

FERROS FUNDIDOS - FOFOS

- É uma liga de Fe-C-Si
- É considerada uma liga ternária devido a presença do Si
- Os teores de Si podem ser maiores que o do próprio C
- O Si influi muito nas propriedades dos fofos

1- COMPOSIÇÃO TÍPICA DOS FOFOS

C →	2-4%
Si →	0,5-3%
Mn →	<1%
S →	< 0,2%

- O teor de C (>2%) está acima do teor que pode ser retido em solução sólida na austenita.

↓ Consequência

O fofa tem Carbono parcialmente livre

↓

Na forma de veios ou lamelas de Grafite

Efeitos do Silício

- Substitui parcialmente o carbono

$$\text{C equivalente} = \% \text{ C (em peso)} + 1/3 \% \text{ Si (em peso)}$$

***Para se usar o diagrama Fe-Fe₃C deve-se levar em conta também o teor de Si*

- Promove a formação de grafite em vez de cementita

2- PROPRIEDADES DOS FOFOS

- Baixo custo
- Ponto de fusão mais baixo
- Boa fluidez

3- CLASSIFICAÇÃO DOS FOFOS

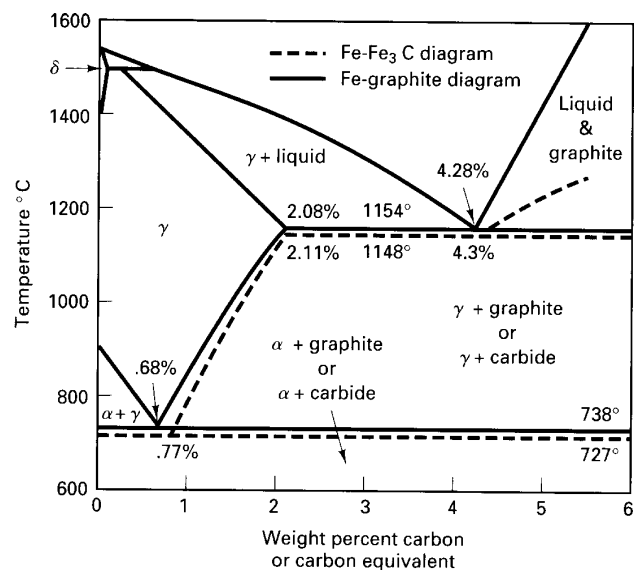
Os fofos são classificados segundo:

- Composição química
- Taxa de resfriamento
- Adição de inoculantes

4- MICROESTRUTURA DOS FOFOS

A microestrutura dos fofos é controlada:

- Pela composição química
- Pelo processo de fabricação



FATORES QUE FAVORECEM A FORMAÇÃO DO GRAFITE

- Alto teor de C
- Alto teor de Si
- Resfriamento lento
- Seções espessas
- Presença de : S, P, Al, Mg, Sb, Sn, Cu, Ni, Co
- Inoculante

FATORES QUE FAVORECEM A FORMAÇÃO DA CEMENTITA

- Baixo teor de C
- Baixo teor de Si
- Resfriamento rápido
- Seções finas
- Adição de : Ti, V, Zr, Cr, Mn, Mo

5- CLASSIFICAÇÃO DOS FOFOS QUANTO AO TIPO DE LIGA

- Fofa Cinzenta
- Fofa branca
- Fofa mesclado
- Fofa maleável
- Fofa nodular

5.1- FOFO CINZENTO

É caracterizado pelos fatores que favorecem a formação do grafite

- 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
- É obtido pelo resfriamento lento
- É de fácil fusão
- **Elevado coeficiente de amortecimento (os veios de grafita absorvem o impacto e o som)**

DUREZA

BRINELL: 150

RB: 87

COMPOSIÇÃO TÍPICA DOS FOFOS CINZENTOS

C → 2,5-4%

Si → 1-3%

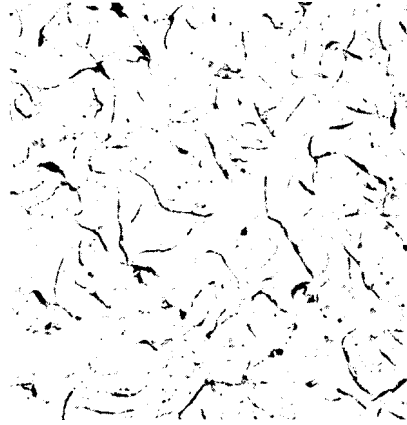
Mn → 0,4 -1%

Alto teor de Si melhora

- Resistência à corrosão
- Fluidéz

ESTRUTURA TÍPICA DOS FOFOS CINZENTOS

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



CLASSIFICAÇÃO DOS FOFOS CINZENTOS SEGUNDO ABNT

FCXX

XX= Limite máximo de resistência à tração

CLASSE	PROPRIEDADES	APLICAÇÕES
FC10 FC15	- Excelente fundibilidade - Boa usinabilidade	Bases de máquinas Carcaças de metálicas
FC20 FC25	- Excelente fundibilidade - Boa usinabilidade - Boa resistência Mecânica	Elementos estruturais: barramentos, cabeçotes e mesas de máquinas operatrizes
FC30 FC35	- Elevada dureza - Elevada resistência mecânica	Engrenagens, pequenos virabrequins, bases pesadas de máquinas, colunas de máquinas, buchas e grandes blocos de motor
FC40	- Maior resistência - Maior tendência ao coquilhamento	- Peças diversas de espessuras médias e grossas

ELEMENTOS DE LIGA DOS FOFOS CINZENTOS

FOFOS LIGADOS

EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA

- Tendem decompor a cementita (efeito grafitizante): Si, Al, Ni, Cu, Ti
- Tendem a estabilizar os carbonetos, retardando a formação da grafita: Mn, Cr, Mo, V.

Todos os elementos de liga tendem a aumentar a resistência à tração e a dureza

Elementos mais eficientes: V, Mo, Cr

- Fofos baixo teor de liga → **apresentam elevada resistência ao desgaste e resistência à tração**
- Fofos alto teor de liga → **similar aos aços confere resistência à corrosão, ao calor,...**

TRATAMENTO TÉRMICO DOS FOFOS CINZENTOS

O comportamento dos fofos cinzentos frente ao tratamento térmico é similar aos aços, exceto pela presença do carbono livre.

- Alívio de tensões
- Recozimento
- Normalização
- Têmpera e revenido

5.2- FOFO BRANCO

É caracterizado pelos fatores que favorecem a formação da cementita

- A fratura é de cor branca
- É de mais alta resistência Mecânica
- Duro
- Frágil
- É obtido pelo resfriamento rápido

DUREZA

BRINELL: 450

RC: 44

APLICAÇÕES FOFOS BRANCOS

Aplica-se onde elevada resistência à abrasão é necessária

Ex: Paredes e bolas de moínhos, rodas para trem, matrizes, recipientes para moagem de cimento.

COMPOSIÇÃO TÍPICA DOS FOFOS BRANCOS

Tem teores de Fe, C e Si menores que o cinzento

C → 1,8-3,6%

Si → 0,5-1,9%

Mn → 0,25-0,8%

ELEMENTOS DE LIGA DOS FOFOS BRANCOS

Ni, Cr e Mo para aumentar a resistência ao desgaste entre outras propriedades

ESTRUTURA TÍPICA DOS FOFOS BRANCOS

A estrutura é quase que totalmente cementita devido a fabricação e composição



Obtido pelo processo de coquilhamento (para eliminar a grafitação)

TRATAMENTO TÉRMICO DOS FOFOS BRANCOS

OBJETIVOS

- Reduzir tensões devido ao coquilhamento (periferia da peça é constituída de fofo branco devido a alta taxa de resfriamento e núcleo de fofo cinzento devido a taxa de resfriamento ser menor. Ex. prático: cilindros laminadores)
- Melhorar as propriedades (a estrutura bruta de fusão é dendrítica de característica frágil)
- **Temperatura : 815 °C** **Tempo: 18 horas**
- Resfriamento:

1) 5°C/hora até 650°C

2) Resfriamento no forno

5.3- FOFO MESCLADO

É caracterizado por sua composição variável entre fofo cinzento e fofo branco

- A fratura é de cor mista
- As propriedades são intermediárias

DUREZA**BRINELL: 300****RC: 30**

PROPRIEDADES DOS FOFOS MESCLADOS

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

5.4- FOFO MALEÁVEL

É o fofo branco tratado termicamente (tratamento especial) para conferir maleabilidade

PROPRIEDADES DOS FOFOS MALEÁVEIS

- Alta ductilidade (essa propriedade é melhorada significativamente)
- Boa resistência à tração
- Boa dureza
- Boa resistência à fadiga
- Boa resistência ao desgaste
- Boa usinabilidade

TRATAMENTO PARA FOFOS MALEÁVEIS

Dependendo do ciclo térmico o fofo maleável pode ser obtido por:

- Por descarbonetação
- Por grafitização

APLICAÇÕES DOS FOFOS MALEÁVEIS

Indústria Mecânica

Material de construção

Veículos

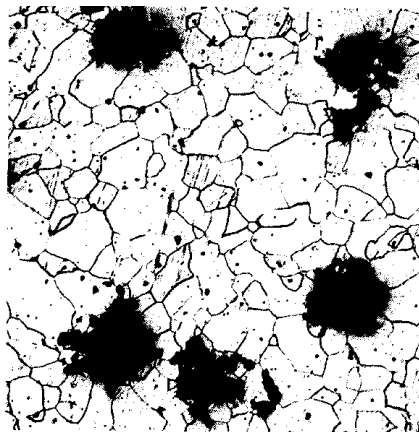
Tratores

Exemplos: conexões para linhas de transmissão elétrica, correntes, suportes de molas, caixas de direção, caixas de diferencial, cubos de rodas, sapatas de freios, pedais de embreagem e freio, bielas, colares de tratores, caixas de engrenagens, etc.

ESTRUTURA TÍPICA DOS FOFOS MALEÁVEIS

- Fe combinado com C na forma de nódulos ao invés de veios ou lamelas
- Obtido com inoculação com Fe-Si

A alta taxa de resfriamento necessária para produzir inicialmente a estrutura do fofa branco restringe o tamanho e a espessura das peças de fofa maleável (menores de 4,5 Kg).



5.5- FOFO NODULAR

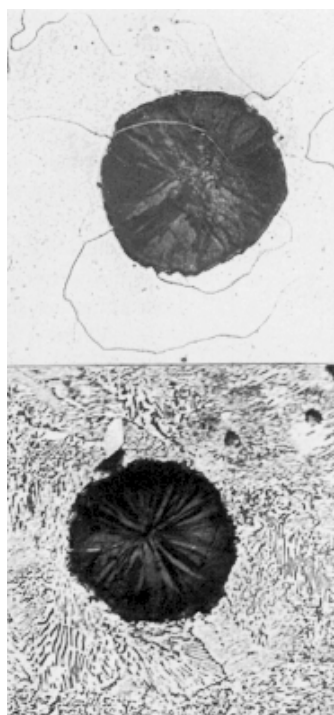
Caracteriza-se por sua ductilidade devido a adição de inoculantes.

PROPRIEDADES DOS FOFOS NODULARES

- Boa ductilidade
- Alta resistência à tração
- Boa fundibilidade
- Elevado limite de escoamento
- É de custo mais elevado

ESTRUTURA TÍPICA DOS FOFOS NODULARES

Carbono livre na forma esferoidal
↓ Devido
Ao tratamento feito no estado líquido
↓
Inoculação com briquetes da liga Fe-Mg-Si (+ comum)



PROCESSO

Os briquetes são introduzidos no ferro fundido líquido básico; devido a natureza da reação que ocasiona fervura, há perda por queima do Mg. O Mg inibe a formação inicial da grafita

Então o fofo solidifica inicialmente com formação de cementita, assim que cessa a ação do magnésio, a cementita decompõe-se formando a grafita.

TRATAMENTO TÉRMICO

Comentário no Chiaverini

ALGUMAS FIGURAS OU TABELAS ILUSTRATIVAS

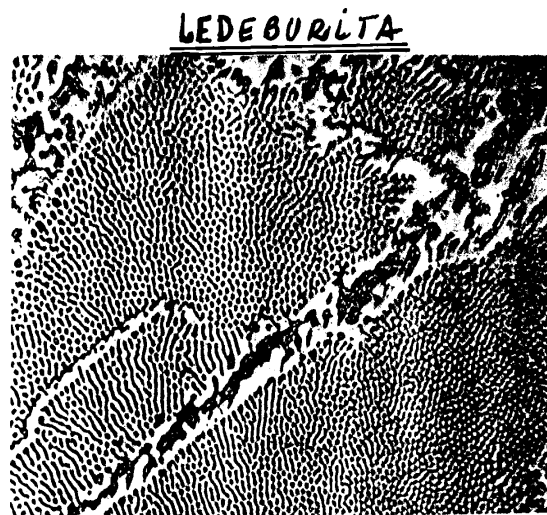


FIG. 165 — Aspecto micrográfico da ledeburita. Estrutura típica de ferro fundido branco com 4,3% de carbono: glóbulos de perlita sobre um fundo de cementita. Ataque: pícrico. Aumento: 530X (Gentileza do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo).

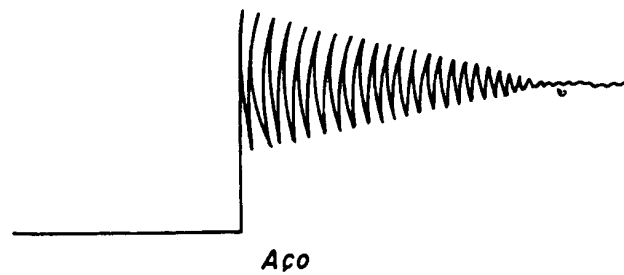
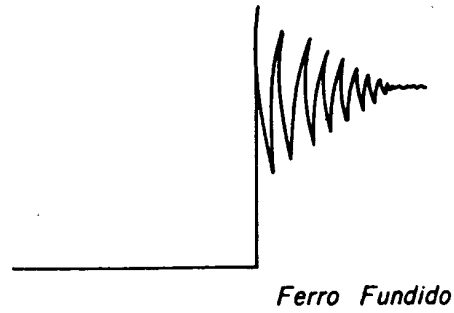


FIG. 179 — Capacidade de amortecimento do ferro fundido em comparação com ao do aço, pelo método de ensaio Foepl-Pertz.

← VIDA DA FERRAMENTA AUMENTA					
	Porcentagem Relativa				
% Ferrita	100	50	0	0	0
% Perlita Grosseira	0	50	100	-	-
% Perlita Fina	-	-	-	100	95
% Cementita	-	-	-	-	5
Dureza Brinell	120	150	195	218	240
Velocidade Recomendada, m/min	244	168	98	82	61
Torneamento com pastilha de metal duro, de classe indicada para ferro fundido					

FIG. 180 — Efeitos da estrutura na velocidade prática de torneamento.

Propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos, de acordo com a EB-126 da ABNT

Classe	Diâmetro da barra de ensaio		Limite de resistência à tração (min.) kg/mm ²	Dureza Brinell (valores máximos)	Resistência à flexão estática (valores médios) kg/mm ²
	D, mm (no estado bruto de fusão)	d, mm (usinada)			
FC10	30	20	10	201	—
FC15	13	8	23	241	34
	20	12,5	18	223	32
	30	20	15	212	30
	45	32	11	201	27
FC20	13	8	28	255	41
	20	12,5	23	235	39
	30	20	20	223	36
	45	32	16	217	33
FC25	13	8	33	269	—
	20	12,5	28	248	46
	30	20	25	241	42
	45	32	21	229	39
FC30	20	12,5	33	269	—
	30	20	30	262	48
	45	32	26	248	45
FC35	20	12,5	38	—	—
	30	20	35	277	54
	45	32	31	269	51
FC40	30	20	40	—	60
	45	32	36	—	57

A ASTM agrupa os ferros fundidos cinzentos em sete tipos, de composição química indicada na Tabela 105.

Os números de 20 a 60, das classes ASTM, correspondem aos limites de resistência à tração, em lb/pol² ou seja 20.000 lb/pol², 25.000 lb/pol² etc.; portanto, em medidas métricas, essas classes apresentam, em média, os seguintes valores aproximados para limite de resistência à tração:

- classe 20 — 14,0 kg/mm²
- classe 25 — 17,5 kg/mm²
- classe 30 — 21,0 kg/mm²
- classe 35 — 24,5 kg/mm²
- classe 40 — 28,0 kg/mm²
- classe 50 — 35,0 kg/mm²
- classe 60 — 42,0 kg/mm²

FERRO FUNDIDO NODULAR

TABELA 120

Composição química dos ferros fundidos básicos para produção de ferro fundido nodular

Tipo	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Ni, %	Cu, %	Cr, %	Mo, %	Sn, %
1	4,0 max	1,7/2,8	0,25/0,50	0,10 max	0,01 max	1,0/3,0	1,50	0,3	0,3	0,10
2	4,0 max	1,6/2,8	0,30	0,10 max	0,01 max	0,5	0,15	0,1	0,1	0,02
3	4,0 max	2,5 max	0,20	0,05 max	0,01 max	0,8	—	—	—	—
4	4,0 max	2,1 max	0,10 max	0,03 max	0,01 max	—	—	—	—	—

Res. Tração *Alongamento*
 FE x x x x

TABELA 122

Classificação do ferro fundido nodular, segundo a ABNT

Classe	Limite de resistência à tração, min. kg/mm ²	Limite de escoamento (0,2%) min. kg/mm ²	Alongamento (5d), min. %	A título informativo	
				Faixa de dureza aproximada Brinell	Estruturas predominantes
FE 3817	38,0	24,0	17	140-180	ferrítica
FE 4212	42,0	28,0	12	150-200	ferrítica-perlítica
FE 5007	50,0	35,0	7	170-240	perlítica-ferrítica
FE 6002	80,0	40,0	2	210-280	perlítica
FE 7002	70,0	45,0	2	230-300	perlítica
FE 3817 RI*	38,0	24,0	17	140-180	ferrítica

* Classe com requisito de resistência ao choque.