

07

FUNDIÇÃO

Engenharia Mecânica
Prof. Luis Fernando Maffei Martins

Diagrama Fe-Fe₃C (metaestável)

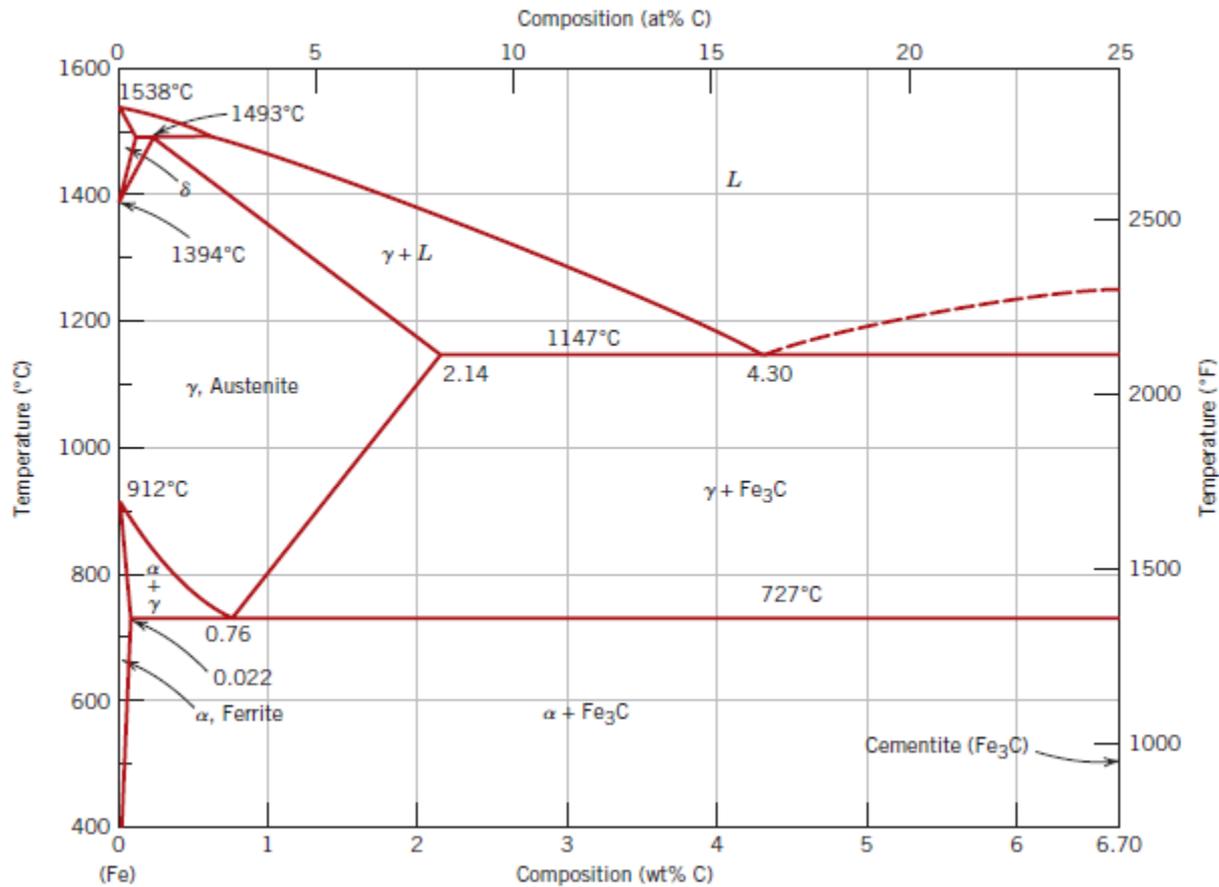


Diagrama Fe-C (estável)

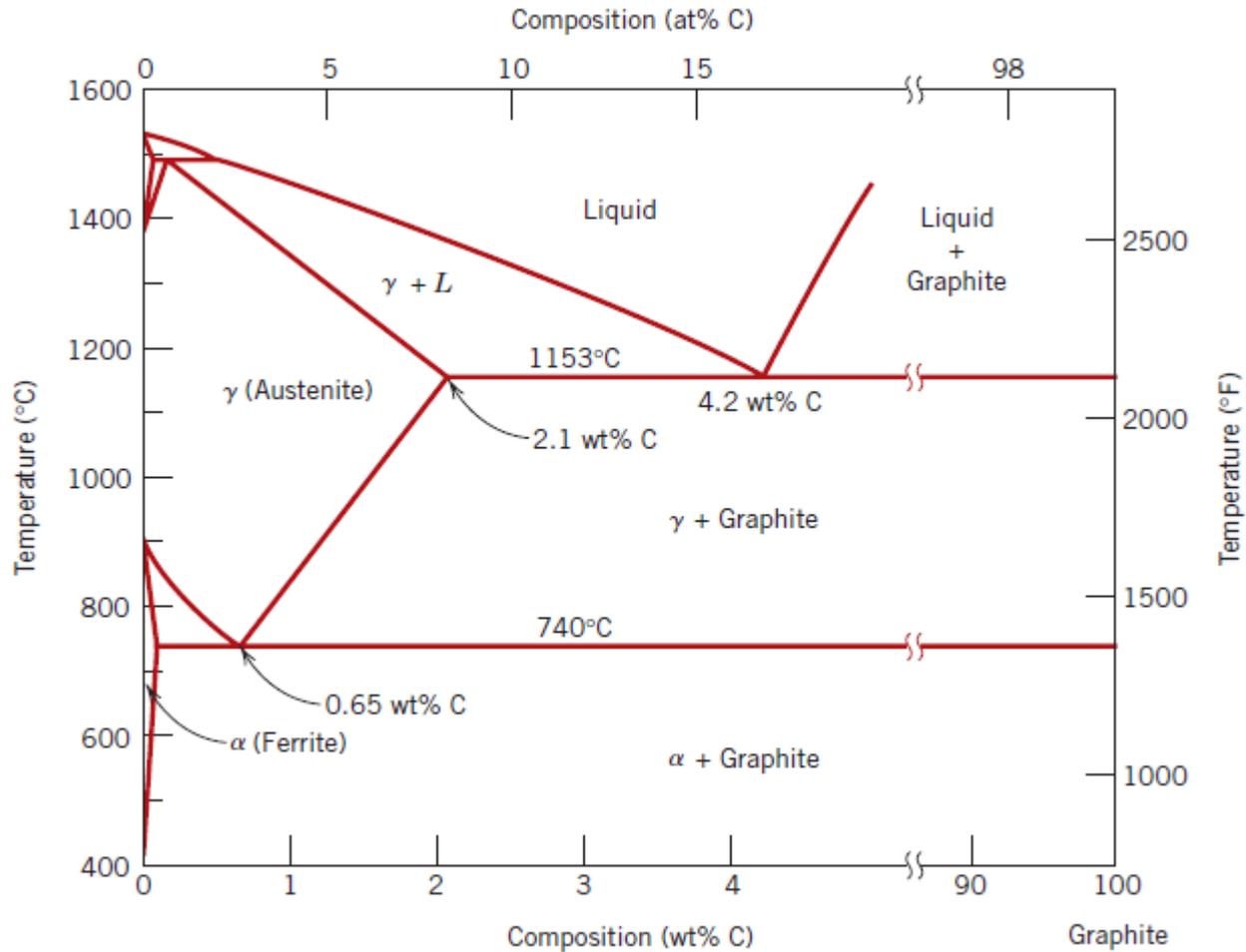
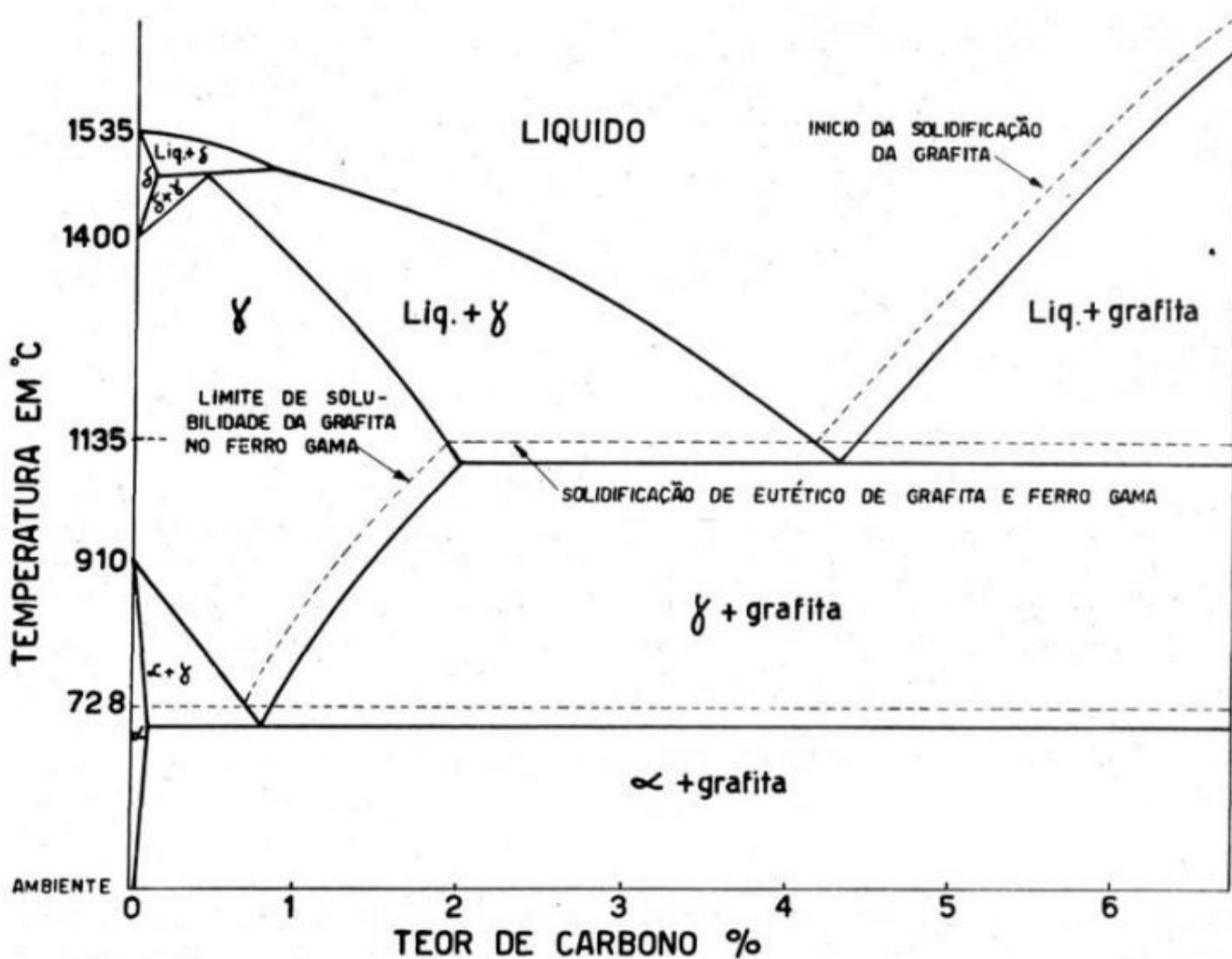


Diagrama Fe-C



Ferros fundidos

A fase metaestável Fe_3C , sob certas condições, pode se dissociar em Fe (ferrita) e C (grafita):



Estas “certas condições” estão associadas com:

- composição química da liga
- taxa de resfriamento do material.

Ferros fundidos

A fase metaestável Fe_3C , sob certas condições, pode se dissociar em Fe (ferrita) e C (grafita):

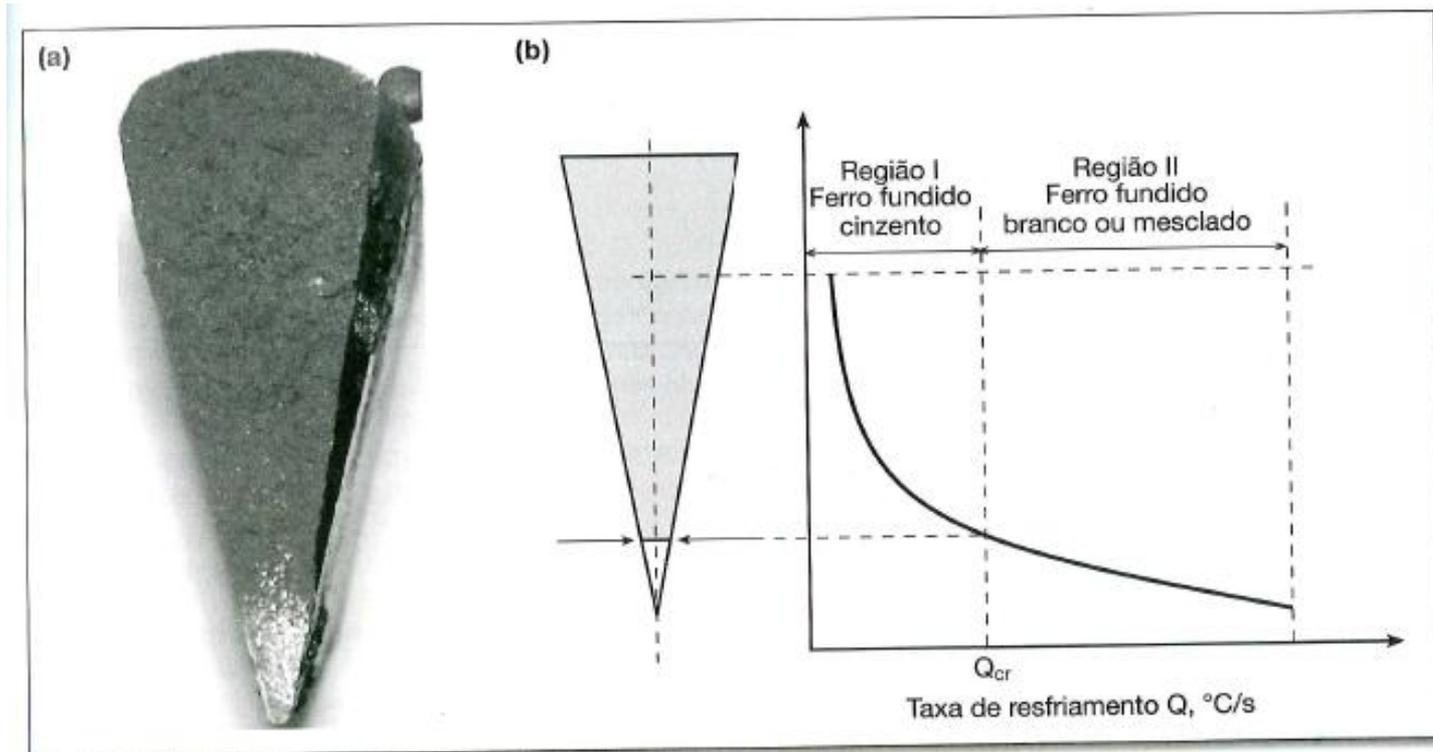


Estas “certas condições” estão associadas com:

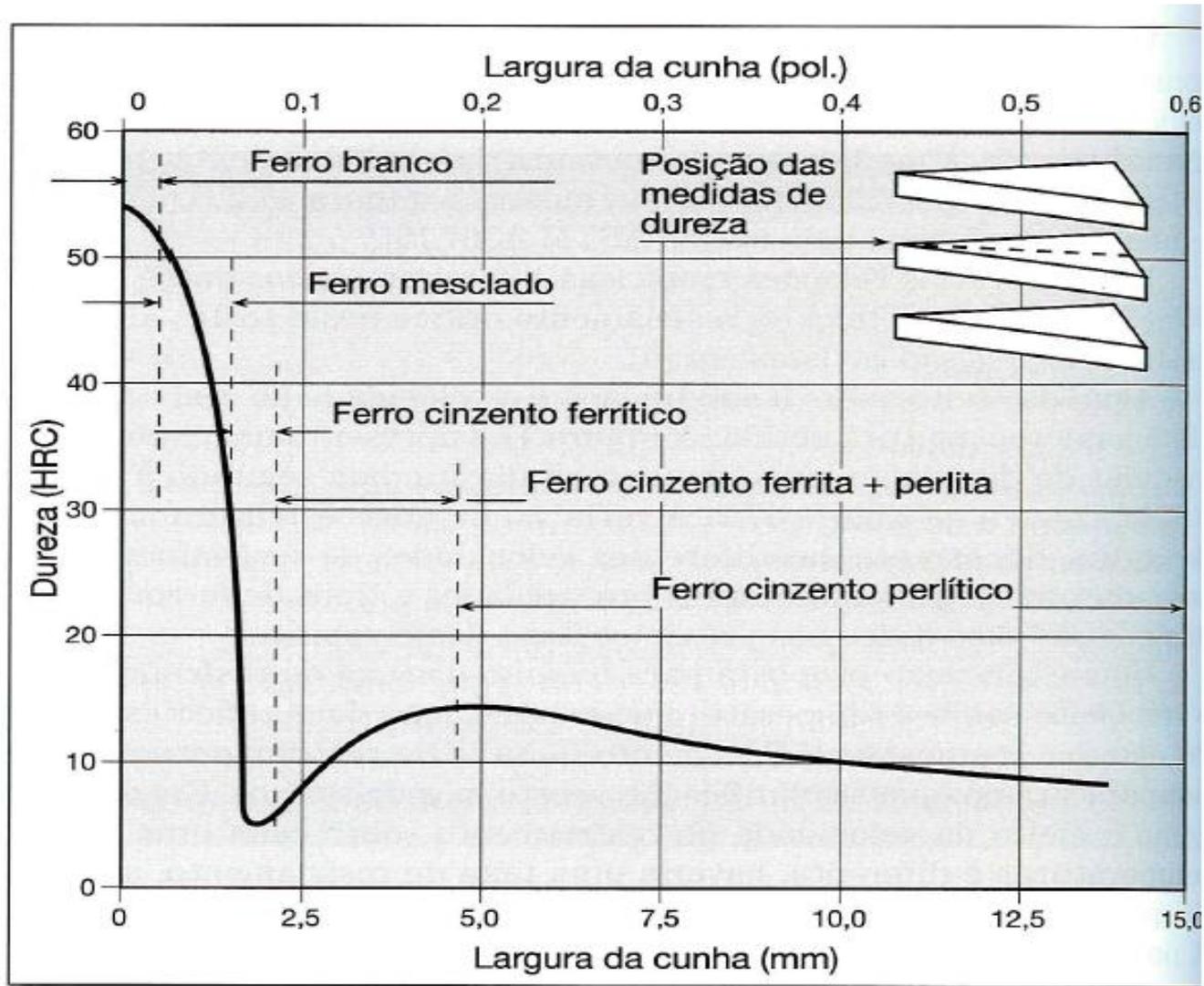
- composição química da liga \longrightarrow %Si > 1 %
- taxa de resfriamento do material \longrightarrow resfriamento lento

Ferros fundidos

Efeito da taxa de resfriamento:



Ferros fundidos



Classificação dos ferros fundidos

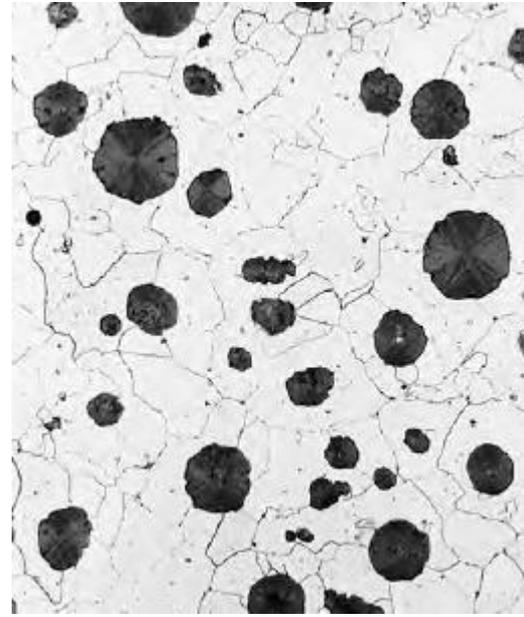
Os ferros fundidos são classificados em função da sua microestrutura, sendo divididos nas seguintes categorias:

Branco
Cinzento
Nodular
Maleável

Classificação dos ferros fundidos



ferro fundido cinzento

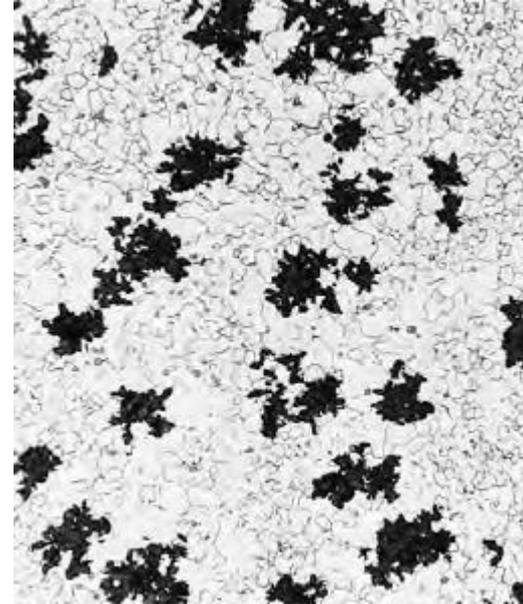


ferro fundido nodular

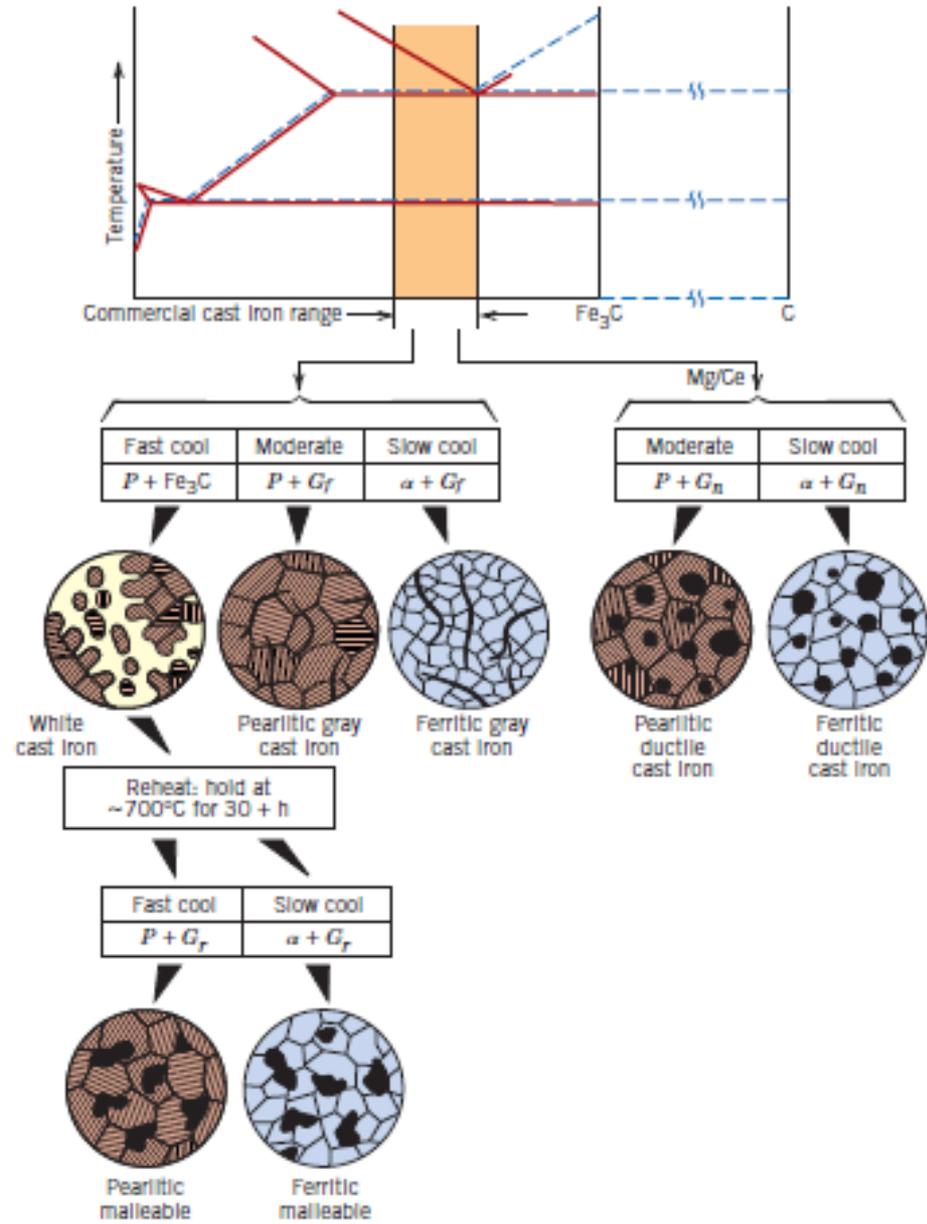
Classificação dos ferros fundidos



ferro fundido branco



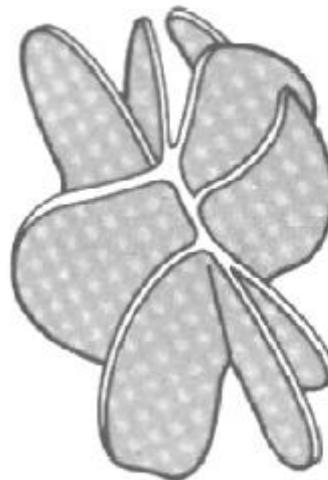
ferro fundido maleável



Ferros fundidos cinzentos

MICROESTRUTURA

- $2,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,0 \leq \%Si \leq 3,0$
- Baixa veloc. resfriamento => Carb. solidifica em forma de grafita (flocos) – forma estável
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Flocos de grafita atuam como entalhes, baixando a tenacidade e a resistência



Ferros fundidos cinzentos

MICROESTRUTURA

- $2,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,0 \leq \%Si \leq 3,0$
- Baixa veloc. resfriamento => Carb. solidifica em forma de grafita (flocos) – forma estável
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Flocos de grafita atuam como entalhes, baixando a tenacidade e a resistência

PROPRIEDADES

- Elevada fluidez=>peças complicadas
- Boa usinabilidade(flocos)
- Grande resist. ao desgaste (grafita)
- Excelente amortecedor de vibrações
- Bom à comp., mau à tração (frágil)
- Soldabilidade difícil
- Baixo custo (mais barato)

Ferros fundidos cinzentos

MICROESTRUTURA

- $2,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,0 \leq \%Si \leq 3,0$
- Baixa veloc. resfriamento => Carb. solidifica em forma de grafita (flocos) – forma estável
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Flocos de grafita atuam como entalhes, baixando a tenacidade e a resistência

PROPRIEDADES

- Elevada fluidez=>peças complicadas
- Boa usinabilidade(flocos)
- Grande resist. ao desgaste (grafita)
- Excelente amortecedor de vibrações
- Bom à comp., mau à tração (frágil)
- Soldabilidade difícil
- Baixo custo (mais barato)

APLICAÇÕES

- Ferro fundido mais usado (75%)
- Blocos de motores, disco de freio, volantes de motor, etc.
- Engrenagens de grandes dimensões
- Máquinas agrícolas
- Carcaças e suportes de máquinas
- Tubulações

Ferros fundidos cinzentos

MICROESTRUTURA

- $2,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,0 \leq \%Si \leq 3,0$
- Baixa veloc. resfriamento => Carb. solidifica em forma de grafita (flocos) – forma estável
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Flocos de grafita atuam como entalhes, baixando a tenacidade e a resistência

NOMENCLATURA

- Não se faz pela composição química, mas sim pela resistência
- ASTM A48 Classe 20, 30, ...
- A Classe determina a resistência à tração mínima, em 1000 psi

PROPRIEDADES

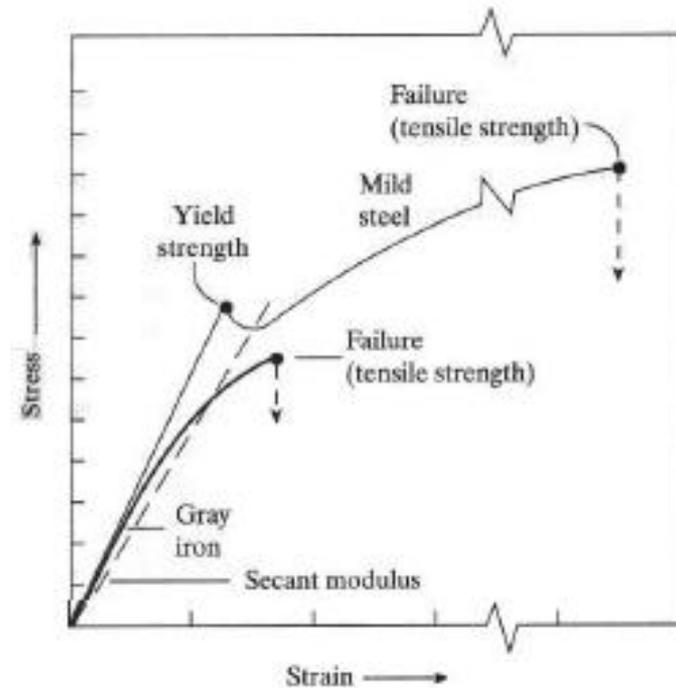
- Elevada fluidez=>peças complicadas
- Boa usinabilidade(flocos)
- Grande resist. ao desgaste (grafita)
- Excelente amortecedor de vibrações
- Bom à comp., mau à tração (frágil)
- Soldabilidade difícil
- Baixo custo (mais barato)

APLICAÇÕES

- Ferro fundido mais usado (75%)
- Blocos de motores, disco de freio, volantes de motor, etc.
- Engrenagens de grandes dimensões
- Máquinas agrícolas
- Carcaças e suportes de máquinas
- Tubulações

Ferros fundidos cinzentos

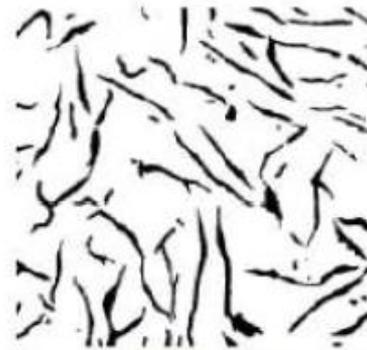
Classe	Resist. mínima tração (psi)	(MPa)
20	20 000	138
25	25 000	172
30	30 000	207
35	35 000	241
40	40 000	276
45	45 000	310
50	50 000	344
55	55 000	380
60	60 000	414



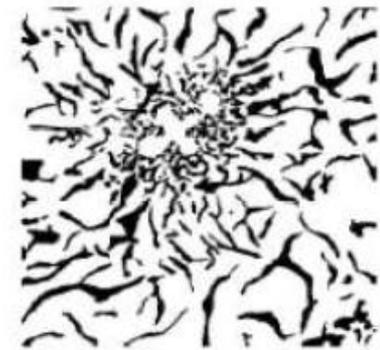
Ferros fundidos cinzentos

► Classificação dos Veios de Grafita

- Tipo A
- Tipo B
- Tipo C
- Tipo D
- Tipo E



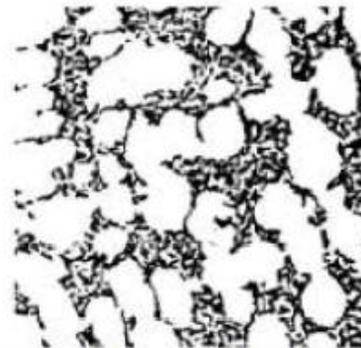
A – irregular desorientada



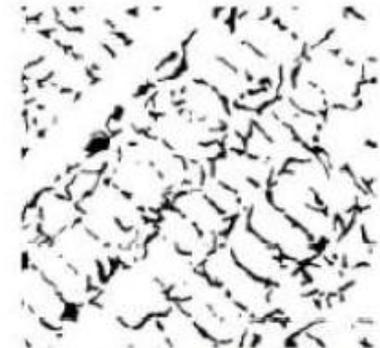
B – em roseta



C – desigual irregular



D – interdendrítica
desorientada



E – interdendrítica
orientada

Ferros fundidos cinzentos



DUREZA (HB)

140 – 170

Predominantemente
ferrítico



**DUREZA
(HB)**

163 – 217

Perlítico /ferrítico
(predominantemente perlítico, até
20% de ferrita)



**DUREZA
(HB)**

197 - 269

Perlítico (até 10% de
ferrita)

Ferros fundidos nodulares

APLICAÇÕES

- Desenvolvimento iniciado em 1948
- Engrenagens e pinhões
- Virabrequins
- Juntas universais
- Máquinas de trabalho pesado
- Válvulas
- Componentes sujeitos a desgaste e impacto em geral
- Ferragens para setor elétrico

Ferros fundidos nodulares

APLICAÇÕES

- Desenvolvimento iniciado em 1948
- Engrenagens e pinhões
- Virabrequins
- Juntas universais
- Máquinas de trabalho pesado
- Válvulas
- Componentes sujeitos a desgaste e impacto em geral
- Ferragens para setor elétrico

PROPRIEDADES

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

Ferros fundidos nodulares

APLICAÇÕES

- Desenvolvimento iniciado em 1948
- Engrenagens e pinhões
- Virabrequins
- Juntas universais
- Máquinas de trabalho pesado
- Válvulas
- Componentes sujeitos a desgaste e impacto em geral
- Ferragens para setor elétrico

PROPRIEDADES

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

MICROESTRUTURA

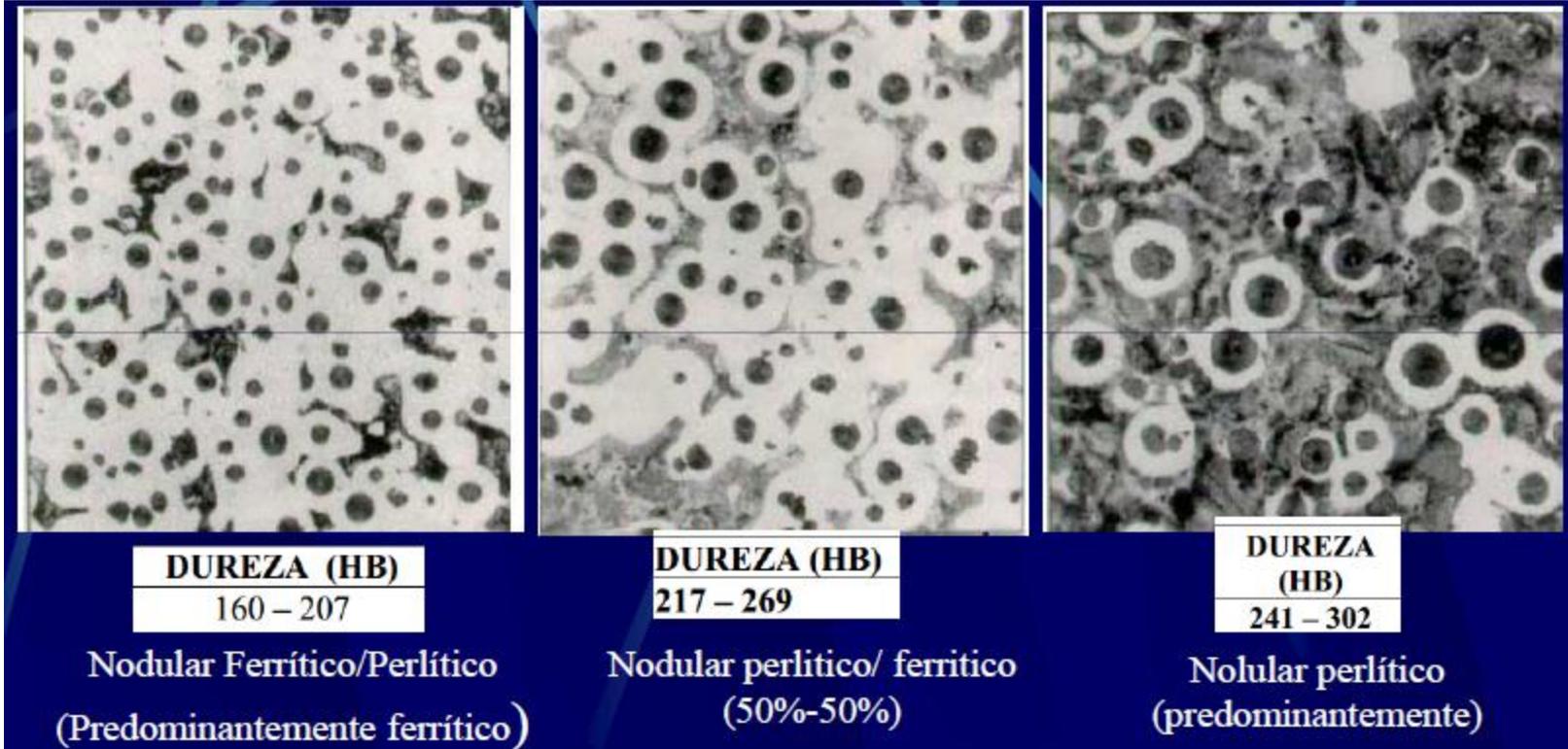
- $3,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,8 \leq \%Si \leq 3,0$
- Pequenas adições de Mg e Ce
- Em vez de flocos formam-se nódulos de grafita
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Grafita em nódulos origina maior resistência, ductilidade e tenacidade

Ferros fundidos nodulares

NOMENCLATURA

- Faz-se pela ASTM A536, em 5 classes:
 - Classe 5 (60-40-18)
 - Classe 4 (65-45-12)
 - Classe 3 (80-55-06)
 - Classe 2 (100-70-03)
 - Classe 1 (120-90-02)
- Os números entre parênteses significam:
 - 1º - resistência mínima à tração, em 1000psi
 - 2º - tensão de escoamento mínima à tração, 1000psi
 - 3º - alongamento após ruptura em tração

Ferros fundidos nodulares



Ferros fundidos brancos

MICROESTRUTURA

- $2,0 \leq \%C \leq 3,5$; $0,5 \leq \%Si \leq 1,0$;
0,5%Mn
- Alta veloc. resfriamento => Carb. solidifica sob a forma de cementita
- A extrema dureza e fragilidade da cementita caracterizam este ferro fundido.
- Em peças de maior tamanho pode obter-se ff branco à superfície e ff cinzento no núcleo

Ferros fundidos brancos

MICROESTRUTURA

- $2,0 \leq \%C \leq 3,5$; $0,5 \leq \%Si \leq 1,0$; $0,5\%Mn$
- Alta veloc. resfriamento => Carb. solidifica sob a forma de cementita
- A extrema dureza e fragilidade da cementita caracterizam este ferro fundido.
- Em peças de maior tamanho pode obter-se ff branco à superfície e ff cinzento no núcleo

PROPRIEDADES

- Grande resistência ao desgaste (cementita)
- Extremamente frágil
- Não pode ser usinado
- Soldagem praticamente impossível

Ferros fundidos brancos

MICROESTRUTURA

- $2,0 \leq \%C \leq 3,5$; $0,5 \leq \%Si \leq 1,0$; $0,5\%Mn$
- Alta veloc. resfriamento => Carb. solidifica sob a forma de cementita
- A extrema dureza e fragilidade da cementita caracterizam este ferro fundido.
- Em peças de maior tamanho pode obter-se ff branco à superfície e ff cinzento no núcleo

PROPRIEDADES

- Grande resistência ao desgaste (cementita)
- Extremamente frágil
- Não pode ser usinado
- Soldagem praticamente impossível

APLICAÇÕES

- Principal aplicação é a produção de ferro fundido maleável
- Peças sujeitas a elevada compressão e atrito
- Esferas de moinhos e rolos de laminadores

Ferros fundidos maleáveis

MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido do ff branco por tratamento térmico de maleabilização
- A microestrutura obtida resulta da decomposição da cementita em “nódulos” de grafita, uma matriz de ferrita, perlita ou martensita

Ferros fundidos maleáveis

MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido do ff branco por tratamento térmico de maleabilização
- A microestrutura obtida resulta da decomposição da cementita em “nódulos” de grafita, uma matriz de ferrita, perlita ou martensita

PROPRIEDADES

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

Ferros fundidos maleáveis

MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido do ff branco por tratamento térmico de maleabilização
- A microestrutura obtida resulta da decomposição da cementita em “nódulos” de grafita, uma matriz de ferrita, perlita ou martensita

PROPRIEDADES

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

APLICAÇÕES

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

Ferros fundidos maleáveis

MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido do ff branco por tratamento térmico de maleabilização
- A microestrutura obtida resulta da decomposição da cementita em “nódulos” de grafita, uma matriz de ferrita, perlita ou martensita

PROPRIEDADES

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

NOMENCLATURA

- Faz-se pela ASTM A47, com 5 dígitos, correspondentes à tensão de escoamento e alongamento
- Exemplo: ASTM A47 Classe 32510 (ferro fundido maleável com tensão de escoamento mínima em tração de 32,5ksi e alongamento de 10%)
- Exemplo: ASTM A47 Classe 35018 (idem de 35,0ksi e alongamento de 18%)

APLICAÇÕES

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