

El camino del hilo de seda

Un grupo de la UPM investiga las fibras de seda producidas por las arañas como modelo de material superresistente y superflexible

Su inusual combinación de resistencia y flexibilidad elevadas han convertido al hilo de seda de araña en objeto de estudio en el ámbito de la Ciencia de Materiales desde hace décadas. Sin embargo, todavía no se ha conseguido desarrollar una técnica que garantice la producción rentable de un análogo sintético de este material, que tendría multitud de aplicaciones tanto industriales como clínicas. El camino hacia esa meta aún parece largo pero estudios como los que realiza el equipo de Manuel Elices Calafat, en el Departamento de Ciencias de los Materiales de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de la UPM, ayudan a acortar esa distancia.



Manuel Elices Calafat

Patricia Serrano Antolín

La línea de investigación *Fibras poliméricas de gran tenacidad: Los hilos de araña* se incluye dentro del área principal de trabajo del grupo de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM): el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales y la seguridad de las estructuras fabricadas con ellos.

En este sentido, los distintos proyectos que desarrollan pueden dividirse en dos ramas: una con los proyectos en los que trabajan con materiales utilizados en ingeniería civil y otra con aquellos que estudian características de materiales biológicos.

Para Manuel Elices, primer español en la Academia de Ingeniería de Estados Unidos, los materiales desempeñan “un papel fundamental en el desarrollo económico y social de un país” ya que la síntesis de nuevos materiales va de la mano del aumento del potencial industrial y de la transferencia de tecnología.

En el estudio de los procesos de fisuración y fractura y su relación con la respuesta estructural en materiales como el hormigón, los aceros de armar, cerámicas o materiales compuestos han trabajado, por ejemplo, con materiales utilizados en los dispositivos de contención de gas natural licuado, sometidos a temperaturas muy bajas (-170° C), y también con materiales cerámicos para turbinas y motores de explosión sometidos a altísimas temperaturas (1400° C).

Otra de las áreas en las que “se trabaja intensamente”, comenta Elices, es en la seguridad de las estructuras metálicas y de hormigón pretensado, concretamente en problemas de corrosión bajo tensión, “donde materiales que suelen tener un comportamiento dúctil se pueden volver frágiles como el vidrio en presencia de determinados ambientes agresivos, algo que se convierte en preocupante en algunos aceros en los que se desata este fenómeno sólo con la presencia de humedad”.

En el otro campo, el de los materiales biológicos, las conchas de moluscos y los hilos de araña sustituyen al hormigón y al acero, y con ello también cambian las técnicas de investigación y los equipos, que han de ser altamente sensibles y

Las fibras de
seda de las arañas
tienen propiedades
mecánicas no
superadas
por ningún otro
material

precisos dado las reducidísimas dimensiones de estas estructuras.

Todo un prodigio

La justificación del estudio de hilos de araña como modelo de un nuevo material superresistente es explicada por Elices mediante el siguiente ejemplo: “En 1988, el avión del vuelo 104 de Pan Am explotó en el aire cuando volaba sobre Lockerbie (Escocia) debido a una bomba alojada dentro de una maleta. Los 270 pasajeros probablemente estarían vivos si el compartimento de equipajes hubiera estado protegido con fibras que tuvieran las características de los hilos de las arañas”.

Las fibras de seda fabricadas por las arañas tienen propiedades mecánicas que no han sido superadas por ninguna fibra artificial pues “combinan una elevada resistencia, como la del acero, con una gran deformación, como el caucho”, y ambas propiedades no suelen coincidir en la mayor parte de los materiales. Existen algunos sintéticos como el kevlar 49 (una de las fibras de altas prestaciones utilizadas habitualmente) o el hilo de acero que aunque han conseguido casi igualar la resistencia, están lejos de obtener su gran flexibilidad. La resistencia para los dos últimos está alrededor de 3.000 MPa (Megapascuales), mientras que la resistencia de la seda de araña de la especie *Araneus* puede llegar a 4.000 MPa.

Otro aspecto destacado del proceso de producción del hilo de seda de la araña es el de las condiciones en que tiene lugar, esto es, a temperatura ambiente, con materiales corrientes y en solución acuosa. Por el contrario, “muchas fibras artificiales requieren para su fabricación costosos materiales, altas temperaturas y disolventes muy agresivos”.

Reforzando la idea de sostenibilidad en la producción de la fibra de seda que, según el catedrático, sería conveniente imitar, se ha observado que la *Araneus* antes de fabricar una telaraña nueva se come la antigua. Mediante experimentos de marcaje de aminoácidos de la proteína que constituye la fibra de seda, se ha constatado que esta ingesta no es usada por la araña para su propio sustento sino para producir más seda con mayor rapidez.

Todas estas peculiaridades hacen que aunar las características mecánicas y logísticas de los hilos de araña en un proceso de laboratorio no resulte nada fácil, a pesar de que son muchos los grupos de investigación en el mundo que trabajan en esa dirección. Elices vuelve al caso del avión para ilustrar las extraordinarias aplicaciones que un material así tendría: “Cuando sepamos fabricar hilos con esas propiedades, los aviones podrán protegerse envolviendo el compartimento de equipajes con una tela fabricada con estas fibras; el exceso de peso será menor de una tonelada y el sobre costo en combustible puede ser de 20.000 euros al año, dos cifras perfectamente asumibles”.

Investigar telarañas

Trabajar con algo tan fino y exclusivo como el hilo de seda presenta numerosas dificultades experimentales, desde la obtención del propio material -las arañas no pueden ser criadas en granjas por su naturaleza solitaria y depredadora- al estudio de sus características y propiedades mecánicas debido al tamaño de su diámetro, “menos de la décima parte de un cabello humano”. En los experimentos, “las fuerzas que se miden son muy pequeñas, gramos o décimas de gramo, incluso



Araña de la especie *Argiope Trifasciata*, con la que ha trabajado el grupo de la UPM

Se persigue la fabricación artificial de hilo de seda en condiciones similares a las naturales, es decir sin impacto ambiental y a un bajo coste

hemos llegado a afinar hasta centésimas de gramo para conocer la influencia de la humedad en el retesado de las redes”, comenta el investigador.

Otro problema, “que por otra parte es un incentivo añadido”, es el carácter multidisciplinar de esta línea, en la que físicos e ingenieros colaboran con químicos y biólogos para investigar la estructura y fabricación de las fibras de seda. “Cuando conozcamos mejor las relaciones entre su estructura y las propiedades mecánicas, seremos capaces de diseñar hilos con mejores prestaciones”.

De este modo, el Departamento de Ciencia de Materiales ha tenido que ir desarrollando diferentes técnicas para poder manejar y someter a diferentes pruebas a este prodigioso material. En el caso de la obtención del hilo de seda, han ideado una técnica de hilado forzoso que consiste en la inmovilización de la araña dentro de una bolsa de plástico perforada y conectada a un cilindro sobre el que se bobina el hilo gracias a una combinación de movimientos de rotación y traslación. Estas bobinas de hilo de araña se montan después en unos bastidores de papel de aluminio para facilitar su manipulación en los experimentos, que además tendrán que realizarse en cámaras de humedad controlada pues se trata de un material altamente sensible a los cambios ambientales.

Para estudiar la relación entre tensión de rotura y deformación en tan mínimas magnitudes con la suficiente precisión, el grupo de Elices utiliza un microscopio electrónico de barrido, un microscopio de fuerza atómica, células de carga, extensómetros y simulación numérica. Con ellos, han conseguido caracterizar la superficie de fractura de los hilos, observando detalles del orden de diez millonésimas de milímetro.

De los diversos tipos de telarañas que existen, las que revelan mejores propiedades de resistencia y flexibilidad son las del tipo orbicular, esto es, las planas con hilos en estructura radial unidos entre sí por un hilo continuo en espiral, y de los dos tipos de hilos de que se componen éstas, es el usado para los vientos, el marco y los radios el que presenta un mejor comportamiento mecánico.

Por ello, el equipo de la E.T.S.I de Caminos de la UPM se ha dedicado a estudiar ampliamente este tipo de hilo, que también es utilizado por la araña en sus desplazamientos como hilo de seguridad. Los arácnidos segregan esta seda por la glándula ampollácea mayor, cuyas siglas en inglés le confieren el nombre, MAS (Major Ampullate Gland Silk), mientras que la seda que constituye la espiral de las telas de araña es de otra clase, conocida como hilo viscido, y es producida por otra glándula.

Así, han investigado la composición del MAS (cadenas de proteínas que componen conjuntos de polímeros muy resistentes) y han establecido relaciones cualitativas entre las características de su microestructura y sus propiedades mecánicas. Entre los resultados de los estudios llevados a cabo con la especie *Argiope trifasciata*, se puede destacar la apreciación de la enorme variabilidad de las propiedades de los hilos producidos por la misma araña en condiciones aparentemente similares, lo cual revela una elevada adaptabilidad a las condiciones ambientales inmediatas. Otra observación derivada de los estudios con este arácnido señala que el comportamiento mecánico de un hilo MAS producido en condiciones naturales es

menos uniforme que el obtenido mediante el proceso de hilado forzoso.

Además, las fracturas y las deformaciones del hilo observadas en los experimentos sugieren que el material se compone de dos microestructuras, algo así como una piel y un núcleo, formado éste por microfibrillas.

Y es que, en opinión del científico, a pesar de que los hilos de seda de las arañas son, posiblemente, las fibras naturales de más altas prestaciones mecánicas conocidas, el propósito de su estudio no es “copiarlos directamente sino inspirarse en ellos para el diseño de nuevos materiales, porque hay que tener en cuenta que los objetivos de la naturaleza no tienen por qué coincidir con los nuestros”.

Formación en Ingeniería de Materiales

Si el trabajo investigador es para el grupo de Materiales de la UPM una herramienta para avanzar en el desarrollo de las sociedades, el proporcionar una formación que prepare adecuadamente a los futuros ingenieros de materiales es otro instrumento igualmente importante de cara a alcanzar el mismo fin.

Convencidos de ello, los más de 20 integrantes del equipo de Elices promovieron hace aproximadamente diez años la creación de la titulación de segundo ciclo “Ingeniería de Materiales”, que se inauguró en la Universidad Politécnica de Madrid en octubre de 1995. Hecho que les convertía en el grupo pionero en España en la enseñanza de la Ciencia e Ingeniería de Materiales.

En palabras del investigador, director de esta titulación, “el ingeniero de materiales es indispensable para potenciar la capacidad industrial y la innovación tecnológica de un país porque los materiales desempeñan un papel crítico en los avances tecnológicos, y la madurez conseguida en esta ciencia ya permite diseñar materiales a medida o a la carta”.

Se trata de una carrera “horizontal e interdisciplinar”, en la que se imparten asignaturas sobre materiales poliméricos, cerámicos, compuestos, biomateriales, propiedades mecánicas o deontología para ingenieros. Para desempeñar el trabajo de ingeniero de materiales en los años venideros, “hacen falta conocimientos de matemáticas, física, química y biología pues en todas las actividades humanas, incluidas las referentes a la salud, los materiales tienen un cierto protagonismo”.

FICHA TÉCNICA

Departamento de Ciencias de los Materiales

Centro: Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid

Coordinador: Manuel Elices Calafat

Dirección: Profesor Aranguren s/n
28040 - Madrid España

Teléfono: 915 43 39 74 / 913 36 66 79

Fax: 915 43 78 45

Email: MElices@mater.upm.es

Página web del grupo: <http://www.imm.cnm.csic.es/biosensores/home.html>

Líneas de investigación: Propiedades mecánicas de Materiales metálicos; Hormigón, rocas y materiales casi-frágiles; Materiales compuestos; Materiales Biológicos; Comportamiento Dinámico de Materiales