

Materiales compuestos en aeronáutica

Álvaro Ridruejo , Dr. Ing. de Materiales (Departamento de Ciencia de Materiales, Universidad Politécnica de Madrid)

Se van a presentar dos aplicaciones en las que la utilización de materiales compuestos supone una importante ventaja.

1) Palas del rotor de un helicóptero

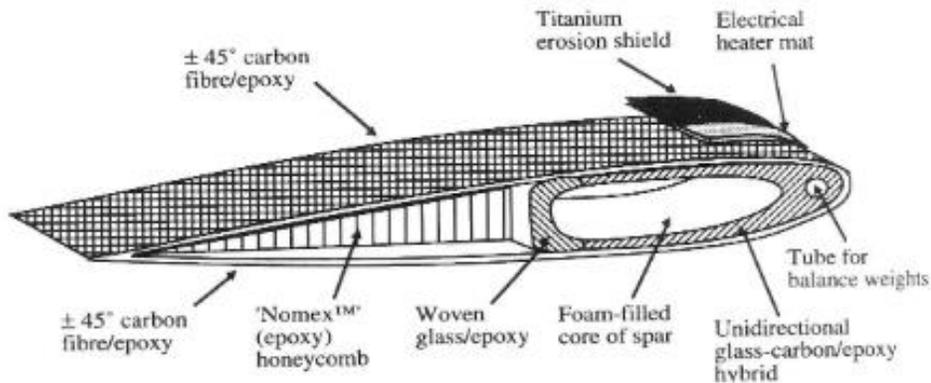
Las palas del rotor de un helicóptero se comportan como pequeñas alas que producen el empuje vertical que la aeronave necesita para volar. Desde el punto de vista del diseño, lo que necesitamos es un material que se deforme poco (suficientemente rígido) y que tenga el menor peso posible. Los materiales compuestos se han venido utilizando en el diseño de palas de rotor desde los años 60.

Las palas de helicóptero presentan un problema muy particular derivado de la combinación de los movimientos de rotación de las propias palas y hacia adelante de la aeronave: puesto que la velocidad de avance del helicóptero puede alcanzar 100 m/s y la velocidad lineal de la punta de la pala en su giro a menudo supera ligeramente los 200 m/s, la velocidad con la que la pala atraviesa el aire en la fase de avance del giro es sustancialmente mayor que la velocidad en la fase de retroceso (300 contra 100 m/s). Si el ángulo de ataque de las palas se mantuviera constante durante el giro, entonces el empuje vertical sería muy distinto en ambos lados del helicóptero y este se desestabilizaría gravemente.

Este efecto, detectado y solucionado por primera vez por el ingeniero español Juan de la Cierva, se puede compensar modificando el ángulo de ataque durante cada giro. Otras modificaciones del ángulo de ataque se utilizan para cambiar de dirección cuando el aparato maniobra.

Es por tanto de suma importancia que las palas tengan una alta rigidez a torsión para que puedan responder fiel y rápidamente a los cambios de ángulo de ataque impuestos por la base del rotor.

Del mismo modo, la rigidez a flexión también debe ser elevada para que la punta del ala no se retrase respecto de su base y para que las palas no se curven hacia arriba por efecto del peso del helicóptero. En la figura puede apreciarse un croquis de una sección de pala.



Las fibras de carbono orientadas a $\pm 45^\circ$ respecto del eje de la pala le confieren la rigidez a torsión, mientras que la rigidez a flexión viene dada por las fibras de carbono y vidrio paralelas al eje. Esta configuración también proporciona a la pala una excelente resistencia a la fatiga, con lo que la vida de la pala alcanza las 10.000 horas.

2) Frenos de avión

Los frenos de un avión necesitan un conjunto tremendamente exigente de propiedades, que podemos citar a continuación:

- Buena estabilidad térmica y resistencia al choque térmico
- Baja densidad
- Buena resistencia a alta temperatura
- Alta capacidad térmica
- Alta conductividad del calor
- Buenas características de fricción
- Buena resistencia al desgaste



Durante un aterrizaje de emergencia o un despegue abortado (cuando el avión ya tiene una considerable velocidad en pista), los frenos deben absorber una enorme cantidad de energía sin desintegrarse ni agarrotarse. El diseño típico de un freno de aviación se basa en una serie de discos giratorios intercalados entre otros discos fijos. Cuando se accionan los frenos, el rozamiento entre los discos puede elevar la temperatura de los mismos hasta una media de 1500 °C, con picos de hasta 3000 °C en su superficie. Por esta razón, el material del disco debe tener una gran resistencia mecánica a alta temperatura y una excelente resistencia al choque térmico (capacidad de resistir elevadas diferencias de temperatura sin dañarse). Una buena conductividad térmica es básica para evitar el sobrecalentamiento de las superficies del disco. El carbono tiene una buena conductividad y estabilidad a alta temperatura (sus dimensiones cambian poco con la temperatura).

El carbono en forma de grafito sólido es un candidato, mucho más barato que un material compuesto de carbono/carbono (matriz y refuerzo de carbono), pero la resistencia y tenacidad del material compuesto son claramente superiores. Los discos se fabrican infiltrando fibras de carbono con una brea o una resina polimérica, calentando el conjunto a 1000 °C en ausencia de oxígeno para eliminar impurezas e ir dejando un esqueleto de carbono. El proceso se repite varias veces hasta alcanzar la densidad deseada y finalmente se calienta hasta unos 2500 °C para completar la grafitización.

El peso de los frenos es un asunto muy relevante. Un avión de pasajeros normalmente lleva ocho frenos. Con un diseño convencional (discos de acero y discos de un material friccional), el conjunto alcanza un peso de más de 1000 kg,

mientras que un conjunto de frenos de carbono/carbono pesa algo menos de 700 kg. Este ahorro de peso es equivalente a cuatro pasajeros, y a la larga significa un importante ahorro de combustible.

La tecnología de frenos de carbono se introdujo en primer lugar en aviones de combate y en el Concorde, pero en la actualidad está presente en la mayoría de modelos de Boeing y Airbus.

La principal limitación que afecta a este material cuando se expone durante tiempos más prolongados a alta temperatura es su poca resistencia a la oxidación, aunque ya existen recubrimientos que evitan en gran medida este problema.

Fuente: D. Hull & T. W. Clyne, An Introduction to Composite Materials, Cambridge University Press, 2nd Edition, 1996.

Aeronáutica, materiales compuestos

Aeronáutica, Autor: A. Ridruejo, Carbono, Compuestos