

MATERIALES



TEMA 1 - PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de un material determinado se pueden clasificar en cinco grupos diferentes:

- Propiedades químicas.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas (físicas).
- Propiedades de fabricación.
- Propiedades estéticas y económicas
- Propiedades magnéticas.

Salvo las estéticas y económicas, las demás propiedades de un material dependen de su estructura interna y condicionan su comportamiento durante el proceso de fabricación, a la vez que le confieren utilidad para unas determinadas aplicaciones.

Ya que la estructura interna de un material define sus propiedades, si queremos modificar éstas habrá que variar de alguna manera su estructura interna; esto se consigue, en el caso de los metales, al alearlos entre sí o al someterlos a tratamientos térmicos.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Uno de los factores que limitan de forma notable la vida de un material es la alteración química que puede experimentar en procesos de oxidación o corrosión. Por ello, resulta imprescindible conocer las propiedades químicas de los materiales para así poder determinar su mayor o menor tendencia a sufrir procesos de este tipo.

Oxidación

Cuando un material se combina con el oxígeno, transformándose en óxidos más o menos complejos, se dice que experimenta una reacción de oxidación. De una forma esquemática, se puede representar el proceso de oxidación de la siguiente manera:



El signo + que precede a la energía indica que la reacción es exotérmica y, en consecuencia, transcurre hacia la formación del óxido. En cambio, si la reacción es endotérmica (signo - para la energía), puede deducirse que el material será de difícil oxidación.

Cuando un material se encuentra situado en una atmósfera oxidante, su superficie se oxida más o menos rápidamente; el óxido que se forma se deposita en la parte exterior del material recubriéndolo por completo. Para que el proceso de oxidación continúe en esa situación, el material o el oxígeno deben atravesar, por átomos de oxígeno como a los del material. Existen capas de óxidos que presentan mayor oposición a este movimiento que otras.

Para aumentar su resistencia a la oxidación, el acero dulce se alea con otro material (por ejemplo, con cromo, aluminio o silicio) que tenga una energía de oxidación mayor y una velocidad de oxidación menor que la suya.

En ese caso, el material añadido se oxida primero debido a su mayor energía de oxidación; pero al formarse una capa de óxido el proceso de oxidación se frena, transcurriendo a partir de entonces a una velocidad muy lenta.

Cuanto mayor sea la temperatura a la que se encuentra sometido un material, mayor será la velocidad a la que se produce su oxidación, pues un aumento de temperatura activa el proceso de difusión de los átomos del material y del oxígeno en la capa de óxido. Un aumento en la presión del oxígeno existente en el exterior se comporta de manera similar.

Corrosión

Cuando la oxidación de un material concreto se produce en un ambiente húmedo o en presencia de otras sustancias agresivas, se denomina **corrosión**. Ésta es mucho más peligrosa para la vida de los materiales que la oxidación simple, pues en un medio húmedo la capa de óxido no se deposita sobre el material, sino que se disuelve y acaba por desprenderse.

La corrosión no se verifica de una manera uniforme, sino que existen determinados puntos del material donde el ataque es mayor. Esto da lugar a la formación de importantes fisuras, que pueden llegar a producir una rotura por fatiga o una fractura frágil del material, si éste se encuentra soportando una tensión de forma cíclica (cambiando de sentido o de intensidad periódicamente) o bien a baja temperatura.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas se deben al ordenamiento en el espacio de los átomos de los materiales. Las más relevantes son las cinco siguientes:

- Densidad y peso específico.
- Propiedades eléctricas.
- Propiedades térmicas.
- Propiedades magnéticas.
- Propiedades ópticas.

Densidad y peso específico

Se denomina **densidad** a la relación existente entre la masa de una determinada cantidad de material y el volumen que ocupa. Su unidad en el Sistema Internacional es el kg/m^3 . La magnitud inversa de la densidad se conoce como **volumen específico**.

$$d = m/V$$

Por **peso específico** se entiende la relación existente entre el peso de una determinada cantidad de material y el volumen que ocupa. Su unidad en el SI es el N/m^3 .

$$p = F/V$$

Para determinadas aplicaciones, como por ejemplo en el caso de la navegación aérea, estas propiedades resultan determinantes para elegir uno u otro material.

Propiedades eléctricas

Todas las sustancias, en mayor o menor grado, son conductoras de la corriente eléctrica y también, según ciertas características de construcción y naturaleza, ofrecen una **resistencia** al paso de la corriente.

Todas estas propiedades condicionan, en muchos casos, el destino de un material en concreto. Así, por ejemplo:

. Los cables utilizados en la transmisión de energía eléctrica habrán de ofrecer una pequeña resistencia para evitar al máximo las posibles pérdidas de energía.

. En cambio, los materiales de elementos calefactores deben presentar una resistencia apreciable para que en ellos se libere, por efecto Joule, una gran cantidad de calor.

La resistencia eléctrica de un material conductor depende, entre otros factores, de su naturaleza; es decir, de la presencia de electrones móviles e n los átomos y de su grado de movilidad ante la acción de un campo eléctrico.

Esta propiedad, específica de cada sustancia, se denomina **resistividad**; se define como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un elemento de ese material de 1 metro de longitud y de 1 m² de sección. Se mide en Ohm.

Los metales son, en general, buenos conductores de la corriente eléctrica, pues su estructura interna es muy ordenada y los electrones no se encuentran *sujetos* a un determinado átomo. En cambio, la madera, los compuestos cerámicos, los polímeros... poseen resistividades muy altas, debido a que los electrones de sus átomos carecen prácticamente de movilidad; se dice que son malos conductores de la electricidad.

De acuerdo con su resistividad ρ , los materiales se clasifican en **conductores**, utilizados en cables de transmisión (ρ muy pequeño), y **aislantes** (ρ muy grande), según que permitan fácilmente o impidan casi por completo el paso de la corriente eléctrica a través de ellos.

Además de los materiales conductores y aislantes existen otros, denominados **semiconductores**, constituidos por silicio dopado con impurezas de **tipo n** (arsénico, fósforo) o de **tipo p** (galio, boro), que son la base de todos los componentes electrónicos.

Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas son aquéllas que están íntimamente relacionadas con la temperatura, es decir, con la vibración de sus partículas en torno a sus posiciones, y que, lógicamente, determinan el comportamiento del material en unas condiciones dadas.

Mencionaremos las siguientes:

Dilatación térmica

La mayoría de los materiales aumentan de tamaño (se dilatan) al aumentar su temperatura, siempre que no se produzcan cambios de fase. El origen de la dilatación térmica reside en que al aumentar la temperatura aumentan las vibraciones de las partículas (moléculas, átomos o iones) del material, lo que da origen a una mayor separación entre ellas.

Calor específico

Se define el calor específico (C) de una sustancia como la cantidad de energía térmica que es preciso aportar a la unidad de masa de dicha sustancia para elevar su temperatura en un grado, sin que se presenten cambios de fase. Se mide en J / (kg . K) en el Sistema Internacional, aunque también suele ser frecuente expresarlo en: cal / (g . °C). Así, la energía calorífica, Q, que será necesario comunicar para que una masa m de una determinada sustancia pase de una temperatura T1 a otra mayor T2 será:

$$Q = m \cdot C \cdot (T2 - T1)$$

Temperatura de fusión

Al calentar un sólido, el movimiento vibratorio de sus partículas se va haciendo cada vez más amplio, produciéndose la dilatación; pero si se continúa aumentando la temperatura llega un punto en el que la magnitud de las vibraciones es tal que la estructura del material no se puede mantener y se produce su fusión. La temperatura a la que esto sucede recibe el nombre de temperatura de fusión, la cual varía ligeramente con la presión. La temperatura de fusión a presión normal se conoce como punto de fusión. Ésta es una propiedad característica de cada sustancia y sirve en muchas ocasiones para identificarla. En casi todas las sustancias, salvo unas pocas - entre las que se encuentra el agua-, la fusión va acompañada de un aumento de volumen.

El punto de fusión de un sólido será tanto mayor cuanto mayores sean las fuerzas que mantienen unidas a sus partículas constituyentes (fuerzas de cohesión).

Según esto, los sólidos con puntos de fusión mayores serán los que presenten enlaces covalentes atómicos; le siguen los compuestos iónicos, los metálicos y, por último, los covalentes moleculares.

Si no se modifica la presión, mientras dura la fusión de una sustancia la temperatura permanece constante. Esto se debe a que toda la energía suministrada en forma de calor se invierte en romper la estructura interna del sólido. Al calor que es preciso comunicar a la unidad de masa de una sustancia que se encuentra a la temperatura de fusión para que se produzca el paso del estado sólido al líquido se denomina calor latente de fusión. Y al contrario, el calor que la unidad de masa de una sustancia desprende al pasar del estado líquido al sólido se denomina calor latente de solidificación.

Conductividad térmica

La transmisión del calor por conducción se verifica a través de los cuerpos desde los puntos de mayor a los de menor temperatura, y se debe a los choques de los átomos y de las partículas sub- atómicas entre sí.

La conductividad térmica (K) es un parámetro indicativo del comportamiento de cada cuerpo frente a este tipo de transmisión de calor. Las unidades de la conductividad térmica K en el Sistema Internacional son W/(m.K).

La conductividad térmica depende fundamentalmente de:

- La naturaleza de los cuerpos.
- La fase en la que se encuentran.
- La composición.
- La temperatura.

Propiedades magnéticas

Teniendo en cuenta su comportamiento frente a un campo magnético exterior, los materiales se pueden clasificar en tres grupos diferentes:

. Materiales **diamagnéticos**. Se oponen al campo magnético aplicado, de tal forma que en su interior el campo magnético es más débil. Son materiales diamagnéticos: bismuto, mercurio, oro, plata, cobre, sodio, hidrógeno, nitrógeno, etc.

. Materiales **paramagnéticos**. El campo magnético en su interior es algo mayor que el aplicado; ejemplos de materiales paramagnéticos son el aluminio, magnesio, platino, paladio, oxígeno, etc.

. En el interior de los materiales **ferromagnéticos** el campo magnético es mucho mayor que el exterior. Estos materiales se utilizan como núcleos magnéticos en transformadores y bobinas en circuitos eléctricos y electrónicos; los más importantes son el hierro, el cobalto, el níquel y sus aleaciones, así como los óxidos de hierro conocidos frecuentemente como *ferritas* y utilizados en circuitos electrónicos.

Propiedades ópticas

Cuando la luz incide sobre los cuerpos, éstos se pueden comportar de tres maneras distintas:

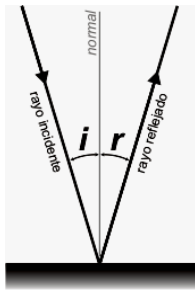
. Los cuerpos **opacos** absorben o reflejan totalmente la luz, impidiendo que pase a su través.

. Los cuerpos **transparentes** transmiten la luz, por lo que permiten ver a través de ellos.

. Por último, el tipo de cuerpos denominados **translúcidos** dejan pasar la luz, pero impiden ver los objetos a su través.

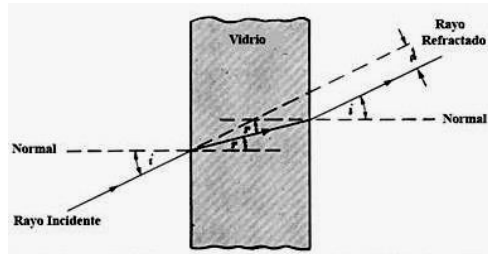
Al incidir la luz sobre la superficie de un cuerpo, una parte de ella se refleja; parte se transmite a través del cuerpo; otra parte se difunde, es decir, sufre una reflexión no especular en múltiples direcciones y, por último, la luz restante la absorbe el cuerpo, aumentando su energía interna, es decir, sufre refracción. El color que presenta un cuerpo se debe precisamente a la luz reflejada si el cuerpo es opaco, o a la que pasa a través de él si es transparente o translúcido. Si el cuerpo es lo bastante fino y no

opaco, la luz será capaz de atravesarlo después de refractarse en su interior y saldrá de nuevo. De lo contrario será completamente absorbida por el cuerpo y éste será opaco

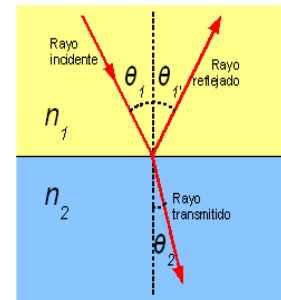


$$i = r$$

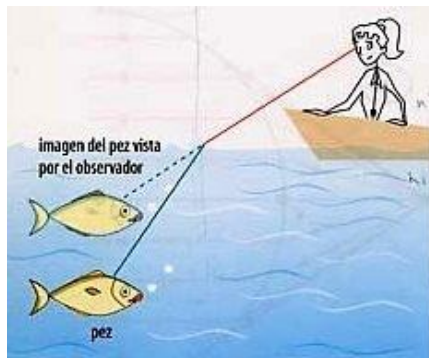
Reflexión
refracción (opaco)
(traslucido y transparente)



Refracción



Reflexión y



Refracción



Refracción

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores.

Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los más importantes para la determinación de las propiedades mecánicas de cualquier material. Los datos obtenidos se pueden utilizar para comparar distintos materiales y comprobar si algunos de ellos podrán resistir los esfuerzos a los que van a ser sometidos en una determinada aplicación.

Ensayo de compresión.

Se entiende que una pieza está sometida a esfuerzos de compresión cuando las fuerzas que actúan sobre ella lo hacen en el sentido de su eje longitudinal y además tienden a acortada,. Al igual que en piezas sometidas a tracción, la tensión será la misma para compresión, pero de sentido contrario, y las deformaciones serán en este caso aplastamientos.

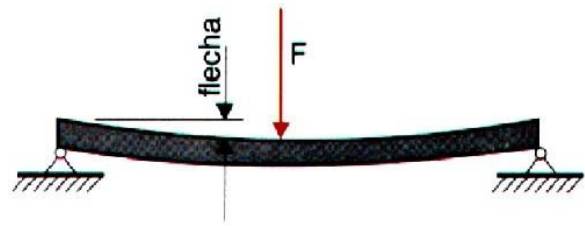
Ensayo de flexión

Se dice que una pieza está sometida a flexión cuando las fuerzas que actúan sobre ella lo hacen en sentido perpendicular a su eje longitudinal y tienden a curvarla.

La distancia de separación de su posición inicial en un punto de la

sección central de la pieza sometida a cargas de flexión se llama flecha. En la figura se muestran distintas piezas sometidas a flexión y el esquema de uno de estos ensayos.

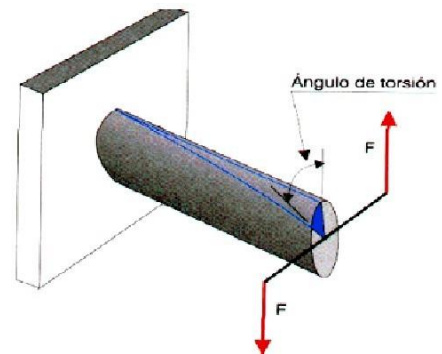
Normalmente este ensayo se suele utilizar para piezas de alta fragilidad en la que los resultados obtenidos en el ensayo de tracción no son válidos, o para piezas que van a trabajar exclusivamente con esta sollicitación, como las vigas de edificación.



Ensayo de torsión

Una pieza está sometida a torsión cuando actúan sobre ella un sistema de fuerzas en una sección perpendicular a su eje longitudinal, de forma que tienden a hacerla girar. En la figura se puede observar el esquema de una pieza sometida a torsión.

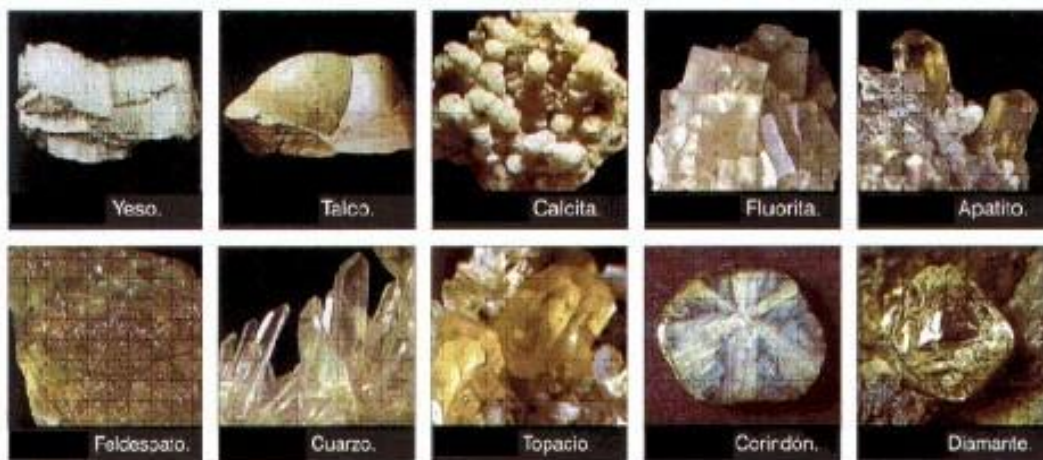
Para la realización del ensayo se fija un extremo de la pieza a la bancada de la máquina y el otro se sujeta por medio de unas mordazas a un cabezal giratorio, donde se van a ir introduciendo los esfuerzos progresivamente crecientes.



Ensayos de dureza

La propiedad mecánica de la dureza no está definida claramente, de manera que no se puede medir de una forma absoluta, sino que es necesario mencionar el método utilizado para su determinación. Entre ellos, se pueden citar los siguientes:

. Dureza mineralógica clásica. La dureza de los minerales, entendida como la resistencia que oponen a ser rayados, se puede medir mediante la llamada escala de Mohs (1822), que consta de 10 grados de dureza, cada uno de los cuales corresponde a un mineral determinado: *talco* (1), *yeso* (2), *calcita* (3), *fluorita* (4), *apatito* (5), *feldespato* (6), *cuarzo* (7), *topacio* (8), *corindón* (9) y *diamante* (10).



Los minerales de grados 1 y 2 pueden rayarse con la uña, mientras que los de grados 3,4,5 y 6 pueden ser rayados con un cuchillo. Todo mineral raya a los que posean un grado de dureza inferior al suyo y es rayado por los de dureza superior. Así, por ejemplo, un mineral que sea rayado por el topacio y que a su vez raye al cuarzo

posee una dureza comprendida entre 7 y 8. Este método resulta bastante impreciso por su carácter comparativo.

- **Métodos de retroceso.** Mediante estos métodos se mide la llamada dureza dinámica o elástica; para ello se calcula la energía que se consume en el choque de una pieza

- **Dureza a la penetración.** La dureza se mide como la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro. Esta es la base de los *ensayos Brinell, Vickers y Rockwell*, en los que se utilizan distintos tipos de penetradores que se aprietan con una fuerza determinada contra el material.

La dureza es una propiedad de gran importancia práctica, ya que está relacionada con el comportamiento del material frente a la abrasión o al desgaste, así como con la facilidad con que puede mecanizarse; por ejemplo, un material utilizado para moler mineral en una cantera debe ser muy duro para que apenas sufra desgaste en su trabajo.

Ensayo de resiliencia

El ensayo de resiliencia mide la tenacidad de los materiales. La tenacidad (propiedad inversa a la fragilidad) se define como la capacidad que tiene un material para almacenar energía, en forma de deformación plástica, antes de romperse. En ingeniería, la **resiliencia** es la cantidad de energía que puede absorber un material, antes de que comience la deformación irreversible, esto es, la deformación plástica. En muchos metales existe un intervalo de temperaturas, conocido como zona de transición, en el que se produce una disminución considerable de la resiliencia al disminuir la temperatura. Esto da origen, conforme se describe a continuación, a dos tipos diferentes de roturas para un mismo material: la rotura frágil y la dúctil.

Fractura

La fractura de un sólido se puede definir como su separación en dos o más partes como consecuencia de los efectos de una tensión. Existen dos tipos diferentes de fractura:

- **Fractura dúctil**, en la que se produce una importante deformación plástica en la zona de rotura. Debido a la irregularidad de esta deformación plástica, se originan superficies de fractura mates.

- **Fractura frágil**, en la que el material se separa según un plano y sin que apenas se produzca deformación plástica. Este tipo de fractura, que es típica de materiales cerámicos, vidrio y metales muy duros, origina superficies brillantes.

La aparición de la fractura frágil se debe a las fisuras de diminuto tamaño existentes en un elemento del material, que pueden estar presentes desde su fabricación. Así sucede, por ejemplo, en las uniones de puentes, barcos, etc., que no se pueden construir de una sola pieza; o también pueden generarse a lo largo de la vida del elemento, como consecuencia de un proceso de fatiga o de un desgaste.

Fatiga

Por fatiga se entiende la situación en la que se encuentran algunas piezas de motores, puentes, ejes, etc. sometidas a cargas cíclicas de valor inferior al crítico de rotura del material. Los ciclos de carga pueden ser muy diferentes, aunque los datos que más interesan son los de la amplitud del ciclo y la tensión media. Cuando una pieza se encuentra sometida a un proceso de fatiga, las grietas de tamaño diminuto existentes (por el proceso de fabricación o de trabajo) en el material van creciendo progresivamente hasta que en un momento dado el tamaño de la grieta mayor es lo suficientemente grande como para que se produzca la rotura del elemento.

Fluencia

Los elementos sometidos a altas temperaturas, como turbinas, calderas, reactores, etc., experimentan deformaciones plásticas importantes, a pesar de que a

temperatura ambiente y sometidos a la misma carga, apenas se deformarían elásticamente.

Se define como fluencia la lenta y continua deformación plástica que sufre un material a alta temperatura. La deformación por fluencia que experimenta un material es tanto mayor cuanto mayor sea la temperatura, o la carga aplicada, o el tiempo que dicha carga ha estado actuando.

Ensayos no destructivos

Como ya se dijo en la introducción al tema, estos métodos se utilizan para detectar posibles irregularidades en la masa del material, como grietas microscópicas, impurezas de otros materiales, pequeños poros, etc., y se basan en la medición de determinadas propiedades de los materiales que pueden ser alteradas por defectos de las piezas.

. Ensayos magnéticos y eléctricos.

Los métodos magnéticos se basan en la propiedad de que si un material es imantado con un campo homogéneo, las líneas de flujo magnético son desviadas por las perturbaciones que pueda tener el material en su interior. Para detectar estas perturbaciones, se esparce en la superficie a ensayar una solución con polvo magnetizable en la que se puede apreciar las posibles desviaciones de las líneas de fuerza.

Evidentemente, este método sólo es aplicable a materiales susceptibles de imantación y además tiene la limitación de que no es posible detectar deficiencias muy profundas.

. Ensayos con líquidos penetrantes

Se basa en la propiedad penetrante de algunos líquidos que son capaces de introducirse en los posibles defectos superficiales de las piezas. Se utilizan soluciones de aceite caliente o petróleo en los que se sumerge la pieza a ensayar y, una vez seca, se la espolvorea con cal fina o talco (productos muy higroscópicos) que succionan las pequeñas cantidades de líquido atrapadas en las microfisuras, de forma que se hacen visibles.

. Ensayos con rayos X y gamma

Se emplean los rayos X con un método similar al usado en medicina. La pieza a examinar se somete a la acción de los rayos, que la atraviesan, e impresionan una placa fotográfica situada al otro lado de ésta.

. Ensayos con ultrasonidos

Los ultrasonidos son ondas vibratorias, similares a las del sonido, de alta frecuencia.

PROPIEDADES DE FABRICACIÓN

Las propiedades de fabricación informan acerca de la posibilidad de someter un material a una determinada operación industrial.

Entre estas propiedades, se pueden mencionar las siguientes:

. Maleabilidad: indica si un material se puede estirar en láminas sin romperse.

. Ductilidad: señala si se puede estirar en forma de hilos.

. Forjabilidad: da idea de la capacidad que posee un material para ser forjado.

. Maquinabilidad: indica si se pueden aplicar procesos de arranque de viruta al material.

. Otras propiedades, que se refieren a la capacidad para someter al material a procesos de extrusión, soldadura, etc.

■ Propiedades mecánicas

Están relacionadas con la forma en que reaccionan los materiales al actuar fuerzas sobre ellos

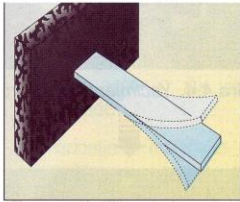


Figura 4.8(a). Elasticidad. Capacidad que tienen algunos materiales para recuperar su forma, una vez que ha desaparecido la fuerza que los deformaba.

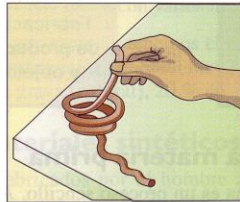


Figura 4.8(b). Plasticidad. Habilidad de un material para conservar su nueva forma una vez deformado. Es opuesta a la elasticidad.

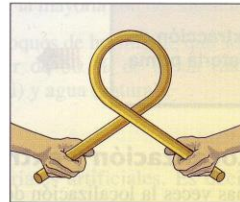


Figura 4.8(c). Ductilidad. Es la capacidad que tiene un material para estirarse en hilos (por ejemplo, cobre, oro, aluminio, etc.).

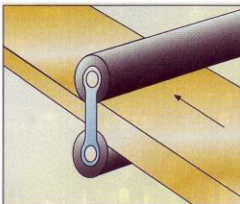


Figura 4.8(d). Maleabilidad. Aptitud de un material para extenderse en láminas sin romperse (por ejemplo, aluminio, oro, etc.).

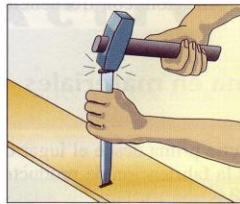


Figura 4.8(e). Dureza. Oposición que ofrece un cuerpo a dejarse rayar o penetrar por otro o, lo que es igual, la resistencia al desgaste.

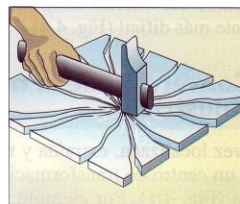


Figura 4.8(f). Fragilidad. Es opuesta a la resiliencia. El material se rompe en añicos cuando una fuerza impacta sobre él.

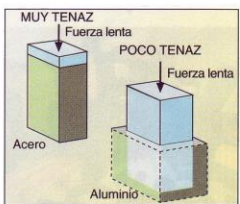


Figura 4.8(g). Tenacidad. Resistencia que opone un cuerpo a su rotura cuando está sometido a esfuerzos lentos de deformación.

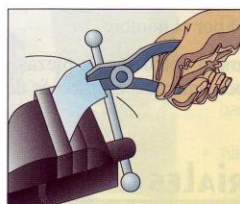


Figura 4.8(h). Fatiga. Deformación (que puede llegar a la rotura) de un material sometido a cargas variables, inferiores a la de rotura, cuando actúan un cierto tiempo o un número de veces determinado.



Figura 4.8(i). Maquinabilidad. Facilidad que tiene un cuerpo a dejarse cortar por arranque de viruta.

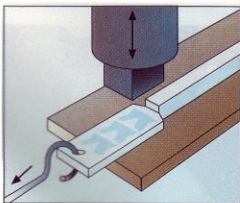


Figura 4.8(j). Acritud. Aumento de la dureza, fragilidad y resistencia en ciertos metales como consecuencia de la deformación en frío.

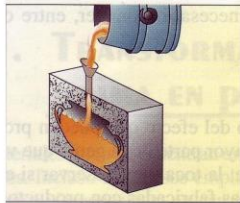


Figura 4.8(k). Colabilidad. Aptitud que tiene un material fundido para llenar un molde.

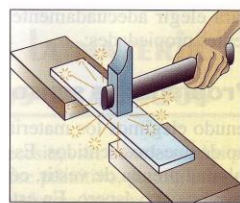


Figura 4.8(l). Resiliencia. Resistencia que opone un cuerpo a los choques o esfuerzos bruscos.