

FERROS FUNDIDOS; TIPOS E PROPRIEDADES; FERROS FUNDIDOS LIGADOS

Referências Bibliográficas:

Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução.

William D. Callister Jr

Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns.

Colpaert

Introdução

- Ligas ferrosas contendo 1,7 a 4,0% C e 0,5 a 3,5% Si
- Composição torna excelente para fundição (fluidez)

Utilizados em geral quando se deseja:

- Elevada resistência ao desgaste e à abrasão;
- Amortecimento de vibrações;
- Componentes de grandes dimensões;
- Peças de geometria complicada;
- Peças onde a deformação plástica a frio é inadmissível.



Vantagens

- Baixo ponto de fusão;
- Elevada dureza e resistência ao desgaste;
- Boa resistência à corrosão;
- Baixo custo.

Desvantagens

- Grande fragilidade e baixa ductilidade;
- Deformação plástica impossível à temperatura ambiente;
- Soldadura muito limitada.

Definição

De forma similar aos aços, ferros fundidos podem ser **hipoeutéticos**, **eutéticos** ou **hipereutéticos**.

O valor **eutético** definido pelo ponto de **equilíbrio** entre a austenita e a cementita (aprox 4,3%, linha G-5 no diagrama).

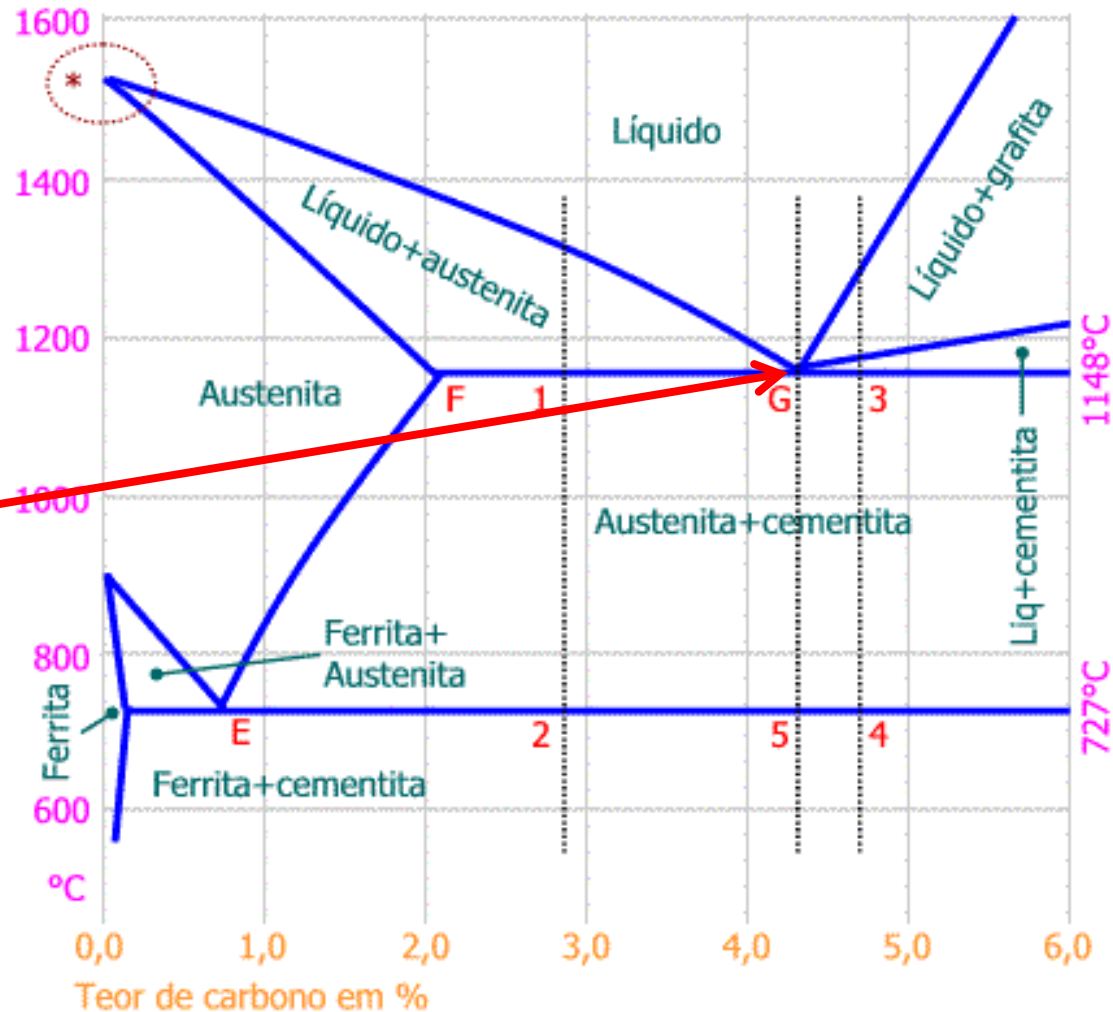


Diagrama Fe-C

O diagrama Fe-C apresenta **dois eutéticos** provenientes de dois equilíbrios: **estável e metaestável**. O eutético **estável** é formado pela **austenita e grafita** e o eutético **metaestável** por **austenita e carbonetos (cementita)**.

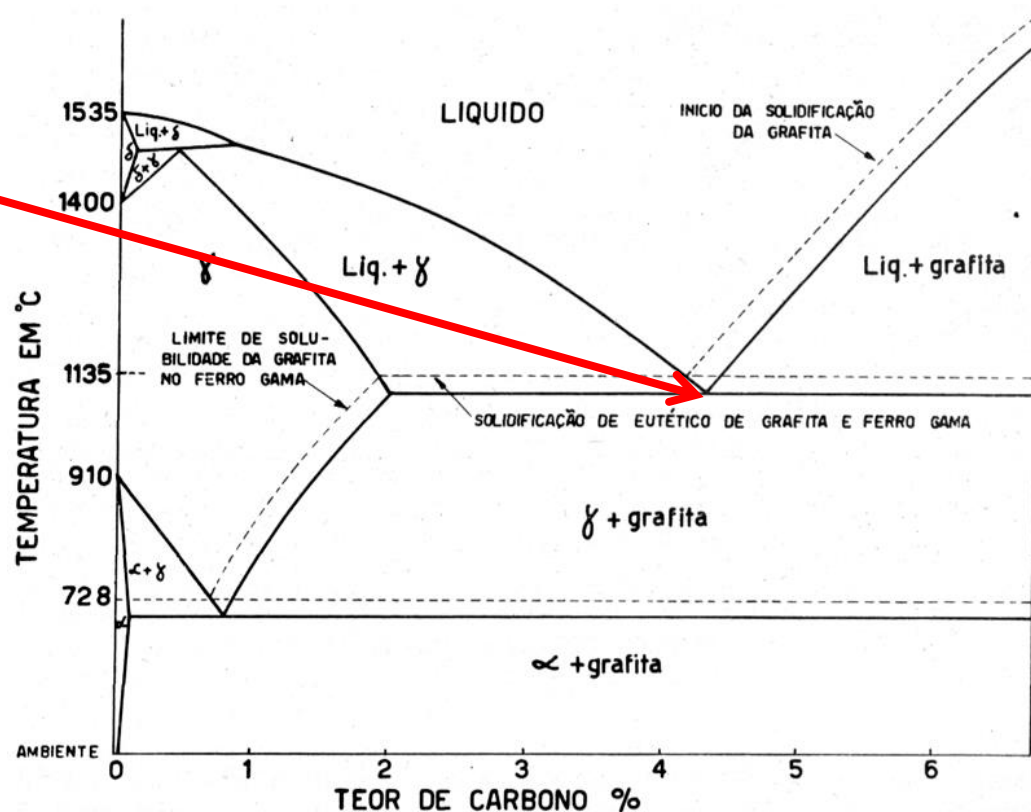


Fig. 521 — Diagrama de equilíbrio ferro-carbono simplificado mostrando em pontilhado o diagrama estável ferro-grafita.

No caso dos **aços** as estruturas **provenientes do resfriamento lento** podem ser relacionadas com o **diagrama metaestável**.

Classificação

Os ferros fundidos apresentam uma extensa gama de **resistências mecânicas e de durezas**, e na maioria dos casos são de fácil usinagem.

Através da **adição de elementos de liga** é possível obter-se excelente **resistência ao desgaste, à abrasão e á corrosão**, porém em geral a resistência ao, limitando sua utilização em algumas aplicações. **impacto e a ductilidade são relativamente baixas**

De acordo com a **composição química** e com a **distribuição de carbono na sua microestrutura**, os ferros fundidos podem ser **classificados** em quatro grandes categorias:

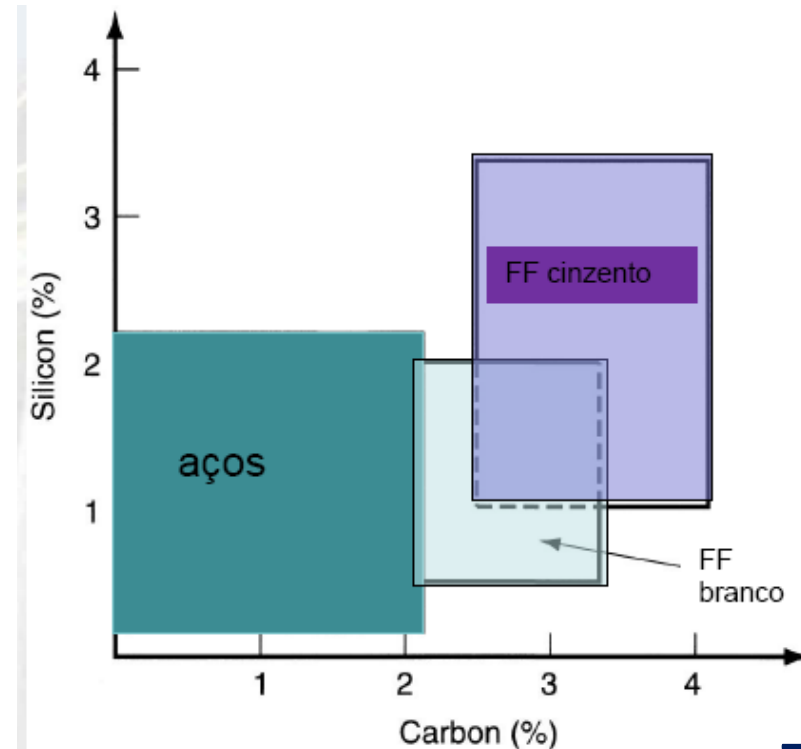
- Branco
- Cinzento
- Maleável
- Dúctil (nodular)

Classificação

	C	Si	Mn	S	P
Cinzentos	2,5-4,0	1,0-3,0	0,25-1,0	0,02-0,25	0,05-1,0
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.
Dúctil	3,0-4,0	1,8-2,8	0,10-1,0	0,03 máx.	0,10 máx.

A **tabela** acima ilustra os intervalos de **composição química** dos ferros fundidos típicos, não ligados.

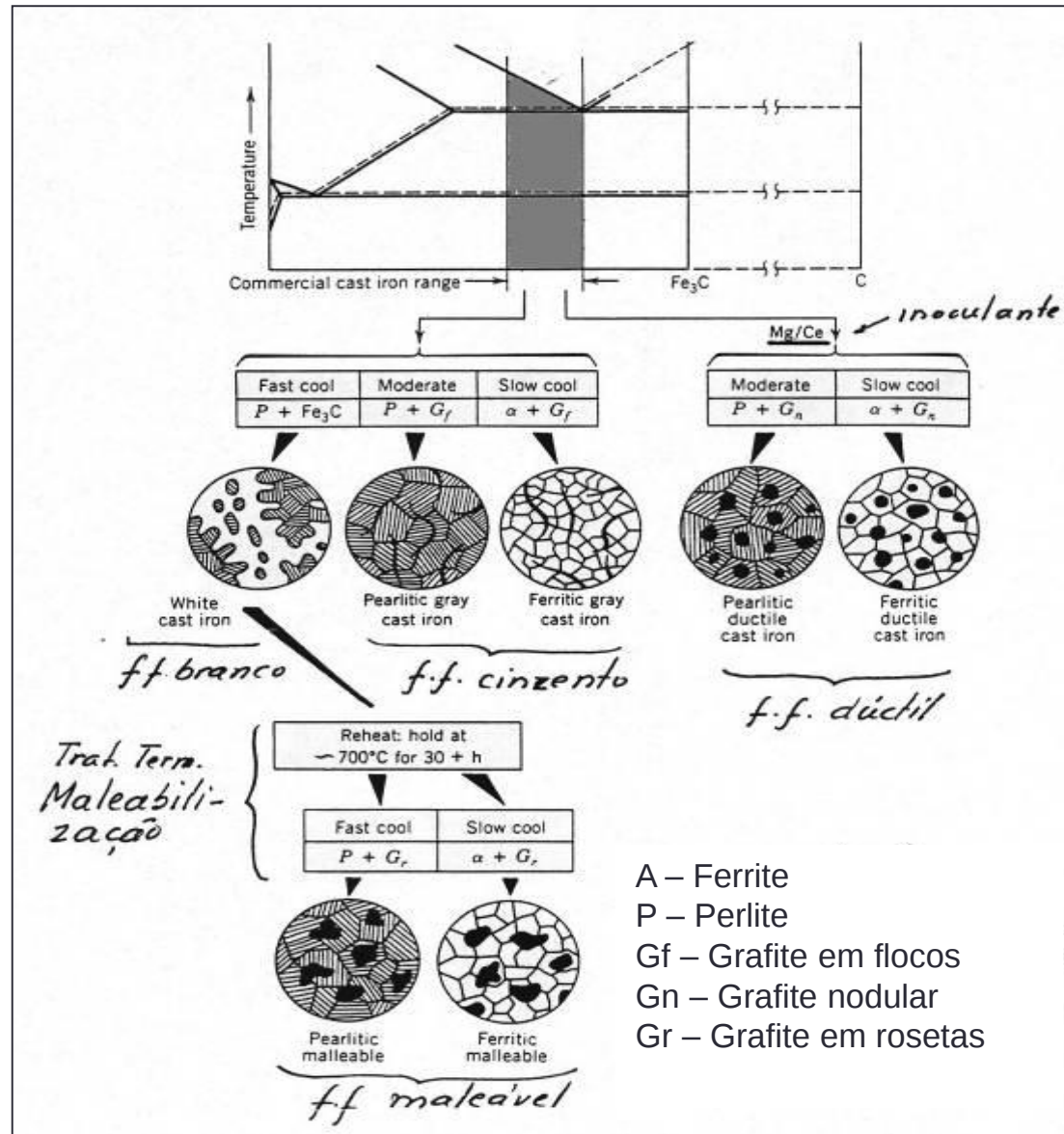
O **gráfico** ao lado ilustra a **relação** típica existente entre os **teores de Carbono e Silício** nas famílias de ferros fundidos.



Efeitos dos elementos de liga

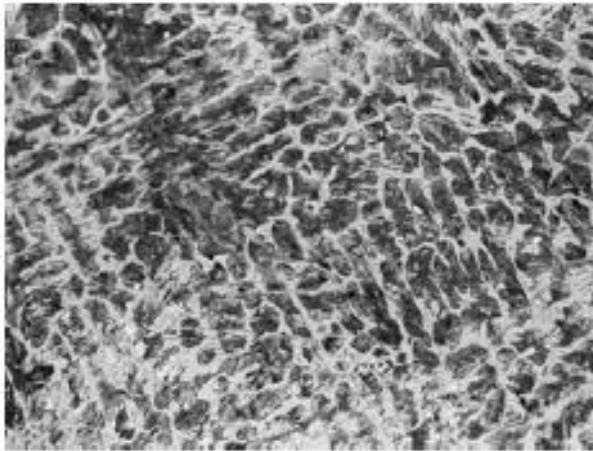
- **Carbono** – como nos aços, é o elemento de liga básico; determina obviamente, a **quantidade de grafita que pode se formar**;
- **Silício** – É o **elemento grafitizante** por excelência, ou seja, favorece a **decomposição do carboneto de ferro**; sua presença, independentemente do teor de carbono, pode **fazer o Fofu tender de fofo cinzento**
- **Enxofre** - nos teores normais, não tem ação significativa.

Tipos básicos de ferros fundidos, em relação à sua composição, microestrutura e processamento

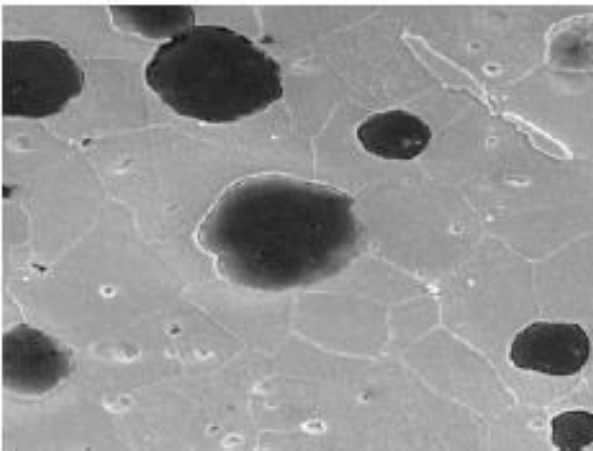
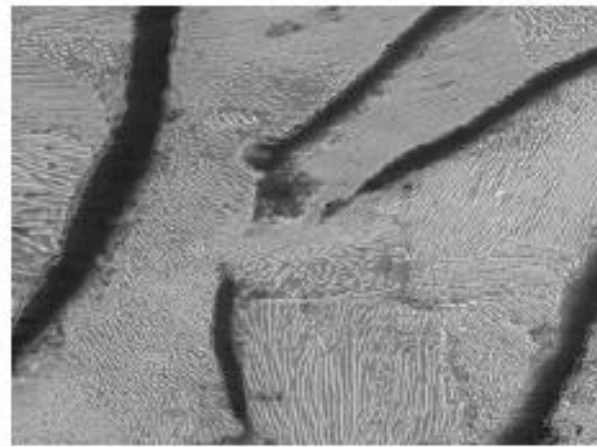


Estrutura

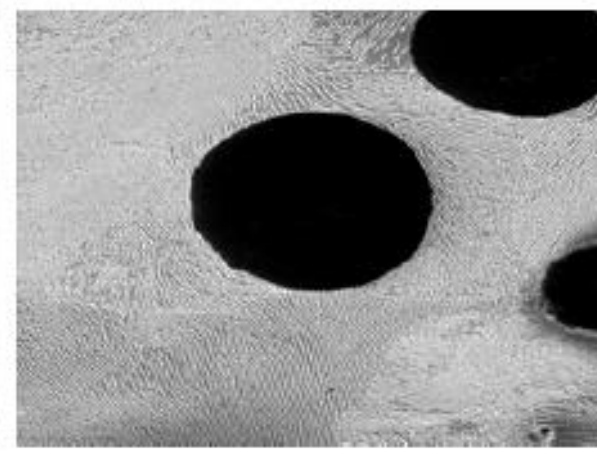
Branco
(perlita e ledeburita)



Cinzento
(veios grafita e perlita)



Nodular
(ferrita e nódulos grafita)



Nodular
(perlita e nódulos grafita)

Ferro Fundido Branco

PROPRIEDADES

- Grande resist. à compressão e ao desgaste (cementita);
- Extremamente frágil;
- Não pode ser usinado;
- Soldagem impossível;
- Baixo custo.

APLICAÇÕES

- Principal aplicação é a produção de ferro fundido maleável;
- Peças sujeitas a elevada compressão e atrito;
- Esferas de moinhos e rolos de laminadores;
- Elevada taxa de resfriamento necessária limita o tamanho das peças.

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.
- **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 (até 40 Kgf/mm²) e ao desgaste
 - É de fácil usinagem e difícil soldagem
 - É obtido pelo resfriamento lento



Audi V8 direct-injection diesel engine.

Ferro fundido cinzento - Aplicações

- Ferro fundido mais usado (75%);
- Fundição de componentes mecânicos em geral;
- Blocos de motores;
- Engrenagens de grandes dimensões;
- Máquinas agrícolas;
- Carcaças e suportes de máquinas



Ferro fundido cinzento

Composição típica

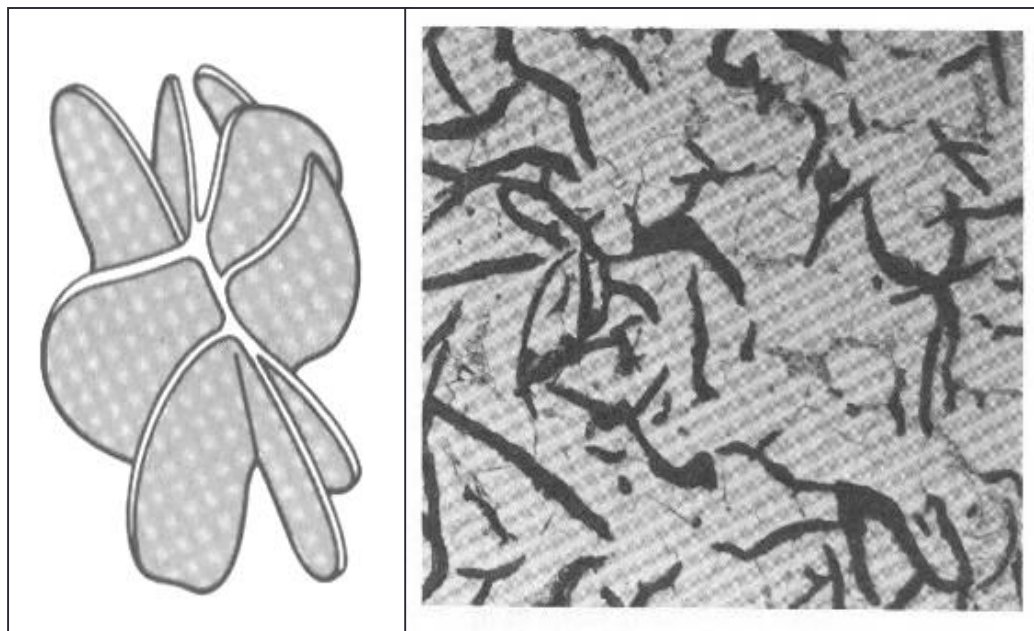
C →	2,5-4%
Si →	1-3%
Mn →	0,4 -1%

**Alto teor de Si
melhora**

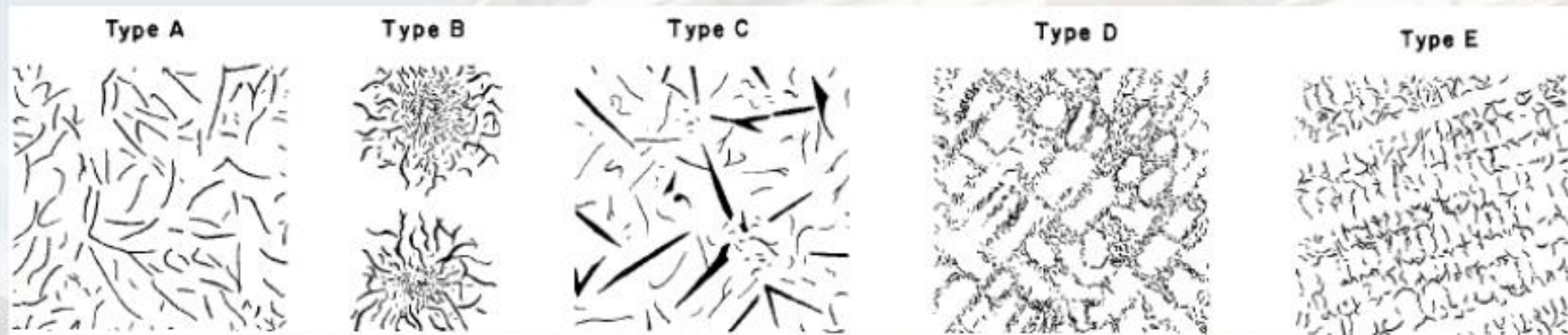
- Resistência à corrosão
- Fluidéz

Estrutura

- Grafita lamelar devido ao C livre na matriz de ferrita, perlita ou outra estrutura proveniente da austenita.



Tipos de grafita nos ferros fundidos cinzentos



Propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos:

ASTM A 48 class	Resistência à tração		Resistência à torção		Resistência à compressão		Limite de fadiga em dobramento		dureza (HB)
	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	
20	152	22	179	26	572	83	69	10	156
25	179	26	220	32	669	97	79	11.5	174
30	214	31	276	40	752	109	97	14	210
35	252	36.5	334	48.5	855	124	110	16	212
40	293	42.5	393	57	965	140	128	18.5	235
50	362	52.5	503	73	1130	164	148	21.5	262
60	431	62.5	610	88.5	1293	187.5	169	24.5	302

Ferros Fundidos Nodulares

MICROESTRUTURA

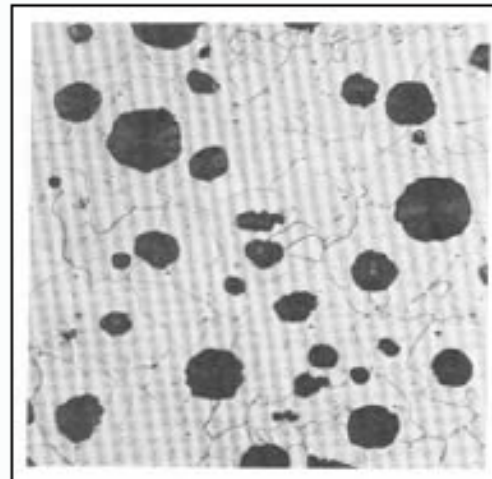
- $3,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,8 \leq \%Si \leq 3,0$
- Pequenas adições de Mg
- Em vez de flocos formam-se nódulos
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Grafite em nódulos origina maior resistência, ductilidade e tenacidade

PROPRIEDADES

- Melhor resistência, tenacidade e ductilidade
- Excelente maquinabilidade
- Possibilidade de deformação a quente
- Grande resistência ao desgaste
- Boa fluidez
- Soldabilidade melhorada
- Baixo custo (superior ao FF cinzento)

APLICAÇÕES

- Engrenagens
- Cambotas
- Juntas universais
- Válvulas
- Componentes sujeitos a desgaste



FF ductil/nodular

- Melhores propriedades mecânicas (ductilidade e resistência mecânica) dentre os ferros fundidos

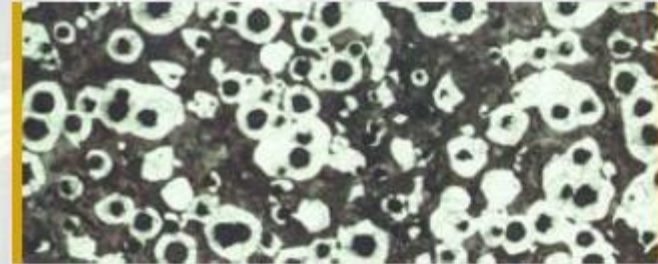
- Microestruturas:

GN + ferrita

GN + perlita

GN + ferrita/perlit →

GN + austenita/ferrita (ADI)



- Algumas aplicações: tubos centrifugados para saneamento válvulas para vapor e produtos químicos, cilindros para papel, virabrequins, engrenagens, etc.

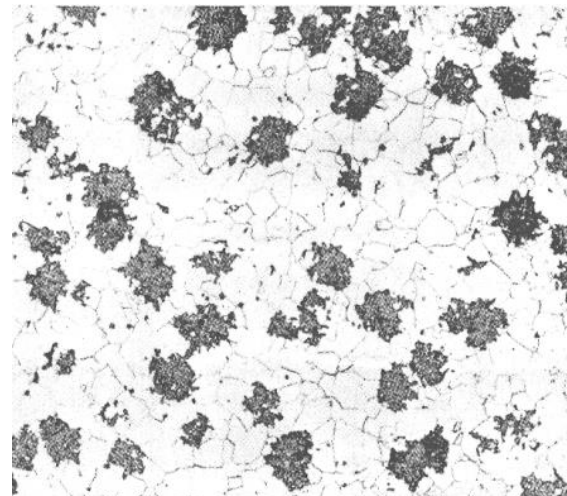


Ferros Fundidos Maleáveis

Os ferros fundidos maleáveis são **obtidos a partir do ferro fundido branco**, quando submetidos a um tratamento térmico de grafitização (**aprox. 940°C**), quando os carbonetos de ferro transformam-se em grafita (nódulos de carbono revenido).

O modo de resfriamento após o tempo de encharque para grafitização é que determinará a matriz da microestrutura formada por nódulos de carbono revenido, como segue:

Na figura ao lado **vemos nódulos de grafita (carbono revenido)** numa matriz ferrítica. Neste caso ocorreu completa **grafitização**.



FERROS FUNDIDOS

Ferro fundido **cinzento** →



perlítico →



ferrítico →



Ferro fundido **nodular** →

perlítico →



ferrítico →



Ferro fundido **branco** →



Ferro fundido **maleável** →

perlítico →



ferrítico →



Tratamentos térmicos aplicáveis aos ferros fundidos nodulares:

- **Alívio de tensões** (550-590°C) → Não produz modificações microestruturais significativas, somente alívio de tensões por microdeformações plásticas. Alivia as tensões do processo de fundição.
- **Normalização** (900 – 950°C) → resfriamento ao ar. Produz uma matriz perlítica.
- **Recozimento ferritizante** → tratamento entre as temperaturas superior eutetóide e inferior eutetóide, podendo ou não ser precedido de uma etapa a 900-950°C. Este tratamento provoca a grafitização da perlita. A etapa de alta temperatura pode servir para dissolver carbonetos eventualmente existentes.
- **Têmpera e revenido**