

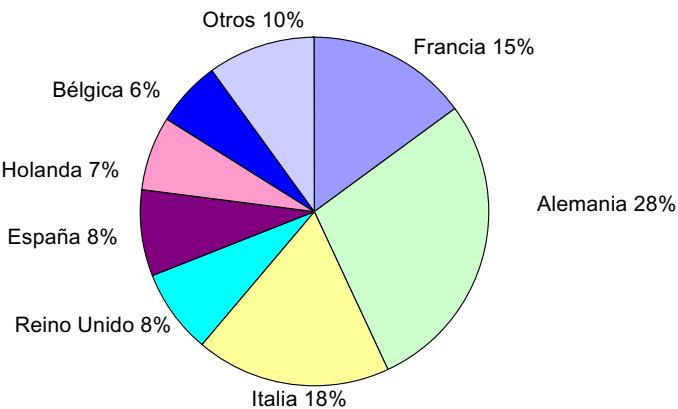
Los materiales compuestos Dinamismo e innovación

La producción de materiales compuestos se desarrolla rápidamente, tanto en Francia como en el resto del mundo: aproximadamente +6% anual, en cantidad. Estos materiales combinan la materia plástica y el refuerzo con fibras, por lo general de vidrio o de carbono. Aunque su coste es más elevado que el de los materiales tradicionales, aportan a sus usuarios importantes ventajas gracias a sus propiedades, en particular la ligereza y la resistencia. Tales ventajas han abierto a los materiales compuestos importantes mercados en la construcción de automóviles, la aeronáutica o incluso también en la construcción. Este sector, integrado por pequeñas empresas dinámicas, se va adaptando a través de la innovación y la asociación. Los canales del desarrollo sostenible pasan ahora por el control de la totalidad del ciclo del producto, desde el diseño hasta el reciclaje, y también por la mejor caracterización de los productos y de sus prestaciones.

Con 300 000 toneladas producidas en Francia en el año 2000, el sector de los materiales compuestos es un pequeño sector si se compara su producción con los 18 millones de toneladas de metales elaboradas anualmente. Este sector pertenece a la industria de materias plásticas, pero es un sector joven y en plena expansión que no está catalogado de manera clara en las relaciones estadísticas. Para conocerlo mejor, la

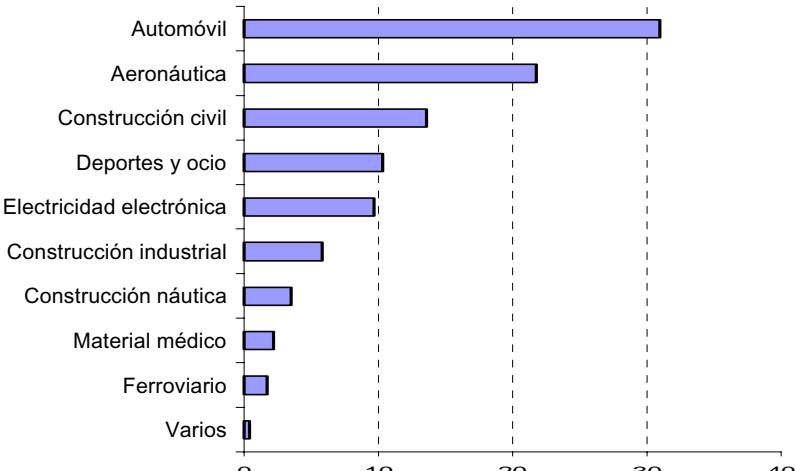
¹ Este 4-Pages es la síntesis de un estudio realizado para el Servicio de industrias manufactureras de la Digitip: *L'industrie française des matériaux composites: des enjeux prioritaires pour un développement durable* (La industria francesa de materiales compuestos: retos prioritarios para un desarrollo sostenible), estudio Digitip 2001.

Las cuotas de mercado en Europa



Fuente: Estudio materiales compuestos - estimaciones Nodal Consultants - año 2000

Los sectores usuarios (en valor, en %)



Fuente: Estudio materiales compuestos - estimaciones Nodal Consultants - año 2000

Digitip ha encomendado un estudio a la sociedad Nodal Consultants¹.

Los primeros materiales compuestos aparecieron durante la Segunda Guerra Mundial. Se trata de materiales heterogéneos, constituidos por una matriz plástica orgánica (polímero) asociada con un refuerzo fibroso, por lo general de vidrio o de carbono (recuadro 1). Son termoestables o

termoplásticos y su historia se remonta, según los casos, a menos de cincuenta años o apenas una década. Pero ya se han desarrollado más de una docena de procedimientos de aplicación (recuadro 2), lo cual es mucho más que las grandes técnicas de transformación de metales desde hace doscientos años: fundición, sinterización, forja, embutición, soldadura.

Un mercado reciente en rápida expansión

El mercado mundial de «composites» crece desde 1994 en el 5,7% anual en cantidad. En 2000, se han producido siete millones de toneladas, correspondiendo más del 95% a compuestos de gran difusión (recuadro 1). Esta producción podría alcanzar 10 millones de toneladas en 2006.

El crecimiento es más favorable para compuestos termoplásticos que para compuestos termoestables : el 9% y el 3% anual, respectivamente. Los compuestos termoplásticos aparecieron a principios de los años ochenta. Son más recientes y también más prometedores. Sin embargo, los materiales compuestos termoestables representan aún más de las dos terceras partes del mercado.

El mercado norteamericano es, con mucho, el más importante y representa el 47% de la transformación mundial de «composites» (3,4 MT). A continuación viene Europa (28%, o sea 2 MT) y Asia (23%, o sea 1,6 MT). El crecimiento del mercado en Asia y Europa es superior a Estados Unidos (el 7 y el 4,5% anual, respectivamente). El mercado suramericano es muy dinámico, con un incremento anual superior al 8%, si bien es globalmente reducido (2% del consumo mundial).

Con el 15% de la producción europea, la producción francesa de «composites» se sitúa detrás de la alemana (28%) e italiana (18%). Pero, en valor, el mercado francés alcanza más de 2.000 millones de Euros, o sea el 18% de la producción europea. En efecto, Francia produce más materiales compuestos de altas prestaciones que sus socios europeos. Ahora bien, sus precios son más altos que los de los materiales de gran difusión: se escalonan entre 9 Euros y 38 Euros por kilo, mientras que los precios de los «composites» de gran difusión están comprendidos entre 3 Euros y 6 Euros por kilo.

Ligereza y resistencia, dos ventajas claves

Los materiales compuestos disponen de ventajas con relación a productos competidores, aportando numerosas cualidades funcionales: ligereza, resistencia mecánica y química, mantenimiento reducido, libertad de formas. Su uso permite aumentar la vida útil de ciertos equipos gracias a sus propiedades mecánicas (rigidez, resistencia a la fatiga) y también gracias a sus propiedades químicas (resistencia a la corrosión). También refuerzan la seguridad gracias a una mejor resistencia a los impactos y al fuego, ofreciendo un mejor aislamiento térmico o fónico y, para algunos de ellos, eléctrico. También enriquecen las posibilidades de diseño, permitiendo aligerar estructuras y realizar

1 - Los materiales compuestos

Los materiales compuestos están integrados por una matriz orgánica - polímero termoendurecible o termoplástico - y una estructura de refuerzo que puede presentarse en forma de partículas, mats, fibras cortas, largas o continuas. Los refuerzos que más corrientemente se utilizan son las fibras, generalmente de vidrio, de carbono o de arámida.

Según las características de la matriz y de los refuerzos, se distinguen generalmente dos grandes familias: los «composites» de gran difusión, poco onerosos, que ocupan una cuota importante del mercado, y los «composites» de altas prestaciones. Estos últimos, generalmente reforzados con fibras continuas de carbono o de arámida, están reservados a sectores de alto valor añadido: aeronáutica, medicina, deportes y recreo.

Polímeros termoestables, polímeros termoplásticos

Los polímeros termoestables se conforman mediante calentamiento en una transformación irreversible. Las principales resinas termoestables son los poliésteres insaturados, utilizados muy ampliamente, las resinas de epóxidos y las resinas fenólicas. Los materiales compuestos de matriz termoestable representan un 70% de los «composites» transformados en Europa.

Los polímeros termoplásticos se endurecen durante el enfriamiento. El proceso de transformación química que los fabrica es reversible. Las principales resinas termoplásticas utilizadas en los «composites» son el polipropileno, las poliamidas y el poliéter-éter-cetona.

Propiedades de los materiales «composites» por sector

	Aeronáutica	Automóvil	Ferrocarril	Construcción	Construcción industrial	Industria náutica	Medicina	Electricidad	Deportes & Recreio
Vida útil									
Rigidez				x	x	x	x	x	x
Resistencia mecánica		x	x	x	x	x	x	x	x
Resistencia a la fatiga	x				x				
Resistencia a la corrosión	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Impermeabilidad			x	x					
Seguridad									
Resistencia a los choques		x			x	x	x	x	x
Resistencia al fuego	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aislamiento térmico			x	x			x		x
Aislamiento eléctrico							x		x
Amortiguamiento, vibraciones					x				x
Diseño									
Integración de funciones	x	x					x		
Formas complejas	x	x	x	x			x		x
Transparencia ondas electromagnéticas							x		
Disminución del peso de las estructuras	x	x				x	x	x	x

Nota de lectura : En la aeronáutica, los materiales compuestos aportan seis propiedades que permiten distinguirlos de manera positiva de los materiales tradicionales: aumenta la vida útil gracias a su buena resistencia a la fatiga, a la corrosión, aumenta la resistencia al fuego, simplifica el diseño gracias a la posibilidad de la integración de función, de la obtención de formas complejas y su ligereza.

formas complejas, aptas para cumplir varias funciones.

El costo de fabricación de los «composites» es superior al de los materiales tradicionales como el acero, la madera o el aluminio (de 3 Euros a 38 Euros/kg, según las prestaciones requeridas para los materiales compuestos, entre 1,5 Euros y 5 Euros/kg para los materiales más tradicionales). Sin embargo, ahorrando piezas de enlace y mecanización, reduciendo de manera importante los gastos de mantenimiento y aumentando la vida útil y la seguridad, las ventajas de los materiales compuestos pueden valorizarse en términos de beneficios con el uso.

En realidad, la «solución del composite» representa siempre para el diseñador un «salto tecnológico». Los materiales compuestos ofrecen,

efectivamente, la posibilidad de realizar un producto específicamente adaptado a las prestaciones solicitadas y optimizar la pareja precio/prestación. Pero, con relación a las soluciones alternativas, el beneficio aportado debe evaluarse desde el diseño, al mismo tiempo que las pruebas que cabe realizar. Por contra, los materiales tradicionales (madera, acero, aluminio) aparecen como una solución de más tranquilidad, puesto que sus prestaciones técnicas son bien conocidas y están bien catalogadas, con lo cual es previsible su comportamiento durante el uso. También se benefician de mejoras regulares (ligereza, tratamientos especiales para los metales).

En la práctica, para que los materiales compuestos puedan adoptarse

en lugar de tales soluciones tradicionales, tienen que distinguirse absolutamente por sus aportes positivos en cinco criterios funcionales por lo menos (ver recuadro 1).

Materiales de gran difusión en la industria automovilística y la construcción eléctrica y electrónica

En Francia, el sector del automóvil y de los vehículos industriales consumen más de la tercera parte de la producción en volumen de materiales compuestos, contra una cuarta parte a nivel mundial. Los constructores tienen imperativos de coste importantes. Por tal razón, utilizan masivamente compuestos de gran difusión con resina poliéster reforzada con fibras de vidrio. Estos materiales son menos onerosos que los compuestos de altas prestaciones. Se utilizan para reforzar paneles de revestimiento, deflectores, elementos de carrocería, elementos de defensa y puertas traseras. Son fáciles de mantener, ofreciendo una gran libertad a los diseñadores. Estos materiales compuestos son mucho más ligeros y permiten a los constructores aceptar un sobrecoste de 3 Euros por kg ganado. La disminución de peso total en un vehículo permite un ahorro de carburante de unos 1,5 Euros por 100 km.

El sector de la construcción eléctrica y electrónica representa el 15% del mercado mundial, en valor, de las aplicaciones de «composites». Este sector también utiliza en gran cantidad «composites» de gran difusión que corresponden a necesidades de seguridad: aislamiento eléctrico y transparencia a las ondas electromagnéticas. Estos «composites» sirven para realizar equipos fiables y de mayor vida útil: armarios, disyuntores, cajas de contadores, torres, antenas parabólicas.

Materiales de alto rendimiento en la aeronáutica, deportes y recreo

La aeronáutica y el ámbito espacial utilizan «composites» de alto rendimiento. Los costes son altos: pueden alcanzar 38 Euros por kilo en caso de utilizar masivamente refuerzos con fibra de carbono. El sector aeronáutico constituye una importante parte del mercado en valor de los compuestos (22%), mucho menor en volumen (aproximadamente el 4%).

En la aeronáutica, los «composites» se han impuesto para fabricar piezas de estructura primarias, gracias a sus prestaciones, sus cualidades de ligereza y su flexibilidad de forma. Tramo central de aviones, vigas ventrales que rigidizan el fuselaje del A 340/600, alas extremas del ATR 72 son ejemplos de ello. La disminución total de peso es de 450 kilos en un Airbus, lo cual permite acoger seis pasajeros adicionales. Una disminución

2 - Los procedimientos de transformación

Para elegir el procedimiento de transformación, hay que basarse no sólo en la naturaleza del material (termoplástico o termoendurecible), sino también en la forma de la pieza a realizar, las prestaciones deseadas y los imperativos de producción en términos de cantidad y de cadencia.

La realización de piezas en «composites» destinadas a los mercados de gran difusión (automóvil, electricidad, construcción) requiere poner en práctica procedimientos de transformación muy automatizados de alta productividad. El uso de materiales preimpregnados en forma de hojas o de granulados permite obtener productos por compresión o inyección con reducidos tiempos de ciclo. La mezcla de constituyentes elementales (resina, refuerzo, catalizador, cargas) puede llevarse a cabo previamente a la conformación definitiva del producto por estampado, compresión o moldeo.

Los procedimientos de transformación de «composites» de altas prestaciones son aún manuales o poco automatizados. Son compatibles con la producción en pequeñas series de piezas de alto valor añadido (aeronáutica, deportes y recreo, medicina).

El moldeo en contacto y la proyección simultánea son, por su parte, procedimientos manuales adaptados a la producción en pequeñas series de piezas, tanto a base de «composites» de gran difusión como de «composites» de altas prestaciones. Lo mismo sucede con los procedimientos de fabricación, como el arrollamiento filamentario y la centrifugación. Estos procedimientos permiten realizar cuerpos huecos de revolución de grandes dimensiones como son los tanques destinados a la industria química y las tuberías de centrales eléctricas.

Los productos de gran longitud (vigas, perfiles y placas) se fabrican por procedimientos de impregnación en continuo. Poco desarrollada en Francia, la pultrusión permite realizar perfiles largos, principalmente utilizados para el sector de la construcción.

de 100 kilos en la estructura de un cohete alarga su trayectoria en 100 kilómetros. Los materiales compuestos también tienen muy buena resistencia a la corrosión, lo cual reduce en consecuencia los gastos de mantenimiento: las palas de helicóptero de materiales compuestos hay que cambiarlas al cabo de varios meses de utilización y las de metal cada 50 horas.

La industria de los deportes y ocio absorbe el 11% del mercado de «composites» en valor (8% en volumen). Así, para los esquíes y las raquetas por ejemplo, se aumenta con estos materiales a medida tanto las prestaciones como la fiabilidad.

Una gama de materiales compuestos en la construcción, los equipos industriales y la construcción náutica de recreo

En la construcción, los materiales tradicionales ejercen una competencia muy fuerte, tanto si se trata de hormigones como de vigas metálicas como de cerámicas. Sus prestaciones las conocen bien los prescriptores y el uso de los «composites» en este sector es mucho menor con respecto a lo que se observa en el mundo: la construcción sólo representa el 21% del mercado francés en volumen, contra el 35% en Japón, el 32% en Brasil y el 30% en promedio mundial. La flexibilidad de las formas, la resistencia a las variaciones climáticas, el aislamiento térmico y fónico, la resistencia al fuego son, no obstante, ventajas muy apreciables. Los usos pueden ser variados: paneles de decoración, rehabilitación de edificios y obras de fábrica, formas

complejas de gran tamaño (cuartos de baño monobloque), vigas y piezas estructurales, elementos de tejado. Por otra parte, la resistencia a las vibraciones de los materiales compuestos con fibras de carbono y su alto potencia de absorción energética justifican su empleo en zonas sísmicas.

La construcción y los equipos industriales no representan más que el 8% del mercado en volumen de los materiales compuestos en Francia. Su costo es efectivamente alto para aplicaciones que entran en general en el marco de normas de seguridad corrientes. Los materiales compuestos permiten aumentar la fiabilidad y la longevidad de los equipos, gracias a sus cualidades de resistencia y aislamiento térmico - tanques para productos químicos, oleoductos, aparatos a presión - garantizando también una buena resistencia a los temblores sísmicos para la realización de canalizaciones de centrales nucleares por ejemplo.

En la construcción náutica de recreo, los «composites» resultan ser como elementos difícilmente sustituibles en las embarcaciones de tamaño inferior a 40 metros: estos materiales combinan la ligereza de las estructuras con la posibilidad de realizar formas complejas (cascos, cubiertas, depósitos). Sus cualidades de resistencia a la corrosión permiten reducir considerablemente la frecuencia de los carenados y aumentar la vida útil de las embarcaciones. Utilizando esencialmente «composites» de bajo costo, hechos con resina de poliéster reforzada con fibras de vidrio, este sector sólo representa el 4% del mercado en volumen y en valor.

■ Las vías de un desarrollo sostenido

Los materiales compuestos deberían desarrollarse mucho en los próximos años: +50% en cinco años, o sea dos veces más rápido que el PIB. Sin embargo, para lograrlo, la industria de materiales compuestos deberá integrar los imperativos de un desarrollo sostenible.

Así, pues, a partir de 2004, el 85% del peso de los vehículos fuera de uso tendrán que ser reciclados. Actualmente, no existe solución técnica plenamente operativa y económicamente viable para reciclar los compuestos utilizados en el sector del automóvil. Estos materiales compuestos son esencialmente termoestables. Este reto mayor para el sector depende de una movilización de todos los actores y de sus esfuerzos de investigación-desarrollo. Algunas iniciativas industriales se desarrollan en Europa, principalmente Mecelec Composites et Recyclage en Francia, operador de la única planta de reciclado de materiales compuestos, y Ercom en Alemania.

Técnicamente, la valorización de los materiales termoestables puede pasar por la trituración y molienda para obtener granulados (polvos) y fibras. Los polvos son usados como gargas de bajísimo valor añadido en compuestas, mientras que las fibras pueden ser integradas como refuerzos de cementos y asfaltos con un mayor retorno económico. La incineración en las plantas de cemento constituye otro canal posible. Pero los imperativos de reciclaje deberían favorecer el uso de materiales compuestos termoplásticos que se pueden reprocesar de manera más fácil. En la industria náutica, el personal está sometido a emanaciones de compuestos orgánicos volátiles (COV, en particular el estireno). En Europa, las industrias escandinavas y alemanas aplican normas más estrictas que en Francia y abogan por una armonización de las regulaciones nacionales. El refuerzo de las normas actualmente en vigor en Francia constituiría, para los transformadores en molde abierto, un imperativo adicional que afectaría a sus costos.

Con el fin de que las oficinas de diseño utilicen más los materiales compuestos, habrá que caracterizarlos más en el futuro. Esto permitirá a los diseñadores desarrollar un análisis funcional que integre todas sus aportaciones. En efecto, estos materiales padecen de una falta de modelización y normalización frente a materiales tradicionales como el acero que son objeto de normas nacionales o europeas. Para caracterizar eficazmente estos materiales, habrá que desarrollar de manera más importante que hoy los softwares de diseño y modelización.

■ Pequeños productores dinámicos

En Francia, entre 400 y 450 empresas dedican lo esencial de su actividad a la transformación de materiales compuestos, empleando a unos 20.000 personas. El tejido industrial está constituido sobre todo por pequeñas y medianas empresas. Entre proveedores de materias primas de gran tamaño que justifican altos precios con reducidas cantidades compradas y grandes comitentes que pueden imponer sus exigencias, estas empresas de pequeño tamaño y dispersas sufren importantes presiones sobre los precios.

Para hacer frente a ello y acceder a mercados europeos, estas empresas desarrollan estrategias de valorización, innovación y asociación industrial. Así, en el sector ferroviario, el Giff es una agrupación de interés económico que reúne a seis empresas de equipos, desde el diseño hasta la fabricación.

En Francia, la producción de materias primas para este sector es suficiente en cuanto a fibras de vidrio (Saint-Gobain Vetrotex) y resinas básicas, poliésteres y polipropileno (ElfAtofina), integradas en los materiales compuestos actuales de gran difusión. Sin embargo, la oferta es incompleta en cuanto a materias primas para materiales compuestos futuros de altas prestaciones o de gran difusión. Así, la producción de fibras de carbono sigue estando en manos de los Japoneses (Toray, Sumitomo), mientras que la producción de resinas innovadoras está en manos de grupos químicos internacionales (Dupont, Ems, Bakelite AG). Esta debilidad de la producción francesa en cuanto a materiales innovadores o de gama alta puede tener con el tiempo una influencia negativa en el desarrollo equilibrado del sector.

La industria nacional de la transformación de materiales compuestos conserva un avance tecnológico con relación a los demás países europeos o mundiales. Sin embargo, el reducido desarrollo en Francia del procedimiento de pultrusión constituye un handicap notable, particularmente para el mercado de la construcción.

■ La innovación médica del desarrollo

Para las empresas del sector, la innovación es un medio privilegiado para hacer frente a los imperativos cruzados de sus proveedores y sus clientes. Algunos innovan poniendo en el mercado nuevos productos : resinas y nuevos semi-productos más seguros y más rápidos. Otros desarrollan nuevos procedimientos poniendo a punto métodos o herramientas más rápidas y más potentes. Finalmente, las empresas deben innovar poniendo en práctica herramientas de diseño eficaces.

Francia dispone de centros de investigación-desarrollo (Mines de París, Mines de Douai, Ensam, Insa Lyon, escuelas normales superiores, Onéra*). También dispone de numerosos centros de recursos regionales que asesoran a los industriales en su plan innovador: Pôle de Plasturgie de l'Est, Compositec. En los proyectos europeos de gran amplitud (Brite Euram, Eureka), Francia se implica en los consorcios, como lo hacen también el Reino Unido y Alemania. Sin embargo, la competencia europea es importante, en particular con los equipos alemanes (IVW Kaiserslautern, IKV Aquisgrán).

Este plan innovador se concreta menos que en otros países mediante registro de patentes: en 2000, se registraron por parte de los laboratorios públicos o privados franceses un centenar de patentes en relación con materiales compuestos, contra 800 en EE.UU, 200 en Alemania y 200 en Japón.

Evaluar las prestaciones de los materiales compuestos, desarrollar los medios y procedimientos para caracterizar los productos, validar las tecnologías de reciclaje de los materiales compuestos son tres retos importantes de la investigación-desarrollo. Para las empresas del sector, el trabajo en asociación es necesario para hacer frente a tales retos.

■ Hervé CHALAYE (SIM)

* Oficina Nacional de Estudios e Investigaciones Aeroespaciales.



Director de la publicación :
Jean-Marc Béguin

Redactor jefe: Gilles Rotman
Secretario de redacción: Alain Bentolila
Maquetaje - Brigitte Baroin

Suscripción 38 € (12 n° como mínimo)
por fax al ++33.1.43.19.41.73
SESSI, Service de la Direction générale de
l'industrie, des technologies de l'information
et des postes (DiGITIP)
<http://www.industrie.gouv.fr/accueil.htm>
N° ISSN : 1241-1515