor libertad.

Los métodos de cálculo de los materiales anisotrópicos difieren de los métodos de cálculo de la mecánica clásica de los materiales isotrópicos.

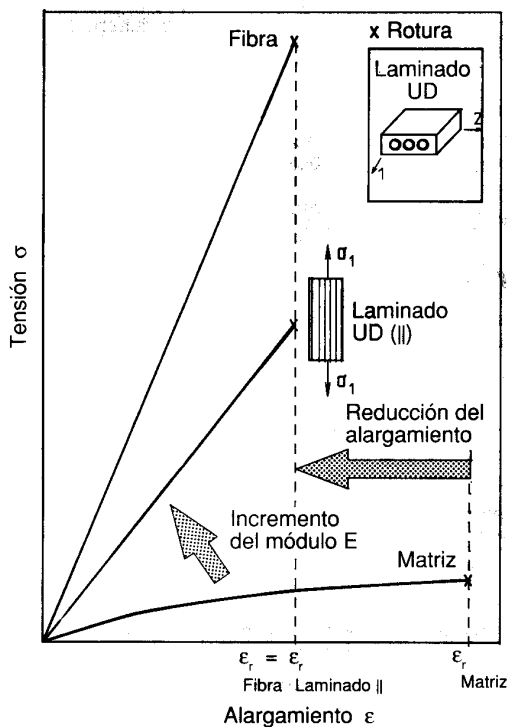
Los materiales de refuerzo, son desde un punto de vista teórico, materiales ideales. Constituyen estructuras cristalinas o semicristalinas, que son tenaces, rígidas y resistentes a altas temperaturas y medios agresivos. Pero sin la aportación de una matriz tienen un serio inconveniente: son demasiado frágiles. Una fisura externa o un defecto interno puede dar lugar a un fallo mucho antes de que

alcance su resistencia teórica. Haciendo una pequeña analogía con un bloque compacto de cristal, un solo defecto superficial puede conducir a una rotura catastrófica con una carga mínima, mientras que una masa de fibras compactadas similar se perjudica a una de las fibras. Es el caso de fallo bajo carga y existiendo una fibra defectuosa, las demás fibras libres de defectos pueden soportar la carga unitaria adicional.

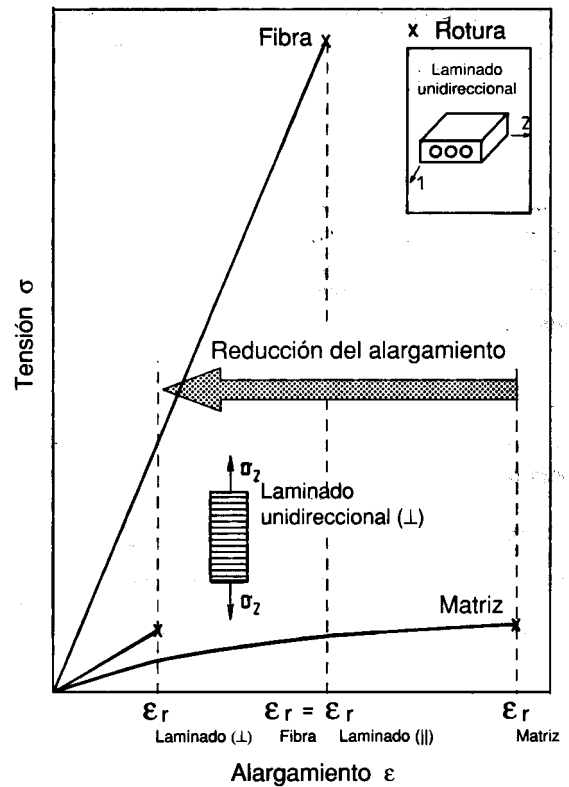
Entonces, para un mejor aprovechamiento de las fibras desde un punto de vista constructivo es necesario incorporarlas a una matriz, que las fije en una posición, y que las proteja de las agresiones externas.

La combinación de los materiales produce la mejora de las propiedades de uno de los materiales y a veces el perjuicio de otros.

En un material compuesto, de matriz polimérica y reforzado con fibras, se rebasan el modulo de elasticidad de la matriz y, en cambio, el alargamiento de la rotura retrocede a los valores de las frágiles fibras.



Todas estas consideraciones, son siempre aplicables en el sentido de orientación de las fibras. Perpendicularmente a éstas, las cualidades del laminado pueden ser inferiores a las de cada uno de los componentes.



La matriz

La función principal de la matriz es la de distribuir los esfuerzos entre las fibras a través de la intercara. Actúa como ligante manteniendo unidas las fibras por medio de fuerzas adhesivas y cohesivas. Además tiene otras funciones como:

- Fijación de las fibras en el ordenamiento geométrico deseado.
- Protección a las fibras de los esfuerzos de compresión.
- Protección a las fibras de los medios externos (humedad, ataque químico).

Juntamente con los materiales poliméricos existen otros materiales aptos para ser utilizados como matriz de unión (hormigón, aleaciones de aluminio y magnesio, cerámicos, etc.).

Los polímeros

El origen etimológico de la palabra polímero, proviene del Griego y significa muchos miembros o partes. No obstante, químicamente se define como material constituido por grandes moléculas, las cuales se forman por la secuencia repetitiva de moléculas pequeñas o agrupaciones de átomos simples, enlazadas unas a otras por enlaces primarios (covalentes simples).

Clasificación de los polímeros

Según el criterio de comportamiento y procesabilidad frente al calor podemos clasificarlo en dos grandes grupos:

- Termoplásticos
- Termoestables

Los termoplásticos son polímeros que al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, permitiendo su moldeabilidad en la forma deseada que quedará reservada al enfriarse. Constituyen el grupo más importante y de mayor uso comercial.

Su estructura o arquitectura molecular puede ser lineal o ramificada, lo que le permite fluir con aportación de calor.



Los termoestables son polímeros que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remodelados.

Molecularmente hablando son polímeros entrecruzados. Tienden a ser resinas de mucha rigidez. Someterlos a temperatura elevada promueve la descomposición química del polímero (carbonización).

Arquitectura Molecular: Red tridimensional



Los polímeros se obtienen hoy en día de los derivados del petróleo, carbón o gas natural.

Para aumentar las características mecánicas de las resinas termoestables, se combinan con diferentes tipos de refuerzos, como las fibras de vidrio, de carbono y aramídicas, obteniendo así laminados compuestos.

Las resinas

En la construcción naval, en la actualidad se utilizan diferentes tipos de resinas, siendo las siguientes las más comunes:

- Resinas Poliéster (1)
- Resinas Viniléster (2)
- Resinas Epoxi (3)
- Resinas Fenólicas (4)

La resina de poliéster es la de uso común y esta presente en casi la totalidad de embarcaciones de plástico reforzado.

La resina viniléster fue desarrollada específicamente para la fabricación de componentes plásticos reforzados resistentes a productos químicos. Posee una elevada resistencia química y propiedades físicas superiores a las de poliéster.

La resina epoxi posee las mejores propiedades de las tres, con una elevada resistencia mecánica y elasticidad, utilizándose principalmente para prototipos.

1. La resina poliéster

Desde su descubrimiento, en 1.936 las resinas de poliéster insaturado han ido ganando terreno hasta ser en la actualidad el 75% del total de las resinas utilizadas en el mercado de los materiales compuestos de matriz termoestable.

Se producen a partir de reacciones de policondensación entre dos monómeros, diol + ácido dicarboxílico.

Según la naturaleza de sus monómeros se dividen en :

- Ortoftálicas
- Isoftálicas

Cuando la reacción de condensación entre dos monómeros ha finalizado, la resina poliéster formada se disuelve en un medio reactivo, generalmente estireno. El estireno ayuda a fluidizar el conjunto disminuyendo la viscosidad de la resina, con lo que facilita la impregnación del refuerzo.

El monómero será el medio promotor de la estructura reticulada rígida, una vez se haya realizado la reacción de endurecimiento,

pasando de una solución de baja viscosidad a un polímero termoestable tridimensional.

Las resinas de poliéster presentan una baja temperatura de transición vítrea, y su resistencia y rigidez no son elevadas. Como principal inconveniente podemos mencionar que tienden a contraerse durante el endurecimiento (hasta un 7% en volumen) pero aún así se encuentra entre los sistemas de matriz más económicos.

Para que se produzca la polimerización de la resina, se le debe añadir un sistema catalítico o de curado comprendido de un iniciador y de un acelerador, que se elige en función del iniciador (fundamentalmente peróxidos).

En función de la temperatura de curado de la resina, y de la exotermia de la reacción de reticulación, se emplean diferentes tipos de peróxidos, los cuales difieren básicamente en los tiempos de gel y de endurecimiento, y en la vida de la resina una vez catalizada.

El curado de las resinas de poliéster tiene lugar por polimerización a través de grupos insaturados en la cadena del poliéster y en el estireno u otro monómero.

Los radicales libres son suministrados por el peróxido al descomponerse, siendo precisamente la tasa de producción de radicales libres la que determina el tiempo de gelificación y el tiempos de curado.

Podríamos afirmar que una resina de poliéster empieza a curar tan pronto como se le añade el catalizador.

Una vez se han producido suficientes radicales libres la resina empieza a entrelazarse, fruto de ésta reacción exotérmica, el calor desprendido puede elevar la temperatura hasta 150°C en un breve periodo de tiempo. Este aumento de temperatura puede producir daños irreparables en los moldes o en las piezas (grietas , decoloraciones) debido a la mala conductividad térmica de las resinas, sobre todo para grandes espesores.

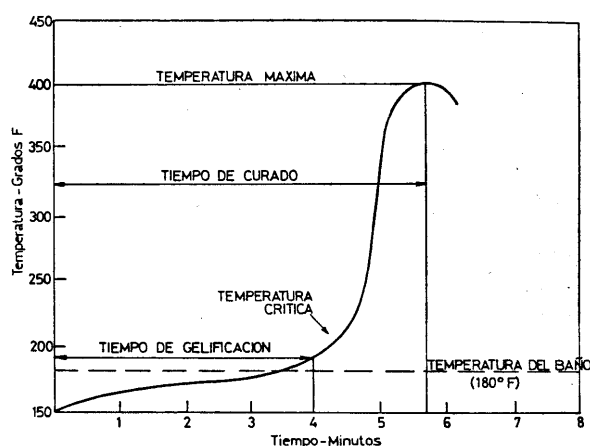
Las características principales de las resinas suelen suministrarse en forma de hojas técnicas en las que se brinda información de una serie de parámetros como:

- Tiempo de gelificación
- Tiempo de curado
- Temperatura máxima

Una vez pasado el punto correspondiente a la temperatura máxima o pico exotérmico, la resina se enfría lentamente mientras la reacción química aminora. Cuando se llega a éste punto, la mayor parte del catalizador ya ha sido empleado en la reacción.

El curado de la resina poliéster se puede considerar que se lleva a cabo en tres etapas:

1. **Gelificación**, en la que la resina cambia de un líquido fluuyente a un gel blando.
2. **Endurecimiento**, donde la resina cambia de un gel blando a un material endurecido que se puede extraer del molde.
3. **Curado final**, en donde la resina adquiere sus propiedades mecánicas y químicas completas. Este proceso puede durar varias horas a temperatura elevada hasta varias semanas a temperatura ambiente.



Por todo lo expuesto anteriormente, los sistemas catalizador/activador deben ser seleccionados muy cuidadosamente.

Debido a que las resinas de poliéster son cuerpos inestables y tienen tendencia a polimerizar y gelificarse, deben conservarse en recipientes cerrados para evitar la acción del oxígeno y la evaporación de los productos, así como en un sitio oscuro, para evitar la acción de la temperatura y la luz. Por ese motivo las resinas de poliéster se adicionan de inhibidores.

Las resinas de poliéster, tienen una temperatura de trabajo ideal entre los 15 y los 20°. Por debajo de los 10°C las resinas de poliéster no endurecen o lo hacen muy lentamente.

1.1 Los monómeros

Las funciones principales del monómero son dos: Actuar como disolvente de la resina, para que presente un aspecto líquido, y para entrecruzar las cadenas de poliéster, y obtener así una estructura cruzada de termoestable.

El estireno es el monómero más utilizado debido a su baja viscosidad, facilidad de obtención y bajo coste.

1.2 Inhibidores

Las funciones principales que desarrolla un inhibidor en las resinas poliéster se podría resumir en:

- Regularizar la fabricación de la resina para evitar que la reacción de polimerización no venga a complicar la reacción de policondensación.
- Asegurar una conservación suficiente cuando la resina esté almacenada.
- Retardar la polimerización de la resina catalizada el tiempo suficiente para permitir las operaciones de moldeo.
- Limitar la elevación de la temperatura provocada por la reacción exotérmica de polimerización, prolongando la duración de la reacción.

Entre los diferentes tipo de inhibidores podemos diferenciar:

- a) Estabilizantes: evitan la polimerización.
- b) Retardadores: retardan el comienzo de la polimerización.
- c) Para monómeros: son diferentes respecto de los de resinas.

1.3 Catalizadores

Los catalizadores de polimerización no se añaden a la resina de poliéster más que en el momento de la preparación que precede al moldeo. El papel de los catalizadores es el de producir radicales libres que provoquen la iniciación de la reacción de polimerización necesaria para el endurecimiento de la resina. Existen varios tipos en el mercado que deben escogerse de acuerdo a las características del curado.

Los catalizadores basados en peróxidos orgánicos son altamente inflamables y en algunos casos sin la presencia del aire.

1.4 Activadores

Los activadores o aceleradores , refuerzan la acción de los catalizadores y permiten polimerizar a temperaturas menos elevadas. Ejercen una acción violenta, sobre todo con los peróxidos, con los que se recomienda no mezclar jamás el acelerador y el catalizador bajo la pena de provocar una explosión.

El activador se puede añadir a la resina antes de que se proceda la catalización. Existen activadores formados de compuestos metálicos (cobalto, manganeso y vanadio) de aminas terciarias y mixtos (sales metálicas y aminas).

Cada activador actúa sobre un grupo de catalizadores.

Tipos de resinas de poliéster

Esta clasificación se basa en la aplicación final de las resinas y de los monómeros de los cuales parten:

- Poliéster de uso general (GP)
- Poliéster con propiedades específicas

Las resinas de poliéster de uso general, son productos de bajo coste, buenas propiedades mecánicas y buen comportamiento eléctrico.

Se suministran con viscosidad media y baja y solo requieren la adición de acelerador y catalizador.

Es la resina más utilizada en moldeo por contacto y por proyección, utilizándose en la industria naval, transporte, industria del mueble, etc.

Las resinas de poliéster con propiedades específicas son formulaciones con fines determinados, y existe un amplio rango, así podemos mencionar resinas de poliéster flexible, para aplicaciones eléctricas, resistentes al calor, autoextinguibles , resistentes a los rayos ultravioleta, etc.

Se obtienen por medio de la adición de cargas y aditivos específicos de acuerdo al uso final del producto.

2. Las resinas viniléster

Las resinas viniléster se encuentran a mitad de camino entre las epoxi y las poliéster. Reúnen las buenas propiedades de la resina epoxi con un curado más rápido, y poseyendo mejores propiedades mecánicas que las de poliéster, además de una excelente resistencia a la corrosión.

La buena resistencia química es debida a los pocos grupos de ésteres susceptibles de ser atacados que contiene su cadena.

Son producidas a partir de una reacción entre una resina epoxi y un ácido metacrílico o acrílico. El material resultante se disuelve en estireno, dando al producto una menor viscosidad muy similar a la resina poliéster.

Los sistemas catalizador / activador son los mismos que se utilizan en las resinas poliéster.

Su empleo es menos difundido debido a un coste más elevado que las resinas de poliéster (1.5 a 2 veces) y se presentan en forma de disolución con un 30% - 40% de estireno.

Otra ventaja respecto de las resinas de poliéster, es su menor contracción durante el endurecimiento.

Resinas de baja emisión de estireno

El principal problema que aqueja, en la actualidad, a los procesos productivos que emplean resinas poliéster y viniléster, es el de las emisiones de estireno al ambiente.

En las resinas de poliéster típicas el porcentaje de monómero de estireno ronda el 40-50%, y al utilizarlas en moldeo por contacto, generalmente en moldes abiertos, las emisiones de estireno son muy elevadas.

Las resinas de baja emisión de estireno (LSE) presentan en su composición un pequeño contenido de cera o parafina, que es poco soluble en la resina. Cuando se evapora cierta cantidad de estireno, el aditivo se separa y crea una película fina en la superficie del poliéster, evitando de esta manera, mayores emisiones. Sin embargo, estas resinas presentan una inadecuada adhesión interlaminar entre capas de aplicación sucesiva.

3. Las resinas epoxi

Las resinas epoxídicas empezaron a fabricarse en 1.938 y constituyen el material de matriz más utilizado en los composites avanzados.

Se basan en los llamados epóxidos (generalmente bisfenol A), que endurecen por poliadición al reaccionar con endurecedores polifuncionales como aminas, fenoles, poliácidos. El tipo de epóxido y endurecedor influyen en las características finales del sistema de resina como, por ejemplo, la resistencia térmica, la ductilidad y el modo de endurecimiento.

Poseen las mejores características mecánicas y de mayor resistencia térmica. Su estabilidad dimensional es otro punto fuerte de estas resinas, que se traduce en una ausencia de contracción durante el proceso de curado.

Como inconvenientes principales podemos citar su absorción de humedad, su elevado costo, y, debido a su gran viscosidad, dificultad de impregnación de los refrezos.

4. Las resinas fenólicas

Son los sistemas de resinas más antiguos y se fabrican mediante una reacción de condensación entre el fenol y el formaldehído en la que se genera agua como producto residual.

Tiene excelentes propiedades de resistencia al fuego, alta estabilidad térmica, buena resistencia química y una baja absorción de humedad.

Se presenta en forma de polvos de moldeo, resinas líquidas y resinas de resolución. Se pueden moldear alta, media y baja presión.

El Gelcoat

El gelcoat es la primera capa de resina en contacto con el exterior y forma la barrera de desgaste de la pieza terminada.

La duración de una pieza moldeada depende en su mayor parte de la calidad de su superficie expuesta. Deben tomarse las precauciones debidas para que las fibras estén alejadas de dicha superficie, con objeto de evitar el ataque de la humedad o del medio exterior. Las funciones del gelcoat, o primera capa de resina en contacto con el exterior, pueden resumirse en:

- Proporcionar a la fibra la protección adecuada de las influencias externas.
- Ocultar la fibra y presentar una superficie más suave y atractiva.
- Proporcionar las propiedades de superficie requeridas: color, resistencia, abrasión, etc.

Los principales defectos debido a las capas de gelcoat son, la formación de un laminado desequilibrado, y, el que esta capa de resina esté casi sin soporte, originando grietas, especialmente a tracción. Para evitar esto, se suele reforzar la capa de gelcoat con un velo de superficie.

El espesor de gelcoat durante su aplicación debe ser controlado (0.25-0.4 mm). Para moldes, el espesor debe ser superior por el desgaste que sufren los mismos de su uso intensivo.

Se pueden distinguir diferentes tipos de gelcoats de resinas poliéster:

- Para moldes: Deben tener características de rayado y flexibilidad superiores a los normales.
- Industriales: Buenas propiedades mecánicas, aunque generalmente no son aptos al ataque de agentes atmosféricos.
- Isogeles: A base de resinas isoftálicas: Excelente flexibilidad y brillo, resistentes a los agentes atmosféricos, agua de mar, etc.
- Gelcoats especiales: con propiedades específicas según el uso de las piezas a las que se destinan (ignífugos, para alimentos, para prensa, serigrafía, resistencia química, etc.).

La presentación comercial de los gelcotas se produce fundamentalmente de dos formas; diluidos (en acetona o estireno), para su aplicación con pistola, y con elevada tixotropía para aplicación con brochas.

Los Topcoats

La resina topcoat contiene cera y se utiliza en las partes exteriores del laminado (cara rugosa), con la finalidad de:

- Facilitar el curado de la última capa , evitando el contacto con el aire que perjudique el curado.
- Proteger el laminado y presentar una superficie más decorativa.
- Equilibrar el laminado para compensar la presencia del gelcoat.

En las reparaciones es preciso, que el topcoat esté rugoso y carente de cera que ha migrado al exterior durante el curado. Para ello es preciso aplicar un abrasivo a la capa de topcoat.

Cargas y aditivos

Existe una serie de productos que pueden ser incorporado a las resinas con el objeto de proporcionar características particulares que difícilmente se conseguirían con el uso exclusivo de las fibras y las resinas.

Entre estas características podemos distinguir:

- Reducir costes.
- Aumentar la rigidez.
- Reducir la contracción de las piezas.
- Controlar la viscosidad, mejorando la procesabilidad.
- Mejorar los acabados superficiales.

Entre los aditivos y cargas más utilizados en la industria en general podemos mencionar:

- Cargas inorgánicas: permiten aligerar la pieza, disminuir la contracción de la matriz, modificar las propiedades reológicas, abaratar costes. Se clasifican en función de su tamaño, distinguiendo así cargas gruesas (tamaño superior a 8 micras) y cargas finas (tamaño inferior a 8 micras)
- Cargas ignífugas.
- Colorantes y pigmentos.
- Agentes anti-UV, que protegen el material de las acciones de la radiación ultravioleta.
- Lubrificantes internos, que modifican las fuerzas intermoleculares disminuyendo la viscosidad de las resinas sin modificar sus propiedades.
- Agentes desmoldeantes, que reducen la tendencia de la resina de adherirse a la superficie del molde.

En el sector naval, las cargas son las que ocupan un lugar preponderante. Generalmente se utilizan para aumentar la tixotropía de las resinas y preparar masillas o adhesivos de mayor viscosidad, para encolar maderas, rellenar cavidades y masillar superficies exteriores.

Así, entre las más utilizadas encontramos:

- Agente tixotrópico: Normalmente sílice coloidal. Proporciona viscosidad evitando que el material se escurra en superficies verticales o inclinadas.
- Microesferas sintéticas huecas: Las aplicaciones de este tipo de cargas son como aditivo de pinturas o resinas, para obtener un compuesto de baja densidad, para sistemas de encolado de bajo peso y masillas de baja densidad.
- Microfibras: consiste en aditivos para resinas útil para la elaboración de masillas de pegado estructurales. Constituidas por pulpa de madera pulverizada de color blanco y aspecto esponjoso.
- Esferas huecas de vidrio: actúan reduciendo la densidad de la resina, aumentando la viscosidad y el volumen de la mezcla.

Principales características mecánicas de las resinas

Résine	Densité	Résistance en traction	Module d'élasticité	Retrait volumique	Allongement à la rupture	Température d'utilisation	Viscosité à l'état liquide
Polyester	1,22/1,23	60/85 MPa	4.2 /4.8 GPa	7/9 %	2,5 %	60/130 °C	350/1 000 cps
Vinylester	1,12	81 MPa	3,3/3,5 GPa	6 / 7 %	6 %	100/140 °C	350/500 cps
Epacryn	1,16	71 MPa		3 %	6,5 %		800 cps
Epoxy	1,10	jusqu'à 90 MPa	jusqu'à 7 Gpa	1 %	1,5 %	60/200 °C	350/900 cps

Características generales de las diferentes resinas

Propiedad	Matriz				
	<i>Poliéster insaturado UP</i>	<i>Resina Epoxi</i>	<i>Resina Fenólica</i>	<i>Resina Vinilester</i>	<i>Resina Poliimida</i>
Densidad(gr/cm ³)	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento a la rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente hasta 180	Temperatura ambiente hasta 170	150-190	Temperatura ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy Buenas				Depende del fabricante
Calor de reacción	Reacción exotérmica		dependiente de la geometría pieza		
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	Temp.Amb. 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses

Principales sistemas catalíticos para resinas poliéster y viniléster

<i>Catalizador</i>	<i>Acelerador</i>	<i>Pot life de la resina catalizada</i>	<i>Tiempo de gel</i>	<i>Tiempo de endurecimiento</i>	<i>Campos de utilización</i>
Peróxido de benzoilo	Dimetil-anilina (DMA)	Largo	Medio	De medio a bastante rápido	Moldeo por contacto Inyección Prensado en frío
	Diethyl-anilina (DEA)	Largo	Largo	Largo	Idem
	Dimetil-p.toluidina (DMPT)	Largo	Corto	Muy largo	Idem
Peróxido de metiletilcetona	Naftalato de cobalto	Corto	Medio	Lento	Gelcoats Moldeo contacto Proyección Moldeo inyección Moldeo rotación
Peróxido de acetilacetona	Naftalato de cobalto	Medio	Medio	Rápido	Idem anterior Prensado en frío
Peróxido de ciclohexanona	Naftalato de cobalto	Medio	Medio	Progresivo	Barnices Placas onduladas

Bibliografía:

Tecnología de los composites / plásticos reforzados – Michaeli, Wegener, Capella – Editorial Hanser – Barcelona – 1992

La construcción sandwich – Xavier Soler – Barcelona

Materiales Compuestos – J.L.Gonzales Diez – Fondo Editorial de Ingeniería Naval – Madrid – 1995