



FACULDADE SUDOESTE PAULISTA

Ciência e Tecnologia de Materiais

Prof. Msc. Patrícia Corrêa

Classificação de materiais: Metais e Ligas metálicas

Propriedade gerais dos metais:

- Bons condutores de calor
- Bons condutores de eletricidade
- Sólidos, exceto o mercúrio (líquido).
- Brilho
- Dúcteis
- Maleáveis
- Resistência mecânica alta

Principais propriedades mecânicas

- Resistência à tração
- Elasticidade
- Ductilidade
- Fluência
- Fadiga
- Dureza
- Tenacidade

Cada uma dessas propriedades está associada à habilidade do material de resistir às forças mecânicas e/ou de transmiti-las

Ligas Metálicas

Não Ferrosas

Ferrosas

Aços

Ferros Fundidos

Baixa Liga

Alta Liga

Ferro Dúctil
Ferro Cinzento

Ferro Branco
Ferro Maleável

Baixo carbono

Médio carbono

Alto carbono

Carbono
Alta Resistência, Baixa liga

Carbono
Tratável termicamente

Carbono
Ferramenta
Inox

LIGAS FERRO-CARBONO

$0 < \%C < 2$

$2 < \%C < 4$

AÇOS

FERROS FUNDIDOS

**Sem liga ou
Aço-carbono**

Se não contiver nenhum elemento de liga em quantidade superior aos mínimos indicados

Aço ligado

Aço de baixa liga

Se nenhum elemento de liga atingir um teor de 5%

Aço de alta liga

Se pelo menos um el. de liga ultrapassar um teor de 5%

Teores máximos de alguns elementos nos aços sem liga:

• Al – 0,10%	• Ni – 0,30
• Bi – 0,10	• Nb – 0,06
• B – 0,0008	• Pb – 0,40
• Cr – 0,30	• Se – 0,10
• Co – 0,10	• Si – 0,50
• Cu – 0,05	• Ti – 0,05
• Mn – 1,65	• W – 0,01
• Mo – 0,08	• V – 0,10

Influência dos elementos de liga

ELEMENTOS DE LIGA	PROPRIEDADES
Carbono (C)	Aumenta a resistência e o endurecimento; reduz o alongamento, a forjabilidade, a soldabilidade e a usinabilidade; forma carbonetos com cromo (Cr), molibdênio (Mo) e vanádio (V).
Cobalto (Co)	Aumenta a resistência à tração; aumenta a dureza (têmpera total); resiste ao revenimento, ao calor e à corrosão.
Cromo (Cr)	Aumenta a resistência à tração, ao calor, à escamação, à oxidação e ao desgaste por abrasão. É um forte formador de carbonetos.
Manganês (Mn)	Aços austeníticos contendo manganês e 12% a 14% de cromo são altamente resistentes à abrasão.
Molibdênio (Mo)	Aumenta a resistência ao calor e forma, também, carbonetos.
Níquel (Ni)	Aumenta o limite de escoamento; aumenta a tenacidade; resiste aos meios redutores.
Tungstênio (W)	Aumenta a resistência à tração; aumenta a dureza; resiste ao calor; mantém cortante os gumes das ferramentas e peças e forma carbonetos.
Vanádio (V)	Aumenta a resistência ao calor; mantém os gumes cortantes e também forma carbonetos.

A quantidade de Carbono presente no Aço define a sua classificação quanto à composição química.

Baixo carbono --- no máximo 0,30% de C;

Médio-carbono --- de 0,30 a 0,60% ;

Alto carbono --- 0,60 a 1,00%.

Os Aços-carbono possuem na sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos:

- Carbono
- Silício
- Manganês
- Cobre
- Enxofre e Fósforo
- Outros elementos existem apenas em quantidades residuais.

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

Os critérios usados na classificação dos aços são:

- 1. Quanto à composição química;**
- 2. Quanto à aplicação;**
- 3. Quanto à microestrutura;**
- 4. Quanto ao processo de fabricação;**

Quanto à Composição Química

- Aços comuns (ao carbono)
- Aços especiais (liga)

Nos aços ao carbono as propriedades estão relacionadas principalmente com o teor de carbono.

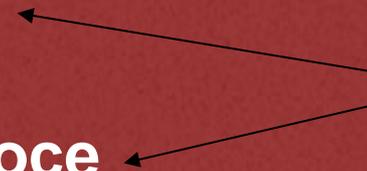
Não contém quantidade apreciável de elementos de liga. Apresentam determinados teores de **impurezas** consideradas normais, como o **P** (fósforo 0,04% Máx.), o **S** (enxofre 0,05% Máx.), o **Si** (entre 0,10% e 0,35%), e o **Mn** entre 0,25% e 0,90%.

Quanto ao Teor de Carbono

Até 0,15% C – extra doce

De 0,15% C a 0,30%C – doce

Baixo carbono



De 0,30%C a 0,50%C – meio doce

De 0,50%C a 0,70%C – meio duro

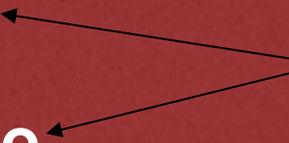
Médio carbono



De 0,70%C a 0,80%C – duro

Mais de 0,80% C – extra duro

Alto carbono



Aços Baixo Carbono

Usos:

- chapas automobilísticas
- perfis estruturais e placas utilizadas na fabricação de tubos
- construção civil, pontes

aços baixo carbono = baixas resistências e dureza

altas tenacidade e ductilidade.

Outras características:

- são bastante usináveis e soldáveis
- apresentam baixo custo de produção
- não são tratados termicamente

Baixo Carbono

Aplicações típicas

Auto-peças;

Componentes eletro-
eletrônicos;

Equipamentos de escritório;

Fivelas;

Fechos;

Rebites e botões de pressão;

Peças para bicicletas,
motocicletas e automóveis;

Eletrodos tubulares;

Ferragens;

Fechaduras e dobradiças;

Gaiolas e capas de rolamentos

Outras.

Aços Médio Carbono

Usos:

- rodas e equipamentos ferroviários
- Engrenagens
- virabrequins e outras peças de máquinas que necessitam de elevadas resistências mecânica e resistência ao desgaste e boa tenacidade.

maior resistência e dureza que os baixo-C

menor tenacidade e ductilidade que os baixo-C

Outras características:

- são usináveis e soldáveis
- apresentam médio custo de produção
- possuem uma quantidade de carbono suficiente para a realização de tratamentos térmicos de **têmpera e revenimento (tratamento térmico pós têmpera)**, muito embora seus tratamentos térmicos necessitem ser realizados com taxas de resfriamento elevadas e em seções finas para serem efetivos

Aços Alto Carbono

Usos:

- tem grande aplicação em talhadeiras
- folhas de serrote
- Martelos
- facas

maior resistência e dureza

menor tenacidade e ductilidade

Outras características:

- são usináveis e soldáveis
- apresentam médio custo de produção
- quase sempre utilizados na condição temperada e revenida, possuindo boas características de manutenção de um bom fio de corte

Assim:

- A resistência aumenta com o teor de Carbono
- A ductilidade diminui com o teor de Carbono
- São aços de relativa baixa dureza
- Oxidam-se facilmente
- Suas propriedades deterioram-se a baixas e altas temperaturas
- São os mais usados e de mais baixo custo

Nomenclatura:

Existem vários sistemas de designação para os Aços, como:

- SAE (Society of Automotive Engineers)
- AISI (American Iron and Steel Institute)
- ASTM (American Society of Testing and Materials)
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A normalização unificada vem sendo utilizada com frequência cada vez maior, e é designada pela sigla UNS (Unified Numbering System).

Aços Carbono – Nomenclatura - Normas

Sistema de classificação - Nomenclatura

O sistema de classificação mais adotado na prática é o **SAE-AISI**. Nele, o Aço-carbono utiliza o grupo 1xxx, e é classificado da seguinte forma:

- **10xx** : Aço-carbono comum (Mn : 1,00% máx.)
- **11xx** : Ressulfurado: Aços com alto teor de enxofre (aumenta o nível de resistência)
- **12xx** : Ressulfurado e Refosforizado: Aços com alto teor de enxofre e fósforo.
- **15xx** : Aço-carbono comum (Mn : 1,00 a 1,65%)

Obs: Os últimos dois dígitos, representados pelo **XX**, representam o conteúdo de carbono do aço.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

AISI-SAE XXXX

1XXX → Aço-carbono

10XX → Aço-carbono comum

11XX → teores diferenciados de S

12XX → teores diferenciados de S e P

13XX → alto teor de Mn (1,6-1,9%)

2XXX → Aço ao Níquel

3XXX → Aço ao Níquel e Cromo

4XXX → Aço ao Molibidênio

40XX → Mo 0,15-0,3%

41XX → Mo, Cr

43XX → Mo, Cr, Ni

5XXX → Aço ao Cromo

6XXX → Aço ao Cromo e Vanádio

8XXX → Aço ao Níquel, Cromo e Molibidênio

9XXX → Outros

APLICAÇÕES DOS AÇOS-LIGA

- Os aços-liga, por serem uma família bastante ampla de diferentes tipos de aços com propriedades bastante distintas, encontram aplicações igualmente vastas.
- Podem ser encontrados em praticamente todos os segmentos industriais, desde a construção civil até a construção naval, passando pela indústria petrolífera, automobilística e aeronáutica.



Aços de alto teor e Ferros Fundidos

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS ALTO TEOR DE LIGA

Aços inoxidáveis

Aços refratários (resistentes ao calor)

Aços para ferramentas

Os aços inoxidáveis são de alta liga, (contendo mais de 10% de elementos de liga) mas em geral são de baixo teor de carbono, ligados principalmente ao:

- Cromo
- Níquel
- Molibdênio

Os aços inoxidáveis tem como principal característica, a resistência à corrosão, mesmo em ambientes de alta temperatura ou temperaturas criogênicas (Temperaturas muito baixas).

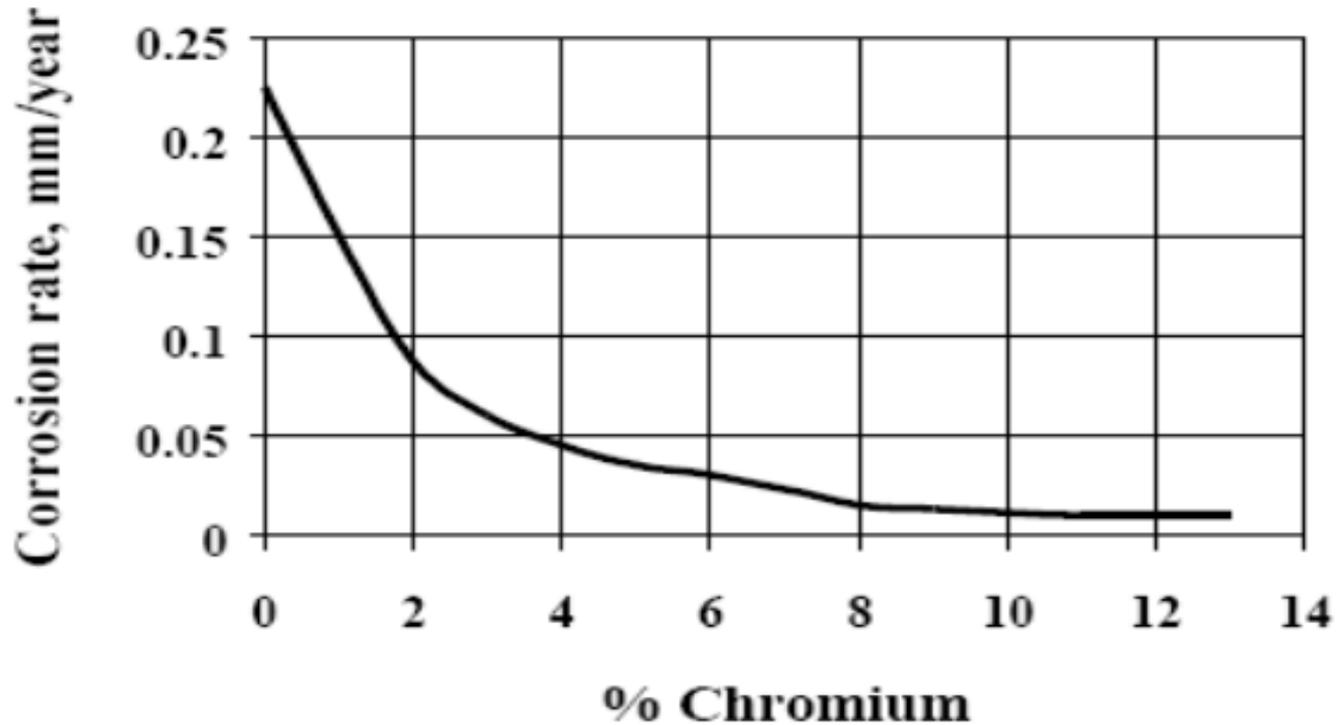
Se deve principalmente pela presença de cromo (a partir de 11%).

O cromo, em contato com o oxigênio permite a formação de uma película finíssima de óxido de cromo (Cr_2O_3) sobre a superfície do aço, que é impermeável e insolúvel em meios corrosivos usuais.



Concepção artística do corte de uma barreira de óxido vista ao microscópio.

Papel do cromo nos aços: taxa de corrosão x percentual de cromo do aço



Classificação dos Aços Inoxidáveis

São classificados de acordo com a estrutura cristalina predominante na liga à temperatura ambiente.

São classificados como:

- Aços inoxidáveis Martensíticos;
- Aços inoxidáveis Ferríticos;
- Aços inoxidáveis Austeníticos.
- Aços inoxidáveis Duplex (Austeníticos Ferríticos)

Quanto a Estrutura

- **Perlíticos:** --Aços com no máximo 5% de elementos de liga
 - As propriedades mecânicas podem ser melhoradas por tratamento térmico
 - Aços de boa usinabilidade
- **Martensíticos:** - Aços c/ mais de 5% de elementos de liga
 - Apresentam alta dureza
 - Aços de baixa usinabilidade
- **Austeníticos:** -Tem estrutura austenítica a temperatura ambiente, devido aos elevados teores de elementos de liga (Ni, Mn, Co)
Ex: inoxidáveis, não magnéticos e resistentes ao calor

Ferríticos:- Tem baixo teor de Carbono

- Tem elevados teores de elementos de liga (Cr, W, Si)

- Não reagem à têmpera

- Apresentam estrutura ferrítica no estado recozido

Carbídicos:- Apresentam alto teor de Carbono

- Elementos formadores de carbonetos (Cr, W, Mn, Ti)

- A estrutura consiste de carbonetos dispersos na matriz sorbítica, austenítica ou martensítica, dependendo da composição química

- São usados para ferramentas de corte e para matrizes

Aços Refratários

GENERALIDADES

Definidos como os materiais com temperatura de fusão acima de 1800°C

- **Tungstênio - W**
- **Molibdênio - Mo**
- **Tântalo - Ta**
- **Nióbio - Nb**
- Zircônio, Crômio e Vanádio (geralmente não usados como refratários)
- Háfnio e Rênio (muito raros)

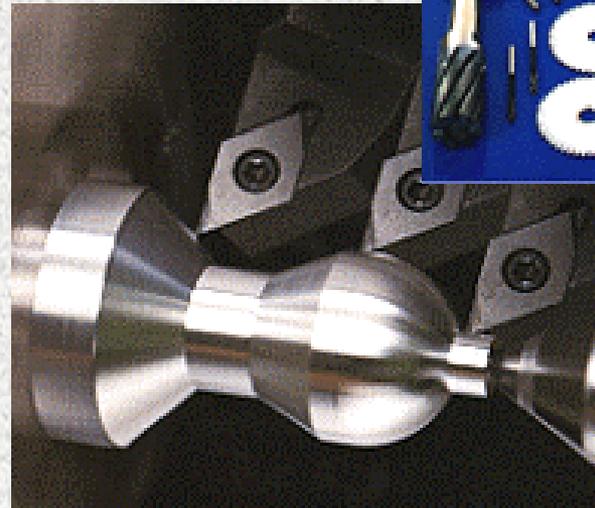
Todos possuem elevadas densidades

Têm baixa ductilidade à temperatura ambiente

ELEMENTO	PONTO DE FUSÃO E DENSIDADE
Tungstênio - W	3410°C (19,3 g/cm ³)-CCC
Molibdênio - Mo	2617°C (10,22 g/cm ³)-CCC
Tântalo - Ta	2996°C (16,6 g/cm ³)
Nióbio - Nb	2468°C (8.57 g/cm ³)-CCC
Zircônio, Cromo e Vanádio (não usados como refratários)	Zr= 1822°C (6,51g/cm ³) -HC Cr= 1875°C (7,19g/cm ³)-CCC V= 1890°C (6,1g/cm ³) - CCC
Rênio (RARO)	3180° C (21,2 g/cm ³)
Háfnio (RARO)	2222° C (13,1 g/cm ³)

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- **QUANTO AS PROPRIEDADES**
- Elevada dureza a temperatura ambiente e a quente
- Boa tenacidade
- Boa Resistência ao desgaste
- Boa Resistência Mecânica
- Tamanho de grão pequeno
- Boa usinabilidade
- Temperabilidade



AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- **QUANTO AO TIPO**
- Aços com alto teor de Carbono (0,6-1,3%C)
- Aços com alto teor de liga de W, V e Cr ou Mo, Co e outros.

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- **QUANTO A APLICAÇÃO**

Aços-rápido: desenvolvidos para aplicações de usinagem em elevadas velocidades

Aços para trabalho a quente: desenvolvidos para utilização em operações de punçonnemento (furar), cisalhamento e forjamento de metais em altas temperaturas sob condições de calor, pressão e abrasão.

Aços para deformação a frio: desenvolvidos para aplicações que não envolvam aquecimentos repetidos ou prolongados

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

Aços-rápido:

- aplicações de usinagem em elevadas velocidades.

Existem duas classificações que são:

- ao molibdênio (grupo M)
- ao tungstênio: (grupo T).

Os dois tipos possuem uma performance mais ou menos semelhante. Os do grupo M, entretanto, tem um custo inicial menor.

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- **Aços para trabalho a quente:** desenvolvidos para utilização em operações de punçonnemento (furo, penetração), cisalhamento (corte) e forjamento (compressão) de metais em altas temperaturas sob condições de calor, pressão e abrasão.
- São identificados como aço H, no sistema de classificação.
- São divididos em três sub-grupos:
 - ao cromo (H10 à H19)
 - ao tungstênio (H21 à H26)
 - ao molibdênio (H42 à H43).

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- - Aços para deformação a frio: por não conter os elementos de liga necessários para possuir resistência a quente, estes aços se restringem a aplicações que não envolvam aquecimentos repetidos ou prolongados em faixas de temperatura de 205 a 260°C.

São divididos em três grupos:

- aços temperáveis ao ar (grupo A)
- aços alto-carbono e alto-cromo (grupo D)
- aços temperáveis em óleo (grupo O)

Ferros fundidos - Fofos

São ligas Fe-C-Si com mais de 2,1% de carbono onde, em geral, aparece na estrutura grafita livre.

Efeitos dos elementos de liga

- **Carbono** – como nos aços, é o elemento de liga básico; determina obviamente, a quantidade de grafita que pode se formar;
- **Silício** – É o elemento grafitizante por excelência, ou seja, favorece a decomposição do carboneto de ferro; sua presença, independentemente do teor de carbono, pode fazer o Fofó tender de fofó cinzento ou branco.

Propriedades dos FoFos

- Baixo custo;
- Ponto de fusão mais baixo que o aço;
- Boa fluidez;
- Versatilidade de propriedades e aplicações.

Ferros Fundidos

Classificação:

- Fofo branco
- Fofo cinzento
- Fofo mesclado
- Fofo dúctil ou nodular
- Fofo maleável

Classificação dos Fofos quanto ao tipo de liga

Faixa de composição de ferros fundidos típicos comuns:

TIPO FOFOs	C	Si	Mn	S	P
Branco	1,8-3,6	0,5-1,9	0,25-0,80	0,06-0,20	0,06-0,18
Maleável	2,0-2,6	1,1-1,6	0,20-1,0	0,04-0,18	0,18 máx.
Cinzento	2,5-4,0	1,0-3,0	0,25-1,0	0,02-0,25	0,05-1,0
Nodular/Dúctil	3,0-4,0	1,8-2,8	0,10-1,0	0,03 máx.	0,10 máx.
Grafita Compactada	2,5-4,0	1,0-3,0	0,20-1,00	0,01-0,03	0,01-0,10

FERRO FUNDIDO BRANCO

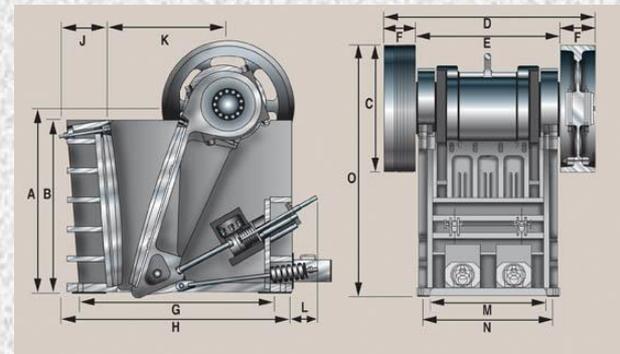
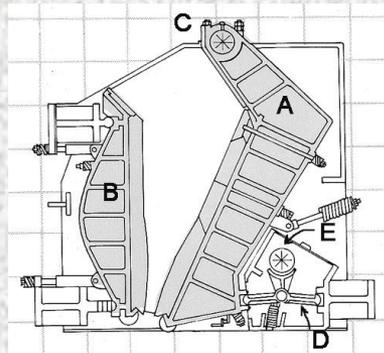
- Carbono na forma Fe_3C , mostrando uma fratura clara ou branca;
- Suas propriedades básicas são: elevadas dureza e resistência ao desgaste, o que em consequência, os tornam difíceis de usinar, mesmo com os melhores materiais de corte;
- Na produção dos fofos brancos tem-se a adição de alguns elementos de liga: níquel, cromo e molibidênio - estes em combinação, dão resistência ao desgaste e a corrosão – que buscam evitar a grafitização.

FERRO FUNDIDO BRANCO

- Cilindros de laminação, rodas de vagões, peças empregadas em equipamentos para britamento de minério e moagem de cimento.



Britador de mandíbula



FERRO FUNDIDO CINZENTO

- Esta liga Fe-C-Si, pela sua fácil fusão e moldagem, excelente usinabilidade, resistência mecânica satisfatória, boa resistência ao desgaste e boa capacidade de amortecimento, é dentre os ferros fundidos os mais usados.

FERRO FUNDIDO CINZENTO

- **É caracterizado pelos fatores que favorecem a formação da grafita**
 - A fratura é de cor cinzenta
 - É barato
 - É o mais usado
 - É de boa resistência Mecânica e ao desgaste
 - É de fácil usinagem e difícil soldagem
 - É obtido pelo resfriamento lento
 - É de fácil fusão
 - **Elevado coeficiente de amortecimento**

FERRO FUNDIDO MESCLADO

Características

- A composição varia entre fofo cinzento e fofo branco;
- A fratura é de cor mista;
 - As propriedades são intermediárias.

Propriedades

- Boa ductilidade;
- Boa resistência à tração;
- Boa dureza;
- Boa resistência à fadiga;
- Boa resistência ao desgaste;
- Boa usinabilidade.

FERRO FUNDIDO DUCTIL (ou nodular, ou esferoidal)

PROPRIEDADES

- Alta resistência, tenacidade e ductilidade
- Excelente usinabilidade
- Possibilidade de deformação a quente
- Grande resistência ao desgaste
- Fluidez boa
- Soldabilidade melhorada
- Baixo custo (superior ao ff cinzento)

FERRO FUNDIDO DUCTIL (ou nodular, ou esferoidal)

APLICAÇÕES

- Válvulas, carcaça de bombas, virabrequins, engrenagens, pinhões, cilindros e outros componentes de máquinas e automóveis.



FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido do ff branco por tratamento térmico.

FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

PROPRIEDADES

- Variando a taxa de resfriamento, pode obter-se um largo espectro de propriedades
- Boa resistência à corrosão
- Boa usinabilidade e fluidez
- Propriedades similares ao ff dúctil
- Alta resistência, tenacidade e ductilidade

FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

APLICAÇÕES

- Aplicação similares ao ff dúctil
- Peças sujeitas a alta temperatura
- Elementos de ligação
- Juntas universais
- Pequenas ferramentas



FERRO-LIGA

- **FERRO-LIGA** são *ligas* especiais que requer alta tecnologia para a sua produção. Ligas especiais são ligas a base de ferro e níquel, contendo cromo e outros elementos a fim de obter propriedades superiores a dos aços e, portanto, suportar solicitações mecânicas e corrosivas extremas.

FERRO-LIGA

- Ferro-Ligas são ligas de Ferro com outro elemento químico e são usados na fabricação de aços. Durante o processo da fabricação quando o aço se encontra em estado líquido são adicionados os Ferro Ligas para mudar a composição química do aço e dar uma característica especial a este. As ligas mais comuns que são adicionadas são Ferro Mangânes, Ferro Silício e Ferro Cromo. Cada elemento dá um propriedade especial ao aço como aumento de sua dureza, resistência a corrosão, maior maleabilidade

- Aumentam a dureza e a resistência
- Conferem propriedades especiais como:
 - Resistência à corrosão
 - Estabilidade à baixas e altas temperaturas
 - Controlam o tamanho de grão
 - Melhoram a conformabilidade
 - Melhoram as propriedades elétricas e magnéticas
 - Diminuem o peso (relativo à resistência específica)