Propiedades Generales de los Materiales

Escuela Universitaria de Diseño Industrial: Procesos Industriales

Fundiciones o Hierros de Fundición

- Ventajas: costo relativamente bajo y facilidad de fabricación.
- Algunos son poco resistentes a la tracción comparados con los aceros, pero al igual que la mayor parte de los materiales fundidos tienen altas resistencias a la compresión.
- Densidad ligeramente inferior a la del acero en aproximadamente 0.25 lb/in3 (6 920 kg/m3).
- La mayoría no exhiben una relación lineal esfuerzo-deformación por debajo del límite elástico (no obedecen la ley de Hooke). Su módulo de elasticidad E se estima trazando una línea desde el origen hasta un punto sobre la curva a la cuarta parte de la resistencia máxima a la tensión y en el rango de 14-25 Mpsi (97-172 MPa).
- La composición química del hierro fundido difiere de la del acero principalmente por su mayor contenido de carbono, entre 2 y 4.5%. Esta considerable cantidad de carbono, presente en algunos hierros fundidos en forma de grafito, hace que estas aleaciones sean fáciles de vaciar como líquido de fundición y también fáciles de maquinar cuando pasan a sólidas.
- El procedimiento de fabricación más común es el vaciado en arena, con operaciones de maquinado subsecuentes. Los hierros fundidos, en cambio, no se sueldan con facilidad.

Fundiciones: Aplicaciones

- **HIERRO DE FUNDICIÓN BLANCO** Es un material muy duro y frágil. Es difícil de maquinar y tiene usos limitados, como **recubrimientos para mezcladoras de cemento**, donde es necesaria su dureza.
- **HIERRO DE FUNDICIÓN GRIS** Es el hierro colado de uso más común. Sus escamas de grafito le dan apariencia y nombre. La ASTM gradúa el hierro gris en siete clases, basadas en resistencia mínima a la tensión en kpsi. La clase 20 tiene una resistencia a la tensión mínima de 20 kpsi (13 8 MPa). Los números de clase 20, 25, 30, 35, 40, 50 y 60 a continuación van representando el punto de fluencia a la tensión en kpsi. Su costo aumenta al incrementar su resistencia a la tensión. Esta aleación es fácil de vaciar como fusión líquida y fácil de maquinar cómo sólido; además, ofrece buena amortiguación acústica. Esto la hace de **elección popular para bastidores de máquinas, bloques motores, rotores y tambores de frenos, etcétera**. Las escamas de grafito también le dan buena lubricidad y resistencia al desgaste. Su resistencia a la tensión relativamente baja hace que no se utilice donde estén presentes grandes cargas a la flexión o a la fatiga, aunque a veces se utilizan en cigüeñales de motores de bajo costo. Si está lubricada, funciona razonablemente bien en contacto con el acero.
- **HIERRO DE FUNDICIÓN MALEABLE** Tiene una resistencia a la tensión más elevada que el hierro de fundición gris, pero no se desgasta igual de bien. El punto de fluencia a la tensión puede ir desde 50 hasta *120 kspi (345* a *827* MPa), dependiendo de la fórmula. Se utiliza en **piezas donde estén presentes esfuerzos a la flexión**.
- **HIERRO DE FUNDICIÓN NODULAR (DÚCTIL)** Tiene el **punto** de fluencia a la tensión más elevado de todos los hierros fundidos, yendo desde *70* hasta *135 kpsi (480* a 930 MPa). El nombre *nodular* proviene del hecho que sus partículas de grafito son de forma esferoidal. La fundición de hierro dúctil tiene un módulo de elasticidad superior (unos 25 Mpsi *{172* GPa}) al hierro de fundición gris, y exhibe una curva lineal esfuerzodeformación. Es más tenaz, más resistente, más dúctil y menos poroso que el hierro de fundición gris. **Se trata del hierro fundido de elección para piezas sujetas a cargas por fatiga, como cigüeñales, pistones y levas.**

Aceros fundidos

- El acero fundido es similar al acero forjado, en lo que respecta a su contenido químico, es decir, tiene mucho menos carbono que el hierro fundido.
- Las propiedades mecánicas del acero fundido son superiores a la del hierro fundido, pero inferiores a las del acero forjado. Su ventaja principal es su facilidad de fabricación por fundición en arena o a la cera perdida.
- El acero fundido se clasifica de acuerdo con su contenido de carbono, en: de bajo carbono (< 0.2%), de medio carbono (de 0.2-0.5%) y de alto carbono (> 0.5%).
- Las resistencias a la tensión de las aleaciones de acero fundido van desde aproximadamente 65 hasta 200 kpsi (450 a 1380 MPa).

Aceros forjados

El término "forjado" se refiere a todos los procesos que manipulan la forma del material, sin fundirlo. El laminado entre rodillos (o rolado) en caliente y en frío son los dos métodos más comunes aunque con muchas variables, como el trefilado de alambre, el embutido profundo, la extrusión y el embutido en frío. El denominador común es la deformación deliberada del material para cambiar su forma, ya sea a la temperatura ambiente o a temperaturas elevadas.

Aceros Laminados en Caliente

- Se produce al obligar a lingotes calientes de acero a pasar por un conjunto de rodillos o troqueles que progresivamente modifican su forma, hasta convertirlos en vigas en I, canales, ángulos, planos, cuadrados, redondos, tubos, hojas, placas, etc.
- El terminado superficial de las formas laminadas en caliente es áspera debido a la oxidación a temperaturas elevadas.
- Las propiedades mecánicas son también relativamente bajas, porque el material termina en un estado recocido o normalizado, a menos que deliberadamente se les dé un tratamiento térmico posterior.
- Son la **elección típica para miembros de acero estructural de bajo carbono utilizados en la construcción de edificios o en los bastidores de máquinas**. El material laminado en caliente también se emplea en piezas de máquina que estarán sujetas a maquinado extenso (engranes, levas, etcétera) donde el terminado inicial de la materia prima no es importante y lo que se desea es uniformidad de propiedades de un material no trabajado en frío, previo a un tratamiento térmico planeado.

Aceros Laminados en Frío

- Se produce a partir de lingotes o de formas laminadas en caliente.
- La forma es llevada a su dimensión final haciéndola pasar entre rodillos de acero endurecido o trefilándola a través de dados a la temperatura ambiente. Los rodillos o dados pulen la superficie trabajando en frío el material, incrementando su resistencia y reduciendo su ductilidad**.**
- Buen terminado superficial y dimensiones precisas, en comparación a materiales rolados en caliente. Su resistencia y dureza se han incrementado a expensas de incorporar esfuerzos significativos, que posteriormente se eliminan durante el maquinado, la soldadura o un tratamiento térmico, causando entonces distorsión. Las formas roladas en frío disponibles de manera común son **láminas, tiras, placas, barras redondas y rectangulares, tubos, etcétera**. Ciertas formas estructurales, como vigas en I, son sólo roladas en caliente.

Aceros de Aleación

- Tienen agregados varios elementos en pequeña cantidad, para mejorar resistencia, dureza, resistencia a la temperatura, resistencia a la corrosión y otras propiedades. Con estos elementos de aleación se puede combinar cualquier nivel de carbono.
- Se agrega cromo para mejorar la resistencia a la ductilidad, la tenacidad, la resistencia al desgaste y la capacidad de endurecimiento.
- Se agrega níquel para mejorar la resistencia, sin perder ductilidad, y mejora también la capacidad de endurecimiento por cementación.
- El molibdeno, utilizado en combinación con níquel y/o cromo, añade dureza, reduce la fragilidad e incrementa la tenacidad.
- La resistencia máxima a la tensión de los aceros aleados puede variar desde 80 hasta 300 kpsi (550 a 2070 MPa), dependiendo de los elementos de aleación y del tratamiento térmico.

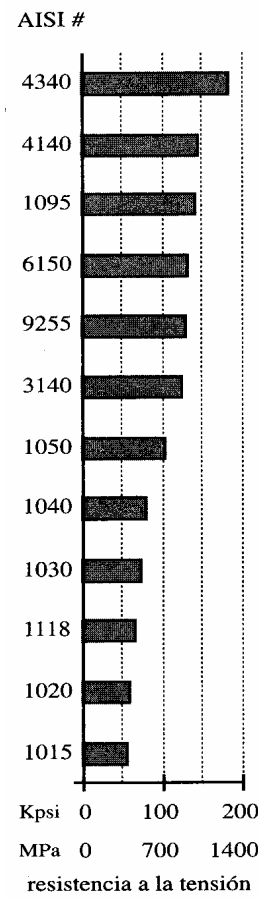


FIGURA 2-18

Aproximadas resistencias máximas a la tensión de algunos aceros normalizados

Aceros Inoxidables

- Son aceros aleados que contienen por lo menos 10% de Cr y ofrecen una mucho mayor resistencia a la corrosión en comparación con los aceros básicos o aleados. Hay cuatro tipos de aceros inoxidables: el **martensítico, el ferrítico, el austenítico** y el de **endurecimiento por precipitación.**
- El acero inoxidable **martensítico** contiene 11.5 a 15% de Cr y 0.15 a 1.2% de C; es magnético y puede endurecerse por tratamiento térmico, siendo de uso común en **cuchillería**. El acero inoxidable **ferrítico** tiene más de 16% de Cr y un bajo contenido de C; es magnético, blando y dúctil, pero no es posible darle tratamiento térmico aunque se mejora ligeramente su resistencia mediante trabajo en frío. Se utiliza para **piezas de embutido profundo, como los utensilios de cocina**, y tiene mayor resistencia a la corrosión que el acero inoxidable martensítico. Los aceros inoxidables ferríticos y martensíticos se conocen ambos como aceros inoxidables de la serie 400.
- El acero inoxidable **austenítico** es aleado con 17 a 25% de cromo y 10 a 20% de níquel. Tiene mejor resistencia a la corrosión debido al níquel; no es magnético y tiene excelente ductilidad y tenacidad. No es posible endurecerlo, excepto mediante trabajo en frío. Está clasificado como acero inoxidable de la **serie 300.**
- Los aceros inoxidables de la serie 300 son muy soldables, pero los de la serie 400 no tanto. Todos los grados de acero inoxidable tienen una conductividad térmica inferior a la del acero normal, y muchos de los aceros inoxidables son dificiles de maquinar. Todos los aceros inoxidables son con mucho más costosos que el acero normal. Vea el apéndice C para datos sobre sus propiedades mecánicas.

Resistencia de los Aceros

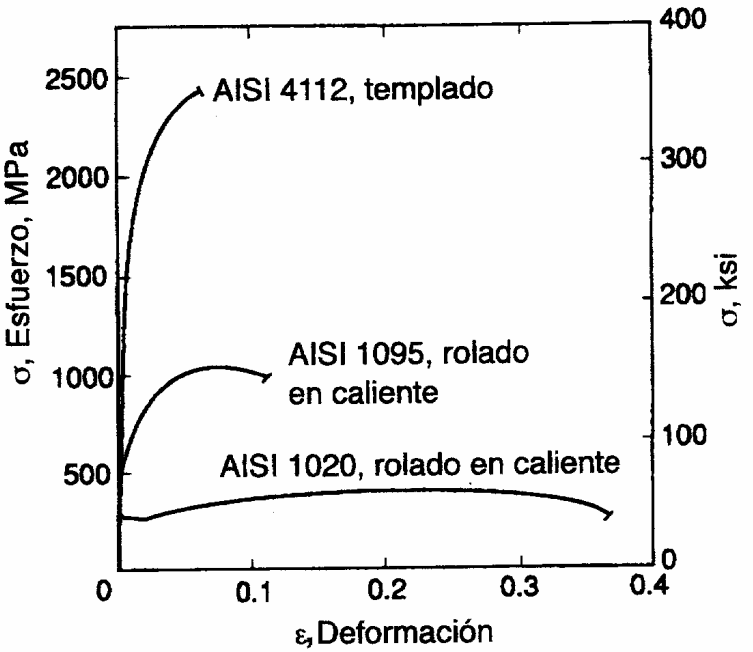


FIGURA 2-19

Curvas esfuerzo-deformación de pruebas a tensión de tres aleaciones de acero (de la figura 2-16, pág. 160 en el *Mechanical Behavior of Materials* de N. E. Dowling, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1993, con permiso)

Aluminio

- El aluminio es el metal no ferroso de más amplio uso, apenas en el segundo lugar, detrás del acero, en el consumo mundial. El aluminio se produce tanto en su "forma pura" como en aleación. El aluminio está disponible comercialmente hasta con 99.8% de pureza. Los elementos de aleación más comunes son el cobre, el silicio, el magnesio, el manganeso y el zinc, en diversas cantidades, hasta alrededor de 5%.
- Propiedades: baja densidad, buena relación resistencia a peso, ductilidad, excelente maquinabilidad, capacidad de fundición y de soldadura, resistencia a la corrosión, alta conductividad y coste razonable. En comparación con el acero, tiene un tercio de la densidad (0. 10 lb/in3 comparado con 0.28 lb/in3), alrededor de la tercera parte de su rigidez (E = 71 GPa en comparación con 207 GPa), y es menos resistente. Si se comparan las resistencias del acero al bajo carbono y del aluminio puro, el acero es aproximadamente tres veces más resistente. Por lo que en esta comparación su resistencia específica es casi igual. Sin embargo, en aplicaciones de ingeniería rara vez se utiliza aluminio puro. **Es demasiado blando y débil**. Las principales ventajas del aluminio puro son su terminado brillante y su elevada resistencia a la corrosión. Su uso principal es en aplicaciones de tipo decorativo.

Alaciones de Aluminio

- Poseen resistencias muy superiores al aluminio puro. Uso fundamental en la industria aeronaval y la automovilística.
- Las aleaciones de aluminio de resistencia superior tienen resistencias a la tensión en el rango de los 480 a 620 MPa y resistencias o límites elásticos de casi el doble del acero dulce. En su resistencia específica pueden compararse favorablemente con aceros al medio carbono. En algunas aplicaciones el aluminio compite con éxito con el acero, aunque donde se requiera alta resistencia pocos materiales le ganan al acero.
- El aluminio es de los materiales de ingeniería de maquinabilidad más sencilla, aunque al ser trabajado tiene tendencia a endurecerse. Se vacía, máquina, suelda y conforma en caliente y en frío de manera sencilla. También puede ser extruido. Las aleaciones se formulan especialmente para fundición tanto en arena como en troquel, así como para formas, forjados, extruidos y comprimidos.

Aleaciones de Aluminio

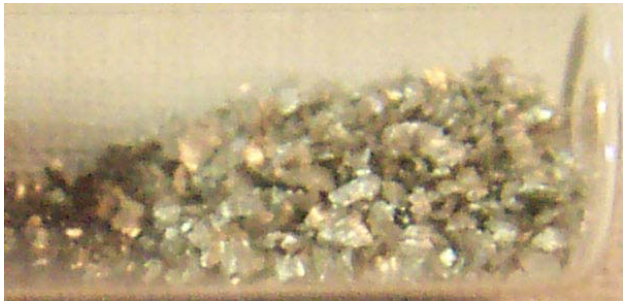
TABLA 2-6 **Designaciones de aleaciones de aluminio de la Aluminum Association**
Lista parcial - hay otras aleaciones - consulte a los fabricantes

Serie	Elementos principales de aleación	Aleaciones secundarias
1xxx	Comercialmente puro (99%)	Ninguno
2xxx	Cobre (Cu)	Mg, Mn, Si
3xxx	Manganeso (Mn)	Mg, Cu
4xxx	Silicio (Si)	Ninguno
5xxx	Magnesio (Mg)	Mn, Cr
6xxx	Magnesio y silicio	Cu, Mn
7xxx	Zinc (Zn)	Mg, Cu, Cr
Designaciones de dureza		
xxxx-F	Según fabricación	
xxxx-O	Recocido	
xxxx-Hyyy	Endurecido mediante trabajo	
xxxx-Tyyy	Endurecido térmicamente o por envejecimiento	

Titanio

- Tiene un límite superior de temperatura de servicio de 650 a 750ºC, pesa la mitad del acero (4 429 kg/m3) y es tan resistente como un acero de resistencia media (930 MPa). Su módulo de Young es de 110 a 124 GPa, alrededor de 60% del correspondiente al acero. Su resistencia específica se acerca a la de los aceros de aleación más resistentes, y excede en un factor de 2 a la de los aceros de resistencia media. Su rigidez específica es superior a la del acero, lo cual lo hace bueno y hasta mejor para limitación de deflexiones. No magnético.
- Muy resistente a la corrosión y no-tóxico, lo que permite su uso en contacto con alimentos y productos químicos ácidos y alcalinos, y en el interior del cuerpo humano como reemplazos en válvulas cardiacas y articulaciones de la cadera, por ejemplo. Pero es costoso en comparación con el aluminio y el acero. Se utiliza mucho en la **industria aerospacial, sobre todo en la estructura de aeronaves espaciales y motores a reacción, donde se requiere resistencia y poco peso, así como elevada resistencia a la temperatura y a la corrosión**.
- Disponible en estado puro y en aleación con combinaciones de aluminio, vanadio, silicio, hierro, cromo y manganeso. Es posible endurecer y anodizar sus aleaciones. Catálogo muy limitado de formas comerciales. Puede ser forjado, aunque es bastante difícil de fundir, maquinar y formar en frío igual que el acero y a diferencia con la mayor parte de los demás metales, algunas aleaciones de titanio exhiben un límite de resistencia a la fatiga verdadero, es decir, una nivelación de la resistencia a la fatiga más allá de 106 ciclos de carga repetida.

Magnesio



- Es el metal comercial más ligero, pero es relativamente débil. La resistencia a la tracción de sus aleaciones está entre 69 y 345 MPa. Los elementos de aleación más comunes son el Al, el Mg y el Zn. Debido a su baja densidad (1800 kg/m3), su resistencia específica se acerca a la del aluminio. Su módulo de Young es de 45 GPa y su rigidez específica excede tanto la del aluminio como la del acero. Es muy fácil de fundir y maquinar, pero es más frágil que el aluminio y, por lo tanto, es difícil de formar en frío.
- No-magnético. Resistencia razonable a la corrosión, mejor que la del acero, pero no tan buena como la del Al. Algunas aleaciones de magnesio son endurecibles, y todas ellas suelen ser anodizables. Es el metal más activo de la escala galvánica, y en un entorno húmedo no puede combinarse con la mayor parte de los demás metales. También es **inflamable en extremo**, sobre todo en forma de polvo o virutas, y su llama no se extingue con agua. Para impedir el fuego, su maquinado requiere la inundación con un refrigerante a base de aceite. Es casi dos veces más costoso que el Al. El Mg se emplea donde el poco peso sea de importancia fundamental, como en fundiciones para carcasas de sierras portátiles, así como en otros elementos manuales.

Cobre, Latones y Bronces.

- El cobre puro es blando, débil y maleable; se emplea principalmente en **tuberías, protección a la intemperie, conductores eléctricos (alambres) y en motores.** Se trabaja en frío con facilidad y después de conformado se hace frágil, requiriendo recocido entre sucesivos estirados.
- Son posibles muchas aleaciones con el cobre. Las más comunes son los latones y los bronces, que por sí mismos son familias de aleaciones. Los **latones,** en general, son aleaciones de cobre y zinc en varias proporciones y se emplean en muchas aplicaciones, desde casquillos de artillería y balas, hasta lámparas y joyería.
- Los **bronces** originalmente fueron definidos como aleaciones de cobre y estaño, pero también ahora incluyen aleaciones que no contienen estaño, como el bronce al silicio, el bronce al aluminio por lo que su terminología es algo confusa. El **bronce al silicio** sirve para aplicaciones marinas, como las hélices de los barcos.

Aleaciones de Cobre

- El **cobre al berilio** no es bronce ni latón; es la más resistente de las aleaciones, con resistencias que se acercan a la de los aceros aleados (1.380 MPa). Se suele utilizar en aquellos resortes que no deban ser magnéticos, que deban transportar electricidad o que tengan que estar en entornos corrosivos. El **bronce fosforado también** sirve para resortes; a diferencia del bronce al berilio, no puede ser torcido a lo largo del grano o sujeto a tratamiento térmico.
- El cobre y sus aleaciones tienen excelente resistencia a la corrosión y no son magnéticos. Todas las aleaciones de cobre son fundibles y se pueden formar en caliente o en frío, así como maquinar. Pero el cobre puro es difícil de maquinar. Algunas aleaciones son tratables térmicamente y todas ellas se endurecerán por trabajo. El módulo de Young de la mayor parte de las aleaciones de cobre es de alrededor de 117 GPa y su densidad es ligeramente superior a la del acero a 8 580 kg/m^3. En comparación con otros metales estructurales, las aleaciones de cobre son costosas.

Monel

- Monel es una marca registrada de Inco Corporation. Es resistente a la oxidación y al ataque químico. Estuvo de moda entre 1900 y 1950.
- Composición:
- 66.5% Nickel & Cobalto, 1.2% Acero, 31.5% Cobre, Carbono 0.3%, Silicona 0.5%.
- Resistente al agua de mar, ácidos sulfúrico hidroclorídrico, hidrofluorídrico y orgánicos.
- Alta resistencia a la temperatura: resiste hasta más de 1 500º C.
- El alambre para grapas de Monel cuesta sobre $9.00/LB incluso antes de convertir el alambre en grapas.
- **¿Es mejor el Monel que el acero inoxidable?**
- Sí para la mayoría de las aplicaciones. El Monel es más caro pero, en teoría, no se corroerá ni presenta reacciones galvánicas como puede hacerlo el acero.

Propiedades Generales de los No Metales

- Hay tres categorías de no metales de interés general para la ingeniería: **polímeros** (plásticos), **cerámicos y compuestos.**
- Los **polímeros** tienen una amplia variedad de propiedades, sobre todo un peso reducido, una resistencia y rigidez relativamente bajas, una buena resistencia a la corrosión dieléctrica y un costo bajo por unidad de volumen.
- Los **materiales cerámicos** llegan a tener una resistencia a la compresión bastante alta (pero no a la tracción), alta rigidez (fragilidad), alta resistencia a la temperatura, alta resistencia dieléctrica (resistencia a la corriente eléctrica) y elevada dureza, así como un costo relativamente bajo por unidad de volumen.
- Los **materiales compuestos** pueden tener prácticamente cualquier combinación de propiedades que usted desee incorporar, incluyendo las resistencias específicas más elevadas que puedan obtenerse de cualquier otro material. Los compuestos pueden ser de costo muy bajo o muy alto.

Polímeros

- Los polímeros son moléculas de cadena larga, de materiales orgánicos o de compuestos basados en carbono. La fuente es el petróleo o el carbón, que contienen el carbono o los hidrocarburos necesarios para la creación de los polímeros. Existen muchos compuestos poliméricos naturales (cera, hule, proteínas,...), pero los polímeros para aplicaciones de ingeniería son, en su mayoría, artificiales.
- Sus propiedades se pueden adecuar en grado amplio mediante copolimerización con otros compuestos, o a través de aleaciones de dos o más polímeros juntos. También son comunes las mezclas de polímeros con materiales inorgánicos, como el talco o la fibra de vidrio.
- En comparación con los metales tienen baja densidad, baja resistencia, baja rigidez, curvas esfuerzo-deformación elástica no lineales (con unas cuantas excepciones), baja dureza y una excelente resistencia eléctrica y a la corrosión; además, son fáciles de fabricar. Su módulo de elasticidad aparente varía ampliamente, desde 69 MPa hasta unos 2.8 GPa todos ellos son mucho menos rígidos que cualquier metal. Su límite de resistencia a la tensión van desde alrededor de 28 MPa para el polímero más débil no reforzado, hasta unos 152 MPa para polímeros más resistentes reforzados con vidrio. El peso específico de la mayor parte de los polímeros van desde 0.95 a 1.8, en comparación con alrededor de 2 para el magnesio, 3 para el aluminio, 8 para el acero y 13 para el plomo. Aunque las resistencias absolutas de los polímeros son reducidas, sus resistencias específicas son de considerables, dadas sus bajas densidades.

TABLA 2-7
Familias de polímeros

Termoplásticos
Celulósicos
Etilénicos
Poliamidas
Poliacetales
Policarbonatos
Óxidos de polifenilina
Polisulfonas
Termoestables
Aminos
Elastómeros
Epoxis
Fenólicos
Poliésteres
Siliconas
Uretanos

Polímeros

- Los polímeros se dividen en dos clases: **termoplásticos y termoestables.**
- Los **polímeros termoplásticos** se pueden fundir y solidificar repetidamente, aunque las altas temperaturas de fusión llegan a menguar sus propiedades. Los termoplásticos son fáciles de modelar, y su merma o excedente se puede volver a moler y remoldear.
- Las cadenas de los **polímeros termoestables** se entrecruzan la primera vez que se calientan y al recalentarse se quemarán, pero no se fundirán. Este entrecruzamiento crea conexiones (como los barrotes de una escalera) entre largas cadenas de moléculas giran y se retuercen a través de un polímero. Estos entrecruzamientos añaden resistencia y rigidez.
- Otra división entre polímeros se puede definir entre los compuestos reforzados y no reforzados. Los materiales de refuerzo son por lo general materiales inorgánicos, como negro de humo, grafito, talco, fibras cortas de vidrio y polvos metálicos. Los refuerzos se agregan tanto a resinas termoplásticas como a las termoestables, aunque se utilizan con mayor frecuencia con estas últimas. Estos compuestos reforzados tienen una resistencia a la rigidez y una resistencia a la temperatura superiores a las de los polímeros sin reforzar, aunque son más difíciles de moldear y fabricar.

Materiales Cerámicos

- Los materiales cerámicos de ingeniería suelen ser compuestos de elementos metálicos y no metálicos. Pueden ser únicamente un óxido de un metal, mezclas de óxidos metálicos, carburos, boruros, nitruros y otros compuestos como el Al203, el MgO, el SiC y el Si3N4.
- Las propiedades principales de los materiales cerámicos son elevada dureza y fragilidad, alta resistencia a la temperatura y a productos químicos, elevada resistencia a la compresión y superior resistencia dieléctrica, así como costo y peso reducidos.
- Los materiales cerámicos son demasiado duros para maquinar mediante técnicas convencionales, y por lo general son formados por compactación de polvos y después quemados o sinterizados para formar enlaces entre partículas, lo que incrementa su resistencia. La compactación de polvos se efectúa con troquel o mediante presión hidrostática. Algunas veces se mezcla polvo de vidrio con el material cerámico y el resultado se quema, con lo que se funde el vidrio y se incorporan ambos.
- En aplicaciones como bloques fundidos para motor, pistones y otras piezas de motor, se han hecho intentos para reemplazar los metales tradicionales por productos cerámicos. A menudo se utilizan compuestos cerámicos rociados por plasma como recubrimiento duro sobre sustratos metálicos, a fin de obtener superficies resistentes al desgaste y a la corrosión.

Materiales Compuestos

- Los compuestos artificiales suelen ser una combinación de algún material resistente y fibroso, como el vidrio, el grafito o las fibras de boro, cementado en una matriz de resina, como un epoxi o un poliéster. Ejemplo: la fibra de vidrio es un compuesto de poliéster reforzado con fibra de vidrio (GFRP).
- Las propiedades direccionales del material compuesto se pueden adecuar a cada aplicación mediante la organización de las fibras en distintas yuxtaposiciones, paralelas, entrelazadas de manera aleatoria o en ángulos específicos, o enrolladas alrededor de un mandril.
- Los compuestos especiales cada vez tienen mayor uso en aplicaciones de alto esfuerzo, como estructuras de aeronaves, dadas sus elevadas razones resistencia/peso en comparación con metales estructurales más comunes. Además, en ciertos materiales compuestos es posible diseñar cierta resistencia a la temperatura y a la corrosión. Estos compuestos no son homogéneos ni isótropos.

TABLA 2-8
Resistencias del hierro y del acero

Forma	S_{ut} kpsi (MPa)
Teórico	2900 (20*E*3)
Fibra larga	1800 (12*E*3)
Alambre delgado	1400 (10*E*3)
Acero dulce	60 (414)
Hierro fundido	40 (276)