

Ferro Fundido

Ferros fundidos

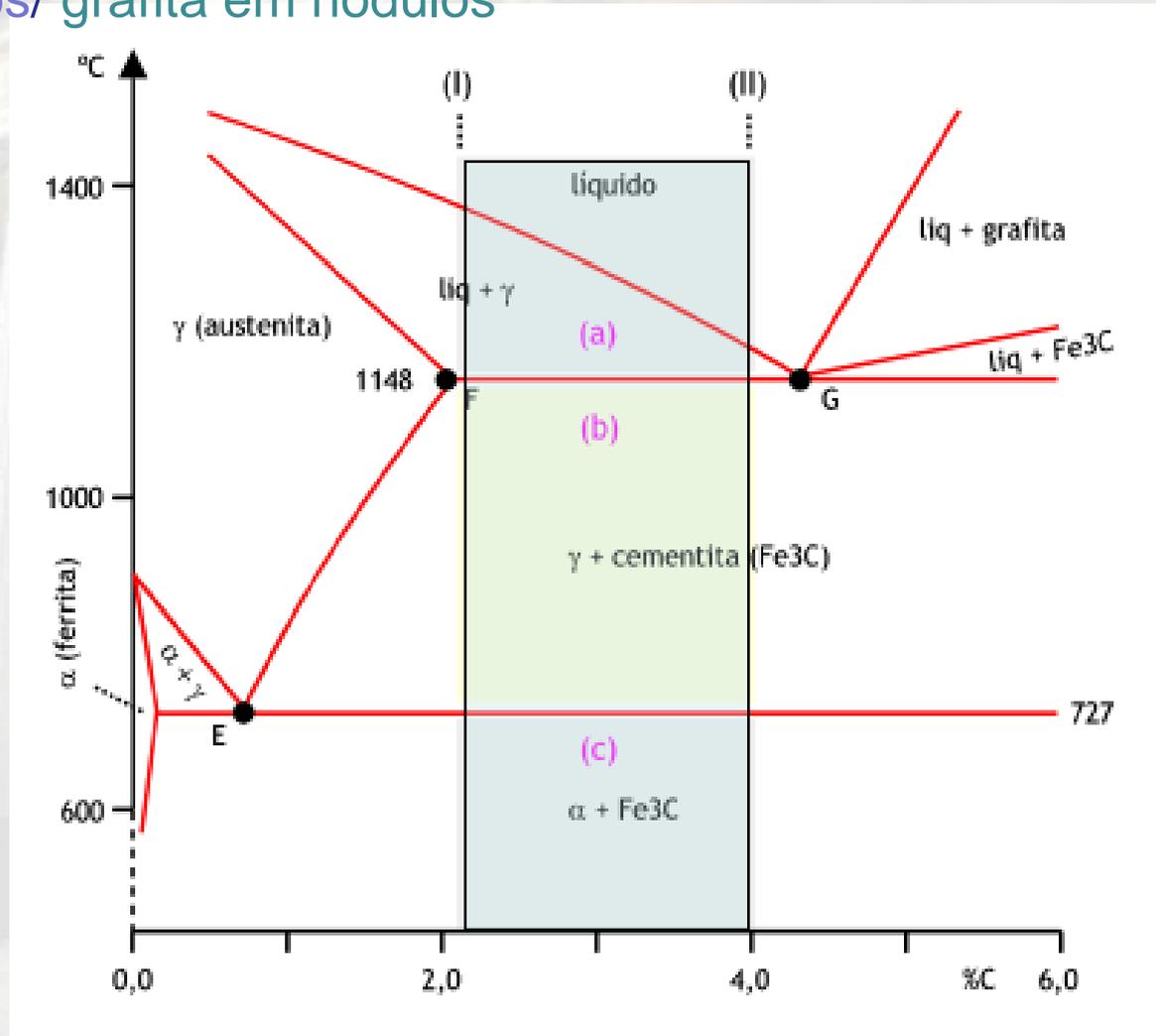
Ligas ferrosas contendo 2.1%-4% C e 1%-3% Si

- composição torna-os excelentes para fundição
- a fabricação de ferros fundidos é várias vezes superior a de qualquer outro metal fundido, excepto lingotes e tarugos de aço que serão posteriormente trabalhados.

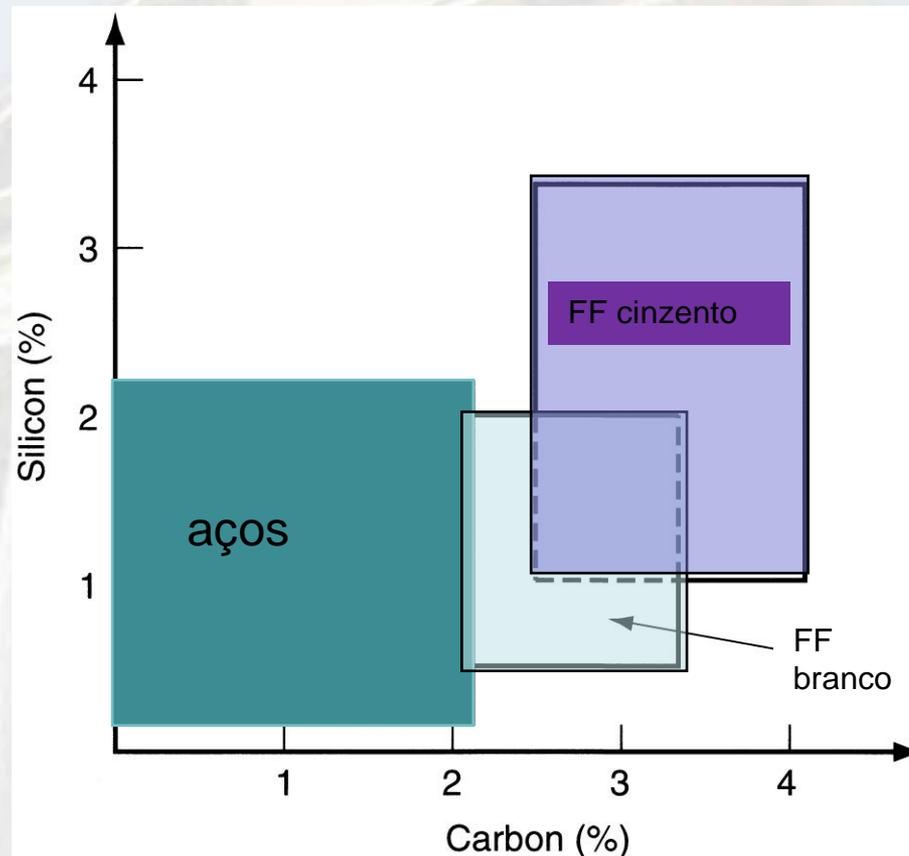
Ferros Fundidos

Instabilidade da Fe_3C :

Cementita/ grafita em flocos/ grafita em nodulos



Ferro fundido vs aços



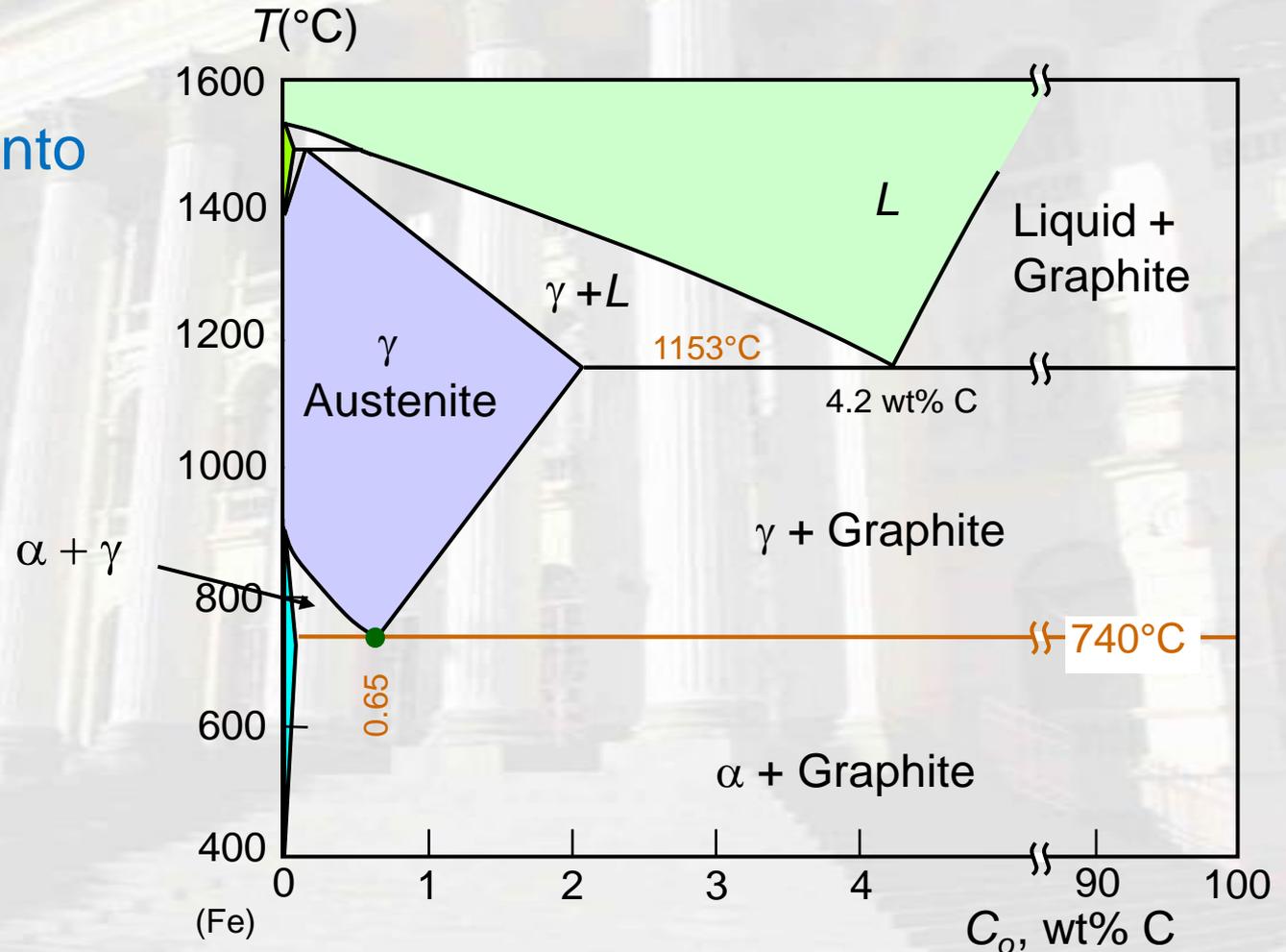
Correlação dos teores de C e de Si presente nos aços e FF (a maioria dos aços apresenta baixo %Si e os FF elevado %Si).

FF ductil é processado a partir do FF cinzento e o FF maleável é decorrente de tratamento térmico do FF branco.

Diagrama de equilíbrio Fe-C

Formação da grafita é favorecida por:

- Si > 1 wt%
- resfriamento lento



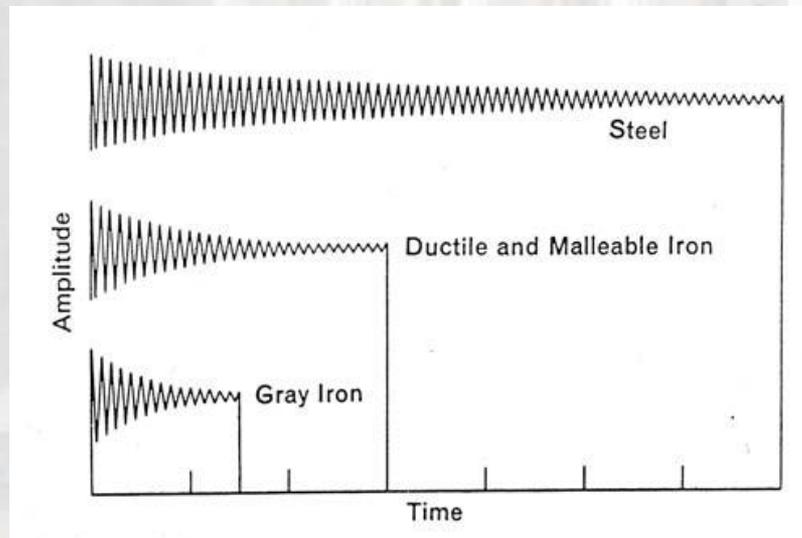
Tipos de ferros fundidos

- O mais importante é o ferro fundido cinzento
- Outros tipos incluem **FF ductil**, **FF branco**, **FF maleável** e vários outros tipos de FF.
- FF ducteis e maleáveis apresentam composição química similar aos FF cinzento e branco, respectivamente, mas resultam de processamento diferenciado.

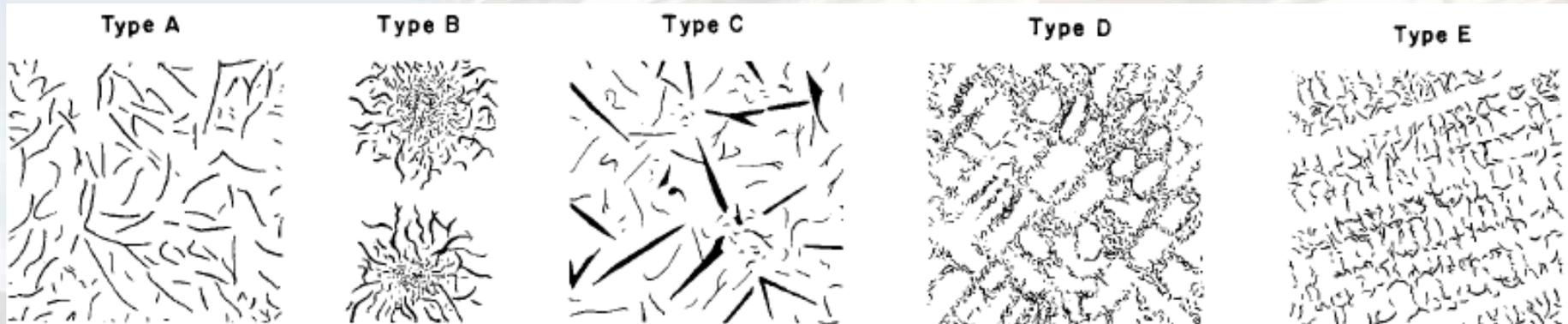
Tipos de ferros fundidos

FF cinzento

- Grafita em flocos
- Frágil sob tensão trativa
- Resistência sob compressão
- Resistência ao desgaste
- Excelente absorção de vibrações



Tipos de grafita nos ferros fundidos cinzentos



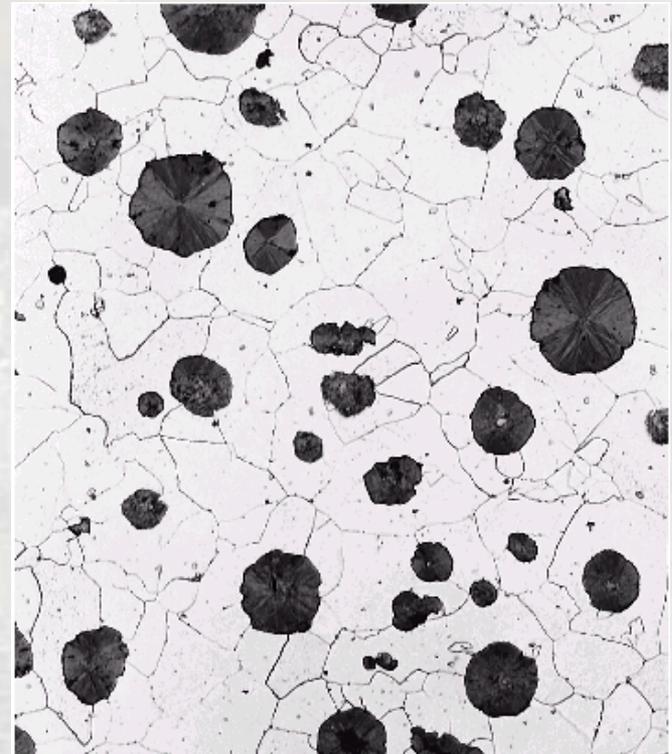
Propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos:

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

Tipos de ferros fundidos

FF ductil/nodular

- Adição de Mg ou Ce
- Grafita em nodulos
- Matriz perlítica – melhor ductilidade



Tipos de ferros fundidos

FF ductil/nodular

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

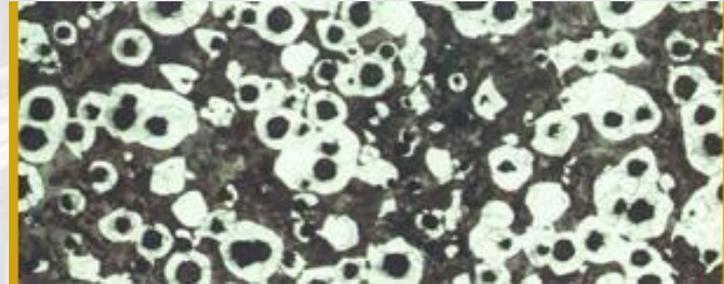
- Microestruturas:

GN + ferrita

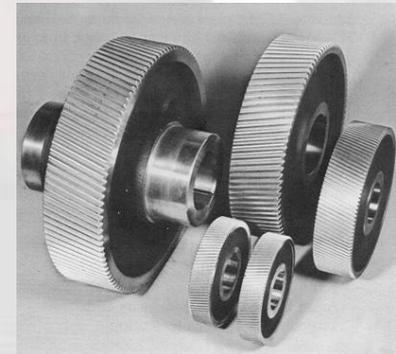
GN + perlita

GN + ferrita/perlit →

GN + austenita/ferrita (ADI)

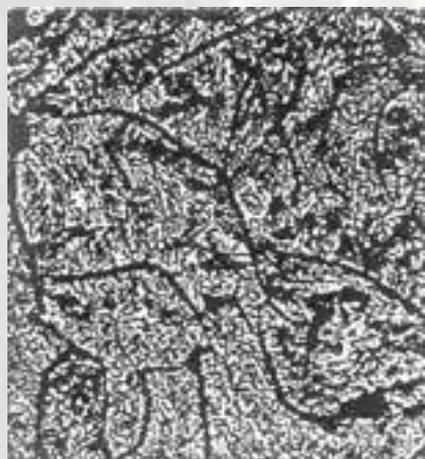


- Algumas aplicações: tubos centrifugados para saneamento válvulas para vapor e produtos químicos, cilindros para papel, virabrequins, engrenagens, etc.



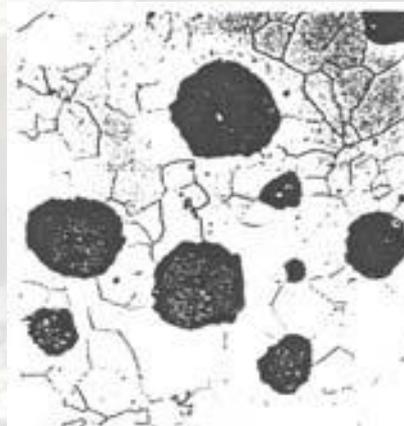
Tipos de ferros fundidos

FF cinzentos



Grafita – flocos frágeis

FF nodulares



Grafita – nodulos ducteis

← ferrita →

← perlita →

Tipos de ferros fundidos

FF branco

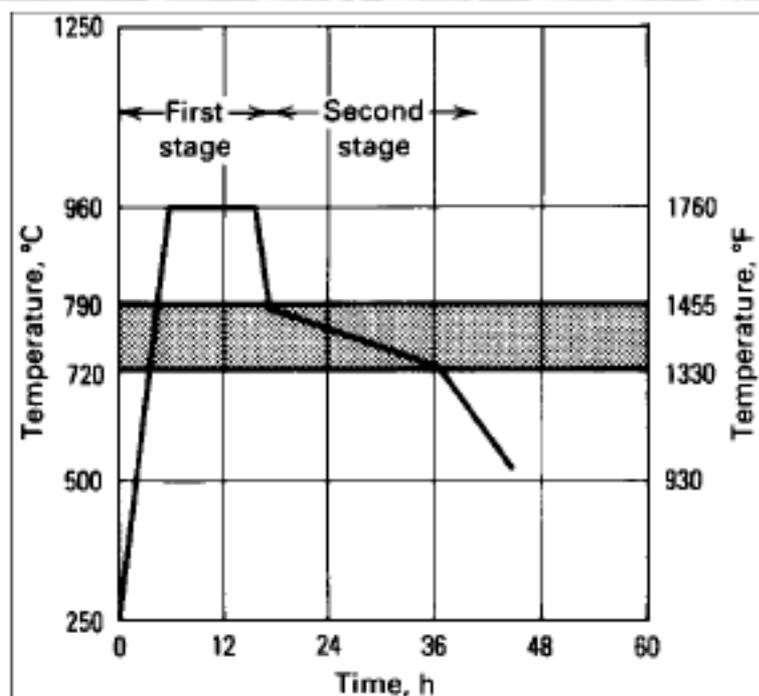
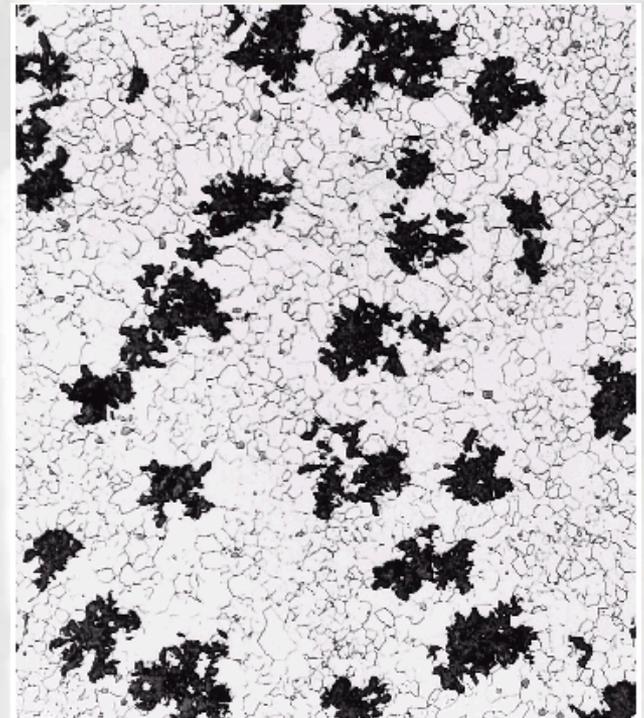
- $<1\text{wt}\%$ Si
- duro e frágil
- Mais cementita
- Excelente resistência ao desgaste



Tipos de ferros fundidos

FF maleável

- Tratamento térmico do FF branco a 800-900°C
- Grafita aparece em rosetas
- Mais ductil



Ferro fundido Branco x Ferro fundido cinzento

- Possui o carbono não dissolvido precipitado na forma de carbonetos.
- Microestruturas:
 - Ledeburita + perlita + cementita
 - Ledeburita
 - Ledeburita + cementita
- Elevadas dureza e resistência ao desgaste, que podem ser melhoradas pela adição de elementos como Cr e Mo.
- Muito baixas tenacidade e ductilidade.

- Praticamente todo o carbono não dissolvido na austenita ou ferrita se precipita na forma de grafita em veios ou lamelar. Isso só acontece se o ferro fundido tiver adições de 1% a 3% Si e se for resfriado de forma “lenta” no molde de fundição

- Microestruturas:

- grafita + ferrita
- grafita + perlita
- grafita + ferrita/perlita
- Material “fácil de se fundir”
- Boa usinabilidade
- Baixa ductilidade e tenacidade, devido ao efeito de entalhe da grafita em veios
- Resistência à tração entre 28kgf/mm² e 42 kgf/mm². Resistência à compressão 3X maior.
- Boa capacidade de amortecimento.



FERROS FUNDIDOS

Ferro fundido **cinzento** →



perlítico →



ferrítico →

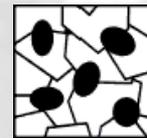


Ferro fundido **nodular** →

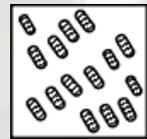
perlítico →



ferrítico →



Ferro fundido **branco** →



Ferro fundido **maleável** →

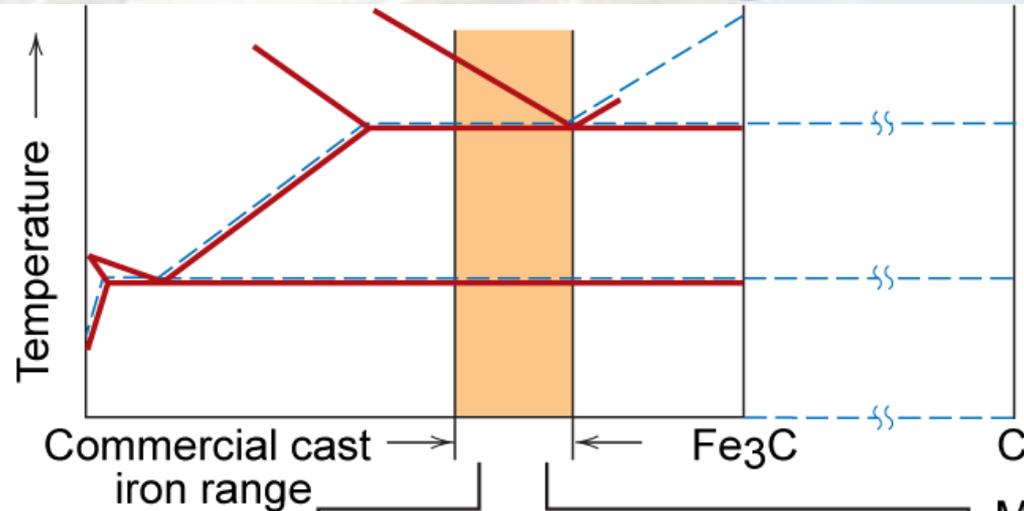
perlítico →



ferrítico →

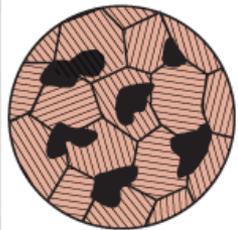


Ferro Fundido

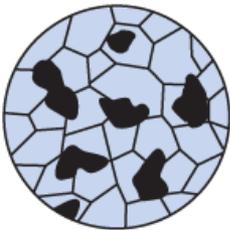


Reheat: hold at $\sim 700^\circ\text{C}$ for 30 + h

Fast cool	Slow cool
$P + G_r$	$\alpha + G_r$

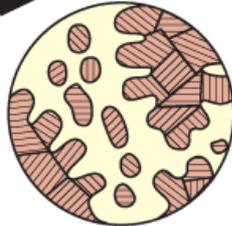


Pearlitic malleable

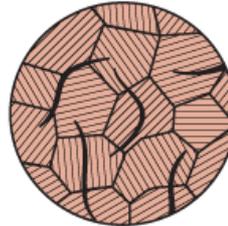


Ferritic malleable

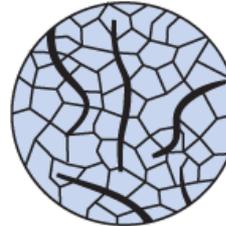
Fast cool	Moderate	Slow cool
$P + \text{Fe}_3\text{C}$	$P + G_f$	$\alpha + G_f$



White cast iron

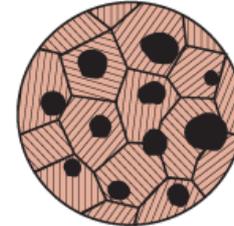


Pearlitic gray cast iron

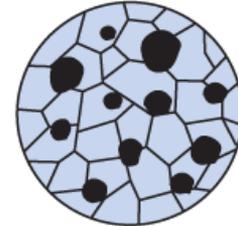


Ferritic gray cast iron

Moderate	Slow cool
$P + G_n$	$\alpha + G_n$



Pearlitic ductile cast iron



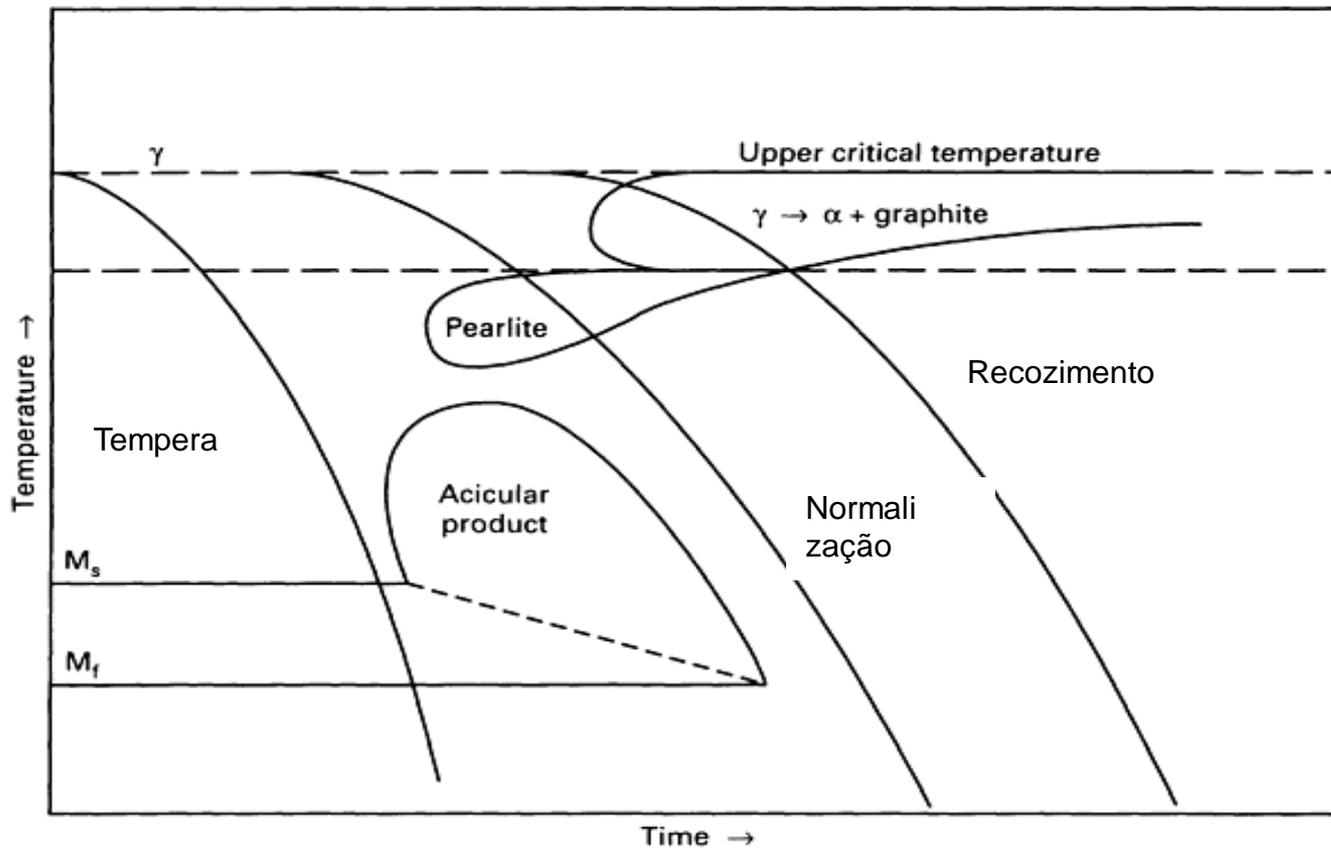
Ferritic ductile cast iron

Tratamentos térmicos de ferros fundidos

Tratamentos térmicos aplicáveis aos ferros fundidos nodulares:

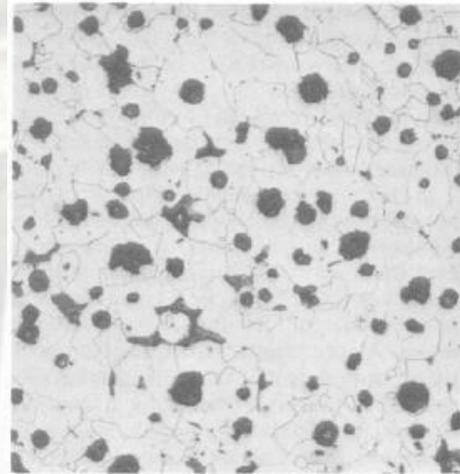
- **Alívio de tensões** (550-590°C) → Não produz modificações microestruturais significativas, somente alívio de tensões por microdeformações plásticas. Alivia as tensões do processo de fundição.
- **Normalização** (900 – 950°C) → resfriamento ao ar. Produz uma matriz perlítica.
- **Recozimento ferritizante** → 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**

Tratamentos térmicos aplicáveis aos ferros fundidos nodulares:

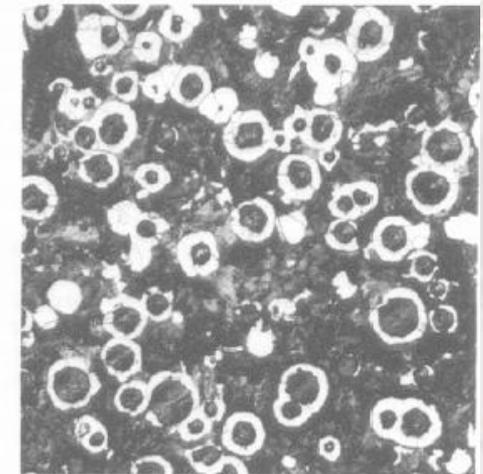


Microestruturas de ferros fundidos nodulares:

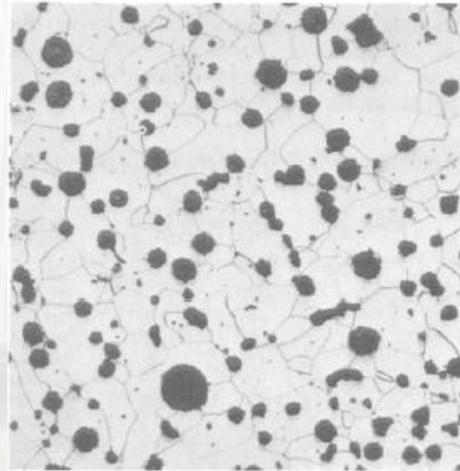
- a) Ferrítico (como fundido)
- b) Ferrítico-perlítico
- c) Ferrítico (recozido)
- d) Temperado e revenido para 255HB



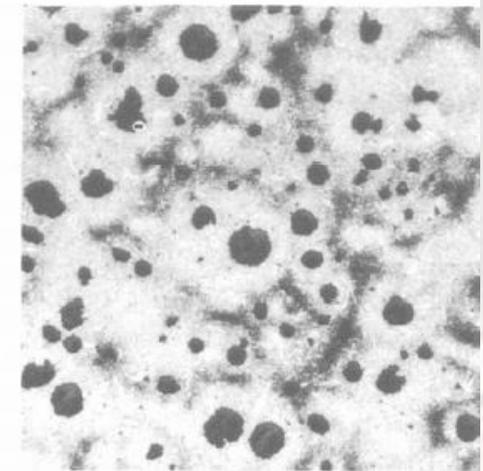
(a)



(b)

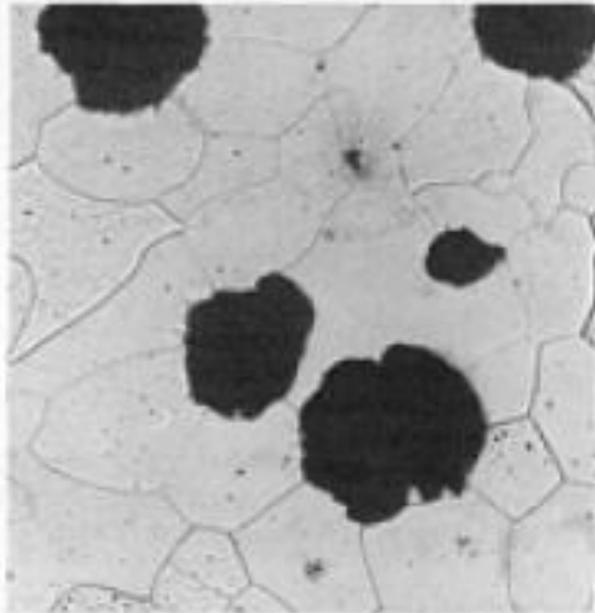


(c)

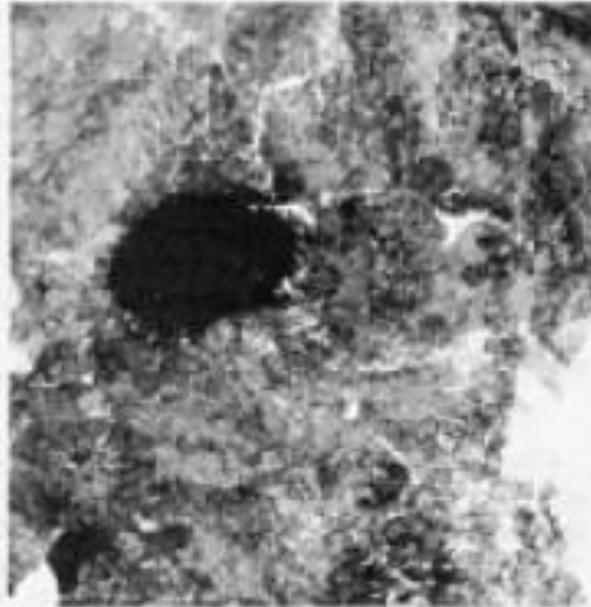


(d)

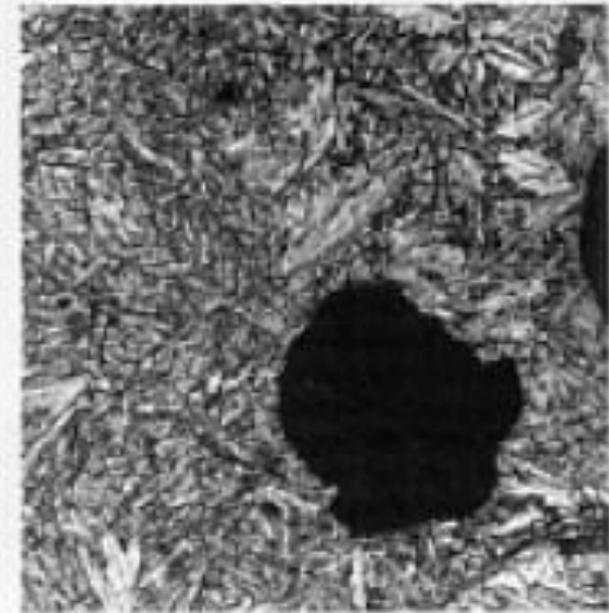
Microestruturas de ferros fundidos nodulares (continuação):



-440x



-800x



-800x

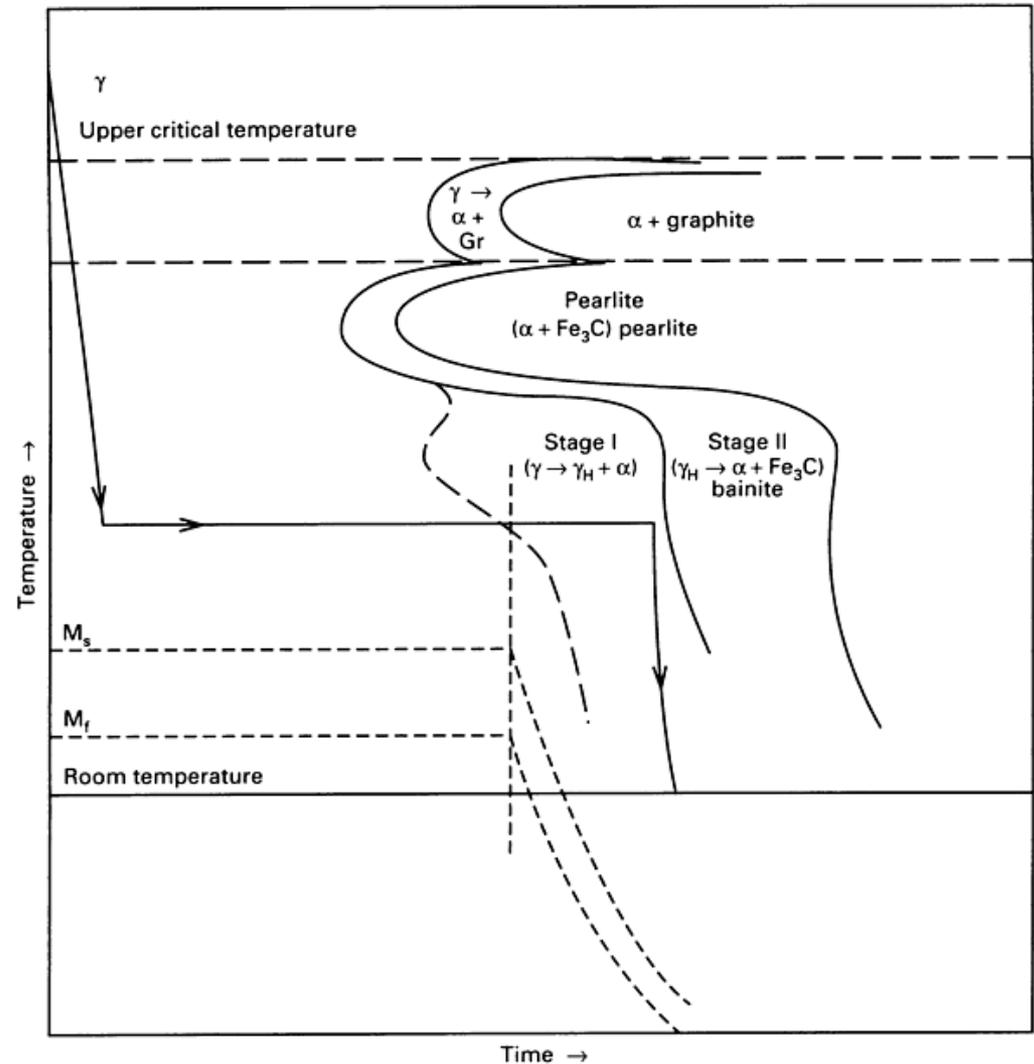
ferrítico

perlítico

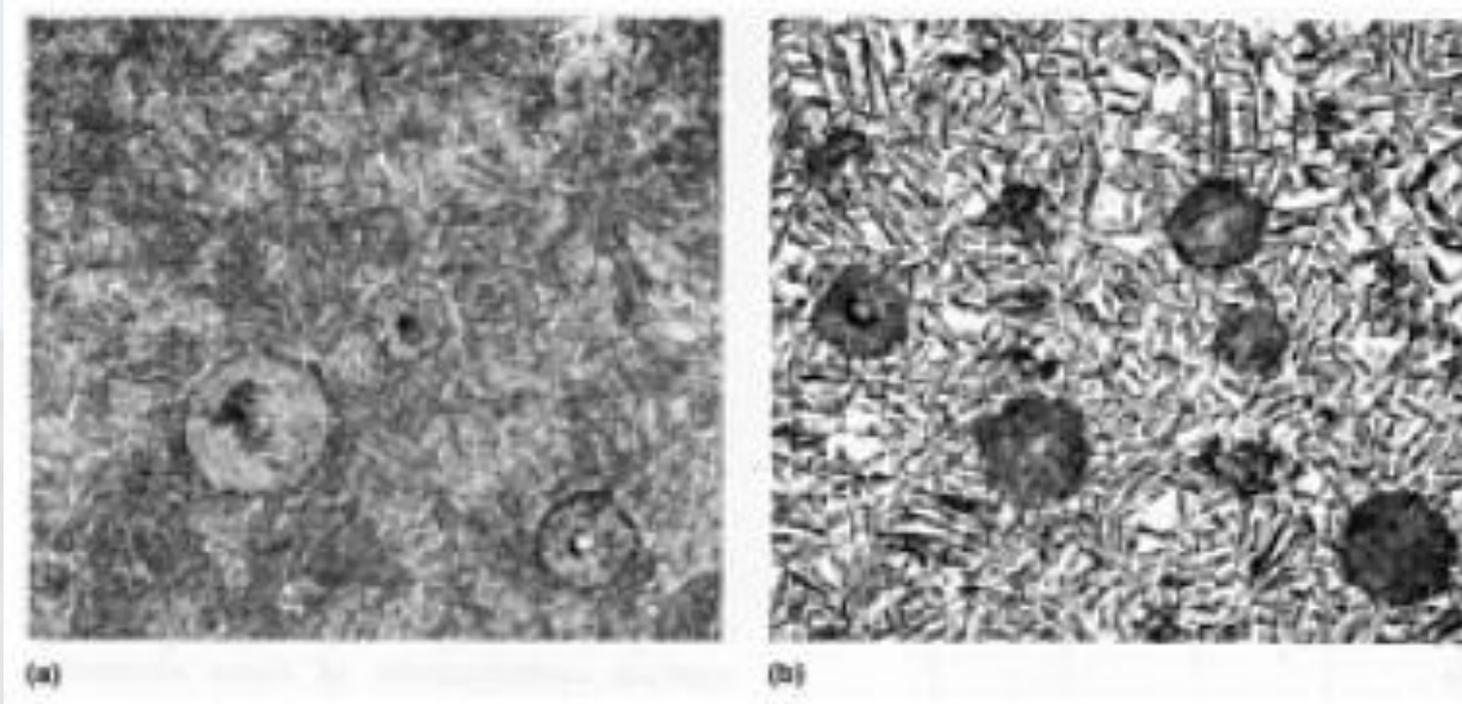
martensítico

Tratamento térmico de austêmpera

Austêmpera (ADI) → realizada de forma semelhante aos aços, porém deve produzir uma matriz austeno-ferrítica (“ausferrite”), o que significa que o tratamento isotérmico deve ser interrompido em um tempo certo para não produzir uma matriz de ferrita e carbonetos.



Microestruturas austemperadas (ADI)



[15]

T = 260°C – Estrutura acicular fina, com as seguintes propriedades: L.R. = 1585 MPa, L.E.=1380 MPa, Alongamento = 3%, dureza = 475HV, Energia absorvida no ensaio de impacto (sem entalhe) = 54J

T = 370°C – Estrutura acicular grossa, com as seguintes propriedades: L.R. = 1035 MPa, L.E.= 825 MPa, Alongamento = 11%, dureza = 321 HV, Energia absorvida no ensaio de impacto (sem entalhe) = 130J

Propriedades dos ferros fundidos nodulares austemperados: (Comparação com os ferros nodulares comuns)

