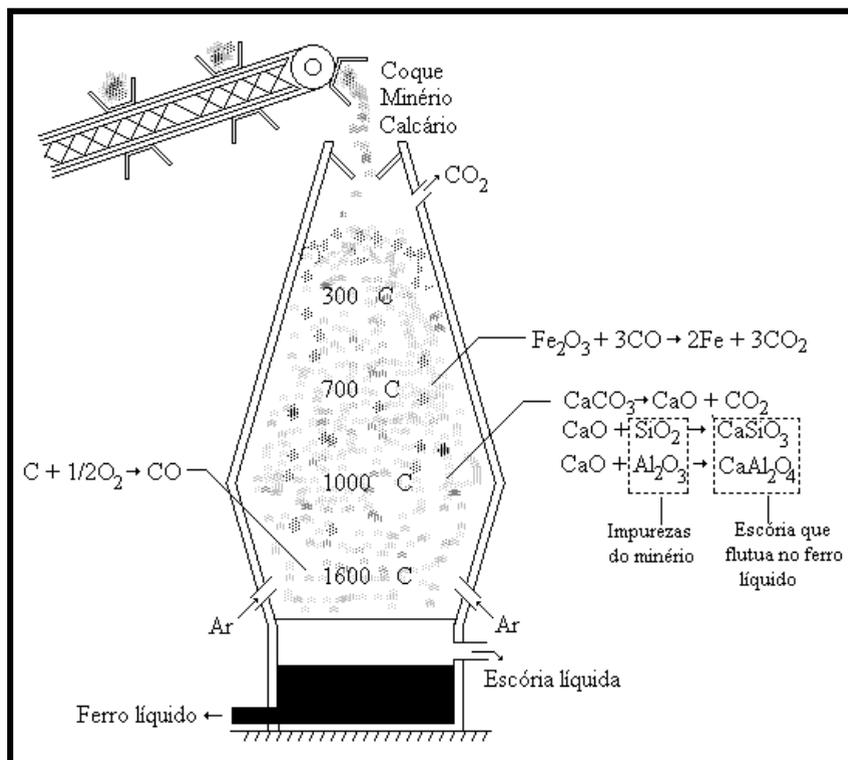




Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Química
Área de Educação Química



QUÍMICA NA SIDERURGIA

Solange Bianco Borgs Romeiro

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA
ÁREA DE EDUCAÇÃO QUÍMICA

Série Química e Tecnologia

QUÍMICA NA SIDERURGIA

SOLANGE BIANCO BORGES ROMEIRO

Licenciada em Ciências e Química - PUCRS

Especialista em Ensino de Química - UFRGS

Professora da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha

PORTO ALEGRE

1997

© 1997 Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS

Dados Internacionais de Catolagação-na- publicação (CIP)

Biblioteca do Instituto de Química da UFRGS - Porto Alegre

Romeiro, Solange Bianco Borges

Química na Siderurgia/ Solange Bianco Borges Romeiro. -- Porto Alegre:
Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS, 1997. --
(série química e tecnologia)

1. Siderurgia. I. Título. II. Série.

CDU - 669.1

SUMÁRIO:

1. METALURGIA	5
2. SIDERURGIA - METALURGIA DO FERRO	8
2.1 Ocorrência do Ferro:	8
2.2 PRODUTOS SIDERURGICOS	8
2.2.1. FERRO GUSA (<i>ferro bruto ou ferro de 1^ª fusão</i>).....	8
2.2.2 FERRO FUNDIDO (FOFO).....	11
2.2.3. AÇO COMUM (<i>Aço Carbono</i>).....	12
2.2.4. AÇOS ESPECIAIS (<i>Aço-liga</i>).....	14
2.3 AS PROPRIEDADES DOS AÇOS	14
2.4 EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS	16
2.5 AÇO INOX	19
2.5.1 CARACTERÍSTICAS DO AÇO INOX	19
2.5.2 CLASSIFICAÇÃO, CONSTITUIÇÃO E UTILIZAÇÃO.....	22
3. DESIGNAÇÃO DE AÇOS	29
4. LIGAÇÃO METÁLICA	31
4.1. PROPRIEDADE FÍSICA DOS METAIS	32
4.2. ESTRUTURA CRISTALINA DOS METAIS	32
4.2.1. CONSEQÜÊNCIA DAS ESTRUTURAS CRISTALINAS	34
4.3. METALURGIA E POTENCIAIS DE OXIDAÇÃO	34
4.4. LIGAS METÁLICAS.....	35
4.4.1. Conceito:	35
4.4.2. Obtenção:.....	35
4.4.3. Tipos de ligas:	36
4.5. PROPRIEDADE DAS LIGAS	36
5. BIBLIOGRAFIA	39

1. METALURGIA

Na superfície da Terra há uma imensa variedade de substância formadas ao longo de milhares de anos pela natureza não-viva. Essas substâncias são chamadas de minerais.

Grande parte dos minerais contém metais em sua composição química. Às vezes, dependendo da composição química e da abundância do mineral, é possível a extração desses metais.

O minério é uma rocha que contém grande quantidade de um elemento químico livre ou combinado com outro elemento. Uma rocha é considerada minério quando tem importância econômica, o que depende da concentração e da viabilidade econômica de extração de uma substância de interesse.

Acredita-se atualmente que a composição da crosta seja aproximadamente a da Tabela 1.1

Tabela 1.1 - Composição da crosta terrestre

Elemento	% em massa
O	46,6
Si	27,7
Al	8,1
Fe	5,0
Ca	3,6
Na	2,8
K	2,6
Mg	2,1
todos os demais	1,5

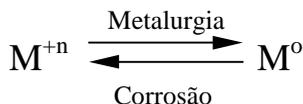
Como se pode notar o metal mais abundante na crosta terrestre é o alumínio. No entanto, muitos metais de grande importância prática são bem mais raros: cobre, tório, urânio, mercúrio, ouro.

Os elementos não se encontram uniformemente disseminados pela crosta, havendo regiões mais ricas em um elemento do que outras.

Como já sabemos, os metais possuem, de um modo geral alta tendência a doar elétrons. Assim, eles frequentemente são encontrados em seus minérios com número de oxidação positivo, e para que se possa obter o metal a partir do minério, é necessário que ele sofra uma REDUÇÃO.

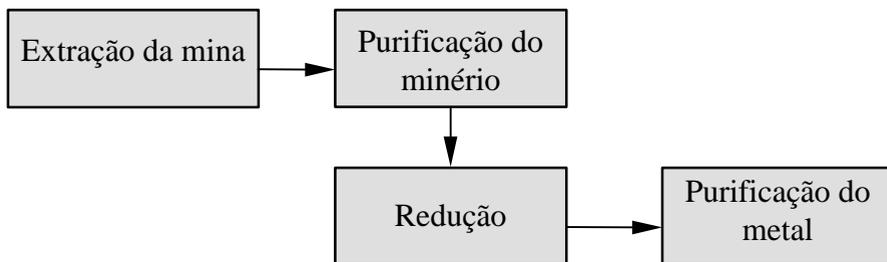


Perceba que se trata exatamente do contrário da corrosão, um processo natural que tende a oxidar os metais.



Metalurgia é a seqüência de processos que visa obter um metal a partir do minério correspondente.

Podemos esquematizar a metalurgia da seguinte maneira:



Alguns poucos metais podem ser encontrados livres na Natureza na forma de substância simples (ouro, platina, prata) devido a baixa reatividade destes metais. No entanto a maioria dos metais existe na forma de compostos, que estão misturados a outras substâncias.

Exemplos de minérios importantes podem ser vistos na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 - Minérios de vários metais

Metais	Fórmula Química	Nome Mineralógico
Minério de Ferro	Fe ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ . 3 H ₂ O Fe ₃ O ₄ FeCO ₃ FeS ₂	Hematita Limonita Magnetita Siderita Pirita
Minério de Cobre	Cu Cu ₂ S CuFeS ₂ Cu ₂ O	Nativo Calcocita Calcopirita Cuprita
Minério de Prata	Ag AgCl	Nativo Clorargita
Minério de Mercúrio	HgS	Cinábrio
Minério de Estanho	SnO ₂	Cassiterita
Minério de Chumbo	PbS	Galena
Minério de Zinco	ZnS	Blenda
Minério de Cromo	Cr ₂ FeO ₄	Cromita
Minério de Alumínio	Al ₂ O ₃ . H ₂ O	Bauxita

2. SIDERURGIA - METALURGIA DO FERRO

2.1 Ocorrência do Ferro:

O ferro ocorre na natureza sob forma de óxidos, carbonatos e sulfetos:

Tabela 2.1 - Ocorrência do ferro na natureza

Substância	Nome Mineralógico	Percentual de Ferro
<i>Óxidos:</i> Fe ₃ O ₄ * Fe ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ . H ₂ O	Magnetita Hematita Limonita	45 a 70 % 50 a 70 % 20 a 60 %
<i>Carbonatos:</i> FeCO ₃	Siderita	30 a 45 %
<i>Sulfetos:</i> FeS	Pirita	Extração para obtenção de aço não é viável devido a presença de enxofre, prejudicial ao aço.

Observação: * Óxido Duplo : Fe₃O₄ = FeO + Fe₂O₃

As maiores jazidas de ferro do mundo localizam-se na Austrália, Brasil, Estados Unidos, Rússia, França e Inglaterra

No Brasil as maiores jazidas encontram-se em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Pará, Amapá e Bahia.

O principal minério encontrado no Brasil é a hematita com 50 a 70 % de Ferro (8% das reservas mundiais) é de boa qualidade devido aos baixos índices de fósforo e enxofre.

2.2 Produtos Siderurgicos

2.2.1. FERRO GUSA (ferro bruto ou ferro de 1ª fusão)

Ferro Gusa: é a forma intermediária pela qual passa praticamente todo o ferro utilizado na produção do aço. É um produto de primeira fusão obtido a partir da redução do minério em alto-forno.

Composição Química: Contém em torno 4 % de carbono sob forma de cementita (Fe_3C). Possui com principais impurezas o silício (0,3 a 2%), o enxofre (0,01 a 1%), o fósforo (0,05 a 2%) e o manganês (0,5 a 2%).

Características: O ferro gusa, também chamado de ferro bruto é duro e quebradiço, com baixa resistência mecânica, devido ao excesso de carbono.

Pode ser empregado em diferentes confecções de peças que são submetidas a pequenos esforços.

Obtenção: O ferro gusa é obtido a partir da fusão de minério de ferro em altos fornos.

O minério é geralmente utilizado é a hematita (Fe_2O_3) e sua ganga é constituída basicamente de sílica (SiO_2).

O processo tem como início a sinterização ou pelotização do minério que consiste em triturar o minério para aumentar a superfície de contato do material tornando-o de granulometria controlada, o que determinará um melhor rendimento nos alto-fornos modernos. Junto com o minério são incluídos na carga, calcáreo(CaCO_3), carvão mineral ou vegetal (C) e ar quente.

O carvão servirá para reduzir o minério e produzir energia, o calcáreo servirá como fundente.

A produção: A produção diária em média de um alto forno varia de 5.000 a 10.000 toneladas.

A carga do alto forno para a produção de 1 tonelada de Ferro Gusa:

- ♦ 1,7 toneladas de minério (Fe_2O_3 + ganga)
- ♦ 0,25 tonelada de calcáreo (CaCO_3)
- ♦ 0,5 tonelada de carvão (CV ou CM)
- ♦ 2 toneladas de ar (H_2O , N_2 , O_2 , ...)

Produção:

- 1 tonelada de Ferro Gusa
- 0,2 a 0,4 ton. de escória
- 2,3 a 3,5 ton. de gás (reaproveitável).

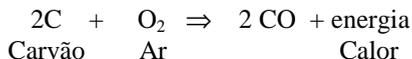
Reações químicas no alto-forno:

1)Produção de energia e formação de monóxido de carbono (CO):

A queima de carvão ativado pela entrada de ar quente fornece calor e monóxido de carbono, este último importante na redução do minério.

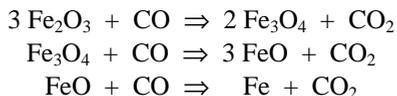
A oxidação do carbono ocorre próximo a entrada de ar (ventaneiras), próximo a base do alto forno, cerca de 1 a 3 metros. Na reação não CO_2 devido

a altas temperaturas (1500 °C) e excesso de carbono. O excesso de CO torna o gás do alto forno combustível.



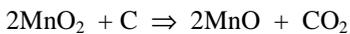
2) Redução do ferro:

O ferro do minério deve ser reduzido a ferro metálico. O monóxido de carbono serve para reduzir o ferro.

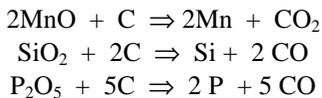


3) Redução do silício, fósforo e manganês

Nas temperaturas mais baixas da parte superior do alto forno; ocorre a seguinte reação:

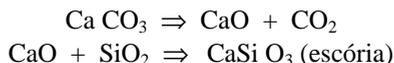


Nas altas temperaturas :



Esta última reação é incompatível em alto-forno, praticamente todo o fósforo do minério é incorporado no ferro gusa.

4) Reação da escória (escoriamento):



O silicato de cálcio recebe o nome de escória e depositam-se no cadinho sobre o ferro, evita a oxidação, se retirada periodicamente. As escórias são utilizadas na produção de tijolos, blocos e concretos.

O gás do alto-forno limpo de pó se usa como combustível nos recuperadores e nas caldeiras a vapor. Seu poder calorífico, é aproximadamente de 1000 cal/m^3 .

Veja na Figura 2.1 um esquema de alto forno.

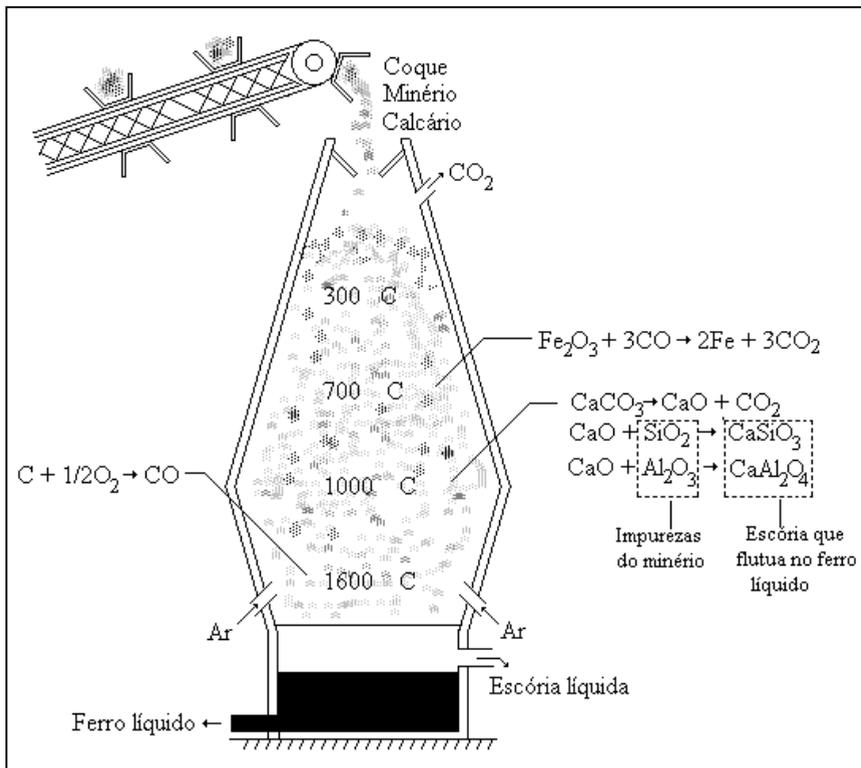


Figura 2.1 - Alto forno siderúrgico

2.2.2 FERRO FUNDIDO (FOFO)

É uma liga de ferro carbono cujo teor de carbono se situa acima de 2% aproximadamente. Face a influência do silício nessa liga, sobretudo sob ponto de vista de sua constituição estrutural o ferro fundido é considerado uma liga ternária (Fe, C, Si), pois o silício está frequentemente presente em teores superiores ao próprio carbono. O carbono está geralmente presente em grande parcela, na forma “livre”.

Composição química: Os elementos mais influentes são o carbono e o silício. O manganês está sempre presente, com efeito contrário ao silício. As outras impurezas normais são o fósforo e o enxofre.

O ferro fundido especial contém elementos que alteram as propriedades finas e são designados pelo nome do elemento da liga que o contém, por exemplo, Ferro Fundido Níquel e Ferro Fundido Silício.

Tipos de aços fundidos:

- cinzento: coloração escura, mais usado pela fácil fusão e moldagem, boa resistência mecânica, boa usinabilidade, boa resistência ao desgaste.
- branco: coloração mais clara
- mesclado: coloração mista entre branca e cinzenta.
- maleável: obtido a partir de ferro fundido branco.
- modular: material com boa conductibilidade.

Composição Química: carbono (2 a 4%), manganês (0,3 a 1%), silício (1 a 3%), fósforo (0,1 a 1%), enxofre (0,05 a 0,25%) e ferro.

Obtenção de Ferro Fundido: O material da primeira fusão(ferro-gusa) obtido em alto forno é levado a uma fundição e refundido junto com sucata de ferro fundido e aços em forno cubilô, dando origem ao ferro fundido de segunda fusão com 2,3 a 3,5 % de carbono.

Com este produto são feitas peças geralmente, chamadas peças de ferro-fundido. Exemplos: carcaça de motor, painéis (caçarolas), fogão à lenha, lareiras, etc.

2.2.3. AÇO COMUM (Aço Carbono)

É uma liga de ferro carbono (Fe-C) contendo geralmente de 0,008 a 2% de carbono, além de certos elementos resultantes do processo de fabricação.

Composição química: os elementos resultantes do processo de fabricação são o manganês (0,3 a 0,6%), silício (0,1 a 0,3%), fósforo (máximo de 0,04%), enxofre (máximo de 0,05%), carbono (0,08 a 2%) e ferro.

Efeito dos elementos : os aços comuns, além do carbono que é o seu principal elemento de liga, apresentam manganês (Mn), silício (Si), fósforo (P) e enxofre como elementos sempre presentes, em função das matérias primas que foram utilizadas na fabricação de ferro gusa e do aço. Por essa razão, esses elementos são normalmente especificados.

- CARBONO: É o responsável direto pela dureza do material no estado recozido e normalização e pela sua temperalidade. Sem

carbono, o ferro não pode ser endurecido pela têmpera, pois não haverá formação da martensita.

- **SILÍCIO:** Nos teores normais (entre 0,15 e 0,30%) é o elemento essencialmente desoxidante, pois neutraliza a ação de CO ou CO₂, por ocasião da fusão e solidificação dos aços .
- **MANGANÊS:** Em teores entre 0,30 e 0,60%, atua como desoxidante do mesmo modo que o silício e como dessulfurante, ao combinar-se com o enxofre de preferência ao ferro, formando sulfeto de manganês, eliminando o problema da fragilidade a quente que pode ocorrer na presença do FeS.
- **FÓSFORO e ENXOFRE:** São geralmente considerados elementos nocivos, de modo que as especificações, a não ser em casos especiais, procuram fixar os teores destes elementos em valores baixos. De fato, em certos casos esses elementos, sobretudo o

O fósforo e o enxofre são considerados impurezas nocivas devido aos efeitos que podem produzir.

Fósforo: é responsável pela fragilidade a frio, isto é, baixa resistência ao choque à temperatura ambiente, devido ao fato de dissolver-se na ferrita, endurecê-la e aumentar o tamanho do grão. Entretanto esta influência do fósforo não é séria, exceto nos aços de alto teor de carbono.

Enxofre: forma com o ferro um sulfeto (FeS) e se localiza no contorno dos grãos. Devido ao baixo ponto de fusão do FeS, este irá fundir-se nas temperaturas correspondentes às operações de forjamento e laminação, diminuindo a tenacidade do aço, chegando às vezes a causar sua desintegração pela formação de fissuras durante a ação do martelo de forja ou cilindros laminadores.

O elemento silício e Manganês são considerados benéficos ao aço.

Silício: desenvolve-se na ferrita, aumenta a sua resistência e dureza sem afetar a ductibilidade.

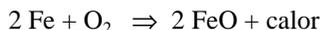
Manganês: é desoxidante e dessulfurizante, forma com o enxofre o composto MnS que possui PF elevado e suficiente plástico para deformar-se durante o forjamento e a laminação.

Obtenção do aço comum: São obtidos por meio líquido e elaborados no estado de fusão. O aço é um produto resultante:

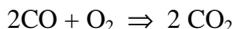
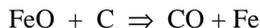
- a) do refino do ferro fundido no conversor Bessemer ou LD;
- b) do refino de sucatas de aço com ferro gusa ou ferro fundido em fornos Siemens-Martin ou elétrico.
- c) da refusão de sucatas em fornos do tipo conversor.

Reações químicas no conversor:

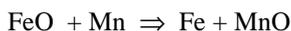
1. Oxidação das impurezas do ferro:



2. Combustão intensa do carbono



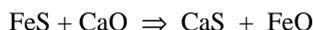
3. Desoxidação do aço: adiciona-se produtos desoxidantes.



4. Combustão do fósforo:



5. Dessulfurização:



2.2.4. AÇOS ESPECIAIS (Aço-liga)

São aços que contém outros metais que lhe foram adicionados intencionalmente com a finalidade de dar certas propriedades aos aços

- AÇOS-MANGANÊS, no estado fundido ou laminado, contém carbonetos que conferem grande fragilidade ao material: alongamento e estrição às vezes inferiores a 1%. Sua resistência à tração, nesses estados, varia de 42 a 49 kgf/mm².
- AÇOS CARBONO-CROMO, são aços empregados em esferas e roletes para mancais, pertencentes às classes SAE 50100, com 0,40 a 0,60% de cromo, SAE 51100, com 0,90 a 1,15% de cromo e SAE 52100 com cromo entre 1,30 a 1,60%. São temperados em óleo, podendo atingir durezas de 65 a 67 Rockwell C.

2.3 As Propriedades dos Aços

As propriedades dos aços dependem, basicamente, de 2 fatores:

- ♦ Composição química
- ♦ Estrutura.

Tabela 2.2 - Composição química de aços comuns

Aço SAE	C%	Mn%	Si%	P (max)	S(max)
1010	0,08 a 0,13	0,3 a 0,6	0,1 a 0,3	0,04	0,05
1020	0,18 a 0,25	0,3 a 0,6	0,1 a 0,3	0,04	0,05
1045	0,42 a 0,45	0,6 a 0,9	0,1 a 0,3	0,04	0,05
1070	0,65 a 0,75	0,6 a 0,9	0,1 a 0,3	0,04	0,05
1090	0,85 a 1%	0,6 a 0,9	0,1 a 0,3	0,04	0,05

O primeiro fator já foi analisado, pois ficou claro que o carbono é o elemento fundamental.

Quanto a estrutura, por sua vez, é influenciada pelos seguintes fatores:

- ◆ Composição química
- ◆ Tratamento mecânico
- ◆ Tratamento térmico.

O tratamento mecânico relaciona-se com as condições de deformação do material: se a quente ou se a frio e neste caso, a intensidade do encruamento resultante

O tratamento térmico influi sob dois aspectos:

- ◆ Temperatura e tempo de aquecimento
- ◆ Velocidade de esfriamento.

O tempo de aquecimento, sob o ponto de vista de crescimento de grão ou de solução de carbonetos atua praticamente como a temperatura, de modo que as mesmas observações feitas a este último fator se aplicam no caso do tempo de aquecimento.

Esfriamento, depois do material ter sido convenientemente aquecido, vai determinar sua estrutura final, de modo que as condições segundo as quais o esfriamento é levado a efeito até a temperatura ambiente e não estabelece a natureza do constituinte final, os efeitos dessas estruturas sob as propriedades dos aços já são conhecidos.

2.4 Efeito dos Elementos de Liga nos Aços

De um modo geral, ao introduzir-se elementos de liga nos aços, visam-se os seguintes objetivos:

- Alterar as propriedades mecânicas
- Aumentar a usinabilidade
- Aumentar a temperabilidade
- Conferir dureza a quente
- Aumentar a capacidade de corte
- Conferir resistência à corrosão
- Conferir resistência ao desgaste
- Conferir resistência a oxidação
- Modificar as características elétricas e magnéticas.

Os elementos de liga são introduzidos em teores e em número os mais variados a não ser nos casos que desejem características especiais, como dureza

a quente, inoxidabilidade, refratariedade, etc. A tendência moderna é adicionar vários elementos de liga simultaneamente, em teores baixos e médios.

EFEITO DE ALGUNS ELEMENTOS DE LIGA

- **CARBONO:** define e estabelece as propriedades do aço, quanto a dureza e resistência.
- **MANGANÊS:** melhora a resistência mecânica, desde que seu valor supere a 1%, pode ser empregado isoladamente;
- **NÍQUEL:** melhora as propriedades mecânicas, a resistência à corrosão;
- **COBRE:** melhora a resistência à corrosão atmosférica;
- **CROMO:** melhora a resistência mecânica quando em teores baixos; em maior quantidade, melhora a resistência ao desgaste, por formar carbonetos; é adicionado juntamente com o níquel e o cobre;
- **MOLIBDÊNIO:** mesmo efeito do níquel, cromo e manganês sobre as propriedades mecânicas, com a vantagem de melhorá-las igualmente a temperaturas mais elevadas.
- **CHUMBO:** melhora a usinagem e o acabamento.
- **BORO:** melhora a têmpera do aço, mesmo em baixos teores (0,004% de B)
- **ZIRCÔNIO:** é desoxidante e aumenta a tenacidade refinando a estrutura granulada.
- **SELÊNIO:** facilita a usinagem, as percentagens deste elemento são de 0,15 a 0,20% nos aços de corte fácil.

ELEMENTOS PREJUDICIAIS AO AÇO RESULTANTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.

- **ESTANHO:** o estanho é prejudicial ao aço causando fragilidade a frio, semelhante ao fósforo. Sua presença no aço se deve a presença de chapas soldadas ou estanhadas na sucata. O estanho origina superfícies defeituosas e frágeis nas peças trabalhadas a quente.
- **OXIGÊNIO:** o oxigênio endurece o aço tornando-o frágil e menos tenaz. Durante o processo de fabricação adiciona-se elementos desoxidantes fazendo com que o oxigênio se torne inofensivo.
- **HIDROGÊNIO:** o hidrogênio causa fragilidade e pode ser eliminado através de degaseificação.

Tabela 2.4 - Características e empregos típicos de alguns aços-ligas de baixo teor em liga

Tipo de Aço	Características	Empregos Típicos
Médio Mn (1,75% Mn)	Resistência e trabalhabilidade	Equipamentos para exploração de madeira, agricultura e construção de estradas
Ao cromo (0,95% Cr)	Resistência e trabalhabilidade	Molas, lâminas de corte, ferramentas para usinagem de madeira.
Ao níquel (3,5% Ni; 0,3% C)	Tenacidade	Brocas de mineração, peças de martelotes a ar comprimido, virabrequins
Ao C-V (0,5% C; 0,18% V)	Resistência ao choque	Peças de locomotivas
Ao C-Mo (0,68% Mo; 0,2% C)	Resistência ao calor	Corpos de caldeiras, equipamentos de alta pressão de vapor
Alto Si (4,0 % Si)	Eficiência elétrica	Transformadores, motores, geradores
Ao Si-Mn (2,0% Si;0,75% Mn)	Elasticidade	Molas de automóveis e vagões
Ao Cr-Ni (0,6% Cr; 1,25% Ni)	Superfície prontamente endurecível	Engrenagens de automóveis, pin-hões, pinos de pistão, transmissões
Ao Cr-V (0,95% Cr;0,18% V)	Resistência e dureza	Engrenagens de automóveis, eixo de hélices, bielas
Ao Cr-Mo (0,95% Cr;0,2% Mo)	Resistência à fadiga, choque e calor	Forjados e fuselagens para aviões
Ao Ni-Mo (1,75% Ni;0,35% Mo)	Resistência à fadiga	Mancais de rolamento para vagões, engrenagens de transmissão de automóveis

2.5 Aço Inox

Por na maioria das vezes os aços serem utilizados em situações com temperaturas acima da ambiente esta é uma das causas para um grande desgaste e perda de peças. Para evitar esse fenômeno são utilizados diversos meios para evitar, ou quase neutralizar a corrosão. Nesse trabalho nosso objetivo será o de realizar um estudo sobre Aço Inox.

Todos metais com o passar do tempo criam uma fina camada de óxido que nada mais é do que átomos do metal que combinaram-se com o oxigênio. Essa cada torna-se altamente resistente à ação corrosiva do meio. Nesse trabalho serão estudados aços resistentes à corrosão, chamados comumente de aços “inoxidáveis”. Quanto à resistência ao calor, à ação de temperaturas elevadas, de suportarem essas condições de serviço, tanto sob o ponto de vista químico como mecânico.

Como conclusão podemos dizer que os materiais resistentes ao calor são igualmente resistentes à corrosão, nas condições normais, e resistentes à oxidação a temperaturas diferentes da ambiente.

O elemento básico mais importante para tornar um aço menos oxidável é o cromo onde uma percentagem de 5% já é suficiente (Aço-cromo), mas para que seja considerado inoxidável deve conter mais de 10% de Cromo. Este efeito pode ser aumentado quando adicionamos outros elementos como Molibdênio, Cobre que aumentam a resistência a corrosão por via úmida e Silício e Alumínio em temperaturas elevadas.

Devido aos fenômenos corrosivos serem distintos, determinados aços inoxidáveis resistem bem em algumas ocasiões e mal em outras, não existe um aço totalmente inoxidável, o que existe são aços apropriados para resistirem a determinadas reações corrosivas.

2.5.1 CARACTERÍSTICAS DO AÇO INOX

Esses aços aos quais nos aprofundaremos, que são os aços inoxidáveis, caracterizam-se por resistirem à corrosão atmosférica, por resistirem à ação de meios gasosos ou líquidos, entre os quais são mais importante o cromo e o níquel e, em menor grau, cobre, silício, molibdênio e alumínio. Para que um aço seja “passivo”, inoxidável, que não oxide, depende de alguns fatores como:

- composição química
- condições de oxidação
- sensibilidade à corrosão localizada (“pitting”)
- sensibilidade à corrosão intergranular.

Tabela 2.3 - Composição química dos aços especiais

Aço SAE	C%	Mn%	Ni%	Cr%	Mo%
4320	0,17 a 0,22	0,45 a 0,65	1,65 a 2,0	0,4 a 0,6	0,2 a 0,3
8615	0,13 a 0,18	0,7 a 0,9	0,4 a 0,7	0,4 a 0,6	0,15 a 0,25
8620	0,18 a 0,23	0,7 a 0,9	0,4 a 0,7	0,4 a 0,6	0,15 a 0,25
1340	0,38 a 0,43	1,6 a 1,9	-	-	-
4140	0,38 a 0,43	0,75 a 1,0	-	0,8 a 0,11	0,15 a 0,25
4340	0,38 a 0,43	0,6 a 0,8	1,65 a 2,0	0,7 a 0,9	0,2 a 0,3
5140	0,38 a 0,43	0,7 a 0,9	-	0,7 a 0,9	-

Quanto à composição química, o cromo é o elemento principal; 10% de Cr no mínimo são necessários e com 20%, 30%, se atinge a passividade completa, em segundo lugar está o níquel, que em teores acima de 7%, melhora a resistência à corrosão pelo ataque de soluções de cloreto neutras, como também as propriedades mecânicas. O carbono pouco difere no aço inox, além do mais quando em forma de carbonetos, o prejudica afetando suas propriedades mecânicas.

Como elementos químicos que podem ainda melhorar o aço inox, podem ser citados os seguintes:

- MOLIBDÊNIO (Mo), melhora a resistência à corrosão nos ácidos sulfúricos e sulfuroso a altas temperaturas, em soluções neutras de cloretos ou na água do mar;
- COBRE (Cu), melhora a resistência à corrosão, entre certos reagentes, como o ácido sulfúrico;
- TÂNTALO, NIÓBIO E TITÂNIO, evitam o fenômeno de corrosão intergranular, dos aços inox cromo-níquel;
- SILÍCIO, melhora a resistência à oxidação a temperaturas elevadas.

O emprego do aço inoxidável tem suas restrições como as condições de oxidação que indica que o aço inox pode ser empregado em meios oxidantes, ácido nítrico, mas não em meios redutores, ácido clorídrico e aço fluorídrico.

Pode-se evitar a corrosão localizada que é mais prejudicial que a generalizada, sendo causada por soluções de cloreto. Evitada com a adição de molibdênio, além de um melhor acabamento.

A corrosão intergranular ocorre em aços cromo-níquel, quando aquecidos para trabalho a quente ou tratamento térmico, ou ainda devido a operação de soldagem, onde há a precipitação, nos contornos dos grãos, de um carboneto complexo de cromo e ferro, retirando até 90% de cromo, ocasionando o empobrecimento em cromo das áreas vizinhas e com isso facilitando a corrosão.

Pode-se combater a corrosão intergranular dos seguintes modos:

- reaquecimento do aço, que havia sido anteriormente aquecido, à uma temperatura determinada e específica, resultando na redissolução dos carbonetos que se haviam formado nos contornos dos grãos;
- reduzir o teor de carbono a valores que se torne difícil a formação de carbonetos, evitando assim a remoção de cromo das áreas adjacentes aos grãos, sendo assim quanto menos carbono existir em um aço

cromo-níquel, melhor este será, 0,03% para o material adquirir a máxima resistência à corrosão intergranular.

Adicionando-se, titânio, tântalo ou nióbio, em teores relativamente reduzidos, isso fará com que esses elementos que possuem mais afinidade com o carbono, evite que a precipitação do carbono ocorra, assim mantendo as áreas adjacentes aos contornos dos grãos com a mesma quantidade de cromo que o restante do material, ocorrendo assim a composição de um aço de ótima qualidade.

2.5.2 CLASSIFICAÇÃO, CONSTITUIÇÃO E UTILIZAÇÃO

Podemos dizer que existem três os grupos de aços inoxidáveis, sendo estes observados em sua microestrutura, que apresentam em temperatura ambiente. Assim podemos classificar os aços inoxidáveis em três grupos que serão explicados a seguir:

- I) Aços Inoxidáveis Martensíticos - endurecíveis.
- II) Aços Inoxidáveis Ferríticos - não endurecíveis.
- III) Aços Inoxidáveis Austeníticos - não endurecíveis.

Aços inoxidáveis martensíticos - são aços que se caracterizam por serem aços-cromo, com 11,5% a 18% de Cr; tornam-se martensíticos e endurecem por têmpera. Podemos ainda, classificá-los em três classes:

Os de baixo carbono - “tipo turbina”- são utilizados pelas suas boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão relativamente elevada;

Os de tipo médio carbono - “cutelaria”- são utilizados onde se deseja uma dureza satisfatória, aliada a razoável ductibilidade;

Os de tipo alto carbono - “cutelaria e resistentes ao desgaste”- são utilizados devido sua alta dureza que entretanto faz com que seja perdida ductibilidade.

Suas características mais importantes são:

- são ferro-magnéticos;
- podem ser facilmente trabalhados, tanto a quente como a frio, sobretudo, quando o teor de carbono for baixo;

Tabela 2.5 - Composição química de aço inox

AISI	SAE	C%	Si%	Mn%	Cr%	Ni%	Mo%
304	30304	0,6	0,4	0,5	18	9	2,7
316	30316	0,5	0,4	1,2	18	12	2,7

Tabela 2.6 - Designação de aços inoxidáveis

TIPO	AISI	SAE
Austenítico	3XX	30XXX
Martensítico e Ferrítico	4XX	51XXX

- apresentam boa resistência à corrosão quando expostos ao tempo, à ação da água e de certas substâncias químicas; à medida que aumenta o teor de carbono, fica prejudicada a resistência a corrosão, o que, no entanto, é compensado pelo maior teor de cromo;
- normalmente não são passíveis de ocorrer precipitações de carbonetos nos contornos dos grãos;
- o níquel melhora sua resistência à corrosão; o melhor aço inoxidável martensítico, sob o ponto de vista de resistência à corrosão é o 431, devido ao baixo carbono, alto cromo e presença de níquel;
- a têmpera também melhora a resistência à corrosão, pois contribui para evitar a possibilidade de precipitação de carbonetos.

Assim podemos conferir que:

- todos os aços inoxidáveis martensíticos são temperados e devido a alta temperabilidade conferida pelo alto teor de Cr podem ser resfriados ao ar e outros ao óleo ou água;
- após a têmpera, aplica-se um revenido a baixa temperatura, 150 a 400 graus centígrados, que constitui mais um alívio de tensões
- colocando-se aço martensítico em solução de ácido nítrico(HNO₃), com várias tâmperas realizadas a diferentes temperaturas que sejam possíveis a têmpera do aço e que haja a possibilidade de aplicação de revenido, observa-se que a resistência à corrosão aumenta evidentemente.

A explicação desse fenômeno aparente é que a martensita, por ser uma solução rica em carbono, sofre uma precipitação de carboneto, que quando reaquecido após a têmpera, o aço exigirá que o cromo existente nos carbonetos fiquem em solução perdendo assim resistência à corrosão, por isso o revenido deverá ser aplicado por método rigoroso de controle.

- maiores temperaturas de têmpera aumentam a resistência à corrosão do aço;
- à medida que aumenta a temperatura do revenido, a resistência à corrosão diminui, devido à mencionada precipitação de carbonetos ricos em cromo e martensita.

Um outro fato que se pode mencionar é a “fragilidade pelo hidrogênio”, o que pode ocorrer quando a sua dureza e seu carbono são elevados. Essa fragilidade pode ser adquirida quando é feita a fusão ou algum tratamento no aço, por parte térmica, devido a atmosfera usada, químico ou eletroquímico, quando feita a decaapagem ou eletrodeposição.

Além de níquel podemos adicionar outras substâncias como:

- TITÂNIO - que diminui a tendência ao crescimento dos grãos e aumenta a soldabilidade; ou também o nióbio.
- MOLIBDÊNIO - que entre 1 a 2%, aumenta sensivelmente a resistência à ação de ácidos diluídos, ácidos orgânicos e outros;
- ALUMÍNIO - que aparentemente diminui o crescimento do grão, a altas temperaturas.

Como exemplo podemos citar um aço onde há a combinação de molibdênio e vanádio: 0,25% C; 0,50% Si; 0,50% Mn; 12,50% Cr; 0,50% Ni; 1,00% Mo e 0,30% V.

Esse aço temperado a partir de 1010 °C, durante 15 minutos, revenido a 480 °C durante 4 horas teria as seguintes propriedades:

- limite de resistência à tração = 180 kgf/mm²
- limite de escoamento = 145 kgf/mm²
- alongamento = 10%

Aço inoxidável ferrítico - apesar do nome, o Cr ainda é o principal componente da liga. O teor de cromo neste aço pode superar os valores já verificados e como há 0,35% de carbono, considerado já excessivo, a austenita fica inteiramente eliminada.

A estrutura desses aços não se modificam a temperatura ambiente, não dependendo do resfriamento, é sempre ferrítica e também são chamados de não endurecíveis.

Sendo adicionada uma certa quantidade de Al neste material, é garantido que não haverá a formação de austenita, quando aquecido a altas temperaturas. Isso é uma grande qualidade desse aço, pois facilita a soldagem, porque faz com que não haja a formação de martensita o que necessitaria de um recozimento, após a soldagem.

Tabela 2.7 - Aplicações aços de acordo com a norma SAE

Tipo de Aço	Composição da Liga	Emprego
Aço C; 1	10- Aço comum 11 - Aço com alto teor de silício 13 - aço com maior teor de Mn	Estampagens pequenas engrenagens
Aço Ni; 2	20 - 0,4 a 0,6 % de Ni 21 - 1,25 a 1,75 % de Ni 23 - 3,25 a 3,76 % de Ni 25 - 4,75 a 5,25 % de Ni	Peças forjadas e eixos, brocas de mineração.
Aço Ni-Cr; 3	31 - 1,1 a 1,4% de Ni e 0,65% de Cr	Peças grandes com profundidade média de têmpera.
Aço Mo; 4	40 - 0,25 % de Mo 41 - 0,95 % de Mo	Engrenagens e bielas
Aço Cr; 5	50 - 0,2 a 0,75 % de Cr 51 - 0,8 a 0,95 % de Cr	Molas, lâminas de corte, ferramentas para usinagem de madeira
Aço Cr -V; 6	61 - 0,15 a 0,18 % de V 0,8 a 0,95 % de Cr	Talhadeiras e bielas, engrenagens de automóveis.
Aço Cr-W; 7	70 - 1,2 a 1,5 % de W 71 - 1,5 a 2% de W	Resistência Elétrica
Aço Ni-Cr-Mo;8	86 - 0,4 a 0,6% de Cr 0,4 a 0,7 % de Ni 0,2 % de Mo	Eixos e manivelas
Aço Si-Mn; 9	92 - 1,2 a 2,2 % de Si 0,65 a 0,85% de Mn	Molas de tratores e caminhões

“Fragilidade a 475°C”- ocorre devido a alteração do retículo, ou reticulado cristalino ou, ainda o rearranjo atômico. É preciso lembrar que normalmente ocorre na presença de carbono (C), nitrogênio (N), hidrogênio (H) e oxigênio (O). Destes o principal acredita-se ser o oxigênio, porque tenderia a formar CrO, óxido de cromo.

Aços inoxidáveis austeníticos - Estes são os aços mais importantes dos grupos de aços. Apresentam simultaneamente Cr e Ni, variando entre 16-26% e 6-22% respectivamente. Os mais conhecidos são o 18-8 onde 18, é a porcentagem de Cr e 8 é a porcentagem de Ni. É resistente à corrosão e à oxidação em alta temperatura, além ser pouco reativo na maioria dos reagentes.

Suas características gerais:

- não magnéticos;
- não endurecíveis, por serem austeníticos;
- quando encruados, apresentam um fenômeno interessante: o aumento de dureza que se verifica é bem superior ao que se encontraria, mediante a deformação de outros aços.

Esse fenômeno pode ser explicado, porque a austenita sob o efeito de tensões do encruamento, torna-se parcialmente e constantemente em ferrita, essa por sua vez, rica em carbono, nas mesmas condições que uma martensita, contribui para o endurecimento. O estiramento a frio do aço 18-8, pode produzir resistência à tração de 250 kgf/mm², que um aço comum não ultrapassaria os 140 kgf/mm².

Como tratamento térmico pode-se dizer que um simples reaquecimento à temperaturas moderadas, restauraria a sua constituição austenítica. Ainda podemos dizer que nesse tipo de aço à medida que temos o aumento de níquel, temos a diminuição dos efeitos do encruamento, já que o Cr é um grande estabilizador desse efeito.

Com isso os aços austeníticos são classificados de acordo com a sua resistência ao encruamento. Um dos fenômenos indesejáveis, que pode ocorrer é a corrosão intergranular, devido à precipitação de carboneto de cromo, contudo pode-se evitá-lo, adicionando-se titânio e/ou nióbio.

Quanto ao tratamento térmico, este, chamado de “austenitização”, que é o aquecimento à temperaturas entre 1000°C e 1120°C, seguido de um resfriamento muito rápido a ponto de levá-lo à temperatura ambiente. Esse resfriamento faz com que o material não passe pela faixa indesejável dos 425 - 870°C que influencia a formação de carbonetos.

Como outras variedades de aços austeníticos podemos dizer que: é adicionado Si para melhorar a resistência à oxidação à altas temperaturas; Ti e Nb previne a corrosão intergranular; o Mo que aumenta a resistência à corrosão à cloretos, ácido sulfúrico; Cr e Ni que aumentam a resistência à corrosão em geral. Por eventualidades surgiram outras combinações alternativas de aço com outros elementos, como por exemplo o manganês (Mn) que substitui parcialmente o níquel. Outra adição possível é a adição de nitrogênio em aços com alto teor de cromo, que tende à melhorar os aços após a têmpera.

Existem ainda os aços inoxidáveis ao nitrogênio, que são chamados de “nitrônicos”, caracterizando-se por serem aços inoxidáveis ao Cr-Mn, em altos teores, além de apresentarem Mo, Si, Nb e V. Possuem alta resistência à temperaturas ambientes ou altas. Apresentam baixos teores de carbono, não ocorrendo a transformação martensítica, tendo resistência e tenacidade alta.

Aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação: aços que se caracterizam apresentarem alta resistência à corrosão e elevada resistência mecânica ao mesmo tempo, limitando o seu uso em molas especiais, aeronáutica.

3. DESIGNAÇÃO DE AÇOS

Dada a grande variedade de aços, procura-se constantemente criar sistemas para classificação. A classificação mais comum é a que considera a composição química do aço. Dentre os sistemas mais conhecidos, os mais usados são:

SAE : Society of Automotive Engineers (Sociedade de Engenharia Automotiva)

AISI : American Iron and Steel Institute(Instituto Americano de Ferro e aço)

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas

Essas associações seguem aproximadamente o mesmo método numérico de identificação, que é o seguinte:

UTILIZAÇÃO DE 4 NÚMEROS

Primeiro algarismo: É um número de 1 a 9 e identifica o tipo de aço, determinado pelo tipo de elemento de liga básico.

1 = aço carbono

2 = aço níquel

3 = aço níquel - cromo

4 = aço molibdênio

5 = aço cromo

6 = aço cromo-vanádio

7 = aço cromo-tungstênio

8 = aço níquel-cromo-molibdênio

9 = aço silício-manganês

Segundo algarismo: Indica o grupo dentro do tipo.

Um elemento de liga simples é indicado por seu percentual médio.

Exemplo: aço SAE 5140 - o número 1 indica 1% de cromo

Um aço com dois elementos de liga, o segundo número indica uma combinação dos percentuais dos elementos de liga de acordo com as normas de fabricação..

Exemplo: aço SAE 8640 - o número 6 pode indicar 6% dos elementos de liga.

Terceiro e quarto algarismo: Indica a percentagem média de carbono em centésimos percentuais.

Exemplo: aço SAE 1035 - o número 35 indica 0,35% de carbono.

Assim, um exemplo da designação por quatro algarismos é descrita abaixo:

SAE 1045

1 0 indica o tipo de aço (aço carbono)

0 0 indica o grupo dentro do tipo (aço comum)

45 0 indica o teor médio de carbono (0,45% de carbono aproximadamente)

Observações:

a. Na classificação da AISI a letra **B** no meio numeral indica a presença de Boro na fórmula. Ex. AISI 50**B**20

b. Na classificação da AISI a letra antes do numeral indica o processo pelo qual o aço foi produzido. Ex. AISI **E**3315 - produzido em forno elétrico

Exemplo: AISI C1045 - produzido em forno Siemens-Martin

4. LIGAÇÃO METÁLICA

Uma das características dos metais é o fato de terem pequeno número de elétrons no último nível energético, em consequência da baixa eletronegatividade. O valor da eletronegatividade está relacionada com a intensidade de atração que o núcleo, positivo, exerce sobre os elétrons do último nível. Se a eletronegatividade é baixa a atração será fraca, e os elétrons ficam fracamente presos ao átomo, podendo ser doados facilmente. Assim, uma carga externa poderá retirar com facilidade, os elétrons do último nível energético.

Quando dois átomos metálicos estão próximos entre si, os elétrons do último nível energético ficam sujeitos, simultaneamente as forças de atração de dois núcleos, podendo mover-se facilmente de um para outro átomo.

Se houver numerosos átomos metálicos próximos entre si, os elétrons do último nível energético de um átomo serão atraídos indistintamente, pelos núcleos de todos os átomos. Em consequência aparece um “mar” de elétrons vagando pelo metal, movendo-se com facilidade de um átomo para outro, sem se fixarem de modo definitivo em nenhum deles. Os elétrons que constituem esse “mar” de elétrons são chamados elétrons livres. São estes elétrons os responsáveis pela ligação metálica.

Sem seus elétrons do último nível energético, os átomos metálicos se transformam em cátions, isto é, em íons de carga elétrica positiva. Portanto a ligação metálica é um agregado de cátions mergulhados em um “mar” de elétrons livres.

Na estrutura do metal, o “mar” de elétrons atrai continuamente os cátions deste metal. Quanto maior o número de elétrons livres, maior a intensidade da ligação metálica. Como a grandeza do “mar” de elétrons é uma decorrência do número de elétrons, e estes são provenientes do último nível, quanto maior o número de elétrons neste nível, tanto maior será a ligação metálica.

A descoberta dos metais pela humanidade constitui-se num dos grandes passos dados pelo homem na sua emancipação da natureza. Alguns dos metais que o homem melhor aprendeu a usar foram o ferro, o cobre, o zinco, o alumínio, o estanho, o ouro e a prata.

4.1. Propriedade Física dos Metais

1. **COR E BRILHO:** os metais possuem brilho característico e coloração que varia do branco ao cinza com exceção do ouro e do cobre.
2. **DUREZA:** é variável. O metal mais duro é o cromo, isto justifica a cromação de metais. Os metais mais brandos são os alcalinos.
3. **DENSIDADE** : é variável. Os metais de transição são mais densos.
Ex. Al $d = 2,7 \text{ g/cm}^3$
Ir $d = 22,6 \text{ g/cm}^3$
Li $d = 0,53 \text{ g/cm}^3$
4. **PONTO DE FUSÃO E EBULIÇÃO:** normalmente possuem ponto de fusão elevado.
Ex. maior ponto de fusão e ebulição; W - P.F. = $3410 \text{ }^\circ\text{C}$ PE = $5927 \text{ }^\circ\text{C}$
menor ponto de fusão e ebulição ; Hg P.F. = $-39 \text{ }^\circ\text{C}$ PE = $357 \text{ }^\circ\text{C}$
5. **MALEABILIDADE (CAPACIDADE DE FORMAR LÂMINAS):** os metais são na sua maioria maleáveis, destacando-se o ouro, onde com 30 g podem ser feitas lâminas de 15 m^2 com uma espessura de $3 \times 10^{-6} \text{ cm}$.
6. **DUTIBILIDADE (CAPACIDADE DE FORMAR FIOS):** Os metais são dúcteis, com destaque para o ouro, onde com 1 g pode ser feito um fio de 3 km.
7. **CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E TÉRMICA:** os metais são bons condutores de calor e eletricidade destacando-se o ouro, prata, alumínio e cobre.
8. **RESISTÊNCIA MECÂNICA:** os metais possuem alta resistência mecânica a qual abrange a tenacidade (resistência ao choque), resistência a compressão, tração, flexão e torção, destacando-se o ferro, o que justifica sua importância na indústria metal mecânica.

4.2. Estrutura Cristalina dos Metais

Nas ligações metálicas, os elétrons livres da última camada vão dar origem a nuvens eletrônicas que envolvem os íons metálicos que se distribuem nos reticulados unitários cristalinos.

Cada reticulado cristalino estende-se regularmente até a superfície do metal. As estruturas mais comuns são: CÚBICO DE CORPO CENTRADO, CÚBICO DE FACE CENTRADA, HEXAGONAL COMPACTO.

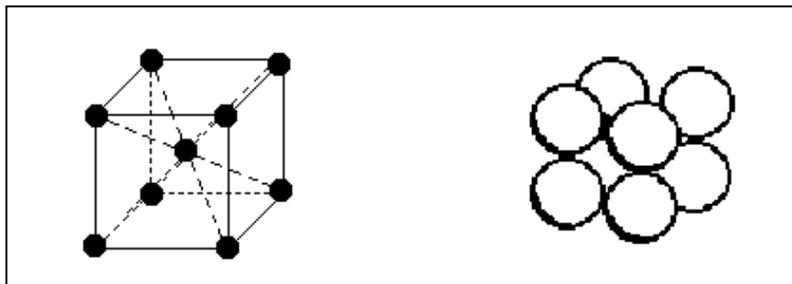


Figura 4.1 - Arranjo cúbico de corpo centrado (CCC)

Neste tipo de arranjo, o número de coordenação de cada cátion é 8, ou seja, cada cátion é rodeado por 8 outros cátions.

Exemplos: Li, Na, K, Rb, Cs, Ba

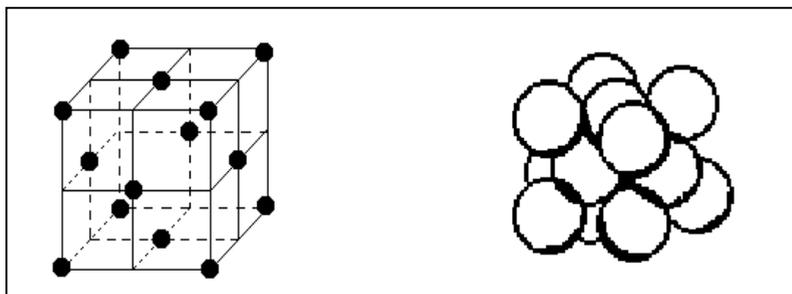


Figura 4.2 - Arranjo cúbico de faces centradas (CFC)

Empacotamento cúbico denso. Cada cátion é rodeado por 12 outros cátions. O número de coordenação é igual a 12.

Exemplos: Ca, Sr

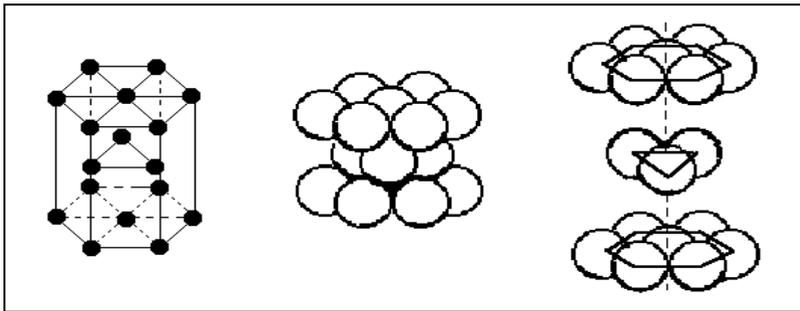


Figura 4.3 - Arranjo hexagonal compacto (HC)

Empacotamento hexagonal denso. O número de coordenação é 12 e cada cátion está rodeado por 12 cátions da seguinte maneira:

- 6 cátions no mesmo plano;
- 3 cátions no plano superior;
- 3 cátions no plano inferior.

Exemplos: Be, Mg

4.2.1. CONSEQÜÊNCIA DAS ESTRUTURAS CRISTALINAS

1. A estrutura dos reticulados cristalinos é compacta e altamente estável, para rompê-la é necessário fornecer uma grande quantidade de energia o que determina altas temperaturas de fusão e ebulição, alta densidade e resistência mecânica
2. A nuvem eletrônica que envolve os cristais faz com que os metais sejam bons condutores de calor e eletricidade, também determinam o alto-brilho.
3. A estrutura cristalina deforma-se com facilidade o que explica a maleabilidade e a dutibilidade.

4.3. Metalurgia e Potenciais de Oxidação

Consultando uma tabela de potenciais de redução, é possível entender por que alguns metais como ouro, prata, mercúrio e cobre são encontrados livres na natureza, enquanto outros são encontrados apenas na forma de substâncias compostas (combinados com outros elementos).

Tabela 4.3 - Potenciais de Oxidação

	Semi-reação	E° (V)
Encontrados livres na natureza	$\text{Au}^{+3} + 3 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Au}^0$	+ 1,50
	$\text{Hg}^{+2} + 2 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Hg}^0$	+ 0,85
	$\text{Ag}^{+1} + 1 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Ag}^0$	+ 0,80
	$\text{Cu}^{+1} + 1 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Cu}^0$	+ 0,52
Obtidos através da redução do minério utilizando C, CO ou Al como agente redutor	$\text{Fe}^{+3} + 3 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Fe}^0$	+ 0,04
	$\text{Mn}^{+4} + 4 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Mn}^0$	+ 0,03
	$\text{Sn}^{+4} + 4 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Sn}^0$	+ 0,01
	$\text{Pb}^{+2} + 2 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Pb}^0$	- 0,13
	$\text{Cr}^{+3} + 3 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Cr}^0$	- 0,74
	$\text{Zn}^{+2} + 2 \text{e}^- \text{ <---> } \text{Zn}^0$	- 0,76
Obtidos através da redução por eletrólise	$\text{Al}^{+3} + 3\text{e}^- \text{ <---> } \text{Al}^0$	- 1,66
	$\text{Mg}^{+2} + 2\text{e}^- \text{ <---> } \text{Mg}^0$	- 2,36
	$\text{Ca}^{+2} + 2\text{e}^- \text{ <---> } \text{Ca}^0$	- 2,87

ESCALA DE REATIVIDADE: Li, K, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Ag, Hg, Pt, Au

4.4. Ligas Metálicas

4.4.1. Conceito:

É toda mistura resultante da união de dois ou mais elementos onde pelo menos um é metálico.

Ex. Bronze - cobre e Estanho

Latão - Cobre e Zinco

Aço - Ferro e carbono

4.4.2. Obtenção:

a) Por Fusão de metais: Neste processo os metais são aquecidos até a fusão, seguido de homogeneização e resfriados lentamente. Este processo é o mais utilizado, pois a maioria dos metais são miscíveis no estado líquido.

Exceções: Chumbo e Zinco, Ferro e Mercúrio.

- b) Por compressão: Consiste em submeter os metais a uma pressão no estado pulverizado a alta temperatura. Este processo é utilizado na obtenção de ligas com metais com alto ponto de fusão.

Este processo permite obter ligas com diferentes graus de porosidade.

Ex. mancais, onde há necessidade de porosidade para reter óleo lubrificante.

4.4.3. Tipos de ligas:

- a) Substitucional: neste tipo de liga os componentes possuem átomos de tamanhos equivalentes e algumas semelhança química, como conseqüência os átomos dos dois componentes participam indiferentemente na constituição do reticulado cristalino. A substituição dos átomos pode ser ao acaso ou ordenada.

Ex. Bronze = Cobre + Estanho

- b) Intersticial: neste tipo de liga os componentes possuem tamanhos muito diferentes, como conseqüência os átomos menores distribuem-se nos interstícios(espaços no reticulado cristalino do elemento com átomo maior).

Ex. Ferro + Carbono

4.5. Propriedade das Ligas

- a) Condutividade e Resistência elétrica: os metais puros apresentam maior condutividade que as ligas, pois os elétrons movimentam-se mais facilmente em meio homogêneo, devido a esta propriedade as ligas são utilizadas como resistência elétrica.

Ex. Cobre eletrolítico com 99,98% de pureza é utilizado como condutor elétrico(fios)

Nicrom (60% de Ni + 40% de Cr) utilizada como resistência de chuveiro possui uma resistência elétrica 12 vezes maior que o Níquel e 8 vezes maior que o Cromo.

- b) Resistência Mecânica: as ligas superam os metais puros porque a presença de outros átomos no reticulado cristalino dificulta a deformação da estrutura cristalina deste metal.

Ex. O aço é 3 vezes mais resistente a tração que o ferro puro.

c) Dureza: as ligas são mais duras que os metais componentes entretanto não são tão maleáveis.

Ex.: Ferro com alto índice de carbono é duro e quebradiço.

TABELAS COM EXEMPLOS DE LIGAS METÁLICAS

1. LIGAS DE ALUMÍNIO:

Ligas	(%)	Características	Aplicações
Alumínio/ Silício/Cobre	Si 0,3 a 11 % Cu 3 a 4 % + Al	Resistência a corrosão, boa resistência a altas temperaturas	Utensílios domésticos, assadeiras, painéis
Duraluminio	Al 90% Mn 5,5 % Cu 4% Mg 0,5%	Superfície brilhante, alta resistência mecânica, liga leve	Aviões, peças para carro , bicicletas
Magnálio	Mg 5 a 30 % Al 70 a 95 %	Superfície brilhante, resistência mecânica	Instrumentos científicos

2. LIGAS DE COBRE:

Ligas	(%)	Características	Aplicações
Latão Amarelo	Zn 30% , Cu 70%	Maior resistência a corrosão, Flexibilidade, boa aparência	Tubos, torneiras, objetos de decoração.
Latão Naval	Zn 39,3 % Sn 0,7 % Cu 60 %	Resistente a corrosão causada pela água do mar.	Tubulações, navios, equipamentos marítimos
Bronze	Sn 22 % Cu 78 %	Resistente a corrosão, flexibilidade	Sinos, lustres, objetos de decoração
Prata Alemã	Sn 20 % Ni 15 % Cu 65 %	Características semelhantes a da prata.	Talheres, jóias
Monel (Liga monetária)	Ni 25 % Cu 75 %	Elevada dureza e inoxibilidade, alto brilho	Usada na confecção de moedas.

3. LIGAS DE NÍQUEL:

Ligas	(%)	Características	Aplicações
Monel	Ni 72 % Cu 28 %	Resistência a corrosão, superfície brilhante	Industria alimentícia
Nicrom	Ni 60% Cr 40%	Alto ponto de fusão, baixa condutividade elétrica.	Resistências elétricas
Permaloy	Ni 78 % Fe 22%	Propriedades magnéticas	Cabos telefônicos

4. LIGAS DE CHUMBO:

Ligas	(%)	Características	Aplicações
Metal de Solda	Sn 33 % Pb 67 %	Fusível a baixas temperaturas	Soldas elétricas

5. LIGA DE BISMUTO:

Ligas	(%)	Características	Aplicações
Wood	Bi 38 % Sn 15 % Cd 16 % Pb 31 %	Baixo ponto de fusão (69 °C)	fusíveis dispositivos automáticos

6. LIGA DE OURO:

Ligas	(%)	Características	Aplicações
Ouro 18 K	Au 75 % Cu 25 % Ag 25 %	Maior dureza (mais resistente ao risco)	Jóias e circuitos elétricos.

5. BIBLIOGRAFIA

1. CANTO, E. Minerais, Minérios e Metais. São Paulo: Ed. Moderna, 1996
2. CHIAVERINI. V. Tecnologia Mecânica. São Paulo: Ed. MCGraw-Hill, 1986
3. MALICHEV, A. Tecnologia dos Metais. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1967.