AC 14 05

Curso de acceso para mayores de 25 años, Introducción a las Ciencias Físicos Naturales, tema 16, las propiedades físicas de los sólidos. Por el profesor doctor, don José Luis Lorenz. El estado sólido.

Una propiedad mecánica de gran importancia en la tecnología es el tipo de respuesta que ofrece un sólido a las fuerzas deformantes a que pueda estar sujeto. Decimos que su comportamiento es elástico cuando responde a la fuerza aplicada deformándose en una cuantía proporcional a dicha fuerza. En esta deformación actúan las fuerzas interatómicas del sólido, realizando cierto trabajo interno al modificarse las distancias entre átomos que corresponden al equilibrio del conjunto.

En la región de comportamiento elástico, las deformaciones siguen la ley de Hooke, resultado a escala macroscópica de las interacciones microscópicas armónicas en primera aproximación. El carácter conservativo de tales interacciones implica que el trabajo de deformación del sólido se almacene en forma de energía potencial, liberable en el momento en que se supriman las fuerzas externas aplicadas, regresando así el fuerza del cuerpo a su primitiva configuración con absoluta reversibilidad. Si, por el contrario, las fuerzas internas no pueden ya considerarse armónicas, tampoco el comportamiento del cuerpo será elástico.

En este caso, cuando la aproximación armónica de la interacción, ya bien sea electrostática o bien de Lennard-Jones, no es ya aplicable a causa de la intensidad de las fuerzas externas, aparecerán, por lo general, efectos irreversibles de índole disipativa que impedirán el total restablecimiento de la configuración inicial al suprimirse la perturbación deformadora. Esto sucede en la región de comportamiento plástico del material, por encima del llamado límite de elasticidad del mismo. Aquí hemos puesto un ejemplo de cómo la rigidez del estado sólido depende de las acciones a que se vea sometido, pero también, a igualdad de causa deformadora, el efecto producido dependerá de la estructura interna del cuerpo, caracterizada por el valor tomado por su módulo de Young.

Este parámetro incorpora el tipo de estructura microscópica, amorfa o cristalina, en determinado sistema, así como su densidad, composición, etc. Además, en el caso de la plasticidad, más que el tipo de material y estructura, lo relevante son sus defectos o imperfecciones estructurales que actúan de catalizadores de movimientos colectivos al permitir cierta fluidez o adaptabilidad en el sólido. Cristales y vidrios.

La consecución de una estructura cristalina o de una estructura amorfa, la propia de los vidrios, depende del tipo de transición experimentada en el correspondiente cambio del estado de líquido a sólido. Recordemos que en el anterior guión radiofónico concluíamos diciendo que la estructura líquida podía asemejarse a la de un sólido con huecos o vacantes atómicas en su red que confiriesen cierta movilidad al conjunto de átomos o moléculas vecinos. Un líquido aparecía de este modo como una ordenación imperfecta y cambiante, pues bien, démosle

rigidez al líquido y movilizando a sus moléculas constitutivas, pero sin dejarles llenar todos los huecos, es decir, sin permitirle alcanzar la perfecta geometría y siempre constante ordenación espacial de un cristal.

Habremos obtenido de este modo un vidrio que, como estructura imperfecta que es, podrá adoptar una infinidad de variantes frente a la invariable estructura cristalina. Luego, un vidrio diferirá poco de un líquido. Efectivamente, en ambos casos, los átomos o moléculas individuales aparecerán ordenados a cortas distancias, pero no existirá una ordenación a lo largo de distancias macroscópicas que hagan trascender este orden microscópico.

Ahora bien, el movimiento molecular característico de los líquidos es aquí mínimo, y el intento de describir sus propiedades de fluencia en términos de una viscosidad equivalente conduciría a valores astronómicos del correspondiente coeficiente de viscosidad. Por el contrario, la característica esencial de los cristales es su ordenación de largo alcance. Las moléculas o los átomos se disponen en redes regulares sobre grandes extensiones, repitiéndose la celdilla individual millones y millones de veces.

Así, en el caso de un monocristal de cobre de un centímetro de lado, a lo largo de cualquier dirección existirán 30 millones de átomos de cobre dispuestos ordenadamente, de modo que los últimos se hallen en perfecta congruencia con los primeros. Es importante señalar que en el texto distinguimos el proceso de solidificación conducente a un cristal del que formaría un vidrio. En el primer caso, la transición es brusca.

En el segundo, continua, como corresponde a la equivalencia estructural del líquido y del sólido amorfo que acabamos de ver. En el cristal, todas sus distancias interatómicas minimizan la energía potencial de interacción, y ello entraña un brusco descenso de su energía interna a la temperatura de transición. Por el contrario, en el vidrio, la energía interna se reduce a causa de disminuir gradualmente la energía cinética de agitación térmica, al hacerlo la temperatura, lo cual lleva a parejas una contracción de volumen y una disminución de la energía potencial de interacción.

Pero graduales, con continuidad, al no tener lugar un reajuste estructural global o generalizado como sucede en un cristal. Dislocaciones. La plasticidad de los materiales, la maleabilidad y ductilidad de los mismos, es decir, su adaptabilidad frente a esfuerzos externos sin romperse, se explica modernamente merced a la formación y movimiento de dislocaciones en el seno de los sólidos.

Hemos repetido varias veces que son las imperfecciones de los cristales las que determinan con una mayor importancia que su propia estructura, es decir, naturaleza de sus componentes, enlaces y sistema cristalográfico, las propiedades mecánicas, eléctricas, ópticas, etc. Así, y con referencia a las propiedades elásticas de la materia, conviene efectuar algunas consideraciones. Un cristal perfecto suele ser rígido y, por consiguiente, mecanizable en el taller con dificultades.

Su elasticidad es limitada, mejor aún, la zona de esfuerzos que permiten satisfacer la ley de Hooke es limitada y, más allá de la misma, sobreviene fatalmente la rotura de la pieza, que es rígida e inadaptable. Por el contrario, la presencia de huecos o vacantes en la red cristalina confiere cierta movilidad interna a la misma. Recordemos a este respecto lo que decíamos en la emisión anterior con relación a la estructura líquida, fluida o fluyente, merced a la existencia de vacantes estructurales que conferían gran flexibilidad al sistema.

Ahora, en el estado sólido, la fluencia será, por supuesto, muy limitada, ya que la energía de agitación térmica es mínima, pero podrá presentarse, como respuesta o adaptación, de la pieza frente a cargas elevadas. De hecho, la coalescencia de huecos en fallas o dislocaciones y el movimiento de éstas permite redistribuir las tensiones internas del material, de tal suerte que las zonas menos cargadas puedan acudir en auxilio de las más fatigadas. Pensemos, por un momento, que esto es lo que precisamente ocurre con una mayor extensión en los líquidos, donde la presión hidrostática es la misma en cualquier dirección, siendo isótropo el campo de tensiones internas y existiendo una idónea transmisión de esfuerzos, como señala el principio de Pascal.

Ningún sólido se comporta como un líquido, pero su comportamiento plástico es sin duda alguna una reminiscencia de sus estados fluidos. Con un ultramicroscopio o microscopio electrónico ha podido constatarse experimentalmente la existencia de dislocaciones. Así, utilizando un compuesto metal o orgánico de platino, en el que los átomos de platino se hallan sobre planos cristalográficos separados por una distancia de 12 angstroms, se han podido detectar los huecos o vacantes de este metal, debido a que su absorción de electrones es muy superior a la existente en la parte orgánica del compuesto.

Asimismo, puede visualizarse la formación de una dislocación y seguir su movimiento a través de varias exposiciones fotográficas en distintos instantes, bajo la acción de esfuerzos externos adecuados. Los peldaños de la estructura de la materia. Un simple modelo, el de interacción molecular de Lennard-Jones, junto con nuestra concepción macroscópica de la materia en continua agitación térmica, ha permitido explicar un buen número de sus propiedades y diferenciar los tres estados, gaseoso, líquido y sólido, en términos de la importancia relativa de la energía de esta interacción molecular en relación a la cinética de agitación térmica.

Sin embargo, muchas cuestiones han quedado por contestar, tales como qué determina las diferentes propiedades químicas de los cuerpos, cuál es la estructura interna de las moléculas, por qué gran número de los elementos atómicos son estables y los restantes por qué no lo son. Para ello, no podemos seguir considerando a la materia como un colectivo de partículas constitutivas más o menos vinculadas, pero carentes de estructura interna. El estudio de tal estructura permitirá el poder responder a las anteriores preguntas.

Para ello, necesitaremos dos cosas. En primer lugar, arbitrar energías mucho más elevadas que las correspondientes a las fuerzas de Van der Waals, ya que los componentes moleculares estarán, en general, más fuertemente unidos entre sí que las moléculas de la materia. Y, en

segundo lugar, deberemos utilizar un marco de representación física del microcosmos que resulte adecuado y distinto del propio del macrocosmos.

Tal marco lo constituirá la física cuántica y será introducido en la siguiente misión radiofónica.