

Tecnología de Materiales

1.1 Introducción

A veces el trabajo más arduo es explicar las cosas más obvias. La propiedad más significativa de un sólido es su estabilidad mecánica, o sea su resistencia a cambiar de forma y tamaño frente a las fuerzas exteriores. En el estudio de los materiales la explicación de por qué un puente, o la rama de un árbol soporta su carga debe orientarse hacia las miríadas de enlaces atómicos que trabajando como pequeños resortes electrostáticos mantienen unidos a los átomos de la materia sólida proporcionándonos la Reacción a las cargas externas que postula Newton en su ley de acción y reacción.

¿Por qué las cosas se rompen? ¿Por qué los sólidos resisten cargas? O como dice J.E.Gordon en su excelente obra sobre Materiales cuyo título es "¿Por qué no nos caemos a través del suelo?"

Estamos tan acostumbrados a todo esto que en general uno no se replantea estas cuestiones aparentemente tan obvias.

Estas miríadas de enlaces químicos (enlaces metálicos, covalentes e iónicos) y/o físicos (Van der Waals y Puentes de hidrógeno) entre átomos y moléculas mantienen unidos a los sólidos y pueden destruirse de diferentes maneras, por ejemplo por fractura mecánica, por fusión, por disolución o por ataque químico.

Debido a que los enlaces son siempre los mismos, no importa por qué medio se los rompa, uno podría erróneamente suponer que ahora que los químicos y físicos saben mucho acerca de la naturaleza de los mismos no habría dificultad en relacionar la fractura mecánica con la disolución, la fusión o el ataque químico.

Decir esto sería suponer que el comportamiento mecánico de los materiales podría considerarse una rama de la química. Como veremos, el comportamiento mecánico de los materiales, esta por supuesto, relacionado con los enlaces atómicos pero la relación es tan indirecta que no existe actualmente una teoría que comunique simple y enteramente a la química clásica o la física atómica con la resistencia mecánica, la deformación y fractura de materiales que son en esencia los principales fenómenos asociados al comportamiento mecánico de los materiales.

Debido a ello las propiedades mecánicas, factores esenciales del comportamiento mecánico deben obtenerse por ensayos y no mediante ecuaciones basadas en magnitudes asociadas al átomo.

Esto lleva a que la moderna ciencia de materiales en general y la tradicional metalurgia en particular sean tópicos esencialmente empíricos, condición por la cual se las ha menospreciado comparativamente con ciencias más "teóricas" como la electricidad o electrónica las que abordan el trabajo de explicar el comportamiento de los electrones más matemáticamente pero solo por que los electrones tienen un comportamiento más sencillo de aproximar con ecuaciones que el comportamiento mecánico.

La teoría de la elasticidad, un bastión fundamental del comportamiento mecánico de materiales, postula antes que nada dos hipótesis a cumplir para ser válida, que los materiales puedan ser considerados continuos, homogéneos e isotrópicos y que las tensiones estén uniformemente distribuidas en la sección.

Sabemos que los materiales no son ni continuos ni homogéneos, tienen estructura a diferentes niveles, están formados por unidades discontinuas que llamamos átomos. Las tensiones tampoco están uniformemente distribuidas en la sección, están concentradas en los enlaces atómicos, separados entre sí por la distancia interatómica.

El estudio del comportamiento Mecánico sería muy dificultoso si fuese necesario estudiar separadamente las fuerzas sobre cada átomo. Debido a las miríadas de átomos involucrados describiremos el Comportamiento mecánico, dentro de lo posible en términos de Tensión y Deformación macroscópica promedio, más que términos de átomos individuales.

Para que esta simplificación sea válida el elemento de volumen elegido debe ser pequeño comparado con el espécimen de ensayo o la estructura en estudio pero suficientemente grande comparado con el átomo

Cuando la región en estudio es muy pequeña, de magnitudes atómicas, como por ejemplo una dislocación o la punta de una microfisura el concepto de Tensión es útil para describir las inmediaciones de tales regiones pero no los detalles de las mismas.

En las próximas líneas trataremos de describir lo más exactamente posible términos tales como Resistencia, Tenacidad, Fragilidad, los que se usan livianamente y a veces confusamente, tanto por legos como por profesionales para explicar el Comportamiento Mecánico de los Materiales.

También trataremos de explicar el hecho de que si calculásemos el esfuerzo que deberíamos hacer para romper un enlace atómico de un sólido cualquiera y multiplicásemos este valor por la cantidad de enlaces que atraviesan una dada sección obtendríamos un valor muchísimo mayor que el realmente necesario para romper el material a través de dicha sección. ¿Por qué los materiales son más débiles de lo que aparentemente deberían ser? ¿No sería más interesante preguntarse cuán resistentes deberían ser los materiales de lo que realmente son? Ya que el enlace atómico individualmente parece ser más resistente que en conjunto, en vez de aceptar esto como algo natural ¿será posible aumentar la resistencia de los sólidos?

Esta y otras preguntas solo pudieron ser respondidas recientemente por la Ciencia de Materiales.

1.2. Las Clases de Materiales de Ingeniería

Es común clasificar a los Materiales de Ingeniería en seis grupos, como se muestra en la Fig. 1. Metales, Cerámicos, Vidrios, Polímeros, Elastómeros y Materiales Compuestos.

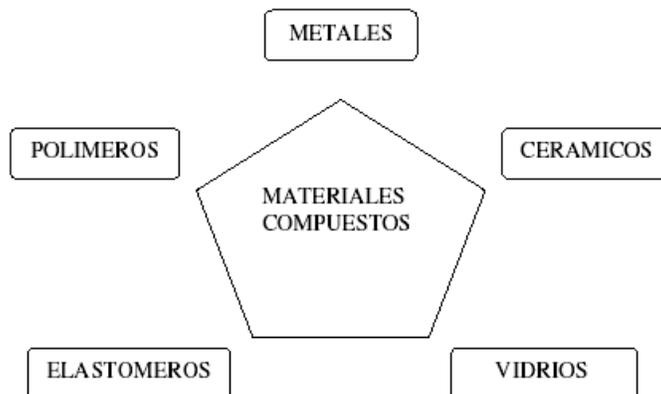


Fig. 1. El Menú de Materiales de Ingeniería

En rigor, los Elastómeros (gomas) y los Plásticos son todos Polímeros pero aquí hacemos una distinción debido a sus diferentes propiedades mecánicas aunque tengan similar Estructura Atómica.

En el caso de los Vidrios aunque tienen propiedades mecánicas similares a las de los cerámicos se los separa de ellos debido a su diferente estructura atómica (recordar que los cerámicos son cristalinos mientras que los vidrios tienen estructura amorfa).

Los Materiales de un grupo comparten propiedades, métodos de fabricación y similares aplicaciones.

Una de las propiedades que más frecuentemente se usan es el módulo de elasticidad de Young que mide la facilidad o dificultad para estirar un material determinado. Un material con un módulo de Young bajo, es un material fácil de estirar. Una de las unidades para medir el módulo de Young es el GPa o GigaPascal ($1 \text{ kp/cm}^2 = 98.000 \text{ Pa}$)

Los Metales tienen un módulo de elasticidad alto que varía entre 14 GPa para el Plomo y 500/600 GPa para el Wolframio y el Osmio, aunque inferior al de los Cerámicos que oscilan entre 50 GPa para el cemento y 1000 GPa para el Diamante. Pueden aumentar su resistencia por Solución Sólida, Tratamientos Térmicos o Mecánicos y aun así pueden mantener cierta plasticidad que evita su ruptura frágil y/o permite darles forma por procesos de Deformación Plástica. Cuando un Metal es sometido a una tensión σ llamada Sigma de falla finaliza el comportamiento elástico lineal y, en vez de fracturarse como lo hacen los cerámicos y vidrios, comienza la deformación plástica.

Ciertos Aceros de alta resistencia utilizados en la fabricación de resortes tienen ductilidades tan bajas como el 2% pero suficientes como para asegurar que el material se deforme plásticamente antes de la ruptura y así tener fracturas dúctiles y tenaces. Por otra parte y paradójicamente debido a la plasticidad los metales son presa de la Fatiga.

Los Metales resisten mejor los concentradores de tensión. La plasticidad de los Metales, hace aumentar el radio en el fondo de la entalla por deformación plástica, de esta manera la concentración de tensiones que es inversamente proporcional a este radio, disminuye.

Es por esta razón que los concentradores de tensión, siempre presentes en un material real, son mejor resistidos por un metal que por un vidrio o cerámico, ya que el metal a diferencia de los cerámicos y vidrios al deformarse plásticamente redondea el fondo de la entalla aumentando el radio, disminuyendo el factor concentrador, y las tensiones mismas. Además recordemos, el endurecimiento por acritud o trabajado mecánico en el fondo de la entalla eleva el valor σ_f en esa zona dificultando en un segundo ciclo de carga que el material entre en fluencia nuevamente. Esta es esencialmente la razón por la que se usan metales y no Cerámicos o Vidrios en la gran mayoría de las piezas de utilización Mecánica, siempre tan irregulares, con secciones variables, agujeros, ranuras, chaveteros, etc.

De todas las clases de Materiales los Metales son los menos resistentes a la Corrosión.

Los Cerámicos y Vidrios también tienen altos módulos de Elasticidad pero a diferencia de los metales cuando se alcanza el valor σ_f en vez de deformarse plásticamente se rompen. El valor de σ_c a la compresión es entre 10 y 15 veces mayor que en tracción y debido a su falta de plasticidad son más susceptibles que los metales a los concentradores de Tensión tales como agujeros, fisuras y entallas y a las cargas de contacto.

Los materiales frágiles, Cerámicos y Vidrios, siempre contienen defectos en forma de microfisuras distribuidas al azar, a veces más y a veces menos desfavorablemente orientadas con respecto a las tensiones. Este hecho hace que el valor de σ_f , en este caso Sigma de rotura tenga un valor con alta dispersión y dependiente del volumen del material ensayado ya que a un volumen mayor corresponde una mayor probabilidad de encontrar una fisura desfavorablemente orientada.

Debido a esto no es tan fácil diseñar con Cerámicos o Vidrios como lo es con Metales. Por otra parte tienen algunas cualidades realmente atractivas como ser su alta rigidez (alto valor de E, modulo de Young), alta resistencia a la abrasión (uso en cojinetes y herramientas de corte), resistencia a altas temperaturas, proporcional a su alto punto de fusión, debido a la alta resistencia de los enlaces atómicos covalentes e iónicos. Son resistentes a la corrosión y los cerámicos de última generación están suficientemente libres de defectos como para fabricar desde hojas de cuchillo paratrabajos livianos hasta alabes de turbinas (estacionarias).

Los Polímeros y Elastómeros se encuentran en el otro extremo del conjunto de Materiales. Tienen un Modulo de elasticidad E bajo, hasta 50 veces menor que el de los metales. Esto los hace poco rígidos y aunque en algunos casos su resistencia alcanza valores cercanos a la de los metales las deformaciones elásticas bajo cargas relativamente pequeñas suelen ser superiores a las permitidas por el diseño.

Debido a su baja temperatura de ablandamiento no resisten el Creep que tiene lugar aún a temperatura ambiente, lo que significa que un polímero aun con cargas tan bajas como su propio peso puede deformarse permanentemente por Creep a temperatura ambiente.

Un polímero cambia sus propiedades con la temperatura, y lo hace lamentablemente dentro de un rango muy pequeño, y un polímero que es tenaz a temperatura ambiente puede ser frágil a 4°C, la temperatura del interior de una heladera y sufrir Creep a 100°C la temperatura del agua hirviendo. No tienen aplicación por encima de los 200°C.

Por otra parte sus ventajas relativas son muchas y muy atractivas. Su resistencia por unidad de peso es similar a la de los metales, o sea son livianos. Son fáciles de moldear, permitiendo formas complicadas en pocas operaciones de formado y a baja temperatura lo que implica un ahorro de energía con respecto a los metales. Su gran deformación elástica se aprovecha en diseños tipo “snap” para el cierre o armado a presión fácil y barato.

Con una apropiada terminación superficial del molde y precoloración del material se puede evitar operaciones de acabado casi siempre costosas.

Los polímeros son resistentes a la corrosión atmosférica, pero se degradan bajo radiación ultravioleta (el sol) sufren hinchamiento en presencia de algunos solventes y a veces en agua por disolución de los mismos. Tienen bajos coeficientes de fricción. Un buen diseño debe explotar las virtudes y evitar los defectos del material.

Los Materiales Compuestos. Si bien se han usado desde la antigüedad en forma de materiales naturales como madera, papel, adobe, pastas etc., hoy los elaborados sintéticamente a partir de matrices poliméricas son los más prometedores. La mayoría son polímeros termorígidos, usualmente Epoxi o Poliéster, reforzados con fibras de Vidrio, de Carbono y de otro polímero, el Kevlar. Se usan, pero en menor medida, cerámicos reforzados por fibras de Boro.

Debido a su matriz polimérica los primeros son livianos, el refuerzo con fibras aumenta sustancialmente su rigidez (módulo de Young) y su tenacidad, por otra parte no resisten las temperaturas superiores a 200/250°C debido a su matriz polimérica. Son caros debido a lo difícil de la fabricación en serie de piezas en este material y el diseñador debe conocer bien el campo de aplicación donde el costo lo justifique.

La Fig.1 tiene el mérito de agrupar el universo de materiales en grupos con propiedades, utilidades y métodos de fabricación comunes.

Los peligros a los que el Ingeniero debe estar preparado son dos, por un lado la especialización en algún tipo de material suele descartar a otros arbitrariamente, como el caso de los Metalurgistas que no conocen acerca de por ejemplo Plásticos y por otro lado el pensamiento conservativo que suele decirnos "Si siempre se usó acero por algo debe ser"