

Capítulo I

Os materiais --- e suas propriedades ---

Se pudéssemos voltar no tempo até a época em que nossos antepassados inventaram utensílios de pedra e viver a história do ser humano a partir dali, veríamos que ocorreram mudanças bastante significativas.

No início da civilização, o ser humano tinha acesso a um número muito limitado de materiais, todos retirados diretamente da natureza. Há muitos séculos ele descobriu que com aquecimento e resfriamento (tratamento térmico) podia modificar as propriedades mecânicas de metais, isto é, torná-los mais duros, mais moles, mais maleáveis etc. Mais tarde, percebeu também que a rapidez com que o metal era resfriado e a adição de outras substâncias influíam decisivamente nessas modificações. Assim como os metais, milhares de materiais diferentes surgiram com características bastante específicas que atendem às necessidades de nossa sociedade, tais como plásticos, vidros etc.

Novas técnicas contribuíram para melhorar a exploração dos recursos, ampliar a variedade de produtos, desenvolver novos materiais e processos de produção que permitiram o crescimento social e econômico da humanidade.

Embora o processo de produção do aço ainda mantenha suas origens, ou seja, extração do minério, aquecimento e transformação, a busca por novas ligas cada vez mais limpas é uma realidade. O mesmo ocorre com os materiais derivados do petróleo: os combustíveis, os polímeros e as fibras sintéticas.

Figura 1.1

Novas técnicas e melhorias nas condições de trabalho nas minas contribuíram para a exploração dos minérios.



RUBENS CHAVES/PULSAR IMAGENS

Hoje, no entanto, é necessário que os novos projetos possibilitem a criação de produtos utilizando os recursos conscientemente. Projetos inteligentes devem ser propostos para melhorar a vida e integrá-la ao meio ambiente.

1.1 Classificação dos materiais

Os materiais podem ser classificados em metálicos e não metálicos e subdivididos conforme o esquema da figura 1.2.

Uma tendência para o futuro é a substituição de materiais pesados por outros mais leves e resistentes. Empresas fabricantes de veículos estão investindo em novas tecnologias para produzir veículos mais leves que os atuais e, consequentemente, menos poluidores. A indústria de aviação vem usando, na fuselagem das aeronaves, cada vez mais compósitos de dois ou mais tipos de materiais diferentes, o que as torna mais leves e reduz seu consumo de combustível.

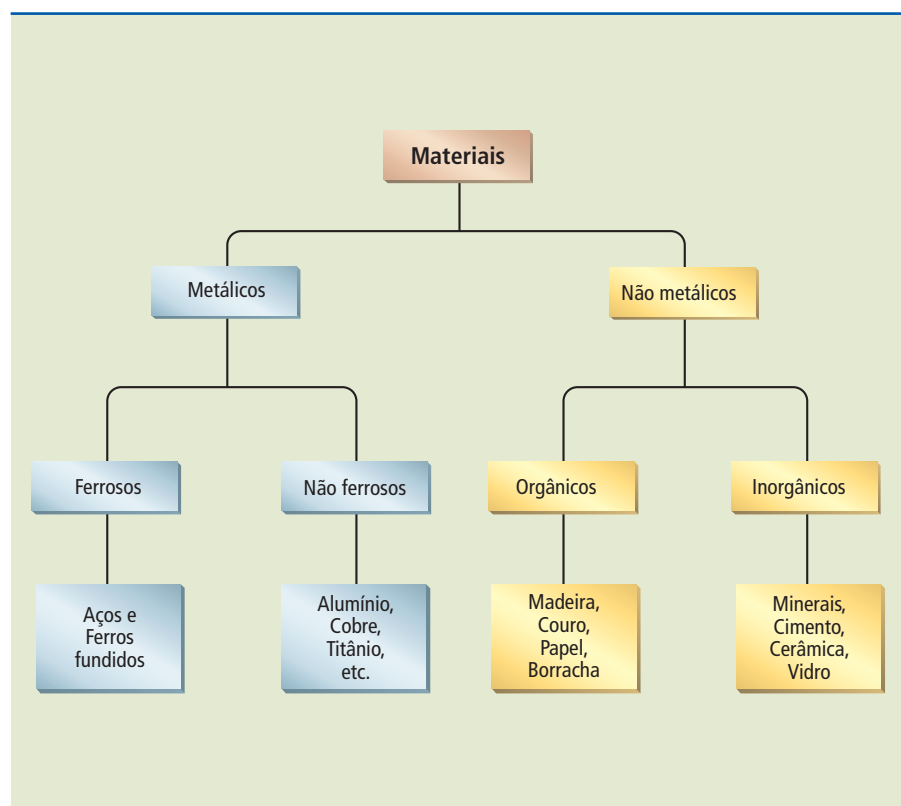


Figura 1.2

Esquema de classes dos materiais.

Materiais renováveis também são desenvolvidos, visto que a maioria dos que utilizamos provém de recursos não renováveis como o petróleo. Tais recursos, que serão escassos em futuro próximo, deverão ser substituídos por outros renováveis para garantir a qualidade do meio ambiente.

1.1.1 Grupos de materiais

Tradicionalmente os materiais são classificados em quatro grupos: metais, cerâmicos, polímeros e compósitos.

Metais

São elementos químicos sólidos a temperatura ambiente (23 °C) e pressão atmosférica de 1 atm (com a única exceção do mercúrio). Caracterizam-se por brilho, opacidade, dureza, ductilidade (permitem ser esticados em arames finos) e maleabilidade (possibilitam sua redução a lâminas delgadas). Outras propriedades físicas são sua elevada densidade, boa fusibilidade e, principalmente, os altos coeficientes de condutividade térmica e elétrica.

Figura 1.3

Entre suas características físicas, os metais possuem boa fusibilidade.



DAVID MCNEWMSTAFF/GETTY IMAGES

Uma característica interessante dos metais é o fato de possuírem a chamada “nuvem de elétrons”, ou seja, elétrons livres abundantes que não estão sujeitos a grandes forças intermoleculares e, por isso, se deslocam com facilidade entre uma eletrosfera e outra. Muitas das propriedades dos metais estão diretamente ligadas a esses elétrons.

Metais são os materiais estruturais primários de toda a tecnologia e incluem um grande número de ligas ferrosas (por exemplo, ferro fundido, aço-carbono, ligas de aços etc.).

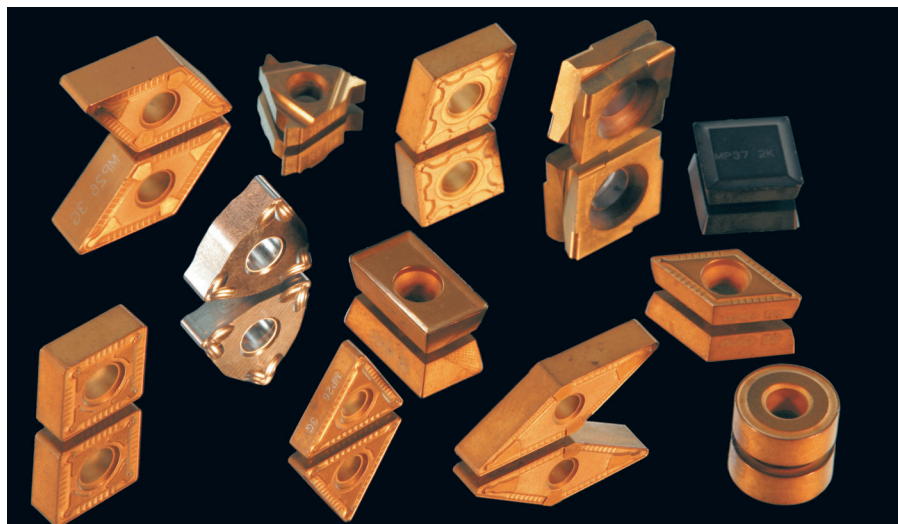
Cerâmicos

São compostos sólidos formados pela aplicação de calor, algumas vezes calor e pressão, constituídos por ao menos um metal e um sólido elementar não metálico (isolante ou semicondutor) ou um não metal. Propriedades tais como facilidade de conformação, baixo custo e densidade, resistência à corrosão e a temperaturas elevadas fizeram com que os materiais **cerâmicos** tradicionais conquistassem posições de destaque em diferentes setores industriais e artísticos.

O nome deriva da palavra grega *keramikós*, que significa “de argila”.

Algumas dessas propriedades fascinaram muitos industriais, que passaram a produzir peças técnicas com esses materiais, conhecidas como os cerâmicos de engenharia. Podem ser citados como exemplos os carbonetos (carboneto de silício, SiC), os nitretos (nitreto de silício, Si_3N_4), óxidos (alumina, Al_2O_3), silicatos (silicato de zircônio, ZrSiO_4) etc. Atualmente, os materiais cerâmicos são utilizados na indústria aeroespacial, na blindagem térmica das naves, na indústria nuclear, como combustível (UO_2) de reatores de potência etc.

Tecnicamente é possível classificá-los por suas funções químicas (óxidos, carbonetos e nitretos) ou mesmo pela origem mineralógica, como o quartzo, muito utilizado na produção de sensores eletrônicos e fototérmicos. A outra maneira é pela manufatura, isto é, pela moldagem – a extrusão e a moldagem por injeção. Esses materiais podem ser vistos em tijolos, telhas refratárias (revestimentos de fornos etc.). Os cerâmicos podem ainda ser aplicados em ferramentas de corte para usinagem (figura 1.4), componentes eletrônicos, sensores químicos e catalisadores entre outros.



METALPIKALAMYOTHEMAGES

Figura 1.4

Pastilhas de corte feitas de material cerâmico com revestimento superficial.

Polímeros

A palavra polímero tem origem no grego: *poli* (muito) + *mero* (parte), e é exatamente isso, a repetição de muitas (*poli*) unidades (*mero*) de um tipo de composto químico. Polimerização é o nome dado ao processo no qual as várias unidades de repetição (monômeros, de *móno*: só, único, isolado) reagem para gerar uma cadeia de polímero.

Existe no mercado grande quantidade de tipos de polímeros, derivados de diferentes compostos químicos. Cada polímero é mais indicado para uma ou mais aplicações dependendo de suas propriedades físicas, mecânicas, elétricas, ópticas e outras.

Os tipos de polímeros mais consumidos atualmente são os polietilenos, polipropilenos, poliestirenos, poliésteres e poliuretanos, que devido a sua grande produção

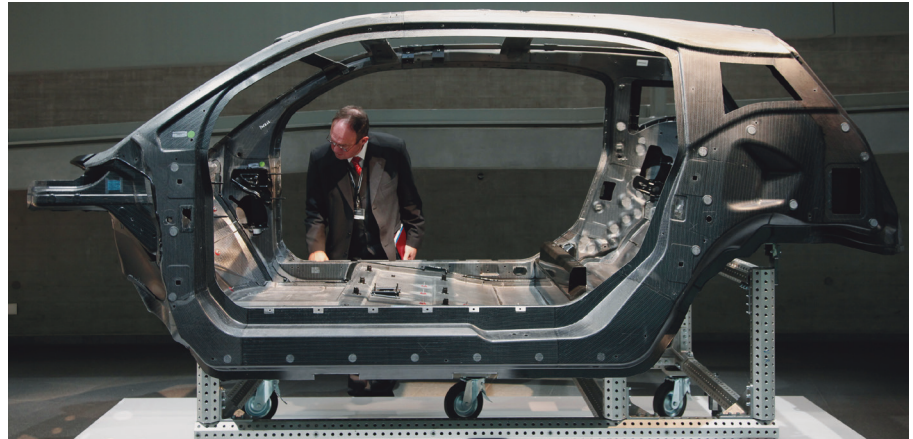
e utilização são chamados polímeros *commodities*. Outras classes de polímeros, como os poliacrilatos, policarbonatos e fluorpolímeros, têm tido uso crescente. Vários outros polímeros são fabricados em menor escala por terem uma aplicação muito específica, ou pelo alto custo. São chamados plásticos de engenharia.

Compósitos

Compósito é um material em cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais diferentes, por exemplo, metais e polímeros, metais e cerâmicas ou polímeros e cerâmicas. O *fiberglass* (plástico reforçado com fibra de vidro) é um exemplo familiar, no qual as fibras de vidro são adicionadas a um material polimérico. Esse compósito foi desenvolvido para combinar as melhores propriedades dos materiais que o constituem, ou seja, a dureza do vidro e a flexibilidade do polímero. Outro exemplo de compósito é a fibra de carbono, amplamente utilizada na construção civil em estruturas de concreto para aumentar sua resistência.

A indústria automobilística também se beneficia dessa tecnologia na construção de chassis de veículos leves para melhora de desempenho, por causa do baixo peso.

Figura 1.5



BLOOMBERG/GETTY IMAGES

Além desses quatro grupos, podemos citar ainda os **semicondutores** e os **bio-materiais**.

1.2 Propriedades dos materiais

Com que critério é feita a escolha do material adequado para determinada peça, considerando, por exemplo, a variedade de materiais usados na fabricação de um automóvel (ferro, aço, vidro, plásticos, borracha, cerâmicos etc.)? Cabe aos técnicos em mecânica auxiliar as decisões na escolha de materiais adequados, como parte do projeto mecânico, levando em consideração diversas variáveis.

Para fazermos a escolha, devemos levar em conta propriedades como resistência mecânica, condutividade elétrica e/ou térmica, densidade e outras. Além disso, devemos considerar o comportamento do material durante o processamento e o

uso em que são requeridas plasticidade, usinabilidade, estabilidade elétrica e durabilidade química.

1.2.1 Propriedades mecânicas

Propriedades mecânicas são aquelas que definem o comportamento do material, segundo determinado esforço a que ele pode ser submetido. O conjunto de propriedades mecânicas é baseado nas seguintes características do material.

Resistência mecânica

Resistência mecânica é a capacidade de uma estrutura de suportar esforços externos sem sofrer deformações plásticas. Os esforços externos podem ser: tração, flexão, torção, cisalhamento, compressão, dobramento e outros. Essa propriedade é definida por meio de **ensaios mecânicos**. A figura 1.6 apresenta um diagrama (deformação por tensão) obtido por meio de ensaios de tração para determinar as propriedades mecânicas dos materiais.

Esse assunto é abordado com maior abrangência no livro *Projetos e ensaios mecânicos*.

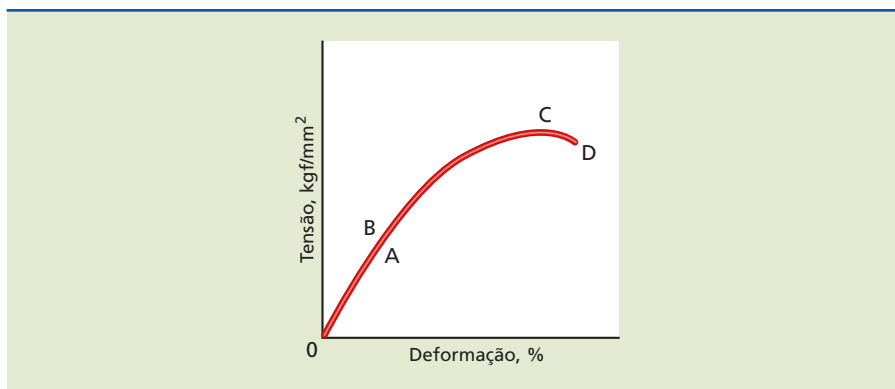
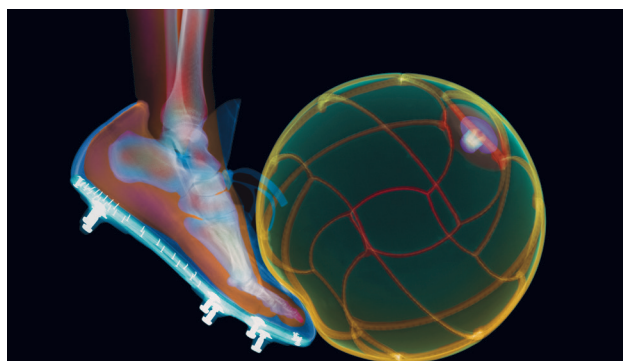


Figura 1.6

Diagrama tensão-deformação.

Elasticidade

É a propriedade que os materiais apresentam de recuperar a forma quando as tensões deformantes são retiradas ou diminuídas. Um exemplo de deformação elástica ocorre quando pisamos em uma bola, que se deforma com uma força externa e retorna ao formato original após a retirada da força.



GUSTOIMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/SPL DCLATINSTOCK

Figura 1.7

Plasticidade

É a propriedade que certos materiais apresentam de se deformarem permanentemente, ou seja, assumirem tamanhos ou formas diferentes sem se romperem e sem sofrerem alterações significativas em sua estrutura quando submetidos a pressões ou choques. Exemplo de plasticidade é a de uma chapa de aço que dobramos para que obtenha a forma desejada. A deformação não seria possível se o material não tivesse essa propriedade. A plasticidade pode ser subdividida em:

Maleabilidade

É a propriedade que um material tem de se deformar sob pressão ou choque. Um material é maleável quando, sob tensão, não sofre rupturas ou fortes alterações na estrutura (endurecimento). Essa tensão pode ser aplicada por aquecimento. Se a maleabilidade a frio é muito grande, o material é chamado plástico.

Ductilidade

É a capacidade que os materiais possuem de se deformarem plasticamente sem se romperem. Lembrando que deformação plástica é a propriedade de um material mudar de modo irreversível, ao ser submetido a uma tensão.

Dureza

É a propriedade característica de um material sólido de resistir à penetração, ao desgaste, a deformações permanentes, e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos. A determinação da dureza é obtida por meio de ensaios em equipamentos nomeados de durômetros, que são estudados no capítulo Ensaio mecânicos no volume 1 de Mecânica.

Fragilidade

É a propriedade mecânica do material que apresenta baixa resistência aos choques. O vidro, por exemplo, é duro e bastante frágil.

Fluência (*creep*)

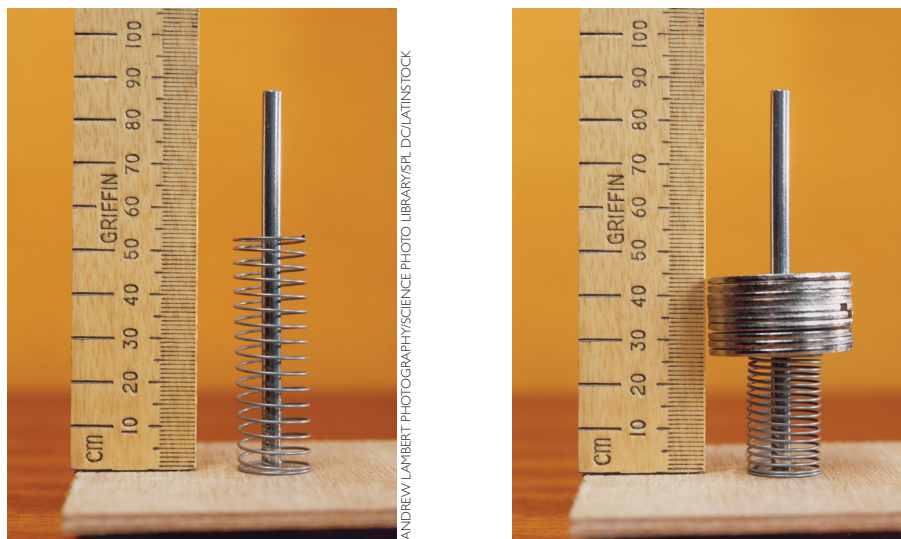
Um corpo que sofre alongamento contínuo que pode conduzir à ruptura tem fluência. Essa é uma característica de materiais ferrosos (aços e ferros fundidos) quando submetidos a cargas de tração constantes em temperaturas elevadas.

A fluência ocorre mesmo quando o material é submetido a tensões em temperatura ambiente, mas nessa temperatura ela é desprezível comparada com a que ocorre nas temperaturas elevadas. Certas peças ficam inutilizadas se alongarem apenas 0,01%.

Resiliência

É a propriedade do material de resistir a esforços externos como choques ou pancadas, sem sofrer deformação permanente. Como exemplo, podemos citar molas, ferramentas de corte etc.

Figura 1.8



Tenacidade

É a capacidade de absorver energia até ocorrer a fratura. Quando a energia é absorvida progressivamente, acontece a deformação elástica e plástica do material, antes de se romper.

A tenacidade é mensurada pela área total do diagrama tensão-deformação. Comumente se diz que um material é tenaz na medida de sua resistência à ruptura por tração. Nem sempre isso é verdadeiro, pois alguns aços doces são mais tenazes que os aços duros. Esse fato se deve às características dos aços duros, que apresentam deformação em sua ruptura.

1.2.2 Propriedades tecnológicas

São propriedades dos materiais de serem trabalhados em processos de fabricação usuais. As propriedades tecnológicas são as seguintes.

Fusibilidade

A fusibilidade é a propriedade do material de passar do estado sólido para o líquido sob ação do calor. Existe em todos os metais. Porém, para ser industrialmente viável, é necessário que o metal tenha ponto de fusão relativamente baixo e que, durante o processo de fusão, não ocorram oxidações profundas, nem alterações na estrutura.

Principais temperaturas de fusão:

Alumínio: 650 °C;

Ferro puro: 1 530 °C;

Aços: 1 300 °C a 1 500 °C;

Gusa e fofo: 1 150 °C a 1 300 °C;

Zinco: 420 °C;

Chumbo: 330 °C;

Cobre: 1 080 °C;

Estanho: 235 °C.

Soldabilidade

É a propriedade de certos metais de se unirem, depois de serem aquecidos. O metal ou liga que muda de modo rápido do estado sólido para o líquido dificilmente é soldável (ferro fundido, por exemplo).

Figura 1.9



Temperabilidade

Após um aquecimento prolongado, seguido de resfriamento brusco, alguns metais endurecem e mudam sua estrutura cristalina. A essa mudança damos o nome de temperabilidade. Essa característica modifica todas as propriedades mecânicas do material. Aços de boa temperabilidade são aplicados quando se necessita de alta resistência mecânica para todo o material, ou seja, a peça deve possuir uma distribuição de dureza igual ao longo da seção.

Usinabilidade

É a resistência oferecida ao corte, medida pela energia necessária para usinar o material no torno, sob condições padrão. É obtida por meio de uma comparação com a de um material padrão, que, por convenção, é igual a 100 (aço B1112). O conhecimento da usinabilidade de um material permite calcular os tempos necessários de usinagem para programar uma fabricação. Alguns tratamentos térmicos são indicados para melhorar a usinabilidade dos materiais.

Fadiga

Quando um material está sujeito a esforços dinâmicos durante longo período, observa-se um “enfraquecimento” das propriedades mecânicas ocasionando a ruptura. A esse enfraquecimento chamamos fadiga. A fadiga pode ser também superficial, provocando desgaste de peças sujeitas a esforços cíclicos, como ocorre em dentes de engrenagens. Podemos citar ainda como exemplo um clipe, que, ao aplicarmos nele uma força para cima e para baixo (esforço cíclico), se aquece até se romper por fadiga.

1.2.3 Propriedades térmicas

Os materiais submetidos a variações de temperaturas apresentam diferentes comportamentos devido a algumas propriedades.

Condutividade térmica

É a propriedade física dos materiais de transferir mais ou menos calor. Temos como materiais bons condutores de calor: prata (Ag), cobre (Cu), alumínio (Al), latão, zinco (Zn), aço e chumbo (Pb). Exemplos de materiais maus condutores de calor: pedra, vidro, madeira, papel.

Dilatação

Dilatação é o aumento do volume de um corpo que sofre variação em sua temperatura quando submetido à ação do calor. A dilatação de um material está relacionada ao chamado coeficiente de dilatação térmica, que pode ser linear, superficial ou volumétrico.

1.2.4 Propriedades elétricas

A **condutividade elétrica** é a propriedade que possuem certos materiais de permitir maior ou menor transporte de cargas elétricas. Os materiais em que esse transporte se dá com facilidade são chamados condutores, uma característica dos metais. Já os que praticamente impedem a passagem de corrente elétrica são chamados isolantes. O cobre, suas ligas e o alumínio conduzem bem a eletricidade e, por isso, são empregados na fabricação de fios e aparelhos elétricos. Algumas ligas de Cr-Ni e Fe-Ni são pouco condutoras e servem para construção de resistências elétricas, por exemplo, em reostatos. Exemplos de materiais isolantes são a madeira seca e a baquelite.

1.2.5 Propriedades eletromagnéticas

A característica mais comum associada às propriedades eletromagnéticas é a **suscetibilidade magnética**. É a propriedade de um material ficar magnetizado sob a ação de uma estimulação magnética, ou seja, é o grau de magnetização de um material em resposta a um campo magnético.

Na natureza existem alguns materiais que, na presença de um campo magnético, são capazes de se tornarem um ímã. Esses materiais são classificados em ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos.

Ferromagnéticos

São materiais (ferro, cobalto, níquel e as ligas formadas por essas substâncias) que se imantam fortemente quando colocados na presença de um campo magnético.

Paramagnéticos

São materiais que possuem elétrons desemparelhados que, na presença de um campo magnético, se alinham formando um ímã que tem a capacidade de provocar um leve aumento na intensidade do valor do campo. São materiais paramagnéticos: o alumínio, o magnésio e o sulfato de cobre, entre outros.

Diamagnéticos

São materiais que, se colocados na presença de um campo magnético, têm seus ímãs elementares orientados no sentido contrário ao do campo, ou seja, “repelem” o campo magnético. São substâncias diamagnéticas: o bismuto, o cobre, a prata e o chumbo, entre outros.

1.2.6 Propriedades físicas

No conjunto das propriedades físicas dos materiais se destacam a densidade relativa e o peso específico.

Densidade relativa

A densidade relativa é a relação entre a massa específica de um corpo e a massa específica da água, nas condições de ensaio. Essa relação nos dá um número adimensional por causa do quociente.

Em projetos mecânicos procura-se aliar baixa densidade com alta resistência mecânica, levando-se em conta a viabilidade econômica.

Peso específico

Ligado à densidade relativa está o **peso específico**, que é a relação entre a massa e a unidade de volume do corpo. Por exemplo, o peso específico do aço é $7\,800 \text{ kg/m}^3$.



1.2.7 Propriedades químicas

Resistência à corrosão

É a propriedade que o material tem de evitar danos causados por outros materiais que possam deteriorá-lo. O efeito da oxidação direta de um metal ou de um material orgânico como a borracha é o dano mais importante observado. Também merece destaque a resistência do material à corrosão química. A atenção que damos aos nossos carros é um exemplo óbvio da preocupação com a corrosão. Como o ataque pela corrosão é irregular, é muito difícil medi-la. A unidade mais comum utilizada para medir a corrosão é polegadas ou centímetros/milímetros de superfície perdida por ano.

A necessidade de utilização de metais a altas temperaturas e em meios altamente corrosivos, como a água do mar para a indústria petrolífera, tem levado à obtenção de novas ligas especiais e ao uso de tratamentos superficiais específicos para essas aplicações.



DIVULGAÇÃO/AGÊNCIA PETROBRAS

Figura 1.10

Plataforma de petróleo montada no mar.

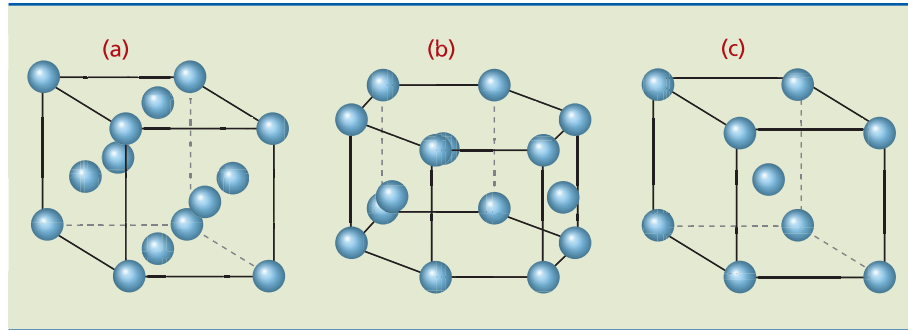
1.3 Estrutura dos materiais

Os materiais, que podem ser encontrados no estado sólido, líquido ou gasoso, são constituídos por diferentes agrupamentos atômicos e, por isso, apresentam características distintas. Por causa de sua mobilidade no estado líquido ou gasoso, os átomos adaptam-se a qualquer forma externa que os contenha. No estado sólido, ocupam posições fixas que conferem ao material volume e forma definidos.

Os materiais podem ser classificados de acordo com suas ligações atômicas, como segue.

Figura 1.11

- (a) Estrutura cristalina cúbica de face centrada
 (b) Estrutura cristalina hexagonal simples
 (c) Estrutura cristalina cúbica de corpo centrado.



1.3.1 Materiais cristalinos

Os materiais cristalinos apresentam uma ordem de átomos que se repete periodicamente até grandes distâncias atômicas. Essa ordem é um arranjo tridimensional, regular e periódico dos átomos no espaço.

Dentre os materiais cristalinos, podemos destacar:

- todos os metais;
- muitos materiais cerâmicos;
- alguns polímeros.

1.3.2 Materiais amorfos

São designados como amorfos os materiais sem organização atômica interna definida, ou seja, cuja estrutura não tem ordenação espacial a longa distância. Algumas substâncias comuns são amorfas, como o vidro, o poliestireno e até mesmo o algodão-doce.

Os materiais amorfos possuem propriedades únicas. Os metais amorfos são produzidos pela rápida solidificação de ligas metálicas e apresentam fácil magnetização, que se deve ao fato de seus átomos se encontrarem arranjados de maneira aleatória, facilitando a orientação dos domínios magnéticos.

1.4 Materiais metálicos

Os materiais metálicos, em linhas gerais, têm as seguintes propriedades:

- **Cor e brilho:** apresentam coloração que varia do branco ao cinzento, com exceção do ouro e do cobre.
- **Densidade:** dividem-se em leves (densidade menor que 6: alcalinos, alcalinos terrosos, Mg, Be, Al) e pesados (densidade superior a 6).
- **Estrutura cristalina:** característica observada em todos os metais.

Os materiais metálicos são classificados em ferrosos e não ferrosos.

1.4.1 Estrutura cristalina dos metais

A maioria dos materiais de interesse tem arranjos atômicos que são repetições, nas três dimensões, de uma unidade básica. Tais estruturas são denominadas cristais.

Define-se um sistema cristalino como a forma do arranjo da estrutura atômica. Sua representação consiste em substituir átomos e rede espacial por conjunto de pontos.

A ordem tridimensional dos átomos (arranjo das células unitárias) se repete simetricamente até os contornos dos cristais (também chamados contornos de grãos).

A estrutura cristalina é um arranjo tridimensional, regular e periódico dos átomos no espaço. A célula unitária ou célula elementar é a menor unidade repetitiva de arranjo de átomos capaz de caracterizar o material cristalino.

O tipo de sistema cristalino, ou seja, sua célula unitária, pode ser determinado experimentalmente por meio de difração com raios X na estrutura do cristal. As figuras 1.12, 1.13 e 1.14 apresentam as três estruturas cristalinas mais comuns em metais.

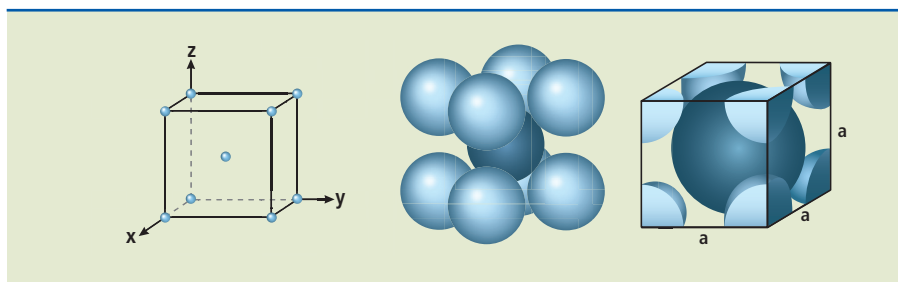


Figura 1.12

Estrutura cúbica de corpo centrado (CCC).

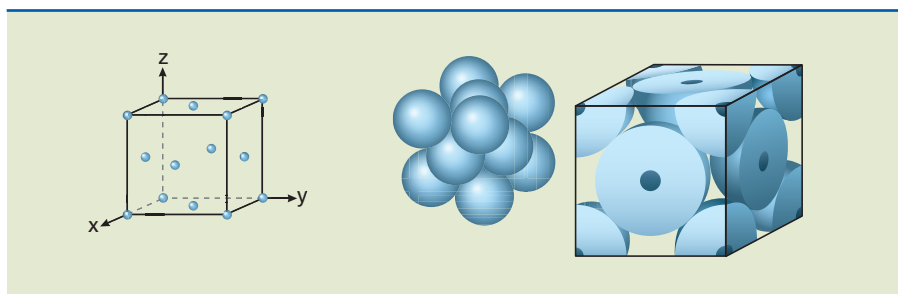


Figura 1.13

Cúbica de face centrada (CFC).

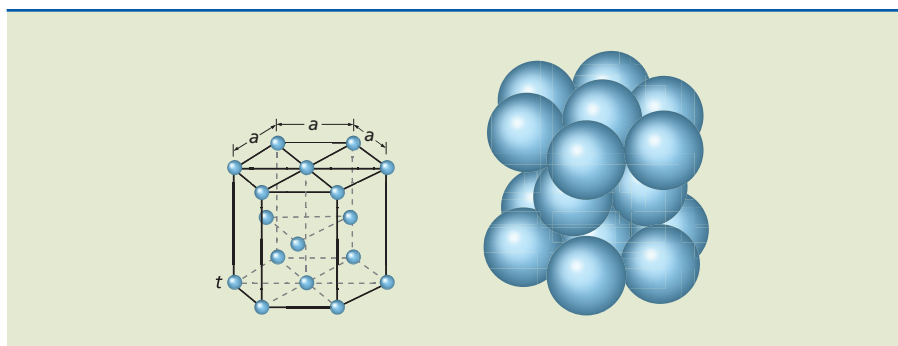


Figura 1.14

Hexagonal compacto (HC).

1.4.2 Metais ferrosos

O ferro é um metal utilizado pelo ser humano há muito tempo. A história registra a existência de armas e utensílios de ferro fabricados por processos primitivos há milhares de anos.

O ferro como metal tem grande importância: com base nele, temos a classificação dos materiais metálicos, além de um ramo da ciência dos materiais específico para seu estudo.

A metalurgia é o conjunto de técnicas desenvolvido pelo ser humano, no decorrer do tempo, que lhe permitiu extrair e manipular metais e gerar ligas metálicas. A siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e tratamento de materiais ferrosos.

Para um material metálico ser considerado ferroso, é necessário que seja uma liga de ferro com carbono e outros elementos, como silício, manganês, fósforo e enxofre. Quando a quantidade de carbono presente no metal ferroso atinge entre 2,0% e 4,5%, temos o ferro fundido e, quando for menor que 2%, o aço.