

POTENCIALIDAD DEL USO DE MATERIALES COMPUESTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Xavier Roca (p), Miquel Casals, Anna Garcia
Dpto. Ingeniería de la Construcción, ETS Ingeniería Industrial de Terrasa.
Universidad Politécnica de Cataluña (España).
C/Colom, 11
08222 Terrasa, Barcelona
e-mail: xavier.roca@upc.es, miquel.casals@upc.es

1 RESUMEN

En el artículo se definen los posibles usos que tienen los materiales compuestos (composites) para proyectos de ingeniería industrial.

Para ello se realiza un estudio de los materiales más comunes (matriz orgánica y refuerzos de distintos tipos de fibras) y de las nuevas tendencias. En este punto se analizarán las matrices termoestables (básicamente Epoxi, Viniléster y Poliéster) y de forma más superficial las termoplásticas (Polipropileno, Poliamida, etc.).

En cuanto a refuerzos se refiere, los tipos incluidos en el artículo están formados por fibras de carbono, fibras de aramida y fibras de vidrio.

Se dan ejemplos en distintos campos de aplicación industrial; aeronáutica, marina, automoción, energía, etc., para terminar enfocando el uso de estos materiales como elemento estructural en los proyectos de construcción.

Al igual que para el material, se realiza un estado del conocimiento para los distintos métodos de fabricación de composites, estudiando las nuevas tendencias en los procesos; colocación automática, RTM, pultrusión, enrollamiento, etc.

Para finalizar se incluyen los requerimientos que se le exigen a estos materiales compuestos entrado el siglo XXI y cuales son las soluciones planteadas; 3D Weaving, Stitching, 3D Braiding, etc.

ABSTRACT

In this paper possible uses of compound materials (composites) to industrial engineering fields are defined.

It exposes a short study of the most common materials (organic base and reinforce of different kind of fibres) and new tendencies. In this point the thermostable bases (mainly Epoxi, Vinylester and Polyester) and, more tangentially, the thermoplastics bases (Polypropylen, Polyamida, and so on) are analysed.

The reinforces studied in this paper are carbon aramida and glass fibers.

Examples are given in different fields of industrial application: aeronautics, navy, automobile, energy, etc., to finish with the use of this kind of materials (composites) in the construction projects structures.

A state of art of different composite production technologies is also done, studying new technologies in the process. For instance, automatic putting, RTM, pultrusion, rolling, and so on.

To end up with, the required requests to compound materials in the century XXI and the proposed solutions; 3D Weaving, Stitching, 3D Braiding, and so on are included in the paper.

2 INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES COMPUESTOS

Con gran seguridad la segunda mitad del siglo XX y el siglo XXI serán conocidos como la época de los productos sintéticos, es decir, de los plásticos, las fibras artificiales, los cauchos sintéticos, los materiales compuestos y los adhesivos sintéticos. Desde hace aproximadamente 100 años se ha ido creando una industria masiva que simboliza al siglo XX del mismo modo que el hierro y el acero caracterizaron al siglo XIX.

La baquelina fue el primer polímero completamente sintético, fabricado por primera vez en 1909. Recibió su nombre del de su inventor, el químico estadounidense Leo Baekeland. Partiendo de esta primera invención, es posible en nuestros días adaptar y crear nuevos polímeros que pueden ser diseñados para funciones específicas. Por ejemplo se ha desarrollado un tipo de polímeros que no sufren corrosión. Estos sistemas pueden llevarse a cabo para obtener propiedades de rigidez o flexibilidad, transparencia u opacidad, dureza o fragilidad, etc.

Las propiedades de los polímeros sintéticos pueden ser incrementadas en gran medida adaptando técnicas utilizadas por la Naturaleza. Muy pocos materiales naturales consisten en una sola sustancia; la mayoría consisten en una mezcla de componentes diferentes que, al encontrarse unidos, producen un material más capaz de desempeñar su función que una sustancia simple. El hueso, por ejemplo,

adquiere su combinación de ligereza y resistencia (o sea, alta resistencia específica) combinando cristales de apatita (un componente del calcio) con fibras de la proteína colágeno. Tales materiales son conocidos como compuestos.

Para aplicaciones en la construcción, en las que tanto la resistencia como la rigidez del material son críticas, es necesario combinar el polímero con otros materiales para obtener materiales compuestos cuyas propiedades superen las de sus constituyentes. Los componentes más comúnmente utilizados están formados por partículas o en forma fibrosa. En los primeros, las partículas de un material o materiales específicos están embebidos o adheridos entre sí mediante una matriz continua (el polímero) con un bajo módulo de elasticidad. En los segundos, fibras con alta resistencia y rigidez, están embebidas o adheridas entre sí por la matriz continua de bajo módulo (el polímero). El refuerzo fibroso puede orientarse en la dirección que sea necesaria para proporcionar la mayor resistencia y rigidez y gracias a la moldeabilidad del material pueden seleccionarse las formas estructurales que se consideren más efectivas. Para aumentar todavía más la rigidez del material, las unidades estructurales que forman la estructura completa pueden apilarse de manera que la rigidez de la estructura se deriva tanto de su configuración como del material mismo.

La historia de la utilización de polímeros y materiales compuestos para la construcción se inició durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se produjo un rápido progreso con la fabricación de las primeras casetas para equipos de radares electrónicos. Estas se fabricaron de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), al igual que algunos componentes para aviones de guerra. A finales de la década de los 40 se continuó utilizando el PRFV, pero era un material caro. No obstante, el atractivo de los materiales compuestos, debido a su facilidad para tomar formas complejas en su moldeo, fue reconocido rápidamente por los diseñadores y a comienzo de los cincuenta ya se utilizaban para fabricar láminas traslúcidas. En las décadas posteriores su uso se extendió a varios elementos de la edificación aunque no fue hasta finales de siglo que se empezó a aplicar con cierto criterio en elementos estructurales.

3 MATERIALES

Los constituyentes de un material compuesto son los siguientes:

- Matriz: elemento que configura geoméricamente el material. Es flexible y poco resistente y sirve para transmitir los esfuerzos de unas fibras a otras. Entre las diferentes matrices se pueden encontrar las matrices orgánicas, las minerales, las metálicas y las cerámicas.
- Fibra: elemento que aporta rigidez y resistencia. Las fibras más características son las de vidrio, carbono y aramida.
- Cargas: aportan características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación. De entre las diversas cargas se tiene: creta, silicio, óxido de titanio, polvos de metal...
- Aditivos: también les aportan características especiales según sea su utilidad final. Los aditivos más comunes son los desmoldeantes, los ignifugantes, los estabilizantes, los funguicidas y los colorantes.

De todas formas, como elementos principales se pueden considerar la matriz y las fibras (refuerzo). La combinación adecuada de estos componentes proporciona mejores propiedades que los componentes individualmente.

Las matrices más usadas para la construcción son las orgánicas, las cuales se pueden clasificar en termoestables y termoplásticas. Entre las primeras se encuentran las resinas epoxi (aportan resistencia al conjunto, aguantan bien la fatiga pero tienen un alto coste), el poliéster (no resiste grandes esfuerzos pero tiene un bajo coste) y el viniléster (características entre las dos anteriores, además presenta una buena resistencia química y coste medio). Hasta ahora la más usada es el poliéster, aunque se ha abierto una discusión sobre la conveniencia de cambiar esta matriz por el viniléster en el futuro. Este tipo de matrices no se pueden reciclar debiéndose aplicar tratamientos de tipo mecánico para su reducción en partículas y así permitir su utilización posterior como cargas. El segundo tipo de matrices orgánicas son las termoplásticas. Estas presentan la ventaja que pueden reciclarse ya que con un aumento de temperatura cambian de estado (ventaja e inconveniente al mismo tiempo). En este segundo tipo se pueden encontrar PP, PA, PPS, PEI y PEEK. Las matrices termoestables son más usadas debido a que las termoplásticas presentan algunos problemas de proceso y de unión con las fibras. De todas formas se está trabajando para minimizar estos problemas y poder utilizarlas aprovechando la ventaja que implica el poder reciclar el material.

Por lo que respecta a las fibras, las más habituales son las de vidrio, carbono y aramida. Las primeras aportan resistencia mecánica, resistencia al fuego,

elasticidad, ligereza, son no conductoras, transparentes a las ondas electromagnéticas y tienen un bajo coste. Destaca su elasticidad, tal y como demuestra su aplicación en las pértigas que tienen los atletas para saltar. Las fibras de carbono aportan gran resistencia mecánica, son insensibles a la fatiga, gran rigidez, ligereza, conductividad, son opacas a las ondas electromagnéticas y tienen un alto coste. Destacan los problemas de la opacidad a las ondas electromagnéticas, pues no se puede utilizar esta fibra para aplicaciones de telecomunicaciones, y el de la conductividad, pues la convierte en fácilmente corrosible. Por último, las fibras de aramida (conocidas también como Kevlar por la marca comercial americana) son las menos habituales de las tres y presentan resistencia a la tracción, al impacto, ligereza, son no conductoras, transparentes a las ondas electromagnéticas y tienen alto coste. Se pueden usar para chalecos antibalas.

4 PROCESOS DE FABRICACIÓN

Para conseguir unas características deseadas para un material compuesto es casi tan importante el escoger de forma correcta el proceso de fabricación como la selección de los materiales. Así las distintas fases de fabricación de un material compuesto son las siguientes:

- Impregnación del refuerzo (fibra) en la resina (matriz), que corresponde a la constitución de un material compuesto exento de inclusiones en el aire.
- Adaptación a la forma y dimensiones deseadas con la ayuda de un molde.
- Endurecimiento y desmoldeo de la pieza final.

Para la realización de las diferentes fases hay métodos de moldeo muy variados. Estos se clasifican en función del tipo de matriz del material compuesto.

Para las matrices termoestables se pueden encontrar los siguientes métodos de moldeo como los más habituales: Contacto manual, Proyección simultánea, Inyección de termoestables, Inyección-vacío, Prensa en frío, Prensa en caliente, Centrifugación, Enrollamiento y Pultrusión.

Para las matrices termoplásticas los métodos de moldeo más habituales son los siguientes: Inyección de termoplásticos, Estampación y Pultrusión.

En el caso concreto del uso de materiales compuestos para elementos estructurales de construcción, el proceso de fabricación más utilizado es pultrusión

5 APLICACIONES DE MATERIALES COMPUESTOS

5.1 Ejemplos en general

Seguidamente se comentan algunas aplicaciones de los principales sectores en los que se usan los materiales compuestos:

- Electrónica: La mayoría de equipos y electrónicos que se utilizan actualmente no serían práctica ni económicamente posibles sin materiales compuestos.
- Medicina: Los profesionales de este campo dependen de los materiales compuestos, por ejemplo bolsas intravenosas, implantes de silicona, etc. Los distintos tipos de materiales permiten mejorar y en algunos casos prolongar vidas, como es el caso de corazones artificiales, los tubos de aorta, etc.
- Transporte: Para los automóviles y camiones de hoy, los materiales compuestos ofrecen una amplia variedad de beneficios, incluyendo durabilidad, resistencia a la corrosión, ligereza, cristales de seguridad y depósitos de combustible entre otros.
- Aeronáutica: Durante los últimos 50 años, la tecnología aeronáutica ha evolucionado, concediendo a los materiales compuestos un papel muy importante dentro de este campo. Por ejemplo, la ligereza de los composites permite proteger el combustible de las diferencias de presión ambiental.
- Ocio: La amplia gama de propiedades disponibles en estos materiales los ha hecho formar parte de todo tipo de deportes y equipos acuáticos, terrestres y actividades aéreas. Las ruedas de los patines, que son abrasivas, llevan poliuretano resistente. Las raquetas de tenis se modelan utilizando plásticos reforzados con fibras de vidrio, aramida, carbono, etc. Los esquís están formados por composites laminados reforzados especialmente para eliminar las vibraciones a altas velocidades. Una alta tecnología avanzada como esta es la que se aplica a las tablas de surf, sticks de hockey, veleros, canoas y otros equipos.
- Embalajes: Cuando el problema de los embalajes es la resistencia, normalmente los materiales compuestos son la respuesta, algunas veces la única solución.
- Otros mercados: Los materiales compuestos forman parte de todos los mercados gracias a la gran diversidad de propiedades que pueden aportar,

como en plataformas para trabajos en altura, líneas de alto voltaje, tanques de combustible de fibra de vidrio altamente resistente a la corrosión, etc.

Seguidamente se comentan ejemplos recientes y más concretos de aplicaciones de los materiales compuestos en el mundo de la industria:

- El Avión de Combate Europeo EFA tiene un 40% de su estructura y el 70% de la superficie exterior en fibra de carbono.
- En el avión F-22 el 39% es titanio, el 24% son materiales compuestos y el 16% aluminio. Los materiales compuestos se utilizan para fuselaje, puertas, alas y numerosos paneles sándwich.
- El nuevo avión A-380 incorporará componentes de fuselaje fabricados en Glare (aluminio reforzado con fibra de vidrio).
- El X-37 es una lanzadera reutilizable diseñada para vuelos en órbita y en fases de reentrada (NASA, Boeing). Viajará a velocidades 25 veces superiores a la del sonido. El fuselaje está fabricado en carbono/bismaleimida, ya que debe soportar temperaturas superiores a 232°C.
- El Visby-Class Corvette (barco de la marina sueca), hace uso extensivo de la fibra de carbono. De hecho el casco está fabricado de sándwich con un núcleo de PVC y pieles de fibra de carbono y resina de viniléster.
- El bastidor del Mercedes SLR está fabricado en fibra de carbono/epoxi.
- El bastidor y la carrocería del Cadillac 100 están fabricados en fibra de carbono/epoxi mediante la tecnología del pre-preg.
- Las palas de aerogeneradores están experimentando importantes mejoras con la introducción de la fibra de carbono (permite llegar a 90 m de diámetro).

5.2 Ejemplos en construcción

En este apartado se citan algunas de las construcciones más importantes que han usado materiales compuestos como elementos estructurales.

A principios de los 90 la compañía Neste Oy Chemicals de Helsinkin (Finlandia) construyó una casa experimental, llamada Nestehaus, como banco de prueba de materiales y componentes de construcción basados en los polímeros. Hace cuatro años se inauguró en la localidad escocesa de Aberfeldy un puente sobre el río Tay, considerado el más grande realizado de materiales compuestos del mundo (2 metros de ancho y 120 metros de longitud total). En el edificio de

comunicaciones de Apple en Estados Unidos se han utilizado vigas estructurales de fibras de vidrio E y resina de poliéster.

En el año 2000 se terminó en la carretera Interestatal 86, cerca de San Diego (California,) un puente llamado “The King Stormwater Bridge”, el cual está realizado a base de materiales compuestos. Este se ha convertido en el puente estrella de la ingeniería civil de EEUU. No es el puente más largo construido, pero si el más transitado y el que más carga debe soportar.

En vistas del éxito del puente antes citado, las autoridades de California han promovido el Proyecto I-5/Gilman. Este consiste en un puente de materiales compuestos en la autopista interestatal 5 en San Diego, con unas dimensiones de 137 metros de longitud, 46 metros de altura y 3,7 metros de anchura. Este puente se prevé que entre en funcionamiento en el año 2003.

Otros ejemplos de aplicaciones en construcción son el Museo de arte Milwaukee (2001) diseñado por Santiago Calatrava, la cubierta de U.S. Airways en La Guardia (Nueva York, 1989), la Glasgow Science Tower (Escocia, 1992), el Milenium Dome (Londres, 2000) con una cúpula realizada en tejido de fibra de vidrio y matriz de teflón, y la Torre Collserola (Barcelona, 1992) diseñada por Norman Foster, donde los cables superiores están fabricados en aramida/epoxi.

6 TENDENCIAS FUTURAS

Se pide al material compuesto más prestaciones y menor coste. Se pide al proceso más rapidez, más precisión y menor coste. Todo ello pasa por una optimización de los moldes utilizados, por automatizar los procesos, en utilizar nuevas fibras y combinaciones, en combinar los materiales compuestos con materiales tradicionales y en potenciar las matrices reciclables y las fibras naturales.

Uno de las exigencias actuales principales para un material compuesto es que trabaje en las tres dimensiones (normalmente sólo lo hace en dos). Para ello se está experimentando en lo que se denomina la arquitectura textil. En función de cómo se dispongan las fibras se puede lograr un trenzado en 3D. Ejemplos de ello son el 3D Weaving, el Stitching y el 3D Braiding, aunque ninguno de ellos por el momento se ha desarrollado completamente.

Concretando tendencias en la construcción, los principales campos de trabajo son tableros para puentes, armado de hormigón, reparación de viguetas, embandado de columnas, paneles sándwich, perfilería pultrusión y restauración.

7 CONCLUSIONES

Cabe destacar la importancia que están adquiriendo los materiales compuestos en todos los sectores de la industria. Ello es debido a la mejora de prestaciones que en general presentan en frente a los materiales más tradicionales. El problema radica en la gran variedad de potenciales materiales compuestos existentes y de tecnologías de fabricación posibles, implicando que queda mucho camino por recorrer y mucho por descubrir. Sin duda el principal obstáculo para un mayor uso de estos materiales es su desconocimiento, así como el de sus prestaciones.

En cuanto a la construcción se refiere, el uso de estos materiales es muy interesante debido a su bajo peso y resistencia elevada en comparación con el acero y el hormigón. Gracias a su ligereza, es posible construir de forma más rápida y con menos riesgo, aparte de reducir las cargas muertas del conjunto. El coste es un aspecto que en algunos casos limita su utilización, pero es necesario subrayar que mediante un diseño adecuado y tras evaluar las ventajas económicas que conlleva el uso de estos materiales: ligereza, economía de transporte y montaje, reducción de cargas muertas y mantenimiento prácticamente nulo, el uso de estos materiales es rentable. La problemática principal del entorno de la construcción respecto a este tipo de materiales es el conservadurismo tradicional del sector.

8 REFERENCIAS

- [1] Antequera, Pablo (1991) "Los materiales compuestos de fibra de vidrio". Universidad de Zaragoza.
- [2] Cheremisinoff, Nicholas P. (1990) "Handbook of Ceramics and Composites". Ed. Nicholas P. Cheremisinoff.
- [3] Miravete, Antonio (2000). "Materiales Compuestos." Ed. Antonio Miravete.
- [4] Miravete, Antonio (1995). "Los nuevos materiales en la construcción". Universidad de Zaragoza.
- [5] Tsai, Stephen W. (1988). "Diseño y análisis de materiales compuestos." Ed. Reverté S.A.

CORRESPONDENCIA

Xavier Roca

Dpto. Ingeniería de la Construcción, ETS Ingeniería Industrial de Terrasa.

Universidad Politécnica de Cataluña (España).

C/Colom, 11 - 08222 Terrasa, Barcelona

e-mail: xavier.roca@upc.es