



Materiais de Construção Mecânica

Ivan Zolin



Santa Maria - RS
2011

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este Material Didático foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

Comissão de Acompanhamento e Validação - Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

Coordenador Institucional

Paulo Roberto Colusso/CTISM

Professor-autor

Ivan Zolin/CTISM

Coordenação Técnica

Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

Coordenação de Design

Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica

Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM

Francine Netto Martins Tadielo/CTISM

Marcia Migliore Freo/CTISM

Revisão Textual

Daiane Siveris/CTISM

Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM

Vera da Silva Oliveira/CTISM

Revisão Técnica

Alex Martins/CTISM

Diagramação e Ilustração

Gustavo Schwendler/CTISM

Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM

Maíra Rodrigues/CTISM

Marcel Santos Jacques/CTISM

Máuren Fernandes Massia/CTISM

Rafael Cavalli Viapiana/CTISM

Ricardo Antunes Machado/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Denise B. dos Santos – CRB 10/1456
Biblioteca Central – UFSM

Z86m

Zolin, Ivan.

**Materiais de construção : mecânica / Ivan Zolin. – 3. ed. –
Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria :
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.
76 p. : il. ; 30 cm.**

**1. Mecânica. 2. Materiais metálicos. 3. Materiais plásticos.
4. Materiais cerâmicos. 5. Materiais compósitos. 6. Semi
condutores. I. Título.**

CDU: 531

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

Palavra do professor-autor	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – Materiais metálicos	15
1.1 Metais.....	15
1.2 Aço e ferro fundido.....	17
1.3 Matérias-primas da indústria siderúrgica.....	18
1.4 Diagrama de fases ferro-carbono (Fe-C).....	22
1.5 Estrutura dos sólidos cristalinos.....	24
1.6 Ligas ferrosas.....	26
1.7 Propriedades dos materiais.....	36
1.8 Tratamentos térmicos e de superfície.....	39
1.9 Ligas não ferrosas.....	41
1.10 Metais refratários.....	51
Aula 2 – Materiais plásticos	53
2.1 Plásticos.....	53
2.2 Definição de plástico.....	54
2.3 Grupos dos plásticos.....	56
2.4 Propriedades dos plásticos.....	57
2.5 Aditivos dos plásticos.....	57
2.6 Ligas plásticas.....	58
2.7 Processos de fabricação de peças em materiais plásticos.....	58
Aula 3 – Materiais cerâmicos	61
3.1 Material cerâmico.....	61
3.2 Definição de material cerâmico.....	61
3.3 Vidros.....	62
3.4 Produtos a base de argila.....	63
3.5 Refratários.....	63

3.6 Abrasivos	64
3.7 Cimentos	64
3.8 Cerâmicas avançadas	64
3.9 Propriedades mecânicas	64
Aula 4 – Materiais compósitos	67
4.1 Material compósito	67
4.2 Definição de material compósito	67
Aula 5 – Materiais semicondutores	71
5.1 Semicondutores	71
5.2 Definição de semicondutores	71
Referências	74
Currículo do professor-autor	75

Palavra do professor-autor

Este caderno didático atende a uma carga horária de 30h/a e destina-se ao Curso de Automação Industrial, na modalidade a distância do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM.

Os conteúdos programáticos estão dispostos em cinco unidades: metálicos (ferrosos e não ferrosos); plásticos (polímeros); cerâmicos; compósitos e semicondutores.

As fontes básicas são as obras de Vicente Chiaverini e William D. Callister Jr. que estão relacionadas ao final. O texto é uma adequação desses materiais associado com a experiência própria, visando facilitar a compreensão do estudante e atender aos interesses do referido curso.

Este caderno apresenta o conjunto de conteúdos necessários a profissionais técnicos de nível médio da área industrial, para atuarem na automação de processos. Os conhecimentos e habilidades são desenvolvidos combinando os conteúdos apresentados mais as experiências acumuladas na atividade de ensino, além das vivências profissionais dos estudantes. O conjunto de saberes atende ao que necessita o técnico para indicar, substituir, identificar ou relacionar os materiais que são utilizados em um determinado equipamento ou sistema produtivo.

O processo de construção do conhecimento necessita de conceitos bem fundamentados, para poder criar cultura (produzir e construir a existência). É pelo desenvolvimento individual que a sociedade pode realizar essa tarefa. A modalidade de ensino a distância, é novidade para todos nós que somos professores e estudantes no mesmo momento, ou seja, **aprendentes**. Isso exige mudanças. Para o orientador, apropriar-se das tecnologias de ensino e pesquisar novas metodologias; para o estudante, alcançar os objetivos particulares e realizá-los.

O termo aprendente, segundo Hugo Assmann (1998), surgiu nos anos 1980/90 na esteira das teorias gerenciais e referia-se ao contexto complexo das interações humanas, incluindo as que ocorrem entre seres humanos e máquinas

“inteligentes”, em empresas tecnicamente sofisticadas. Também são chamadas, em termos gerais, de organizações aprendentes, aquelas nas quais os agentes envolvidos têm a capacidade de aumentar seu potencial criador, quer no nível individual, quer no âmbito da coletividade, aumentando sua capacidade de produzir resultados pré-programados, no caso das técnicas e tecnologias, ou atingir objetivos aos quais estão efetivamente voltados, no caso dos sistemas humanos. Frisa ainda Assmann que é de capital importância saber que das premissas básicas do conceito de organização aprendente fazem parte a criatividade individual e coletiva capaz de inventar e assumir mudanças. No que tange aos sistemas cognitivos aprendentes nos quais os agentes humanos são o fator preponderante, distinguem-se três tipos de organizações aprendentes, cada uma tendo premissas básicas que são em parte coincidentes e em parte diferentes, a saber: organizações aprendentes pequenas e médias, macro organizações aprendentes e organizações aprendentes híbridas.

Contribuíram com críticas, sugestões e incentivo na confecção deste trabalho, os ex-alunos Ezequiel Spall e Marcelo Prevedello Sarzi a quem quero agradecer.

O futuro é o presente construído a cada instante, portanto depende de nós, do aqui e do agora.

Sucesso a todos.

Ivan Zolin – Professor
Santa Maria, janeiro de 2011

Apresentação da disciplina

A nossa capacidade de simbolização e de transformação do meio torna-nos seres de linguagem e de trabalho. A ação com finalidade determina o que é trabalho, assim como o símbolo o que é linguagem. Essas duas características mostram que não somos seres por natureza, pelo contrário necessitamos constantemente construir nosso mundo.

A cultura de um povo é a soma dessas ações no meio, assim como a expressão simbólica de seus feitos. É uma construção racional do seu mundo com elementos representativos da realidade. Nesse processo os materiais são fundamentais, pois são os meios utilizados para transformarem nossa realidade e satisfazerem as necessidades. Usamos para isso **instrumentos** e **ferramentas** que, agindo sobre os materiais, constroem o mundo que queremos.

O processo evolutivo desenvolveu capacidade de transformar recursos naturais em bens duráveis usados diretamente ou não, no cotidiano de qualquer cidadão. Como seres deste tempo, herdamos as realizações desse processo.

A História mostra que o desenvolvimento e os avanços das sociedades estão ligados diretamente às habilidades dos seus membros produzirem e manipularem materiais para satisfazerem as exigências do meio. De fato, as civilizações antigas foram designadas pelo nível de seu desenvolvimento em relação aos materiais como: Idade da Pedra e Idade do Bronze. Com a evolução do conhecimento em materiais, também se descobriu que os metais poderiam ter suas qualidades melhoradas através de tratamentos térmicos ou pela adição de outros elementos formadores de ligas metálicas.

Os materiais sólidos têm sido convenientemente agrupados em torno de três classificações básicas: metais, cerâmicos e polímeros. Essa classificação está baseada principalmente na composição química e na estruturação atômica dos materiais. A maioria dos materiais se encaixa em um ou outro grupamento distinto, embora existam alguns intermediários. Esses materiais intermediários exigiram a criação de outros três grupos adicionais, mas não menos importantes. São eles: compósitos, semicondutores e biomateriais.

A-Z

instrumentos

(*lat instrumentu*) 1 Aparelho, objeto ou utensílio que serve para executar uma obra ou levar a efeito uma operação mecânica em qualquer arte, ciência ou ofício. 2 Todo meio de conseguir um fim, de chegar a um resultado.

ferramentas

(*lat ferramenta*) 1 Qualquer instrumento ou utensílio empregado nas artes ou ofícios. 2 O conjunto desses utensílios. *F. de alisar*: ferramenta ajustável ao torno revólver, destinada a dar acabamento às peças torneadas. *F. de carboneto*: aquela a cujo corte foi aplicada uma camada de carboneto, para torná-lo extremamente duro. *F. de desbastar*: ferramenta de corte ajustável ao torno revólver, destinada ao desbaste de metal. *F. de facear*: ferramenta de corte ajustável ao torno revólver, destinada a facear peças de metal. *F. de perfilar*: ferramenta de torno revólver destinada a fabricar perfilados de metais. *F. de rosca*: ferramenta de torno revólver destinada a abrir roscas em metais. *F. de sangrar*: *V badame*, acepção.

Os metálicos, pela suas características e propriedades são os principais, destacando-se o aço e suas ligas. No livro Tecnologia Mecânica Vicente Chiaverini escreve:

Dos metais, o ferro é o mais importante, sendo de supor-se que essa posição será mantida por um espaço de tempo praticamente ilimitado, em face de certas peculiaridades características desse metal, que o tornam insubstituível para a maioria dos empregos da indústria mecânica; suas propriedades intrínsecas, sua abundância na crosta terrestre e seu baixo custo de extração e processamento, principalmente quando comparado a outros metais importantes. (sic) (1986c, p.XVII).

O Brasil é possuidor de grandes reservas de minério de ferro que é o principal componente para obtenção do ferro gusa matéria-prima do aço.

Entre os materiais metálicos, o aço é o que tem maior importância devido a sua alta utilização na construção de bens duráveis. Além dele há o alumínio, o cobre e suas ligas que também são bem empregados e, em menor proporção, os demais elementos como zinco, estanho, chumbo, magnésio, níquel e titânio assim como suas respectivas ligas. São grandes as oportunidades de utilização de novos materiais, destacando-se os vários tipos de polímeros (plásticos) e os cerâmicos. O que vai determinar o maior ou menor uso de um material é a sua facilidade de obtenção e a satisfação dos requisitos a que estiverem submetidos.

Conhecer os materiais e suas propriedades contribui para o desenvolvimento e consolidação de um grupo social, bem como da melhoria na qualidade de vida.

Projeto instrucional

Disciplina: Materiais de Construção Mecânica (carga horária: 30h).

Ementa: Materiais metálicos, Materiais plásticos, Materiais cerâmicos, Materiais compósitos, Materiais semicondutores.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Materiais metálicos	Reconhecer os processos de obtenção das ligas ferrosas. Definir as principais propriedades das ligas ferrosas. Relacionar as características dos aços e dos ferros fundidos. Reconhecer e caracterizar as ligas não ferrosas. Reconhecer as propriedades e utilidades das ligas não ferrosas.	Apostila didática, com roteiro de estudo e referências aos assuntos mais relevantes. Ambiente virtual ead. ctism.ufsm.br/moodle . Acompanhamento dos estudos pelos tutores e também o professor.	15
2. Materiais plásticos	Reconhecer os processos de obtenção dos plásticos. Definir e classificar plásticos. Relacionar as principais características dos polímeros. Identificar os processos de fabricação das peças plásticas.	Apostila didática, com roteiro de estudo e referências aos assuntos mais relevantes. Ambiente virtual ead. ctism.ufsm.br/moodle . Acompanhamento dos estudos pelos tutores e também o professor.	05
3. Materiais cerâmicos	Reconhecer os materiais cerâmicos. Definir material cerâmico. Relacionar as características das cerâmicas.	Apostila didática, com roteiro de estudo e referências aos assuntos mais relevantes. Ambiente virtual ead. ctism.ufsm.br/moodle . Acompanhamento dos estudos pelos tutores e também o professor.	04
4. Materiais compósitos	Reconhecer material compósito. Definir material compósito.	Apostila didática, com roteiro de estudo e referências aos assuntos mais relevantes. Ambiente virtual ead. ctism.ufsm.br/moodle . Acompanhamento dos estudos pelos tutores e também o professor.	03

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
5. Materiais semicondutores	Reconhecer materiais semicondutores. Definir material semicondutor.	Apostila didática, com roteiro de estudo e referências aos assuntos mais relevantes. Ambiente virtual ead. ctism.ufsm.br/moodle . Acompanhamento dos estudos pelos tutores e também o professor.	03

Aula 1 – Materiais metálicos

Objetivos

- Reconhecer os processos de obtenção das ligas ferrosas.
- Definir as principais propriedades das ligas ferrosas.
- Relacionar as características dos aços e dos ferros fundidos.
- Reconhecer e caracterizar as ligas não ferrosas.
- Reconhecer as propriedades e utilidades das ligas não ferrosas.

1.1 Metais

Os metais são materiais com características próprias como brilho, não transparentes à luz visível, boa condução de calor e eletricidade devido à quantidade de elétrons livres. Esses elétrons de valência, em número de um, dois ou três no máximo, não estão ligados a qualquer átomo, permitindo um deslocamento que possibilita a transmissão de energia. Como os elétrons são em grande número e não ligados a qualquer átomo em particular, denominam-se não localizados, definindo assim propriedades típicas dos metais. Formam com outros elementos ligas metálicas que são mistura homogêneas em que pelo menos um dos elementos é um metal. A plasticidade desses materiais associada à boa resistência permite grandes aplicações estruturais.

Alguns metais são encontrados no estado natural, ou seja, na forma praticamente pura, por exemplo: ouro (Au_{79}), platina (Pt_{78}) e mais raramente, cobre (Cu_{29}), prata (Ag_{47}) e mercúrio (Hg_{80}). Na maioria das vezes, contudo, os metais são encontrados na forma combinada com outros elementos, constituindo assim os minerais os quais são essencialmente compostos químicos como óxidos, hidróxidos, sulfetos, carbonatos etc., aos quais se dão denominações específicas como hematita, limonita, calcita, quartzo, feldspato, cassiterita, mica, etc. Esses minerais são encontrados na superfície da terra até determinadas profundidades, isoladamente, ou em conjunto com outros minerais.



Leia no endereço abaixo um resumo das características e propriedades dos materiais.
http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/daniela/materiais/aula_1_classificacao_aos_materiais.pdf

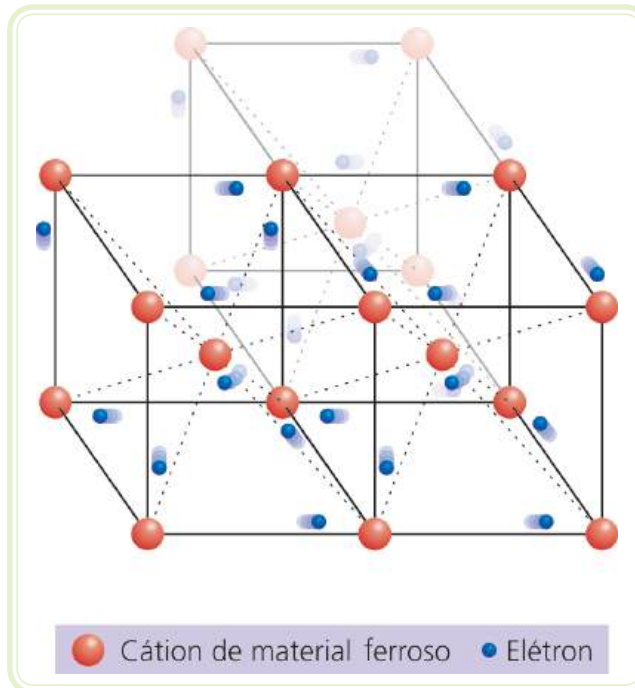


Figura 1.1: Arranjo cúbico de corpo centrado e “elétrons livres”
 Fonte: CTISM

Chamam-se “minério” os minerais dos quais se podem extrair metais. Os minérios, quando em quantidades suficientes para serem explorados economicamente, formam os “depósitos” ou “jazidas”.

O processo metalúrgico para obtenção das ligas ferrosas, principalmente o aço, é chamado de **siderurgia**. Chiaverini define assim:



Metal:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/metal>

Ligação metálica:
http://pt.wikipedia.org/wiki/liga%27%20qu%20admica#liga.c3.a7.c3.a3o_met.c3.a1lica

A indústria siderúrgica abrange todas as etapas necessárias para, a partir das matérias-primas, produzir-se ferro e aço. O processo clássico e mais usado para a redução do minério de ferro é o do “alto forno” cujo produto consiste numa liga ferro-carbono de alto teor de carbono, denominando “ferro gusa”, o qual, ainda no estado líquido, é encaminhado à “aciaria”, onde, em fornos adequados, é transformado em aço. Este é vazado na forma de “lingotes” os quais, por sua vez, são submetidos à transformação mecânica, por intermédio de laminadores, resultando “blocos”, “tarugos” e “placas”. Estes, finalmente, ainda por intermédio de laminadores, são transformados em formas estruturais como “tês”, “duplos tês”, “cantoneiras” etc., e em outros produtos siderúrgicos importantes, tais como trilhos, chapas, barras etc. (sic) (1986c, p.1).

Os materiais metálicos, por tudo o que foi dito e também pela sua facilidade de reciclagem, constituem o mais importante grupo de materiais de construção e podem ser divididos em dois grupos: **ligas ferrosas** e **ligas não ferrosas**.

1.2 Aço e ferro fundido

O senso comum chama de “ferro” o que na verdade é o aço (liga de ferro com carbono e outros elementos químicos em menor quantidade). O ferro é um elemento químico que é obtido a partir dos minérios de ferro que são encontrados na natureza.

A **metalurgia** do ferro que é mais conhecida por siderurgia é o processo de obtenção do aço a partir, principalmente, de minérios de ferro. Os minérios de ferros são os óxidos, sulfetos, carbonetos e silicatos. Os óxidos (magnetita; hematita; limonita), sob o ponto de vista siderúrgico, são os mais importantes.

Reunindo o minério de ferro com carvão (vegetal ou mineral) e o calcário resulta o **ferro gusa** (material de primeira fusão do alto forno).



Figura 1.2: Ferro gusa

Fonte: <http://www.revistanordeste.com.br/maranhao/carregamento-historico-de-ferro-gusa-tira-empresas-maranhenses-da-crise>

A-Z

metalurgia

1 Ciência que estuda os processos de extração de metais e seu uso industrial.

(me.ta.lur.gi.a) sf.

2 Arte de trabalhar metais.

[F.: Do fr. métallurgie.]

(si.de.rur.gi.a) sf.

1 Metalurgia do ferro e do aço; teoria e prática da produção desses materiais.

2 Arte de trabalhar com o ferro.

[F.: Do fr. sidérurgie.]



Pesquise mais sobre ferro, definição, história, metalurgia e ferro gusa.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/ferro#column-one#column-one>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/metalurgia>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/gusa>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco110.shtml>

1.3 Matérias-primas da indústria siderúrgica

Os componentes básicos da indústria siderúrgica que formam suas matérias-primas, são os seguintes:

Minério de ferro – É o principal componente para a obtenção do *ferro gusa*.

Carvão – É o combustível do alto-forno podendo ser o mineral (coque) ou o vegetal (de madeira). O carvão tem três funções principais: fornecer calor para combustão fornecer carbono para a redução do óxido de ferro e, indiretamente, fornecer o carbono como principal elemento de liga do ferro gusa.

Fundente – O calcário (CaCO_3) é o principal fundente que, combinando com as impurezas (**ganga**) do minério e com os resíduos (cinzas) do carvão, forma o que é chamado de “escória”.

A-Z

ganga

É um minério de menor teor de ferro e maior teor de fósforo, mas útil, principalmente para usinas que empregam altos fornos a carvão vegetal, devido à sua porosidade.

1.3.1 Alto-forno

O alto-forno é o principal equipamento (aparelho) usado na metalurgia do ferro. Nas palavras de Chiaverini a definição desse processo:

A metalurgia do ferro consiste essencialmente na redução dos óxidos dos minérios de ferro, mediante o emprego de um redutor que é um material à base de carbono – o carvão – que atua igualmente como combustível e indiretamente, é supridor de carbono para as ligas ferro-carbono de alto carbono que são os principais produtos do alto-forno. (1986c, p.17)

O equipamento que possibilita esse processo de redução é o alto-forno. Ele nada mais é do que uma grande estrutura cilíndrica dividida em três partes essenciais: cadinho, rampa e cuba.



Assista vídeo de um alto- forno
http://www.youtube.com/watch?v=9zda_mei0n0

No alto-forno são colocados, em proporções adequadas, minério de ferro, carvão e calcário. A queima do carvão ativada pela insuflação de ar fornece calor e óxido de carbono necessário à redução do minério. O excesso de carbono combina-se com o ferro, formando uma liga que, no estado líquido goteja no cadinho. O calcário torna mais fácil a fusão dos resíduos da reação e, com estes, forma a escória que fica acima na mistura por ser mais leve (Figura 1.3).

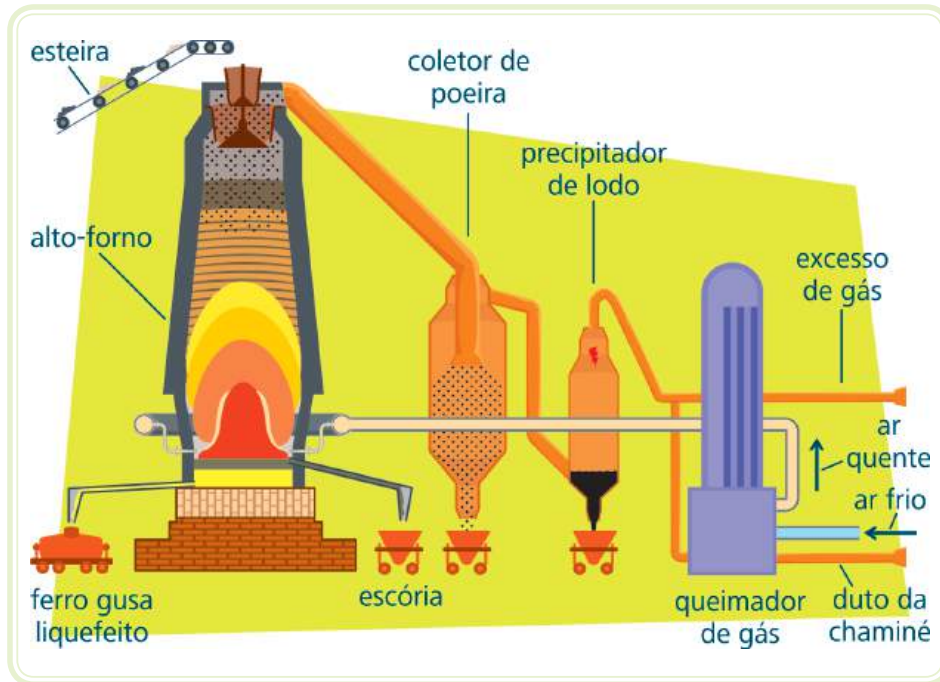


Figura 1.3: Alto forno
 Fonte: CTISM

A Figura 1.3 mostra a seção transversal de uma instalação de alto-forno, incluindo todo o equipamento acessório e auxiliar.

1.3.1.1 Produtos do alto-forno

Segundo Chiaverini:

O principal produto do alto-forno é o ferro gusa, cuja utilização é feita nas aciarias, para onde é encaminhado no estado líquido e transformado em aço; o ferro gusa é ainda utilizado no estado sólido como principal matéria-prima das fundições de ferro fundido. (1986c, p.27).

O ferro gusa é o produto de primeira fusão do alto-forno. Como tem alto teor de carbono não pode ser usado diretamente para produção de componentes industriais, necessita antes passar por um conversor o qual fará a redução do carbono, injetando oxigênio.

A escória é mais um produto do alto-forno. Resulta dos resíduos de carvão que são aglutinados pelo calcário. Pode ser empregado na fabricação do chamado "cimento metalúrgico".

Os gases do alto-forno é outro subproduto da metalurgia do ferro. Seu poder calorífico é alto, podendo ser usado na própria siderurgia no aquecimento de fornos e caldeiras.



Acesse:
<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco120.shtml>

1.3.2 Definição e fabricação do aço

Das ligas metálicas o aço é o material de construção mais usado. Podemos classificar como carbono comum, quando os elementos predominantes são ferro e carbono e liga quando houver outros elementos na mistura, podendo ser de baixo, médio e altos teores. A definição de aço não é uma tarefa muito fácil, visto que os aços fabricados não são ligas binárias (ferro e carbono), mas um composto cujos dois elementos principais são ferro e carbono, além de outros secundários como o silício (Si), o enxofre (S), o fósforo (P) e o manganês (Mn). Os compostos secundários são chamados de impurezas pela sua quantidade e por estarem sempre presentes devido ao processo de fabricação. Por essa razão adotaremos a definição proposta por Chiaverini:

Aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação. (apud 1988, p.21).

O limite inferior a 0,008% corresponde à máxima solubilidade do carbono no ferro à temperatura ambiente e o limite superior 2,11% corresponde à máxima quantidade de carbono que se dissolve no ferro e que ocorre a 1148°C.

Essa quantidade máxima de 2,0% (ou 2,115 conforme se verifica no diagrama de equilíbrio) depende, por outro lado, da presença ou não nos aços de elementos de liga ou da presença dos elementos residuais em teores superiores aos normais. (1988, p.21).

Nessas condições, para se ter uma definição mais precisa, devemos considerar dois tipos fundamentais de aço:

“**Aço-carbono**” ou “liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação”.

“**Aço-liga**” ou “aço-carbono que contém outros elementos de liga ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais”. (1988, p.21).

A matéria-prima para a produção do aço é o ferro gusa que Chiaverini assim define:

...uma liga ferro-carbono em que o carbono e as impurezas normais (Si, Mn, P e S, principalmente as duas primeiras) se encontram em teores elevados, a sua transformação em aço, que é uma liga de mais baixos teores de C, Si, Mn, P e S, corresponde a um processo de oxidação por intermédio do qual a porcentagem daqueles elementos é reduzida até os valores desejados. (1986c, p.30).

Os aços são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos, formando o chamado “aço-liga”. Nesses aços ocorrem concentrações controladas de elementos que são utilizadas intencionalmente para melhorar as propriedades. A indústria siderúrgica fabrica aços com elementos de ligas segundo as necessidades comerciais desses produtos, que servem para atender às exigências dos projetistas de máquinas e equipamentos.

As propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono que normalmente é inferior a 1,0%. A classificação básica dos aços é definida pelo seu teor de carbono (baixo, médio ou alto teor de C).

A redução do **ferro gusa** até atingir o teor de carbono necessário para a fabricação do aço é feita através de adição de agentes oxidantes. Esses agentes podem ser de natureza gasosa como o ar e o oxigênio (processo pneumáticos) e sólida no caso dos minérios na forma de óxidos (processo *Simens-Martin*, elétrico, duplex, etc.).

Na prática é a injeção de oxigênio no **ferro gusa** que está na fase líquida (fusão), mais ou menos a 1600°C. Essa temperatura facilita a combinação do oxigênio com o carbono e a formação do CO₂ que é o agente redutor do teor de carbono da mistura, permitindo obter o aço-carbono comum.

O **ferro gusa** é processado em conversores onde, por oxidação, os teores de carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre são reduzidos.

Os processos de produção do aço podem ser classificados de acordo com o agente oxidante utilizado:

Processos Pneumáticos – onde o agente oxidante é o ar ou oxigênio. O processo pneumático tradicional é o que utiliza o conversor *Bessemer*, cujo nome é devido ao seu inventor, em 1847.



Conheça o processo de fabricação do aço
http://www.gerdau.com.br/port/pops/processo_aco/movies/home_flash.asp



Processo Bessemer
http://pt.wikipedia.org/wiki/processo_de_bessemer

Processos Siemens-Martin – onde o agente oxidante é composto de materiais sólidos contendo óxidos. Por outro lado, dependendo da composição do ferro gusa e do tipo de aço desejado, pode-se considerar ainda outra divisão dos processos de sua fabricação independentemente do tipo de forno.

Processos ácidos – tipo de processo em que se pode remover ou reduzir facilmente a quantidades de carbono, silício e manganês, diferente da forma como acontece com o fósforo e o enxofre;

Processos básicos – em que se podem reduzir a valores desejados todos os elementos citados no item anterior.

1.4 Diagrama de fases ferro-carbono (Fe-C)

De todos os sistemas de ligas binárias, o formado pelo ferro e pelo carbono é o mais importante. Tanto os aços como os ferros fundidos que são os principais materiais estruturais, são essencialmente ligas ferro-carbono (Fe-C).



Veja o desenho do diagrama em:
<http://www.ibrat.org/diagramafec.gif>

O diagrama de fase ferro-carbono é mostrado na Figura 1.4 e apresenta além da região do aço (até 2,11% C – ponto E) a do ferro fundido (de 2,11% C até 4,6% C – pontos E a C). Esse diagrama trata das ligas ferro-carbono (Fe-C) para teores de carbono desde zero até 6,7%. Este último é o valor correspondente à composição da cementita (Fe_3C). Acima de 4,5% de C as ligas ferro-carbono apresentam poucas aplicações.

O teor de carbono dos aços é de 0,008% até aproximadamente 2,14%. O limite inferior (0,008%) corresponde ao limite de solubilidade do carbono no ferro à temperatura ambiente. Já o limite superior corresponde à máxima quantidade de carbono que se dissolve no ferro e, ocorre a 1148°C (ponto E).

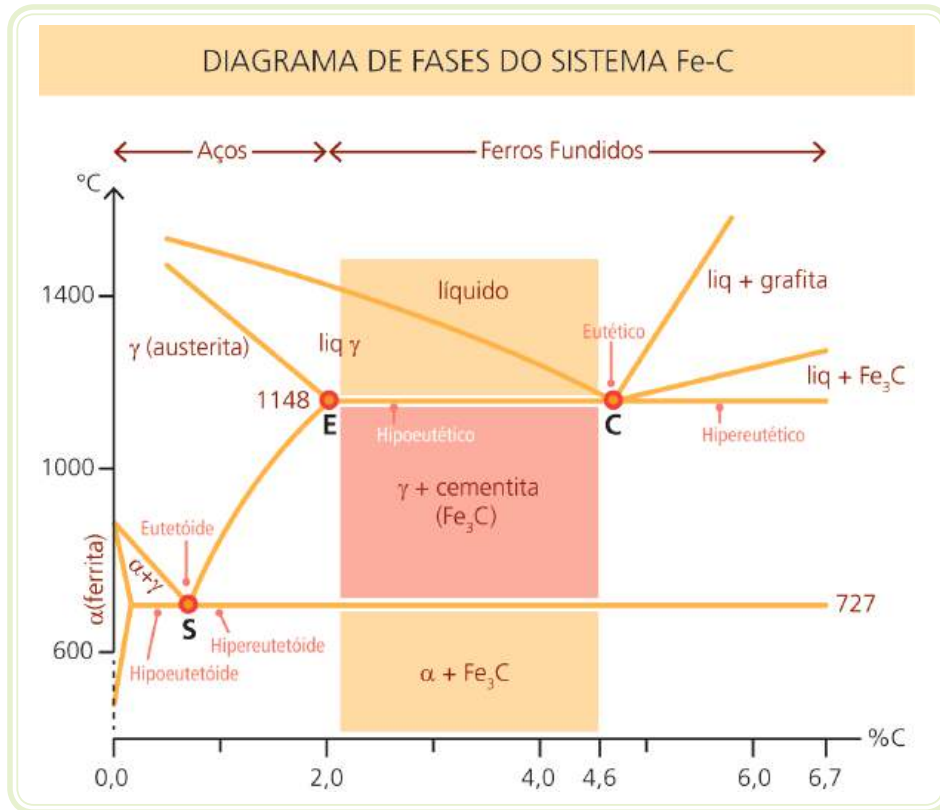


Figura 1.4: Diagrama de fases do sistema Fe-C

Fonte: CTISM

Na maioria das aplicações industriais, os aços deixam de ser uma liga binária, já que são adicionados diversos elementos de liga em sua composição. Devido aos processos de obtenção, sempre há, na composição química, Si, Mn, S e P, os quais, em baixos teores, praticamente não interferem no diagrama de fases. No entanto, para os aços-liga o diagrama de fases serve apenas como referência.

Mesmo que o diagrama de equilíbrio esteja baseado na liga binária Fe-C, ele também permite que se tenha uma ideia das sequências ou transformações alotrópicas de ligas complexas (ou mesmo para o ferro fundido que, na realidade, é uma liga ternária Fe-C-Si).

O diagrama de fases serve então, para um melhor entendimento dos fenômenos que alteram a microestrutura dos aços e ferros fundidos. Permite também analisar as transformações alotrópicas do ferro e a influência do carbono sobre essas transformações.

O ponto S (eutetóide), com 0,77% de C que define os aços em: eutetóides, hipoeutetóides ou hipereutetóides. É o equilíbrio entre as fases líquidas e sólidas da ferrita e austenita.

Nos ferros fundidos, tal como nos aços, temos o ponto C (eutético), com aproximadamente 4,3% de C que classifica os ferros fundidos em: hipoeutético, eutético e hipereutético. É o ponto de equilíbrio entre a austenita e a cementita.



Definição de cristal:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/cristal>

É um sólido no qual os constituintes, estão organizados num padrão tridimensional bem definido que se repete no espaço, formando uma estrutura com uma geometria específica, criando uma estrutura cristalina que se manifesta macroscopicamente por assumir a forma externa de um sólido de faces planas regularmente arranjadas, em geral com elevado grau de simetria tridimensional.



Estrutura cristalina dos metais

<http://www.dalmolim.com.br/educacao/materiais/bibliamat/estrutura.pdf>

Dureza:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/dureza>

Dureza Brinel:

http://pt.wikipedia.org/wiki/dureza_brinell

Dureza Rockwell

http://pt.wikipedia.org/wiki/dureza_rockwell

1.5 Estrutura dos sólidos cristalinos

Os materiais sólidos podem ser classificados de acordo com a regularidade segundo a qual os átomos ou íons estão arranjados em relação uns aos outros. Um material cristalino é aquele nos quais os átomos estão situados em um arranjo que se repete ou que é periódico ao longo de grandes distâncias atômicas. Quando ocorre a solidificação de um material, os seus átomos se posicionarão em um padrão tridimensional repetitivo no qual cada átomo está ligado aos seus vizinhos mais próximos.

Essas estruturas em geral têm a forma cúbica onde em cada um dos vértices há uma molécula do material. Quando em cada uma das faces tiver também uma molécula central, chamamos de CFC (cúbico de face centrada) e se no centro do sólido contiver uma molécula, chamamos de CCC (cúbico de corpo centrado).

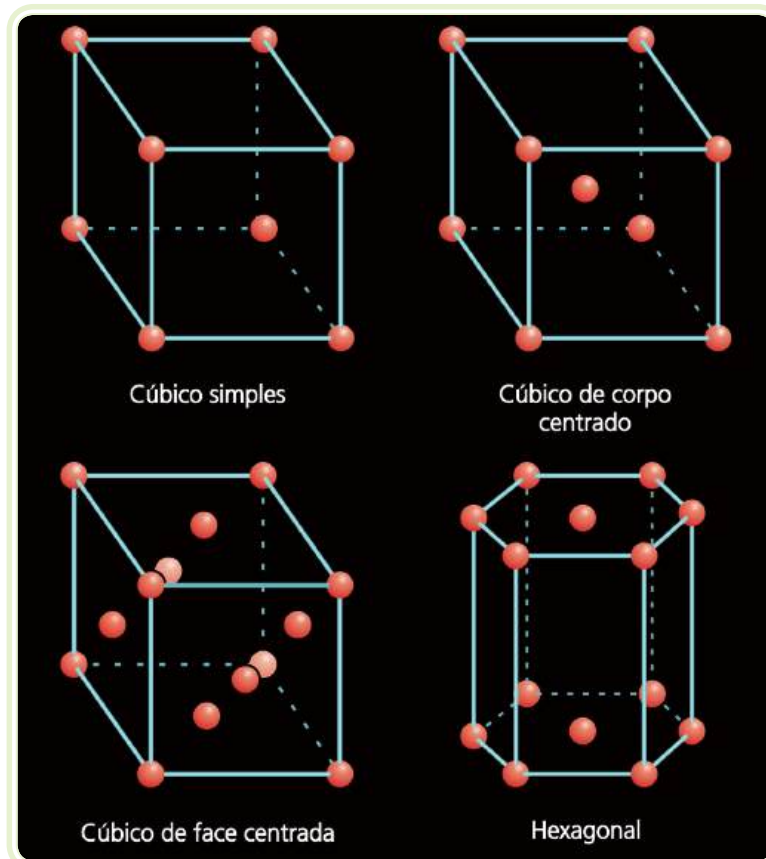


Figura 1.5: Representação dos tipos de células unitárias dos metais

Fonte: CTISM

Todos os metais, muitos materiais cerâmicos e alguns polímeros formam estruturas cristalinas sob condições normais de solidificação. Os materiais que não cristalizam são chamados de **não cristalinos** ou **amorfos**.

Algumas propriedades dos sólidos cristalinos dependem da sua estrutura cristalina, ou seja, da maneira como os seus átomos, íons ou moléculas estão arranjados espacialmente. Existem muitos tipos de estruturas cristalinas diferentes. Da mesma forma, essas estruturas podem ser bastante simples (como a dos metais) ou bastante complexas (como as de alguns materiais cerâmicos e poliméricos).

No intuito de facilitar o entendimento dos arranjos cristalográficos, usa-se uma esfera para representar os átomos. Para descrever uma estrutura cristalina, é conveniente subdividi-la em pequenas partes. Essas partes recebem o nome de **células unitárias**. Estas células unitárias são formadas por grupos de átomos que se dispõem em posições específicas, formando figuras geométricas típicas. Essas disposições recebem o nome de reticulado ou retículo cristalino. Existem sete tipos básicos de reticulados cristalinos: cúbico, hexagonal, tetragonal, romboédrico, ortorrômbico, monoclinico, triclinico.

1.5.1 Microestruturas em ligas Fe-C

Considerar-se-á aqui somente o desenvolvimento das microestruturas dos aços, pois no campo correspondente aos ferros fundidos, sempre existirão maiores quantidades de elementos de liga, principalmente o Si, tendo-se assim uma liga ternária, enquanto o diagrama Fe-C é pertence a uma liga binária.

As principais fases sólidas presentes no diagrama Fe-Fe₃C são: ferrita- α , austenita (γ), cementita (Fe₃C) e Ferrita- δ .

Na **ferrita- α** o carbono está dissolvido na estrutura CCC, portanto pouco solúvel, atingindo solubilidade máxima de 0,02% a 727 °C. Embora o carbono esteja presente em concentrações relativamente baixas, tem influência significativa nas propriedades mecânicas da ferrita. Esta é um dos constituintes mais moles e dúcteis dos aços, apresentando dureza de 90 HB (dureza *Brinell*) e é magnética até 770°C.

A **austenita** (γ) tem estrutura cristalina CFC, sendo a solubilidade do carbono na austenita de 2,08% a 1148°C e 0,8% a 727°C. Apresenta dureza de aproximadamente 300 HB e não é magnética.

A-Z

Definicao de material amorfo:
http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%B3lido_amorfo

Material amorfo ou substância amorfa: É a designação dada à estrutura que não têm ordenação espacial a longa distância (em termos atômicos) como os sólidos regulares. É geralmente aceito como o oposto de estrutura cristalina. As substâncias amorfas não possuem estrutura atômica definida.



Ferrita, perlita, cementita, martensita, austenita, etc. Constituintes das ligas Fe-C

A **cementita (Fe_3C)** é um composto frágil e duro, possuindo uma composição de 6,67% C e 93,3% Fe, e apresentando dureza de 700 HB.

A **ferrita- δ** tem estrutura CCC assim como a ferrita- α . A solubilidade máxima do carbono é de 0,09% a 1465°C.

Outra microestrutura muito importante nos aços é a **martensita**, que se forma quando ocorre o arrefecimento rápido da austenita, processo conhecido pelo nome de têmpera. A dureza e a resistência mecânica das martensitas estão diretamente relacionadas com o seu teor de carbono e aumentam quando este teor aumenta. Sua dureza varia de 50 a 68 HRC (dureza *Rockwell* escala C).

O ferro puro, ao ser aquecido, experimenta duas alterações na sua estrutura cristalina antes de se fundir. À temperatura ambiente, a forma estável, conhecida por ferrita, ou ferro α , possui uma estrutura cristalina CCC. A ferrita experimenta uma transformação polimórfica para austenita, com estrutura cristalina CFC, ou ferro γ , à temperatura de 912°C. Essa austenita persiste até 1394°C, temperatura em que a austenita CFC reverte novamente para uma fase com estrutura CCC, conhecida por ferro δ a qual, finalmente se funde a uma temperatura de 1538°C. Todas essas alterações estão aparentes ao longo do eixo vertical, à esquerda, no diagrama de fases.

A microestrutura define três tipos de aços: hipoeutetoides; eutetoides; hipereutetoides.

1.6 Ligas ferrosas

As ligas ferrosas são aquelas onde o ferro é o elemento principal da liga. Essas ligas são produzidas em maior quantidade do que qualquer outro tipo de metal e são especialmente importantes como materiais de construção mecânica. Seu amplo uso é o resultado de três fatores:

Compostos que contêm ferro existem em quantidades abundantes no interior da crosta terrestre.

O ferro metálico e as ligas de aço podem ser produzidos usando técnicas de extração, beneficiamento, formação de ligas e fabricação relativamente econômicas.

As ligas ferrosas são extremamente versáteis e podem ser adaptadas para possuir uma ampla variedade de propriedades mecânicas e físicas.

A desvantagem principal de muitas ligas ferrosas é a suscetibilidade à corrosão.

Como principais ligas ferrosas têm: os aços, com teor de carbono até 2%; os ferros fundidos com carbono acima de 2% e raramente superior a 4%.

Ao considerar a presença de elementos de liga, essa classificação é ampliada para:

- **Aço-carbono** quando o teor de carbono está entre 0,008% e 2,11%, além de certos elementos residuais (Mn, Si, P e S) que resultam do processo de fabricação.
- **Aço-liga** é o aço carbono que contém outros elementos além dos residuais ou este em quantidades superiores às normais.

Existem também os ferros fundidos (**cinzento**, **branco**, **mesclado**, **maleável** e **nodular**) que são liga ferro-carbono-silício, com carbono acima de 2% e silício entre 1,2% e 3%.

1.6.1 Teor de carbono e elementos de liga

Os produtos da siderurgia que são denominados “aços”, na maioria das vezes, conhecidos simplesmente por “ferro”, são na realidade os “aços-carbono comuns”. A adição de quantidades de outros elementos define os “aços ligas”. Essas ligas podem ser usadas por causa das propriedades especiais que adquirem pela adição de elementos químicos na mistura ferro-carbono, como ferramentas para usinagem de materiais. São os chamados “aços rápidos”. Além desses existem os “aços inoxidáveis” usados como matéria-prima na construção de utensílios para indústria alimentícia.

Para melhorar as propriedades das ligas ferrosas pode-se alterar a composição química aumentando as proporções ou mudando seus componentes. Outro modo de se obter melhoria nas propriedades mecânicas, que é um dos maiores objetivos dos aços, são os tratamentos térmicos e os termoquímicos. O objetivo dessas mudanças é melhorar a resistência à tração (propriedade mecânica), a usinabilidade, a dureza, a resistência, a corrosão pelo calor.

Alguns exemplos de alteração das características em função dos elementos químicos: o aumento do teor de **carbono** (C) aumenta a dureza e a resistência à tração; o **silício** (Si) ajuda a desoxidar; o **manganês** (Mn) também atua como



Tipos de ferro fundido:
http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco120.shtml#fe_fund

Cinzento: a superfície recém-cortada tem aspecto escuro. O silício está presente em proporção considerável e a estrutura contém carbono livre (grafita) em forma de veios ou lamelas.

Branco: a superfície recém-cortada tem aspecto claro. Devido ao menor teor de silício, a proporção de carbono livre é bastante pequena.

Misto: uma mistura em proporção que depende da aplicação desejada do ferro fundido cinzento e do branco.

Maleável: é o ferro fundido branco que sofre um tratamento térmico específico, formando grafita na forma de nódulos.

Nodular: no estado líquido, passa por um tratamento especial para produzir grafita em forma esférica, o que lhe dá uma boa ductilidade.

desoxidante e dessulfurante; o **alumínio** (Al) melhora os microconstituintes; o **fósforo** (P) e o **enxofre** (S) são elementos que aumentam a fragilidade, por isso devem ser mantidos em baixos teores; o **cobre** (Cu) aumenta a tenacidade e a resistência à corrosão; o **chromo** (Cr) e o **níquel** (Ni), em geral aumentam a resistência a corrosão e a dureza; o **cobalto** (Co), o **molibdênio** (Mo), o **vanádio** (V) e o **tungstênio** (W) são elementos que aumentam a dureza em altas temperaturas melhorando a capacidade de corte.



Ductilidade: é a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura. Materiais que suportam pouca ou nenhuma deformação no processo de ensaio de tração são considerados materiais frágeis. Um material dúctil é aquele que se deforma sob tensão cisalhante. Ouro, cobre e alumínio são metais muito dúcteis. O oposto de dúctil é frágil, quando o material se rompe sem sofrer grande deformação.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/ductilidade>

Tenacidade: é a energia mecânica, ou seja, o impacto necessário para levar um material à ruptura. Tenacidade é uma medida de quantidade de energia que um material pode absorver antes de fraturar.

Os materiais cerâmicos, por exemplo, têm uma baixa tenacidade. Tal energia pode ser calculada através da área num gráfico tensão - deformação do material, portando basta integrar a curva que define o material, da origem até a ruptura.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/tenacidade>

Soldabilidade: Aços com até 0,3% de C são considerados de fácil soldagem, os com nível de carbono entre 0,3 e 0,5% são considerados de média soldagem e os com nível superior a 0,5% são de difícil soldagem.

Efeito do carbono:

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco210.shtml>

1.6.1.1 Efeitos do teor de carbono

O teor de carbono exerce uma influência muito grande nas propriedades mecânicas dos materiais.

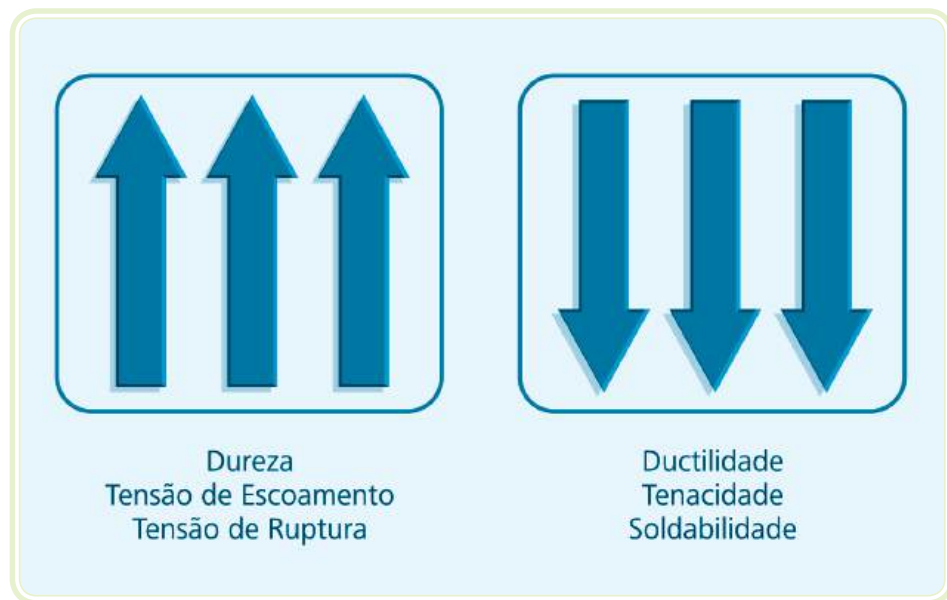


Figura 1.6: Esquemática dos efeitos do aumento do teor de carbono

Fonte: CTISM

A Figura 1.6 mostra um esquema do comportamento das propriedades dos materiais ferrosos com o aumento da quantidade de carbono. Vê-se que com o aumento da quantidade de carbono se ganha-se em dureza, tensões de escoamento e ruptura; em contrapartida, perde-se em ductilidade, **tenacidade** e **soldabilidade**.

Quadro 1.1: Influência do teor de carbono nos aços			
Teor de carbono (%)	Tipo quanto a dureza	Têmpera	Usos
0,05 a 0,15	extra macio	não adquire têmpera	chapas, fios, parafusos, tubos estirados, produtos de caldeiraria
0,15 a 0,30	macio	não adquire têmpera	Barras laminadas e perfiladas, peças comuns de mecânica
0,30 a 0,40	meio macio	apresenta início de têmpera	Peças especiais de máquinas e motores, ferramentas para agricultura
0,40 a 0,60	meio duro	adquire boa têmpera	Peças de grande dureza, ferramentas de corte, molas, trilhos
0,60 a 1,50	duro a extra duro	adquire têmpera fácil	Peças de grande dureza e resistência, molas, cabos

Fonte: CTISM

1.6.2 Classificação dos aços-carbono e aços de baixa liga

O critério adotado pela ABNT de classificação é o mesmo da SAE e tem na composição química o seu fundamento. O número indica o tipo de aço, os elementos presentes na liga e os teores de carbono. Os dois primeiros algarismos indicam o tipo de aço: comum ao carbono (número 10), aço liga (os demais). Cada elemento é representado por um número. Os dois algarismos finais mostram o teor de carbono em centésimos.

A classificação dos vários aços-carbono e aços-liga quanto a sua composição química foi estabelecida pela SAE para padronizar e limitar o grande número de composições dos aços produzidos. O Quadro 1.2 mostra a classificação SAE dos aços, que também foi adotada pelo AISI e pela ABNT.

Quadro 1.2: Classificação dos aços-carbono e aços de baixa liga	
Tipo de aço	Designação SAE
aço-carbono	1XXX
simples (no máximo 1,00% de Mn)	10XX
ressulfurado	11XX
ressulfurado e refosforado	12XX
com adição de Nb	14XX
simples (Mais de 1% de Mn)	15XX
aços-manganês	13XX
aços-níquel	2XXX



Saiba mais e confira:

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AISI – American Iron and Steel.

ANSI – American National Standards Institute.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

DIN – Deutsches Institut für Normung.

ISO – International Organization for Standardization

SAE – Society of Automotive Engineers



Tabela de classificação dos aços
http://www.diferro.com.br/saiba_tipos.asp

Tipo de aço	Designação SAE
aços-níquel-cromo	3XXX
aços com molibdênio	4XXX
aços-cromo	5XXX
aços-cromo-vanádio	6XXX
aços-tungstênio-cromo	7XXX
aços-níquel-crom o-molibdênio	8XXX
aços-silício-manganês	92XX
aços-níquel-cromo-molibdênio	93XX, 94XX, 97XX, 98XX
aços com boro	XXBXX
aços com chumbo	XXLXX

Fonte: CTISM

1.6.3 Aços com baixo teor de carbono

De todos os tipos de aço, os de baixo teor de carbono são os que têm maior demanda. Esses aços possuem, geralmente, menos de 0,25% de C, e não é possível obter tratamento térmico. A formação da **martensita**, objetivo da têmpera, não ocorre. Para aumentar a dureza (resistência), deve ser trabalhado a frio, ou sofrer tratamento termoquímico.

As microestruturas desses aços consistem nos microconstituintes **ferrita** e **perlita**. Como consequência, essas ligas são relativamente moles e fracas, porém possuem ótimas ductilidade e tenacidade.

Aplicações típicas para esses tipos de aço incluem os componentes de carcaças de automóveis, perfis estruturais e chapas utilizadas em tubulações, edificações, pontes e latas.

Um outro grupo de ligas com baixo teor de carbono são os **aços de alta resistência e baixa liga**. Eles contêm outros elementos de liga tais como o cobre, o vanádio, o níquel e o molibdênio em concentrações que podem ser tão elevadas, que chegam a 10%. Possuem maior resistência que aços comuns ao carbono com baixo teor de carbono, assim como maior resistência à corrosão. Sua utilização são aplicações onde a resistência estrutural é um fator primordial como em pontes, torres, colunas estruturais de prédios altos e vasos de pressão.



Saiba mais sobre aços para ferramentas:

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco310.shtml>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco320.shtml>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco330.shtml>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco340.shtml>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco350.shtml>

Aços Inoxidáveis:

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco220.shtml>

Propriedades:

<http://www.atcp.com.br/pt/produtos/caracterizacao-materiais/propriedades-materiais/tabelas-propriedades/metlicos-ferrosos.html>

Tipos de ferro fundido

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco230.shtml>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco240.shtml>

1.6.4 Aços com médio teor de carbono

Os aços de médio teor de carbono possuem concentrações de carbono entre aproximadamente 0,25 e 0,60%. Essas ligas podem ser tratadas termicamente por austenitização, têmpera e, depois, revenimento para melhorar as suas propriedades mecânicas. O revenimento ocorre para alívio das tensões produzidas pelos outros processos (têmpera e austenitização) e para evitar a ruptura brusca do aço quando solicitado por alguns dos esforços mecânicos. A martensita formada pelo tratamento de endurecimento deve sofrer esse alívio das tensões e diminuir uma parte da dureza para melhor atender as solicitações mecânicas de tração e compressão.

Os aços comuns ao carbono com médio teor de carbono possuem baixa capacidade de endurecimento e podem ser termicamente tratados com sucesso somente em seções muito delgadas e com taxas de resfriamento muito rápidas. Adições de cromo, níquel e molibdênio melhoram a capacidade dessas ligas serem tratadas termicamente, dando origem a uma variedade de combinações resistência-ductilidade. Essas ligas termicamente tratadas são mais resistentes do que os aços com baixo teor de carbono, porém com a perda de ductilidade e tenacidade.

As aplicações dos aços ao carbono com médio teor de carbono incluem as rodas e os trilhos de trens, engrenagens, virabrequins e outras peças de máquinas e componentes estruturais de alta resistência que exigem uma combinação de elevada resistência mecânica, resistência à abrasão e tenacidade.

1.6.5 Aços com alto teor de carbono

Os aços com alto teor de carbono, que possuem normalmente teores de carbono entre 0,60 e 1,40%, são os mais duros, mais resistentes, porém, os menos dúcteis dentre todos os aços carbono. Eles são quase sempre utilizados em uma condição endurecida e revenida e, como tal, são especialmente resistentes ao desgaste e à abrasão.

Os aços para ferramentas e matrizes são ligas com alto teor de carbono, contendo geralmente cromo, vanádio, tungstênio e molibdênio. Esses elementos de liga combinam-se com o carbono para formar compostos à base de carbetos (carbonetos), que são muito duros e resistentes ao desgaste e à abrasão. Esses aços são muito utilizados como ferramentas de corte e matrizes para modelação e a conformação de materiais, bem como para a fabricação de facas, lâminas de corte, lâminas de serras para metais, molas e arames com alta resistência.

		Aço estrutural	Aço 1010	Aço 1020	Aço 1030	Aço 1040	Aço 1050	Aço CA 25 (5)	Aço CA 60 (5)
ρ	Massa especif. (ton/m ³)	7,86	7,86	7,86	7,86	7,87	7,86	7,86	786
E	Módulo elástico longitud. (GPa)	200	205	205	205	210	210	210	210
G	Módulo elástico transver. (GPa)	76	79	79	79	80	80	80	80
Tensão de ⁽²⁾ escoamento	σ Tração (MPa)	250	180	210	260	290	340	250	600
	τ Cisalh. (MPa)	150 ⁽³⁾	108	125	155	215	200	150	360
Tensão última (ruptura)	σ Tração (MPa)	450	330	380	470	530	630	300	660
	σ Compr. (MPa)	450 ⁽³⁾	330	380	470	530	630	300	660
	τ Cisalh. (MPa)	270 ⁽³⁾	198	225	280	315	375	180	390
ϵ	Elong. percent. (%)	28	25	22	20	18	15	18	5
α	Coef. dil. ter. (10 ⁻⁶ C ⁻¹)	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7

Figura 1.7: Propriedades dos materiais (aços)

Fonte: CTISM

1.6.6 Aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são altamente resistentes à corrosão (oxidação superficial) em uma variedade de ambientes, especialmente a atmosfera ambiente. O principal elemento de liga desses aços é o cromo, em uma concentração de, no mínimo, 11%. A resistência à corrosão também pode ser melhorada através de adição de níquel e molibdênio.

Os aços inoxidáveis estão subdivididos em três classificações de acordo com a fase predominante na sua microestrutura: **martensítica**, **ferrítica** e **austenítica**. Uma ampla variedade de propriedades mecânicas, combinadas a uma excelente resistência à corrosão, torna os aços inoxidáveis muito versáteis nas suas possibilidades de utilização, no entanto, relativamente caros.

Os aços inoxidáveis martensíticos são capazes de ser submetidos a tratamentos térmicos de tal maneira que a martensita seja o seu microconstituente principal. Os aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos são endurecidos e têm sua resistência mecânica aumentada mediante deformação plástica a frio, uma vez que não são tratáveis termicamente. Os austeníticos são os mais resistentes à corrosão, devido aos elevados teores de cromo e também às adições de níquel. Os martensíticos e os ferríticos são magnéticos; os austeníticos não.

Quadro 1.3: Características dos diferentes aços inoxidáveis

Aços Inoxidáveis	Endurecimento	Magnetizável	Corrosão
Austeníticos	Deformação plástica	Não magnéticos	Maior resistência
Ferríticos	Deformação plástica	Magnetizáveis	Resistência normal
Martensíticos	Tratamento térmico	Magnetizáveis	Resistência normal

Fonte: CTISM

1.6.7 Ferro fundido

As ligas ferro-carbono com teor de carbono superior a 2% (mais precisamente 2,14%) correspondem aos ferros fundidos. Os elementos residuais característicos das ligas ferrosas, são:

Silício (Si), enxofre (S), fósforo (P) e manganês (Mn)

O elevado teor de carbono dessas ligas e a presença sempre obrigatória do elemento silício tornam, entretanto, necessário considerá-las como ligas ternárias (Fe-C-Si), de modo que os fenômenos de transformação da austenita no resfriamento lento são mais complexos, originando estruturas em que um novo constituinte se apresenta – carbono livre ou grafita – cuja forma, disposição e quantidade alteram profundamente as propriedades desses materiais (CHIAVERINI, 1986c, p.146).

Os quatro tipos principais de ferros fundidos estão descritos no Quadro 1.4.

Quadro 1.4: Ferros fundidos		
Tipo de ferro fundido	Características	Aplicações
Cinzento	Fácil moldagem, resistência ao desgaste, bom amortecimento de vibrações.	Estrutura de máquinas operatrizes, virabrequins, rotores.
Nodular	Excelente resistência mecânica, tenacidade e ductilidade.	Peças sujeitas à pressão e que resistam ao choque.
Branco	Alta dureza, alta fragilidade, difícil usinagem.	Estrutura de máquinas operatrizes, virabrequins, rotores.
Maleável	Melhor usabilidade entre os ferros fundidos, boa resistência à corrosão, boa ductilidade.	Barras de ligação, engrenagens de transmissão, conexão de tubulações.

Fonte: CTISM

Juntamente com o silício temos o **manganês** (Mn) que tende a estabilizar a cementita e também atua como dessulfurante. O **fósforo** (P) também atua favorecendo a formação da cementita; o **enxofre** (S) que na realidade é uma impureza, não possui efeitos significativos.

		Aço CP 150 (6)	Aço inox (recozido)	Ferro fundido cinzento	Ferro fundido nodular	Liga de titânio	Alumínio-2014T6	Alumínio-6061T6	Latão (temperado)
ρ	Massa especif. (ton/m ³)	7,86	7,92	7,64	7,64	4,63	2,77	2,77	8,47
E	Módulo elástico longitud. (GPa)	210	190	90	170	96	75	70	105
G	Módulo elástico transver. (GPa)	80	78	641	83	36	28	26	39
Tensão de(2) escoamento	σ Tração (MPa)	1500	510	-	250	930	365	241	105
	τ Cisalh. (MPa)	900	305	-	165	-	214	138	65
Tensão última (ruptura)	σ Tração (MPa)	1570	1300	210	370	1070	414	262	330
	σ Compr. (MPa)	1570	1300	800	-	1070	414	262	332
	τ Cisalh. (MPa)	940	780	-	330	-	241	207	220
ϵ	Elong. percent. (%)	8	12	4	20	13	20	-	62
α	Coef. dil. ter. (10 ⁻⁶ C ⁻¹)	11,7	11,7	10,4	12,7	-	23,2	23,4	20,0

Figura 1.8: Propriedades dos materiais (ferro fundido)

Fonte: CTISM



Propriedades:

<http://www.colegioweb.com.br/quimica/propriedades-dos-materiais.html>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/cmat210.shtml>

<http://mecanicadafratura.wordpress.com/capitulo-i-propriedades-mecanicas-dos-materiais/>

<http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/eng06638/iem-texto-0.pdf>

ftp://ftpaluno.umc.br/profs/marcio_cintra/mcm/aula%204.%20propriedades%20dos%20materiais.pdf

http://www.colegiogabarito.com.br/download/tecnologia_dos_materiais-marcos.pdf

1.7 Propriedades dos materiais

Sob o ponto de vista prático, as propriedades que têm maior importância na engenharia são as mecânicas, ou seja, aquelas relacionadas com a resistência que os materiais oferecem quando sujeitos aos esforços de natureza mecânica, como tração, compressão, torção, choque, cargas cíclicas, dentre outras.

No entanto, certas propriedades físicas e químicas dos materiais também são muito importantes. Algumas das propriedades dos materiais serão descritas a seguir:

1.7.1 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas determinam o comportamento dos materiais quando são submetidos a variações de temperatura. Isso acontece tanto no processamento do material quanto na sua utilização. É um dado muito importante, por exemplo, na fabricação de ferramentas de corte.

Ponto de fusão – é uma propriedade térmica do material que se refere à temperatura em que o material passa do estado sólido para o estado líquido. Dentre os materiais metálicos, o ponto de fusão é uma propriedade importante para determinar sua utilização. O alumínio, por exemplo, se funde a 660°C, enquanto o cobre se funde a 1.084°C.

Ponto de ebulição – é a temperatura em que o material passa do estado líquido para o estado gasoso.

Dilatação térmica – é a propriedade que faz com que os materiais, em geral, aumentem de tamanho quando há elevação da temperatura. Esse efeito explica as folgas (juntas de dilatação) entre lajes nas estruturas de concreto, pontes e viadutos. É o espaço necessário para se acomodarem nos dias de muito calor.

Condutividade térmica – é a capacidade que determinados materiais têm de conduzir calor.

1.7.2 Propriedades elétricas

As propriedades elétricas determinam o comportamento dos materiais quando são submetidos à passagem de uma corrente elétrica.

Condutividade elétrica – é uma propriedade dos metais que está relacionada com a capacidade de conduzir a corrente elétrica.

Resistividade – é a resistência que o material oferece à passagem da corrente elétrica.

1.7.3 Propriedades magnéticas

Forças magnéticas aparecem quando partículas eletricamente carregadas se movimentam. É conveniente raciocinar em termos de campo magnético e linhas de força (imaginárias) que podem ser tracejadas indicando a distribuição do campo magnético.

Outro conceito importante é o conceito de dipolo magnético. Os dipolos magnéticos são análogos aos dipolos elétricos e podem ser imaginados como pequenas barras compostas de polo norte e polo sul.

Do mesmo modo que os materiais diferem na sua resposta a um campo elétrico, eles também diferem substancialmente quando expostos a um campo magnético. Os efeitos magnéticos nos materiais originam-se nas pequenas correntes elétricas associadas ou a elétrons em órbitas atômicas ou a *spin* de elétrons. Os materiais, quanto ao seu comportamento magnético, podem ser classificados em:

Diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos e antiferromagnéticos

1.7.4 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas podem ser compreendidas como a resposta do material quando submetido a esforços mecânicos, sendo determinadas através de ensaios. Algumas das propriedades que podem ser obtidas através desses ensaios são apresentadas a seguir.

Maleabilidade – propriedade de certos metais poderem deformar-se a frio ou a quente, sem se romperem e serem transformados em chapas de pouca espessura.

Elasticidade – propriedade dos corpos deformados sob ação momentânea de uma força, que tendem a retomar sua forma primitiva, desde que a força deixe de atuar.



Comportamento magnético do aço
<http://www.pmt.usp.br/academic/landgraf/nossos%20artigos%20em%20pdf/05berti%20abm%204340%20%20alterado.pdf>



Ensaio de dureza
<http://www.mspc.eng.br/ciemat/ensaio120.shtml>

Plasticidade – propriedade inversa da elasticidade. É a capacidade de certos metais de tomarem uma forma qualquer e a conservarem.

Dureza – denomina-se dureza a resistência ao risco ou abrasão. Na prática mede-se dureza pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza. Existem diversos processos como *Brinell*, *Rockwell*, *Shore*, *Vickers* e *Knoop*. As relações físicas entre dureza e resistência foram estabelecidas experimentalmente, de modo que o ensaio de dureza é um meio indireto de verificar a resistência do aço.

Tenacidade – é a capacidade de absorver energia mecânica com deformações elásticas e plásticas. No ensaio de tração simples, a tenacidade é medida pela área total do diagrama tensão-deformação.

Ductilidade – é a capacidade de o material se deformar sob a ação das cargas. Os aços dúcteis, quando sujeitos às tensões locais elevadas sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir os esforços. Esse comportamento plástico permite, por exemplo, que se considere, numa ligação rebitada, distribuição uniforme da carga entre os rebites. Além desse efeito local, a ductilidade tem importância porque conduz a mecanismos de ruptura acompanhados de grandes deformações que fornecem avisos da atuação de cargas elevadas.

Fragilidade – é o oposto da ductilidade. Os aços podem ser tornados frágeis pela ação de diversos agentes: baixa temperatura ambiente, efeitos térmicos locais causados, por exemplo, por solda elétrica. O estudo das condições em que os aços se tornam frágeis tem grande importância nas construções metálicas, uma vez que os materiais frágeis se rompem bruscamente.

Resiliência – é a capacidade de um metal absorver energia quando deformado elasticamente, isto é, dentro da zona elástica, liberando-a quando descarregada.

Fadiga – a resistência à ruptura dos materiais é, em geral, medida em ensaios elásticos. Quando as peças metálicas trabalham sob efeito de esforços repetidos em grande número, pode haver ruptura em tensões inferiores às obtidas em ensaios estáticos. Esse efeito denomina-se fadiga do material. A resistência à fadiga é, em geral, determinante no dimensionamento de peças sob ação de dinâmicas importantes, tais como peças de máquinas, de pontes, etc.

1.8 Tratamentos térmicos e de superfície

Os processos de produção industrial nem sempre fornecem materiais de construção nas condições desejadas. A dureza, a resistência necessária, as tensões internas que se originam nos processos mecânicos de produção podem criar problemas, sendo necessário, portanto, algum tratamento térmico.

1.8.1 Tratamentos térmicos

Os objetivos gerais dos tratamentos térmicos são: remoção de tensões, aumento ou diminuição da dureza, melhoria da resistência ao desgaste e à corrosão e a usinabilidade. Existem outras características também importantes como o alívio das tensões internas chamado revenido.

Os tratamentos térmicos mais comuns são: recozimento, normalização, têmpera, revenimento, tratamentos isotérmicos, coalescimento e endurecimento por precipitação. A têmpera e o revenido geralmente estão combinados, pois enquanto o primeiro aumenta as propriedades de resistência o segundo alivia as tensões excessivas. Já o recozimento é o contrário da têmpera, diminui as propriedades mecânicas dos materiais.

De maneira geral os tratamentos térmicos consistem em aquecer os materiais até uma temperatura acima da temperatura de recristalização e na sequência, resfriar de modo rápido em meios líquidos ou gasosos. Os tratamentos térmicos mais comuns são:

Têmpera – é um dos tratamentos térmicos destinados à obtenção de dureza nos aços, e consiste basicamente em aquecê-los em um forno com temperaturas acima da zona crítica (temperatura de recristalização) e resfriá-los rapidamente.

Revenido – aplicado nos aços temperados com o objetivo de melhorar a ductilidade e reduzir as tensões internas. Consiste em aquecer a temperaturas inferiores à temperatura crítica, geralmente entre 400°C e 600°C.

Recozimento – tem o objetivo de remover as tensões devidas aos processos de conformação mecânica, melhorando a ductilidade. O recozimento mais comum é o chamado total ou pleno, onde o material é geralmente aquecido a uma temperatura acima da zona crítica (zona de austenitização), seguido de resfriamento lento, desligando o forno e mantendo as peças no seu interior.

Normalização – tem o objetivo de refinar o grão, principalmente em materiais fundidos, laminados ou forjados. É um tratamento preliminar a têmpera e ao revenido, a fim de produzir estruturas mais uniformes. Semelhante ao recozimento consiste no aquecimento a uma temperatura crítica e resfriamento em temperatura ambiental.

Os tratamentos térmicos produzem modificações nos constituintes primários das ligas ferrosas, sem alterar a composição química, apenas as propriedades mecânicas são modificadas. Existem também os tratamentos termoquímicos que podem ser produzidos nas superfícies dessas ligas. Esses mudam as propriedades mecânicas e alteram a composição química das estruturas cristalina e superficial.

1.8.2 Tratamentos de superfície

Quando se trata de pintura não há dúvidas que é um tratamento de superfície de revestimento, mas além da pintura existem os processos de revestimentos metálicos, denominados também de metalização como galvanização, cromagem, estanhagem, etc.



Tratamentos termoquímicos dos
aços

[http://www.mspc.eng.br/
cimat/aco180.shtml](http://www.mspc.eng.br/cimat/aco180.shtml)

[http://www.mspc.eng.br/
cimat/aco170.shtml](http://www.mspc.eng.br/cimat/aco170.shtml)

O processo de tratamento superficial com alteração da composição química e das propriedades dos materiais é chamado de tratamento termoquímico. Os principais são: a **cementação**, que consiste na introdução de uma camada de carbono na superfície do aço de baixo e médio teores de carbono, a **nitretação**, que consiste na adição de nitretos provenientes do nitrogênio na superfície dos mesmos aços e a **cianetação**, que consiste na adição simultânea de carbonetos e nitretos na superfície dos aços.

De modo geral os processos termoquímicos consistem em submeter as peças metálicas ao calor em um meio apropriado (rico em carbonetos e/ou nitretos). O calor e o meio que é exposto o material são os fatores responsáveis pela alteração da composição química superficial do metal tratado. Outro fator é o tempo de processo que será responsável pela profundidade até onde essa alteração se efetuará. O objetivo principal desses tratamentos é aumentar a dureza e a resistência ao desgaste superficial e à corrosão, ao mesmo tempo em que se mantém dúctil e tenaz o núcleo do material.

1.9 Ligas não ferrosas

Anteriormente já foram expostas as razões pelas quais as ligas ferrosas são consumidas em quantidades extraordinariamente grandes. No entanto, essas ligas também possuem algumas limitações. Podem-se citar as seguintes:

- Densidade relativamente alta.
- Condutividade elétrica comparativamente baixa.
- Suscetibilidade (exceto nos aços inoxidáveis) à corrosão em alguns ambientes usuais.

Sendo assim, para muitas aplicações, torna-se vantajoso ou até mesmo necessário utilizar outras ligas que possuam combinações de propriedades mais apropriadas. As ligas metálicas são classificadas de acordo com o seu metal-base ou de acordo com alguma característica que um grupo de ligas compartilha.

Entre as principais ligas temos as de cobre, alumínio, chumbo, estanho, zinco, magnésio, níquel e titânio.

1.9.1 Cobre e suas ligas

O cobre é um metal vermelho-marrom que apresenta ponto de fusão correspondente a 1.083°C e densidade correspondente a 8.260kg/m^3 (a 20°C). Depois da prata é o melhor condutor de calor e eletricidade.

O cobre tem boa ductilidade, quando em estado puro. É tão mole e dúctil que é difícil usiná-lo. Possui uma capacidade quase ilimitada de ser submetido à deformação plástica a frio, daí ser transformado em fios. Além disso, o cobre é altamente resistente à corrosão em diversos ambientes como a atmosfera ambiente, a água do mar e a alguns produtos químicos industriais. As propriedades mecânicas e de resistência à corrosão do cobre podem ser aprimoradas pela formação de ligas. A maioria das ligas de cobre não pode ser endurecida ou ter sua resistência melhorada através de processos de tratamento térmico, portanto, para se obter esse tipo de resultado devem-se trabalhar esses materiais a frio.

As duas principais ligas de cobre são:

Bronze (Cu-Sn) e os latões (Cu-Zn)



Ligas de cobre

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/metnfer120.shtml>

<http://www.mspc.eng.br/ciemat/metnfer130.shtml>

1.9.1.1 Ligas cobre-estanho (Cu-Sn)

Esta liga também recebe um nome especial: **bronze**, e é uma liga onde o **estanho** é o principal elemento de liga. Os teores de estanho contidos nos bronzes podem variar de 2 a 10%. Os bronzes são relativamente mais resistentes que os latões e possuem um elevado nível de resistência à corrosão.

À medida que aumenta o teor de estanho, aumentam a dureza e as propriedades relacionadas com a resistência mecânica, sem que ocorra queda na ductilidade. Essas ligas podem, geralmente, ser trabalhadas a frio, o que melhora a dureza e os limites de resistência à tração e ao escoamento.

As propriedades do bronze ainda podem ser melhoradas através da adição de até 0,04% de **fósforo**, que atua como desoxidante. Nessa condição recebe o nome de **bronze fosforoso**.

Adicionando-se pequenas quantidades de **chumbo** melhoram as propriedades lubrificantes (ou antifricção), além da usinabilidade. Esse tipo de bronze é largamente utilizado na construção de mancais de deslizamento.

O bronze tem entre suas principais qualidades a autolubrificação e a boa resistência à corrosão.

A dificuldade de usinagem e boas qualidades de fundição levam a utilizá-lo principalmente sob a forma de peças fundidas. Com teores de 4% a 10% de Sn usado na fabricação de medalhas e moedas; com teores de 10% a 12% é usado na fabricação de torneiras e acessórios de tubulações e com teores de 14% a 18% é indicado para peças que exijam boa resistência ao desgaste por abrasão e resistência à água do mar.

O **zinco** também é, eventualmente, adicionado, atuando como desoxidante em peças fundidas e para melhorar a resistência mecânica.

1.9.1.2 Ligas cobre-zinco (Cu-Zn)

Essa liga recebe um nome especial: **latão** e é uma das ligas de cobre mais comuns, onde o **zinco** é o elemento de liga predominante. Atua na forma de substituição das impurezas. Os teores de zinco contidos no latão podem variar de 5 a 50%, o que significa que existem vários tipos de latão.

À medida que os níveis de zinco se elevam, ocorre também uma diminuição da resistência à corrosão em determinados meios agressivos, podendo, assim, ocorrer um processo conhecido por **dezinficação**, ou seja, corrosão preferencial do zinco.

As utilizações mais comuns do latão incluem: bijuterias, cápsulas para cartuchos, radiadores automotivos, instrumentos musicais e moedas.

O latão pode conter pequenas quantidades de outros elementos de liga, tais como:

Chumbo, alumínio e estanho

O latão que contém chumbo possui alta usinabilidade, por isso, é utilizado em componentes elétricos e mecânicos como: parafusos, componentes rosqueados, rebites, porcas, terminais de baterias elétricas, terminais de velas de ignição, buchas, mancais, dentre outras aplicações que exigem usinagem fácil e econômica.

O latão que contém alumínio, juntamente com pequenas quantidades de arsênio, possui melhor resistência à corrosão, pois esses elementos de liga diminuem a “dezinificação”.

Já o latão contendo estanho apresenta boa resistência à corrosão em água doce ou salgada. É empregado na forma de placas e tubos para permutadores de calor, condensadores, peças forjadas e usinadas para equipamentos de refino de petróleo; construção naval, dentre outras aplicações.

1.9.1.3 Outras ligas de cobre

As demais ligas de cobre estão apresentadas a seguir, com as principais características e aplicações.

Quadro 1.5 : Ligas de cobre		
Liga	Características	Aplicações
Cobre-níquel	Boa resistência à corrosão, resistividade independentemente da temperatura, boa conformabilidade.	Resistências elétricas, componentes elétricos, tubos usados em linhas hidráulicas e pneumáticas.
Cobre-alumínio	Boas propriedades mecânicas, resistência à corrosão.	Tubos de condensadores e trocadores de calor, peças, bombas, fabricação de moedas e medalhas.
Cobre-berílio	Boa condutividade elétrica e térmica, boa resistência mecânica, principalmente à fadiga.	Diagramas e quadros flexíveis, componentes de chaves elétricas, máquinas de soldagem por resistência elétrica.
Cobre-silício	Maleabilidade, ductilidade, boa condutividade elétrica.	Tanques, tubulações, eletrodos de soldagem, linhas hidráulicas de pressão.

Fonte: CTISM



Ligas de alumínio:
<http://www.mspc.eng.br/ciemat/metnfer110.shtml>

1.9.2 Alumínio e suas ligas

O alumínio é um metal com peso específico de 2.700kg/m³ (a 20°C) e ponto de fusão correspondente a 660°C. Esse material também apresenta boa condutibilidade térmica e elétrica e boa resistência à corrosão em alguns ambientes comuns. Devido a essas características, aliadas à existência de grandes quantidades do seu minério principal, o alumínio tornou-se o metal mais importante, depois do ferro.

O alumínio pode ser facilmente fundido e trabalhado a frio (laminação, extrusão, prensagem, etc.) para fabricar tubos, arames, perfilados e chapas. Isso fica evidente nas finas folhas de **papel alumínio**, onde o alumínio praticamente puro é laminado até atingir a espessura desejada. A facilidade de usinagem depende da composição. No estado puro apresenta mais dificuldades devido à consistência muito macia dos cavacos. Alguns tratamentos térmicos são possíveis, dependendo da composição da liga. A soldagem é possível com o uso de substâncias que removem a camada de óxido. O acabamento superficial mais comum é a pintura e a **anodização**.

A-Z

Anodização

é um processo eletrolítico de tratamento de superfície do alumínio, onde ocorre a formação de uma camada uniforme de óxido de alumínio na superfície do alumínio, protegendo contra corrosão ou qualquer outro ataque do meio ambiente como ar salino, fumaça industrial, etc.

Da mesma forma que a maioria das ligas de cobre, a maioria das ligas de alumínio são endurecidas através de deformação plástica a frio e mediante a formação de ligas. Em contrapartida, esses processos diminuem a resistência à corrosão.

O Quadro 1.6 a seguir mostra as principais ligas de alumínio, características e aplicações.

Quadro 1.6: Ligas de alumínio		
Liga	Características	Aplicações
Alumínio-cobre	Excelente usinabilidade, baixa resistência à corrosão e oxidação, baixa soldabilidade.	Peças que exijam boa resistência mecânica, equipamentos que devam suportar temperaturas em torno de 150°C.
Alumínio-silício	Elevada resistência à corrosão, fragilidade, boa fluidez para fundição.	Fabricação de peças fundidas, como pistões para motores de automóveis, metais de adição para soldagem.
Alumínio-magnésio	Apresenta melhor combinação de propriedades mecânicas, resistência à corrosão, usinabilidade.	Indústria naval, metais de adição para soldagem, indústria automobilística, tampas para latas e bebidas.
Alumínio-estanho	Alto limite de resistência à fadiga e boa resistência a corrosão pela ação de óleos lubrificantes.	Fabricação de mancais e buchas.

Fonte: CTISM

1.9.3 Chumbo e suas ligas

O chumbo foi um dos primeiros metais a ser descoberto pelo homem. Possui uma densidade de 11.340kg/m^3 e ponto de fusão equivalente a 327°C .

Apresenta baixa resistência mecânica, é muito mole, maleável e deformável. A sua resistência à corrosão é elevada, inclusive sob a ação de certos ácidos como o sulfúrico.

Segundo a norma brasileira o teor de pureza do chumbo varia entre 99,5 e 99,99%, e as principais impurezas encontradas são:

Prata, arsênio, bismuto, cobre, ferro, antimônio, estanho e zinco

Devido a essas propriedades, o chumbo e suas ligas são utilizados em aplicações como revestimentos de cabos elétricos (com a finalidade de evitar que a umidade do meio ambiente atinja o núcleo isolante do cabo), como solda (em tubulações para água), em placas de acumuladores ou baterias, em ligas para mancais, em placas protetoras contra a ação de raios X e raios gama, como revestimento protetor e impermeabilizante em relação às intempéries, em aplicações químicas como aditivo de petróleo, pigmento de tintas, em vidraria, etc.

1.9.4 Estanho e suas ligas

O estanho possui um peso específico de 7.300kg/m^3 e um ponto de fusão em torno de 232°C . É um material mole, dúctil e maleável; possui baixa resistência mecânica e elevada resistência à corrosão.

Segundo a norma brasileira o teor de pureza do estanho varia de 99 a 99,95%, podendo conter as seguintes impurezas:

Mais comuns – antimônio, arsênio, bismuto, cobre, ferro, chumbo, níquel juntamente com cobalto e zinco.

Mais raras – prata, cádmio, alumínio e enxofre.

A principal aplicação do estanho faz-se na estanhação (por imersão a quente ou eletrodeposição) de chapas de aço, originando-se as conhecidas **folhas de flandres**, que se caracterizam por elevada resistência à corrosão e, por este motivo, são largamente utilizadas na confecção de latas ou recipientes para embalagem de produtos alimentícios.



Ligas de outros metais:
<http://www.mspc.eng.br/ciemat/metnfer140.shtml>

Outra aplicação do estanho ocorre, devido ao seu baixo ponto de fusão, em dispositivos de segurança contra fogo, metais de soldagem e de vedação.

Finalmente, outra aplicação importante do estanho dá-se nas ligas para mancais, também chamadas de **metais babbitt**.

Comparadas com outros materiais para mancais, essas ligas apresentam resistência à fadiga relativamente baixa, de modo que são mais recomendadas para condições de baixa carga. Entretanto, sua resistência à corrosão é bem maior que a das ligas a base de chumbo.

1.9.5 Zinco e suas ligas

O zinco apresenta uma densidade de 7.130kg/m^3 e um ponto de fusão em torno de $419,4^\circ\text{C}$. Possui alta resistência à corrosão, porque exposto ao ar úmido produz espontaneamente uma película protetora de hidrocarbonato. É um material muito maleável entre 100 e 150°C , podendo ser laminado em chapas e estirado em fios, além de possuir uma boa usinabilidade.

O zinco é aplicado principalmente no recobrimento de chapas de aço (galvanização), como elemento de liga no latão; em ligas para fundição sob pressão e como substância química na forma de pigmentos.

Segundo norma brasileira o teor de pureza do zinco varia entre 98 e 99,95%, encontrando-se as seguintes impurezas:

Chumbo, cádmio e ferro

1.9.5.1 Ligas zinco, alumínio, magnésio e cobre (Zn-Al-Mg-Cu)

As ligas de zinco são usadas industrialmente, principalmente, para fundição sob pressão e são comercialmente chamadas de **ZAMAC**.

Zamac são ligas de zinco com alumínio, magnésio e cobre

De todas as ligas não ferrosas para a fundição sob pressão, as ligas de zinco são as que possuem maior campo de utilização, devido às suas particulares propriedades físicas, mecânicas e de fundição, associadas a uma capacidade de poderem ser facilmente revestidas por eletrodeposição (cobreação, niquelação e cromação) ou por pinturas com tintas e vernizes.

Os seus baixos pontos de fusão (aproximadamente 385°C) conferem ao molde permanente longa vida, permitindo a produção de grandes séries de peças fundidas.

A grande fluidez dessas ligas facilita a obtenção de peças de formato complexo e de paredes finas. Podem ser usadas também para a fundição por gravidade em moldes permanentes ou em fundição centrífuga. São metais de fácil usinagem.

As impurezas permitidas nessas ligas são:

Ferro, chumbo, estanho e cádmio

1.9.6 Magnésio e suas ligas

O magnésio apresenta uma densidade de 1.740kg/m³ e um ponto de fusão em torno de 650°C. É um metal relativamente mole e maleável, porém sua ductilidade é baixa, assim como sua resistência mecânica e sua tenacidade. Pode ser forjado, extrudado, laminado, fundido em areia, em molde permanente e sob pressão. A resistência à corrosão não é das melhores devido ao elevado potencial eletronegativo. Muitas vezes, há necessidade de revestimentos anticorrosivos. As peças fabricadas com esse material podem ser usinadas, mas com cuidados especiais porque os cavacos se incendiam facilmente.

Os principais elementos de liga utilizados são:

Alumínio, manganês, zircônio e tório

As aplicações das ligas de magnésio estão concentradas, principalmente, na indústria aeronáutica (componentes de motores, fuselagem, trem de pouso), na indústria automobilística (caixas de engrenagens) e em componentes de máquinas operatrizes.

1.9.7 Níquel e suas ligas

O níquel apresenta densidade de 8,880kg/m³ e um ponto de fusão em torno de 1.455°C. A sua principal característica é a elevada resistência à corrosão. É um material maleável e pode ser facilmente trabalhado, inclusive por deformação a frio, o que acaba melhorando a sua resistência. É muito tenaz, não é tratável termicamente e possui uma usinabilidade razoável.

Suas principais aplicações são feitas como revestimento protetor do aço (niquelação) e como elemento de liga nos produtos siderúrgicos.

Em geral, a presença do níquel em ligas proporciona ou melhora características como resistência à corrosão, resistência em altas temperaturas, propriedades magnéticas e expansão térmica.

1.9.7.1 Ligas níquel-cobre (Ni-Cu)

A liga Ni-Cu, também denominada de **Metal Monel**, contém de 60 a 70% de níquel, 29% de cobre e traços de ferro, silício, enxofre, carbono e manganês.

O metal *Monel* é tenaz, possui resistência mecânica superior à do aço de médio carbono e excelente resistência à corrosão. Por esses motivos ele é empregado em equipamentos hospitalares, equipamentos para indústrias químicas, farmacêuticas, têxteis, elétricas, marítimas e de papel. Outras aplicações importantes se dão no manuseio de alimentos, válvulas para vapor e aplicações semelhantes.

1.9.7.2 Ligas níquel-cromo (Ni-Cr)

A liga Ni-Cr também possui denominações comerciais, como **Hastelloy**, **Inconel** e outras. As ligas Ni-Cr são usadas onde a resistência ao calor e/ou à corrosão são determinantes, como em pás e demais partes de turbinas a gás.

1.9.8 Titânio e suas ligas

O titânio apresenta uma densidade de 4.500kg/m^3 e um ponto de fusão em torno de 1.668°C . Esse material se caracteriza pela elevada resistência à corrosão. É o único realmente imune à ação corrosiva da água do mar. Essa característica torna o titânio indicado para aplicações na indústria naval e em condições de resistência à ação corrosiva de soluções cloradas e de cloretos químicos. Daí a sua aplicação na indústria petroquímica.

Devido ao seu elevado ponto de fusão, o titânio apresenta boa estabilidade a temperaturas relativamente elevadas, não sofrendo modificações na sua estrutura cristalina. Assim, algumas ligas de titânio mantêm satisfatória resistência mecânica e boa resistência à oxidação a 530°C (por longos períodos) e a 760°C (por curtos períodos). Daí sua aplicação em mísseis.

Entretanto, o titânio não oferece vantagens somente a temperaturas elevadas, mas também a temperaturas baixas, por isso é recomendável na fabricação de recipientes para produtos químicos a temperaturas abaixo de zero.

A principal limitação do titânio está na sua reatividade química com outros materiais a temperaturas elevadas. Essa propriedade exigiu o desenvolvimento de técnicas **não convencionais** de beneficiamento, fusão e fundição. Consequentemente, as ligas de titânio são relativamente caras.

Entre as principais ligas de titânio temos:

Liga Titânio – Alumínio – Estanho (Ti-Al-Sn):

Empregada em chapas para caixas de compressores de turbinas a gás e nas palhetas de turbinas.

Liga Titânio – Alumínio – Manganês (Ti-Al-Mn):

Utilizada em peças forjadas para aviões a jato.

Ligas Titânio – Alumínio – Vanádio (Ti-Al-V):

Nas peças, discos e lâminas de compressores de turbinas a gás, chapas de fuselagem e aplicações semelhantes na indústria aeronáutica.

Liga Titânio – Manganês (Ti-Mn):

Apresenta boa capacidade de ser conformada, destinando-se a aplicações estruturais em aviões.

		Bronze (recozido)	Concreto (média)	Concreto (alta)	Vidro	Pinho (8)	Carvalho (8)	Poliétileno	Granito
ρ	Massa especif. (ton/m ³)	8,86	2,41	2,41	2,5	0,55	0,69	0,91	2,7
E	Módulo elástico longitud. (GPa)	100	24	31	75	13	12	3	70
G	Módulo elástico transver. (GPa)	45	-	-	27	-	-	-	-
Tensão de ⁽²⁾ escoamento	σ Tração (MPa)	140	-	-	-	56	58	-	-
	τ Cisalh. (MPa)	85	-	-	-	-	-	-	-
Tensão última (ruptura)	σ Tração (MPa)	340	-	-	5	-	-	48	21
	σ Compr. (MPa)	340	25	34	10	51	48	90	240
	τ Cisalh. (MPa)	200	-	-	-	7,6	13	55	35
ϵ	Elong. percent. (%)	50	-	-	-	-	-	-	-
α	Coef. dil. ter. (10 ⁻⁶ C ⁻¹)	16,9	10	10,8	79	-	-	-	7,2

Figura 1.9: Propriedades dos materiais
Fonte: CTISM

1.10 Metais refratários

Os metais que possuem temperaturas de fusão extremamente altas são classificados como **metais refratários**. Nesse grupo estão inclusos:

Nióbio (Nb), molibdênio (Mo), tungstênio (W), tântalo (Tâ)

A temperatura de fusão desses materiais varia desde 2.468°C para o nióbio, até 3.410°C para o tungstênio.

A ligação interatômica nesses materiais é extremamente forte, o que é responsável pelas temperaturas de fusão e, além disso, pelos elevados módulos de elasticidade, altas resistências e durezas, tanto a temperatura ambiente como a temperaturas elevadas.

As aplicações desses materiais são variadas. Por exemplo, o tântalo e o molibdênio são ligados com o aço inoxidável para melhorar a sua resistência à corrosão. As ligas de molibdênio são utilizadas para matrizes de extrusão e peças estruturais em veículos espaciais. As ligas de tungstênio têm aplicações nos filamentos de lâmpadas incandescentes, em tubos de raios X e em eletrodos não consumíveis de soldagem.

Resumo

Nessa aula estudamos os materiais metálicos, os quais são matérias-primas fundamentais para os processos industriais de construção de bens duráveis para atender ao mercado consumidor. Entre eles as ligas ferrosas são as mais importantes. Entre essas os aços se destacam, enquanto os ferros fundidos são utilizados menos frequentemente, em situações específicas e de relevante qualidade.

É importante compreender os processos de obtenção de cada um deles, assim como suas propriedades e uso. Destacamos os aços de carbono comum de uso geral, os aços de construção civil (principalmente CA 50, 60), os aços inoxidáveis, os utilizados para ferramentas, aços de alto teor de liga, bem como os aços especiais para uso em situações específicas.

Os não ferrosos e suas ligas são outro grupo de materiais bastante utilizado nos processos de transformação industrial. As características próprias de cada um fazem deles material insubstituível na construção de manufaturas. O cobre, alumínio, zinco, estanho, chumbo, níquel e suas ligas, são os mais utilizados. Além desses, têm crescido muito nos últimos tempos os novos materiais e também as novas ligas.



O tungstênio possui a mais elevada temperatura de fusão dentre todos os metais.



Atividades de aprendizagem

1. Descreva o processo de obtenção dos aços.
2. Defina aços e ferro fundido.
3. Qual a diferença entre aços e aços-ligas?
4. Como são classificados os aços?
5. Relacione as propriedades dos aços.
6. Qual a influência do teor de carbono no aço?
7. Descreva os principais tratamentos térmicos.
8. Relacione as características dos aços inoxidáveis.
9. Relacione as aplicações do ferro fundido.
10. Descreva microestruturas das ligas ferrosas.
11. Identifique os principais materiais não ferrosos.
12. Descreva as principais ligas de cobre.
13. Relacione as aplicações do alumínio e suas ligas.
14. Descreva os materiais não ferrosos.
15. Relacione as aplicações de chumbo, estanho, zinco, magnésio, níquel, titânio e suas ligas.

Aula 2 – Materiais plásticos

Objetivos

Reconhecer os processos de obtenção dos plásticos.

Definir e classificar plásticos.

Relacionar as principais características dos polímeros.

Identificar os processos de fabricação das peças plásticas.

2.1 Plásticos

Os plásticos são um grupo de materiais, geralmente sólidos, obtidos a partir dos processos químicos de polimerização, por isso também são chamados de polímeros.

A maioria dos polímeros tem origem orgânica e são compostos de hidrogênio e carbono (hidrocarbonetos) com ligações covalentes. A lã, a madeira, o couro, a seda, a borracha e o algodão são exemplos de materiais derivados de polímeros naturais. As proteínas, as enzimas, os amidos e a celulose são outros exemplos de polímeros naturais.

Elasticidade e plasticidade são expressões conhecidas e aplicadas aos materiais metálicos. Para os polímeros o sentido é um pouco diferente.

O conceito de plástico aqui usado é o seguinte:

(...) os plásticos são definidos como “um grupo arbitrário” de materiais artificiais, geralmente de origem orgânica sintética, que em algum estágio de sua fabricação adquiriram a condição plástica durante a qual foram moldados, com aplicação de pressão e calor. (CHIAVERINI, 1986c, p.324).



Saiba mais sobre polímeros
<http://portalsaofrancisco.com.br/alfa/polimeros/polimeros-1.php>

O desenvolvimento científico tornou possíveis estruturas semelhantes aos polímeros naturais de modo sintético nos quais é possível um maior controle das propriedades e redução do custo de produção. Um grande número de materiais úteis do nosso cotidiano são polímeros sintéticos: borrachas, materiais plásticos e algumas fibras.

As características e as propriedades dos plásticos facilitam as aplicações na construção de peças e equipamentos pela indústria de transformação.

2.2 Definição de plástico

Chiaverini cita o Instituto Britânico de Padrões, para definir os plásticos:

(...) amplo grupo de materiais sólidos, compostos eminentemente orgânicos, usualmente tendo por base resinas sintéticas ou polímeros naturais modificados e que possuem, em geral, apreciável resistência mecânica. Em determinado estágio de sua fabricação, a maioria dos plásticos pode ser fundida, moldada ou polimerizada na forma final. Alguns plásticos são semelhantes à borracha, enquanto algumas formas de borrachas quimicamente modificadas são consideradas plásticos. (1986c, p. 324).



http://www.plastivida.org.br/os_plasticos/oquesao.htm

A matéria-prima dos plásticos é o petróleo, que é na realidade uma complexa mistura de compostos. Pelo fato desses compostos possuírem diferentes temperaturas de ebulição, é possível separá-los através de um processo conhecido como destilação ou craqueamento (quebra da molécula). A fração nafta (C_5 à C_{12}) é fornecida para as centrais petroquímicas onde passa por uma série de processos, dando origem aos principais monômeros, como o eteno. O carbono é o elemento fundamental de todos os plásticos, combinado com quatro átomos de outro elemento.

Polímero é a combinação de monômeros (menor unidade molecular que constitui partícula elementar da matéria), por um processo chamado “polimerização”, formando uma cadeia. Exemplo de um monômero é o gás etileno C_2H_4 e de polímeros são o polietileno e o polipropileno. O processo de polimerização que produz os polímeros a partir dos monômeros consiste na aplicação de calor, pressão, utilização de processos químicos e aditivos, de modo a resultar em estruturas em forma de cadeia. Os polímeros são, no comércio, frequentemente chamados de “resinas”. A combinação de dois grupos de monômeros diferentes, por polimerização, produz um “copolímero”. Obtém-se um material composto diferente do polímero. Chama-se “polímero linear” aquele que apresenta largura de apenas uma unidade; seu comprimento é de vários milhares de unidades, como uma cadeia.

Em função das forças coesivas podemos definir:

Fibra – é o polímero que apresenta a ligação mais forte.

Elastômero – é o polímero com ligações fracas e uma estrutura desordenada que confere elasticidade ao material.

Plástico – é o polímero com ligações fortes, o qual quando deformado não readquire a forma original.

O peso molecular e o grau de polimerização GP são característicos das dimensões e do tamanho do polímero. A cristalinidade é outro fator que determina o comportamento de um polímero. Corresponde à medida da regularidade e perfeição da estrutura molecular determinando parcialmente a natureza e o comportamento do plástico.

O **peso molecular**, na verdade é a massa molecular ou molar, ou seja, massa molecular relativa. Resulta do processo de polimerização em que uma molécula maior é sintetizada a partir de outra menor. O crescimento nas diferentes cadeias irá determinar seus tamanhos e conseqüentemente sua massa (peso) molecular. A medida de propriedades físicas como a viscosidade e a pressão osmótica são indicações para determinar o peso (massa) molecular.

O **grau de polimerização** indica o número médio de unidades padrão (mero) em uma cadeia.

As estruturas das cadeias moleculares mais comuns são:

- **Lineares** – as que têm as unidades moleculares unidas ponta a ponta em uma única cadeia. São flexíveis e com grande número de ligações de *van der Waals*. O cloreto de polivinila, o polietileno, o poliestireno, o polimetil metacrilato, o náilon e os fluorocarbonos são alguns exemplos.
- **Ramificados** – as cadeias laterais estão ligadas às principais, formando ramificações decorrentes de reações paralelas durante a síntese de um polímero. Esses ramos diminuem a compactação e, em conseqüência, a densidade do polímero.



Ligação de *van der Waals*

A ligação interatômica mais fraca, isto é, com menor energia de ligação, é a chamada ligação de *van der Waals* (1). Ela ocorre entre átomos neutros, átomos de gases nobres (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn), entre moléculas não polares e, de forma geral, em todos os líquidos e sólidos. Entretanto, ela somente tem importância quando não existem outros tipos de ligações químicas presentes. As ligações de *van der Waals* são mais fracas que as ligações intermoleculares de moléculas polares, como o HCl e H₂S, que não formam ligações de hidrogênio. Ligações de tipo *van der Waals* são também mais fracas que as ligações intermoleculares entre uma molécula polar e outra apolar, pois a molécula polar induzirá polaridade na molécula apolar. Essas observações não devem reduzir a importância do fenômeno da teoria de *van der Waals*, pois com esta teoria é possível descrever um grande número de fenômenos físicos, tais como os fenômenos de superfície (Veja capítulo 12, Superfícies e Interfaces). As ligações de *van der Waals* são também importantes na determinação da estrutura e de propriedades de polímeros naturais e biológicos sendo muitas vezes, suficientemente fortes para determinar os arranjos finais de grupos de átomos nos sólidos. De um ponto de vista tecnológico, esse tipo de ligação é cada vez mais importante na produção industrial de peças e componentes de dimensões nanométricas

<http://www.cienciadosmateriais.org/index.php?acao=exibir&ap=2&top=213>

- **Ligações cruzadas** – cadeias lineares são unidas em várias partes por ligações covalentes, não reversíveis, realizadas em altas temperaturas durante a síntese do polímero. Nas borrachas esse processo é conhecido como vulcanização. Essas ligações são facilitadas pela presença de átomos ou moléculas de aditivos com ligações covalentes às cadeias. Materiais elásticos como a borracha e suas características são exemplos.

Nos polímeros em rede, a unidade molecular possui três ligações covalentes ativas, formando redes. A presença de um número grande de ligações cruzadas também pode caracterizar um desses polímeros.

As propriedades térmicas e mecânicas são distintas dos demais, o epóxi e os à base de fenolformaldeído são alguns dos materiais desse grupo.

A **crystalinidade** do polímero envolve moléculas, diferentemente do que ocorre nos metais e suas combinações são mais complexas do que estes. As estruturas cristalinas é uma matriz ordenada que forma uma célula unitária com um padrão de repetições, variando de totalmente amorfo até o completamente cristalino, e isso determina o grau de cristalinidade do material.

2.3 Grupos dos plásticos

Os plásticos podem ser classificados, de uma forma generalizada, em dois grandes grupos:

Termofixos ou termoestáveis e termoplásticos

Termofixos ou termoestáveis – possuem polímeros em rede, com cadeias laterais. São conhecidos como irreversíveis, pois o elemento básico, a resina, durante sua produção desprende elementos secundários. Aplicando calor, os materiais amolecem e ficam plásticos, prosseguindo na aplicação de calor (chamada cura) eles se transformam quimicamente e endurecem. Assim permanecem e mesmo reaquecidos não se tornam moles. Sob calor intenso haverá combustão. Para a moldagem, esses plásticos exigem geralmente calor e pressão. Dentre os plásticos termofixos, os mais comuns são provenientes do fenol-formaldeído e da uréia-formaldeído. Como exemplo desse tipo de plástico podemos destacar a baquelite.

Termoplásticos – são os que correspondem a um polímero linear que, ao ser aquecido sob pressão a sua consistência altera-se de sólida a mole e viscosa. Nesse processo não ocorrem reações químicas, e os produtos obtidos podem ser reamolecidos, ou seja, podem ser reutilizados, amolecendo sob ação de calor e endurecendo novamente quando resfriados.

Os termoplásticos formam o grupo dos plásticos com maior utilização na indústria. Como exemplo, podemos citar poliestireno, cloreto de polivinila (PVC), polietileno e náilon.

2.4 Propriedades dos plásticos

As principais propriedades são as mecânicas, químicas, térmicas, óticas e elétricas.

Ótica – o elemento básico é a transparência que permite visualização com nitidez de até 90%, podendo também ser colorido.

Térmica – destaca-se a elevada resistência ao amolecimento pelo calor.

Elétrica ou resistência dielétrica – capacidade de isolamento elétrica

Mecânica – resistência ao choque é uma característica fundamental. É importante em vasilhames e embalagens.

Resistência química – é a resistência à ação de moléculas estranhas que podem romper ou enfraquecer as ligações.

2.5 Aditivos dos plásticos

Aditivos são substâncias adicionadas aos plásticos com objetivos determinados. Entre eles podemos citar os estabilizadores, os materiais de enchimento e os plastificantes.

Os aditivos previnem, de um modo geral, a degradação dos plásticos por autoenvelhecimento, oxidação, efeito do calor e da luz, fratura por flexão e fratura por ação atmosférica prolongada.

Os estabilizadores têm o objetivo de prevenir ou reduzir a degradação dos plásticos quando expostos à ação da luz e do calor. Dentre eles podemos citar os sais de chumbo, bário, cálcio, cádmio e zinco, que controlam a degradação pela luz e calor.

A adição de um material de enchimento promove a formação de um novo material, apresentando melhor resistência mecânica, resistência ao desgaste e ao choque e maior estabilidade dimensional. Podemos citar como exemplo: fibras de asbesto, fibras de celulose e certas misturas de pó.

Os plastificantes são aditivos que reduzem a rigidez ou fragilidade dos plásticos. Por exemplo, uma parte de um plastificante adicionada a três partes de cloreto de vinil produz um plástico flexível. Entre os plastificantes podemos destacar: alfanóis (ésteres com 7 ou 9 átomos de carbono), poliésteres, epóxis, etc. (reduzem a sua fragilidade e os tornam flexíveis).

2.6 Ligas plásticas

Os materiais plásticos, do mesmo modo que os metais, podem ser ligados, resultando igualmente produtos de melhor qualidade. Os tipos mais comuns combinam o cloreto de polivinil (PVC), o ABS e os policarbonatos, que se ligam entre si ou com outros tipos de polímeros.

2.7 Processos de fabricação de peças em materiais plásticos

A matéria-prima para a fabricação de plásticos corresponde a polímeros na forma líquida, pulverizada ou pelotizada.

Um dos processos mais utilizados na fabricação de peças é o da moldagem por injeção, em que um êmbolo ou pistão, movimentando-se rapidamente para frente e para trás, empurra o plástico aquecido e amolecido através de um espaço entre as paredes do cilindro e um torpedo aquecido, localizado no centro do cilindro. Sob pressão, o polímero torna-se suficientemente fluido para escorrer no interior do molde. A temperatura da câmara de injeção pode atingir 250°C, e a pressão 2.100 kgf/cm².

Outro processo mais antigo é o da compressão. Nesse método, um volume predeterminado de pó do plástico é colocado na cavidade do molde, constituído de duas metades – macho e fêmea – ambas aquecíveis e resfriáveis.

Fechado o molde, aplica-se a pressão através da parte macho. A pressão pode variar entre 100 e 500 kgf/cm². A operação é conduzida em prensas especiais. A aplicação simultânea de calor e pressão amolece o pó que flui dentro da cavidade fêmea do molde, conformando-o de acordo com a forma desta.

O processo por extrusão é mais um, de certo modo semelhante ao de injeção. Além desses podemos incluir moldagem rotativa, moldagem por insuflação (sopro), revestimento de metal por plástico, calandragem, fusão e conformação.

Tabela 2.1: Propriedades dos polímeros

Polímero	Densidade	Módulo de Young G (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Temperatura vítrea (K)	Temperatura amolecimento (K)
Polietileno PE baixa densidade	0,90 - 0,94	0,15 - 0,24	7 - 17	270	355
Polietileno PE alta densidade	0,95 - 0,98	0,55 - 1,0	20 - 37	300	390
Polipropileno PP	0,91	1,2 - 1,7	50 - 70	253	310
Polietrafluoretileno PTFE	2,2	0,35	17 - 28	-	395
Poliestireno PS	1,1	3,0 - 3,3	35 - 68	370	370
Cloreto de polivinilo PVC	1,4	2,4 - 3,0	40 - 60	350	370
Nylons	1,15	2 - 3,5	60 - 110	340	350 - 420
Epóxis	1,2 - 1,4	2,1 - 5,5	40 - 85	380	400 - 440
Poliésteres	1,1 - 1,4	1,3 - 4,5	45 - 85	340	420 - 440
Borrachas	0,91	0,002 - 0,1	~10	220	~350

Fonte: CTISM

Resumo

Ao concluirmos esta aula, constatamos a importância que os plásticos têm como matéria-prima na indústria. A sua utilização vem aumentando substituindo antigos materiais. O avanço tecnológico desenvolveu técnicas de síntese que possibilitou melhores propriedades, assim como novos materiais. As pesquisas também criaram alternativas novas de aplicação desses materiais. É importante destacar a alta capacidade de reciclagem que esses materiais possuem, permitindo maior aplicação dos produtos elaborados a partir dos plásticos.



Atividades de aprendizagem

1. Descreva o processo de obtenção dos plásticos.
2. Defina fibra, elastômeros e plásticos.
3. Defina termofixos e termoplásticos.
4. Quais os principais tipos de plásticos?
5. Descreva as propriedades dos plásticos.
6. Relacione as propriedades dos plásticos com suas utilidades.
7. Descreva os processos de fabricação das peças de material plástico.

Aula 3 – Materiais cerâmicos

Objetivos

Reconhecer os materiais cerâmicos.

Definir material cerâmico.

Relacionar as características das cerâmicas.

3.1 Material cerâmico

Compreender o que são esses materiais é o primeiro passo para descobrir sua importância e suas principais aplicações. A utilização dos materiais cerâmicos pela indústria está passando por mudanças, assim como o entendimento do que sejam esses modernos produtos. No passado, a utilização principal desses materiais era como produtos para a construção civil cuja matéria-prima básica era a argila e suas variações chamadas de cerâmicas convencionais. Hoje, com as pesquisas de novos materiais, as cerâmicas avançadas são utilizadas, entre outras funções, como ferramentas para usinagem de metais, a sua definição também tem se ampliado. Deixa de se referir apenas aos materiais elaborados a partir da argila e engloba uma série de novos produtos construídos a partir de matérias-primas sintéticas, com modernas técnicas de fabricação.

3.2 Definição de material cerâmico

Quando pensamos em cerâmica o primeiro conceito que ocorre é de produtos (argilosos) originários da matéria-prima argila, que são na verdade as cerâmicas tradicionais: a louça, a porcelana, os tijolos, as telhas e os azulejos. A cerâmica avançada, os cimentos, os abrasivos, os refratários (sílica, argila refratária, básico e especial) e os vidros (vidros e vidros cerâmicos), completam a classificação desses materiais. Possuem estrutura cristalina, porém mais complexa do que a dos metais. Com o número de elétrons livres pequeno dificultam a condutividade elétrica, por isso são bons isolantes.



Nanopartículas permitem
formulas inovadoras
<http://www.quimicaderivados.com.br/revista/qd435/ceramicas1.htm>

As ligações atômicas são variáveis, desde iônicas até totalmente covalentes. O ponto de fusão é elevado, possuindo boa estabilidade em altas temperaturas. O material cerâmico é muito duro e resistente aos ataques químicos. Os compostos são elementos metálicos e não metálicos como o alumínio, silício, magnésio, berílio, titânio e boro. Com o oxigênio, carbono e nitrogênio alguns formam óxidos (alumina), nitretos e carbonetos.



Processamento de material cerâmico
[http://eqa5745.dachamir.prof.ufsc.br/aulas/pem%201%20introdu%c7%c3o.ppt#257,1,processamentodemateriaiscerâmicos](http://eqa5745.dachamir.prof.ufsc.br/aulas/pem%201%20introdu%c7%c3o.ppt#257,1,processamentodemateriaiscer%C3%A2micos)

O termo cerâmica vem da palavra *keramikos*, que significa matéria-prima queimada, significando que as propriedades finais desejáveis desses materiais são normalmente atingidas através de um processo de tratamento térmico. Atualmente as aplicações estão cada vez mais presentes, indo de utensílios domésticos a equipamentos industriais. A fabricação de revestimentos para a construção civil tais como azulejos, ladrilhos, pastilhas e placas, é apenas uma das diversas atividades que têm como finalidade a produção de materiais cerâmicos.

Podemos classificar esses materiais em:

Cerâmica convencional – cerâmica vermelha, revestimentos cerâmicos e cerâmica branca.

Cerâmica avançada – isoladores, materiais refratários, vidros, cerâmicas duras, semicondutores e ímas.

O processo de produção é semelhante ao da metalurgia do pó, pois tem a preparação do composto, a conformação e, por último, o cozimento por meio do aquecimento. Já no estado sólido e no líquido forma-se uma lama que é vazada em moldes.

3.3 Vidros

É um silicato não cristalino que também contém outros óxidos, originado pela fusão de sílica (SiO_2). A característica principal é a transparência ótica além da relativa facilidade de fabricação. Os vidros são sensíveis às mudanças de temperaturas e não se solidificam do mesmo modo que os materiais cristalinos. O silicato é um composto que combina principalmente o silício e o oxigênio que são os elementos mais abundantes na natureza. O material mais simples à base de silicato é o dióxido de silício.

A prensagem, a insuflação, o estiramento e a conformação das fibras são os métodos de conformação usados na fabricação dos vidros.

Para melhorar as propriedades dos vidros é aplicado o tratamento térmico de recozimento e têmpera. O recozimento tem a finalidade de eliminar as tensões internas pelo resfriamento lento após ter sido aquecida até um ponto determinado pelo tratamento. A têmpera melhora a resistência pela indução de tensões residuais de superfície. É aquecida a uma temperatura acima da região de transição vítrea e abaixo da temperatura de amolecimento; resfriada até a temperatura ambiente por meio de jato de ar ou banhos em óleos. Os vidros temperados são usados quando se necessita melhorar a resistência. Como exemplo temos para-brisas de automóveis, lentes de óculos e portas.

3.4 Produtos a base de argila

A argila é a matéria-prima mais utilizada por ter facilidade de obtenção e de conformação. Os produtos a base de argila são divididos em: produtos estruturais a base de argila (tijolos, azulejos, telhas, etc.) e louças brancas (porcelanas, louças de mesa, vitrificadas e sanitárias). O branco é devido a um cozimento em temperatura elevada. As argilas são compostas de alumina e sílica. O processo de fabricação utiliza a conformação hidrolástica (a mistura com água facilita a moldagem). A técnica usada é a extrusão e fundição por suspensão que consiste na mistura da argila em água e em seguida no seu derramamento dentro do molde poroso. A água é absorvida restando uma camada sólida sobre a parede. Após esses processos, as peças passam pela secagem e cozimento. A vitrificação é uma reação complexa que ocorre em elevadas temperaturas, formando um vidro líquido que preenche parte do volume dos poros. O tempo e a temperatura determinam o grau de vitrificação.

3.5 Refratários

As cerâmicas refratárias têm a capacidade de resistir a elevadas temperaturas sem alterar suas propriedades. A capacidade de isolamento térmica justifica o emprego como revestimentos em ambientes sujeitos à elevada temperatura. A qualidade do refratário depende da composição química. A porosidade também é importante, pois a resistência de suportar cargas e ataque corrosivo são inversamente proporcionais ao tamanho do espaço vazio, enquanto o isolamento e a resistência ao choque térmico são diretamente proporcionais. Uma aplicação importante é o revestimento de fornos usados na metalurgia (alto-forno).

3.6 Abrasivos

São usados para desgastar por abrasão. Sua principal característica é a dureza ou a resistência ao desgaste.

O diamante natural ou sintético são exemplos de abrasivos usados para fazer desgaste. O sintético é mais utilizado.

Outros materiais abrasivos são os carbonetos de silício, o carboneto de tungstênio, óxido de alumínio (*coríndon*) e a areia de sílica. Esses materiais são usados de várias formas, podendo ser colados nas rodas de esmeril, abrasivos revestidos (folha de lixa) ou grãos soltos.

3.7 Cimentos

A característica principal desses materiais é que quando misturados com água forma uma pasta que após o endurecimento une (cola) materiais. Nesse grupo de materiais o cimento *portland* é o que é consumido e em maior quantidade. É produzido pela mistura de argila e minerais (silicatos). Após o aquecimento da mistura até uma temperatura de 1400°C em forno rotativo ocorre a chamada calcinação que produz alterações físicas e químicas na matéria-prima. Em seguida é feita a moagem até se obter um pó muito fino, adicionado de gesso, para retardar o processo de secagem (capacidade de ligar materiais).

3.8 Cerâmicas avançadas

Podemos definir os produtos cerâmicos manufaturados a partir de matérias-primas puras, sintéticas e conformados por processos especiais, para obter propriedades superiores. As propriedades elétricas, magnéticas e óticas somadas às exclusivas dos materiais cerâmicos conferem qualidades que permitem a aplicação em ferramentas de corte, em motores de combustão interna e em turbinas.

3.9 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas das cerâmicas são inferiores as dos metais, em alguns aspectos, por isso há uma limitação em sua aplicação. A desvantagem principal é a fragilidade. Na temperatura ambiente a fratura ocorre antes de haver deformação plástica.

A seguir destacam-se as características das propriedades mecânicas:

Resistência à tração – as cerâmicas são pouco resistentes a esforços de tração.

Fragilidade – apresentam fragilidade alta.

Dureza – é uma das propriedades mais úteis das cerâmicas (são os materiais mais duros conhecidos), permitindo o uso em situações em que há uma grande ação abrasiva.

Fluência – quando expostos a temperaturas elevadas apresentam deformação por fluência, resultante da exposição a tensões.

A linearidade na relação de deformação e tensão é semelhante à dos resultados com os aços, assim também ocorre com a fluência.

Exemplo de dureza *Knoop* (microdureza), para cada 100 gramas em alguns materiais cerâmicos:

Vidro – 550

Óxido de alumínio (Al_2O_3) – 2100

Quartzo – 800

Carboneto de tungstênio (WC) – 2100

Diamante – 7000

Carboneto de boro (B_4C) – 2800

Tabela 3.1: Propriedades das cerâmicas

Cerâmica	Densidade	Módulo de Young G (GPa)	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de ruptura (MPa)
Vidro	2,23 - 2,48	65 - 74	1000 - 1200	50 - 55
Porcelana	2,3 - 2,5	70	350	45
Diamante	3,52	1050	5000	-
Alumina	3,9	380	3000	300 - 400
Carboneto Si	3,2	410	2000	200 - 500
Nitreto de Si	3,2	310	1200	300 - 850
Zircônia	5,6	200	2000	200 - 500
Cimento	2,4 - 2,5	20 - 30	50	7
Concreto	2,4	30 - 50	50	7
Calcário	2,7	63	30 - 80	20
Granito	2,6	60 - 80	65 - 150	23

Fonte: CTISM

Resumo

Nesta aula, foi demonstrado que a qualidade dos produtos cerâmicos justifica sua alta utilização pelo setor industrial. Pode-se dizer que os avanços científicos possibilitam novos e melhores produtos, bem como processos de fabricação mais modernos. As características específicas das cerâmicas justificam a situação de outros materiais com enormes vantagens funcionais.



Atividades de aprendizagem

1. Defina material cerâmico.
2. Descreva a classificação de material cerâmico.
3. Defina vidro.
4. Relacione os principais materiais cerâmicos.
5. Descreva as propriedades do material cerâmico.

Aula 4 – Materiais compósitos

Objetivos

Reconhecer material compósito.

Definir material compósito.

4.1 Material compósito

As necessidades tecnológicas exigem materiais com propriedades diversas. Para atender essa demanda surgiu a combinação de características a partir da união de dois ou mais componentes a fim de que sejam somados suas potencialidades para satisfazer o desejável. O material que resulta dessa combinação é chamado compósito. As propriedades mecânicas de rigidez, tenacidade, resistência a altas temperaturas e resistência a condições ambientais são exemplos das exigências para esses materiais.

O material compósito é um tipo de material que aumenta a sua utilização dia a dia. Graças à expansão das pesquisas científicas, desenvolvem-se além de novas e melhores formas de fabricação, também novos produtos para atenderem às demandas construtivas.

4.2 Definição de material compósito

O material composto ou compósito é aquele em que há uma mistura de componentes. O material matriz é o que confere estrutura e também serve para preencher os espaços vazios que ficam entre os materiais do reforço, mantendo-os em suas posições relativas.

Essa combinação possibilita obter vantagens e melhorias que nenhum dos componentes poderia fornecer isoladamente. As propriedades mecânicas, eletromagnéticas ou químicas são caracterizadas pelo material de reforço.



Materiais compósitos
http://in3.dem.ist.utl.pt/mscdesign/02ed/01materiais/pres7_1.pps#325,1,materiaiscompósitos

Uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0104-282000000200003&script=sci_arttext

Uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial
http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/prg_0599.exe/9239_3?nrocosis=28466&c_dlinprg=pt

Callister define assim os compósitos: “... são materiais multifásicos produzidos artificialmente, que possuem uma combinação desejável das melhores propriedades das suas fases constituintes.” (2002, p.381).

A maioria dos compósitos é formado por duas fases, uma chamada: matriz e outra fase dispersa. A combinação das propriedades das fases mais a quantidade relativa de cada uma delas e da geometria da fase dispersa é que determina as propriedades do material.

Os compósitos podem ser classificados em: **reforçado** (com partículas ou por dispersão); **reforçado com fibra** (contínuo – alinhado ou descontínuo – curto (alinhado ou orientado aleatoriamente)) e **estrutural** (laminados ou painéis em sanduíche).

Reforçados com partículas grandes – as interações partícula-matriz ocorrem no nível macroscópico e não no atômico ou molecular. As geometrias das partículas são variáveis, no entanto a distribuição é a mesma em todas as direções. Os elastômeros, os plásticos e algumas borrachas são reforçados com materiais particulados que devem formar uma adesão forte com a matriz do compósito. O concreto e o concreto armado são outros exemplos desses materiais.

Reforçado por dispersão – é adicionado material inerte ou muito duro em metais e em ligas para aumentar a resistência à fase. Pode ser metálico ou não metálico. O pó de alumínio sinterizado (SAP) é um exemplo deste material.

Reforçados com fibras – são os mais importantes porque esse processo aumenta a resistência e a rigidez relativa (em relação ao peso). Essas propriedades são reforçadas e sua intensidade não depende apenas das fibras, mas também de como a carga é aplicada e transmitida.

Estruturais – é composto por material homogêneo e também compósitos. Sua resistência depende das propriedades dos materiais e do projeto geométrico da estrutura de seus elementos. O tipo laminar formado por folhas superpostas ligadas por cimento define uma direção preferencial que também define a sua resistência. Os painéis em sanduíches são formados por duas folhas externas mais resistentes separados por material menos denso.

Os componentes podem ter a forma de fibras, lâminas, escamas, partículas e substâncias de enchimento. A fibra de vidro é um exemplo que combina uma resina polimérica com fibras de natureza cerâmicas (vidro). A própria madeira

é um compósito, a matriz lignina combina com as fibras de celulose; o osso, matriz mineral reforçada com fibras de colágeno; o concreto reforçado com aço, as fibras de carbono reforçadas com resina epóxi são outros exemplos.

Resumo

Nesta aula verificou-se que os compósitos resultam da composição de outros materiais, devido ao desenvolvimento de novos produtos sintéticos. Essa possibilidade de união entre materiais com propriedades diversas permite a soma de suas características. Dessa forma, essas propriedades determinam a sua utilização como material de construção.

Atividades de aprendizagem

1. Descreva material compósito.
2. Caracterize os materiais compósitos.



Aula 5 – Materiais semicondutores

Objetivos

Reconhecer material semicondutores.

Definir material semicondutores.

5.1 Semicondutores

O comportamento dos semicondutores determinou grande parte do desenvolvimento dos aparelhos eletrônicos existentes. Um exemplo é o funcionamento dos transistores. É um sólido covalente que tem o comportamento natural de isolante, porque sua banda de valência está cheia e a de condução completamente vazia, em temperaturas próximas do zero absoluto. No entanto entre essas duas bandas existe uma que é proibida (a energia necessária é inferior a 2 eV). No silício Si 1,14 eV e no germânio Ge 0,67 eV. Para haver condução, os elétrons devem ser excitados termicamente para que ocupem a banda de condução. Quando ocorre a condução é melhor do que em metais porque os elétrons não estão ligados com força ao núcleo, devido à energia de excitação, situação que não ocorre com os metais que necessitam de pouca energia de excitação, mas estão mais ligados ao núcleo do átomo.

As características próprias dos semicondutores definem a grande utilização desses produtos. O desenvolvimento da ciência e suas pesquisas possibilitam a produção desses novos materiais. Assim, a fabricação desses produtos exige domínio de modernas tecnologias. Cada componente produzido é resultado de alto investimento em recursos humanos e em equipamentos industriais.

5.2 Definição de semicondutores

Como já sabemos, de acordo com as propriedades elétricas existem os materiais condutores e isolantes. Porém, existe também um material intermediário entre eles, os semicondutores, que apresentam propriedades elétricas intermediárias.



Eletrônica básica semicondutores
[http://www.geocities.com/
romulo1954/cursoenaula01.htm](http://www.geocities.com/romulo1954/cursoenaula01.htm)

Princípios básicos de
semicondutores
[http://www.mspc.eng.br/eletm/
semic_110.shtml](http://www.mspc.eng.br/eletm/semic_110.shtml)

Os semicondutores estão presentes de diversas formas no nosso cotidiano, principalmente em equipamentos eletrônicos, sob a forma de diodos, transistores, entre outros.

O que confere a propriedade de condutores aos metais são os elétrons livres em sua camada de valência. Esses elétrons livres que conseguem se mover entre os átomos tornam a condutividade possível. O silício, que é o principal elemento dos materiais semicondutores, também possui elétrons livres, porém estes em número de 4 por átomo, unem-se perfeitamente a outros quatro átomos de silício formando uma ligação covalente perfeita. Essas ligações covalentes perfeitas não deixam nenhum elétron livre para que possa ocorrer a passagem da corrente elétrica, fazendo com que o silício se comporte como um material isolante.

Existem duas maneiras de fazer com que ocorra a passagem de corrente através desse tipo de material: pelo fornecimento de energia ou pela introdução de impurezas. Esta é a forma amplamente utilizada para tal finalidade. Entre os principais elementos adicionados temos o fósforo (P), arsênio (As), boro (B) e gálio (Ga).

Quando a condutibilidade elétrica resulta da energia fornecida sob forma de calor, dizemos que há condutividade intrínseca que dá nome aos semicondutores intrínsecos. Este nome está baseado na estrutura eletrônica inerente ao elemento puro. Ao adicionar impurezas ao átomo do elemento para alterar suas características elétricas temos os semicondutores extrínsecos. Esse processo é chamado de dopagem e pode ser de tipo n ou p. A junção desses dois tipos possibilita a construção dos componentes eletrônicos com características próprias, atendendo às necessidades construtivas dos dispositivos eletrônicos. Os diodos são uma junção p-n, com capacidade de retificação que permite o escoamento da corrente em uma só direção. Os transistores podem ser formados por uma dupla junção p-n que possibilita a configuração n-p-n ou p-n-p.

A fabricação desses produtos exige domínio de modernas tecnologias. Cada componente produzido é resultado de alto investimento em recursos humanos e em equipamentos industriais.

Resumo

Nesta aula estudamos os semicondutores. O conhecimento científico que explica o comportamento das camadas atômicas facilita a construção desses materiais os quais são produtos desenvolvidos por modernas técnicas de fabricação. É a indústria eletroeletrônica que é a responsável pela grande utilização dos semicondutores.

Atividades de aprendizagem

1. Defina semicondutor.
2. Caracterize os semicondutores.



Referências

ASHBY, Michael F. e JONES, David R. H. **Engenharia de Materiais**. Volume I. 3 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2007a.

ASHBY, Michael F. e JONES, David R. H. **Engenharia de Materiais**. Volume II. 3 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2007b.

BEER, Ferdinand P. **Resistência dos Materiais**. 3 ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

CALLISTER JÚNIOR, William. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferro Fundidos**. 6 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1988.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. Volume I. 2 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986a.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. Volume II. 2 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986b.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. Volume III. 2 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986c.

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

COLPAERT, Humbertus. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

NORTON, Robert. L. **Projeto de Máquinas**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PUIGDOMENECH, José Pascual. **Tratamento Térmico dos Aços**. 2 ed. São Paulo: LEP, 1965.

SHIGLEY, Joseph E. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Composição Química dos Aços**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

Currículo do professor-autor

Ivan Zolin é graduado em Engenharia Mecânica – UFSM, Licenciado em Mecânica (curso de formação pedagógica – Esquema I – UFSM), Licenciado em Matemática com habilitação em Física – FIC, hoje UNIFRA, Licenciado em Física – UFSM, Licenciado em Filosofia – UFSM. Atuou como professor substituto no CTISM/UFSM de 91 a 94. Foi professor substituto e efetivo na Escola Técnica Federal de Pelotas – ETFPEL, CEFET/Pelotas, hoje IFET Sul-rio-grandense, no período de 95 a 98. Atualmente é professor efetivo do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM vinculado à Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Foi coordenador do Curso de Mecânica de 2001 a 2006 e do Ensino Médio de 2007 a 2008.



