CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA
UNIDADE DE ENSINO DE FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA - DAMM

CEFET/SC

Introdução a tecnologia dos materiais

ProIn I

Prof. Henrique Cezar Pavanati, Dr. Eng

E-mail: pavanati@cefetsc.edu.br

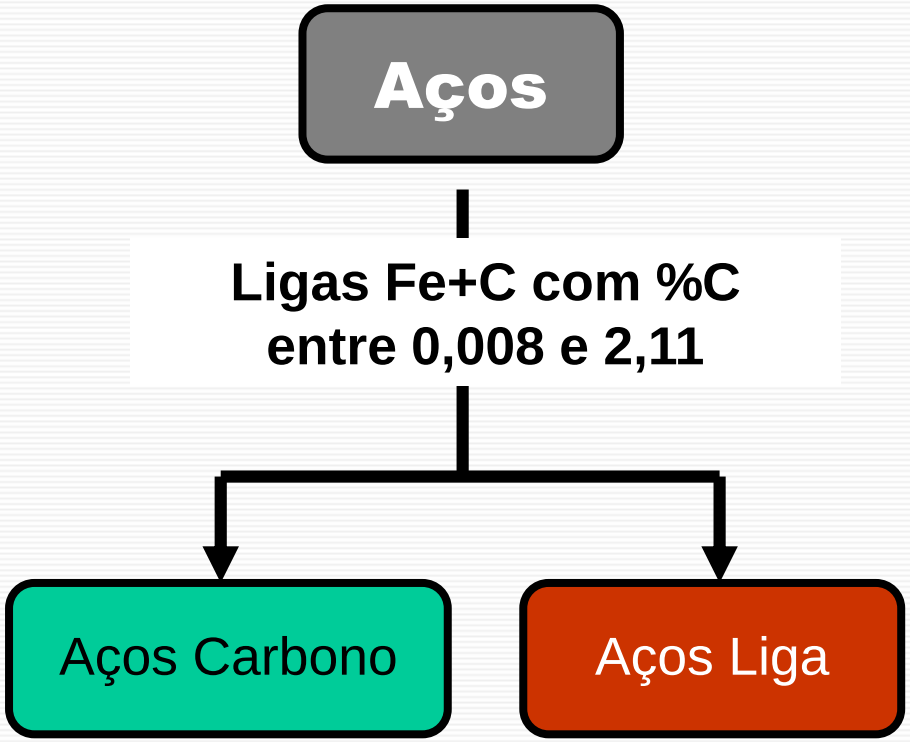
Ligas metálicas ferrosas

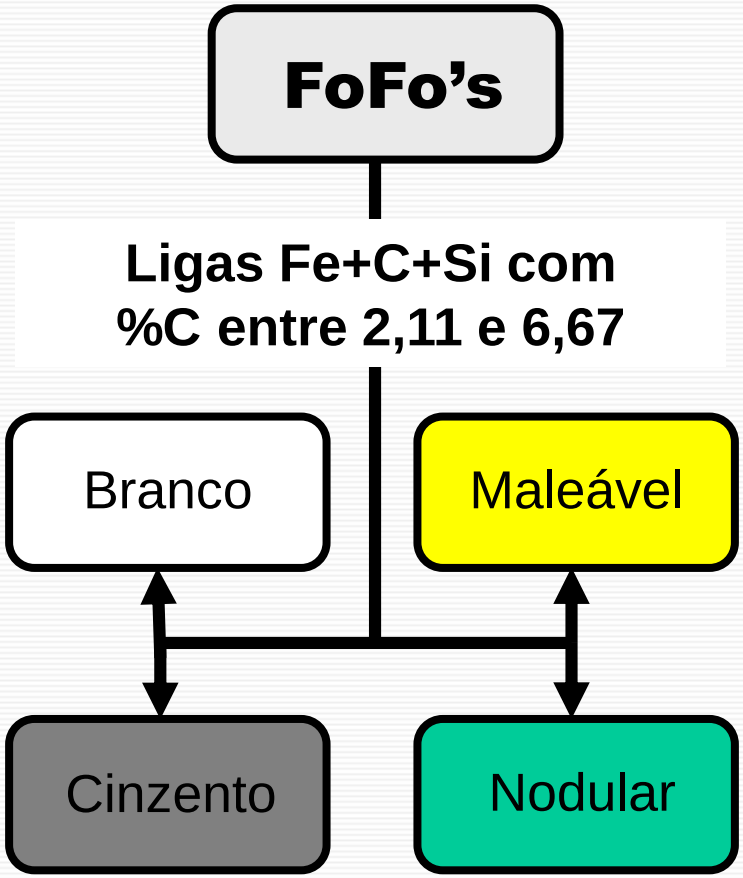
Classificação quanto a composição química

1. Aço Carbono
2. Ferro Fundido
3. Aços baixa liga
4. Aços alta liga

Ligas metálicas ferrosas

Aços x Ferro Fundido





Ligas metálicas ferrosas

Aços

- Aços Carbono
  - Baixo: 0,008 < %C < 0,3
  - Médio: 0,3 < %C < 0,5
  - Alto: 0,5 < %C < 2,11
- Aços Liga
  - Baixa liga: % Elem Liga < 5%
  - Alta liga: % Elem Liga > 5%

Ligas metálicas ferrosas

Características dos Aços

1. Densidade 7,8 g/cm^3
2. Temperatura de fusão entre 1250 a 1450°C
3. Ductilidade, tenacidade, elasticidade, resistência mecânica, resiliência.
4. Soldabilidade, temperabilidade, usinabilidade, forjabilidade

Ligas metálicas ferrosas

Características dos Aços Carbono

Limitações dos Aços Carbono

- Não conseguem alcançar LR acima de 700 MPa sem perder tenacidade e ductilidade.
- Pouca profundidade de têmpera.
- Necessidade de velocidade muito alta de resfriamento para obtenção de martensita distorção da peça e formação de trincas.
- Possuem baixa resistência ao impacto em baixa temperatura
- Baixa resistência a corrosão.
- Fácil oxidação em elevadas temperaturas.

Principais elementos adicionados aos Aços Carbono

Ni, Cr, Mo, Mn, Si e V.

Ligas metálicas ferrosas

Características dos Aços Carbono

Aços Carbono Tratáveis Termicamente

- Aços Baixo Carbono com 0,10 a 0,25% C
  - Podem ser temperados e revenidos para aumentar a resistência
  - São cementados ou tratados superficialmente
- Aços Médio Carbono com 0,25 a 0,55% C
  - São os mais usados
  - Devido ao teor de C são temperados e revenidos
- Aços Elevado Carbono com 0,55 a 1,0% C
  - Apresentam maior LR e menor ductilidade do que os médio C

Ligas metálicas ferrosas

Classificação segundo a composição

AISI – American Iron and Steel Institute
SAE – Society of Automotive Engineers
ASTM – American Society for Testing and Materials
ABNT – Associaçao Brasileira de Normas Técnicas

ABNT 10XX → **%C * 100**

Ex.: ABNT 1045 – Aço carbono com 0,45%C

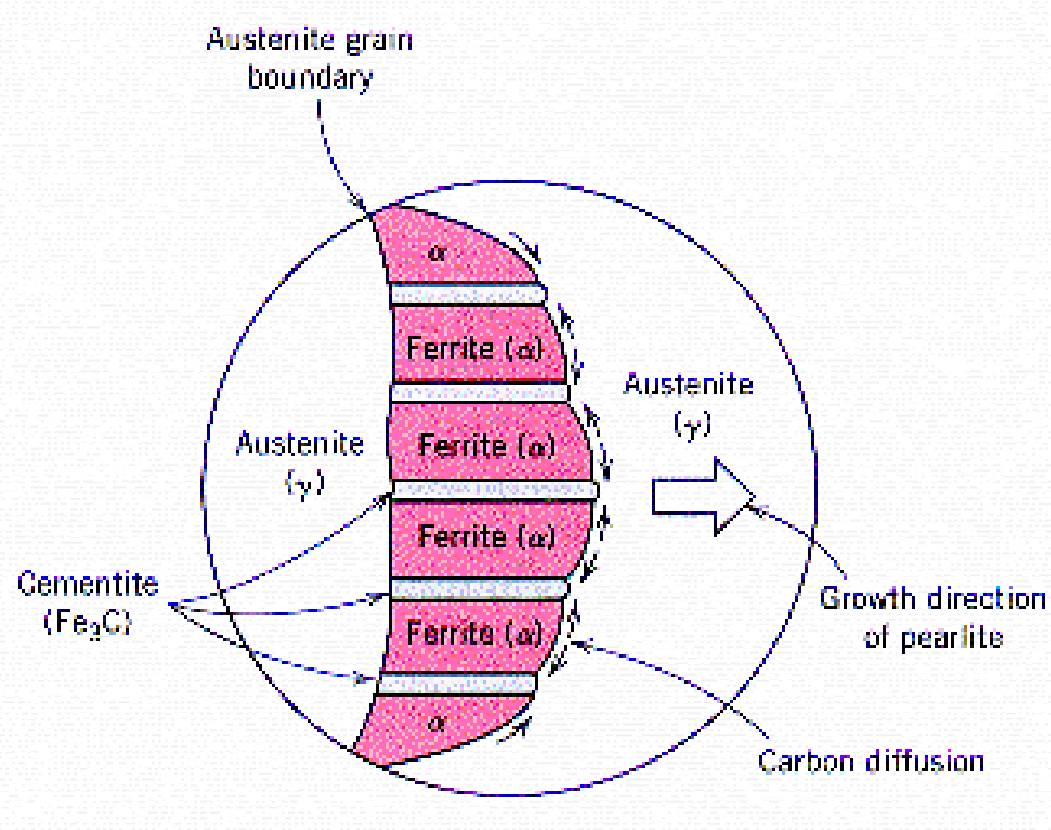
Ligas metálicas ferrosas

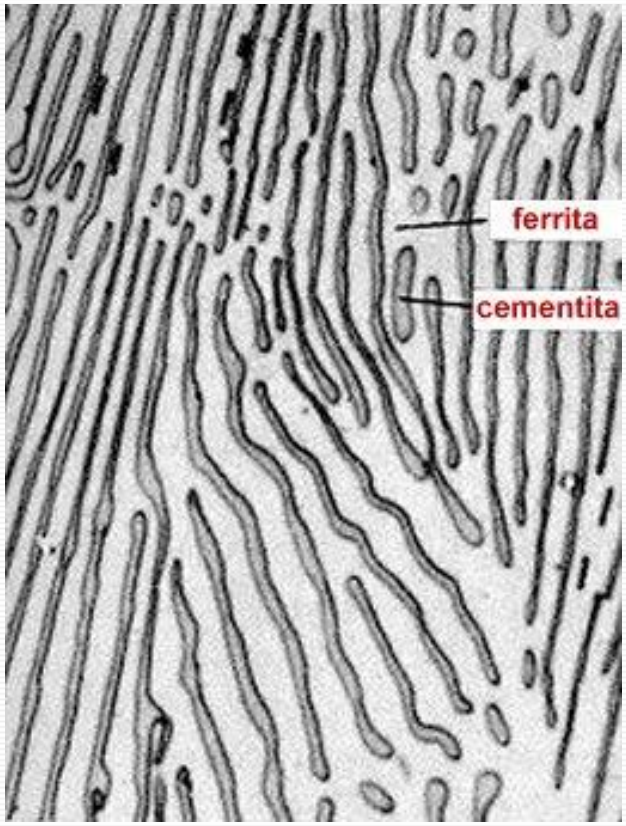
TABLE 3-1
AISI-SAE carbon-steel compositions

	AISI-SAE No.	% C	% Mn
Baixo	1006	0.08 max.	0.25–0.40
	1010	0.08–0.13	0.30–0.60
	1015	0.13–0.18	0.30–0.60
	1020	0.18–0.23	0.30–0.60
	1025	0.22–0.28	0.30–0.60
	1030	0.28–0.34	0.60–0.90
Médio	1035	0.32–0.38	0.60–0.90
	1040	0.37–0.44	0.60–0.90
	1045	0.43–0.50	0.60–0.90
	1050	0.48–0.55	0.60–0.90
Alto	1055	0.50–0.60	0.60–0.90
	1065	0.60–0.70	0.60–0.90
	1070	0.65–0.75	0.60–0.90
	1075	0.70–0.80	0.40–0.70
	1080	0.75–0.88	0.60–0.90
	1085	0.80–0.93	0.70–1.00
	1090	0.85–0.98	0.60–0.90
	1095	0.90–1.03	0.30–0.50

Ligas metálicas ferrosas

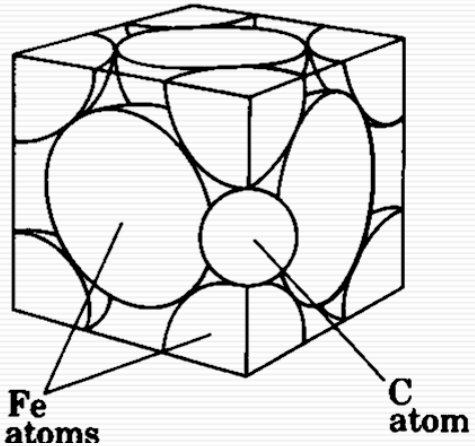
Perlita – Ferrita (Fe 0,008%C) + Cementita (Fe3C)



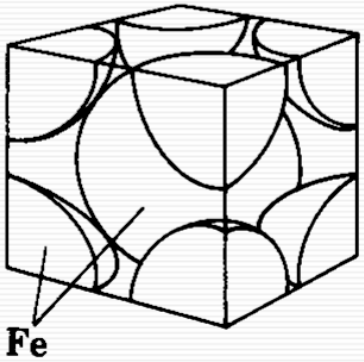


Ligas metálicas ferrosas

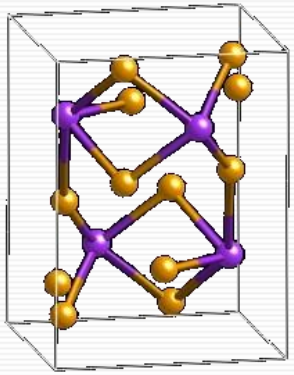
Perlita – Ferrita + Cementita



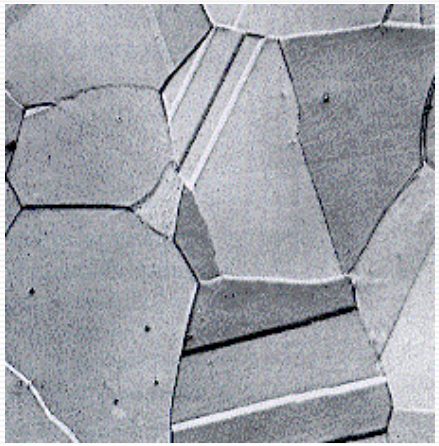
→



+



Austenita com 0,8%C **Ferrita com 0,008%C** **Cementita Fe_3C**



Ligas metálicas ferrosas

Efeito do Carbono nos aços

1. Aços com menos de 0,03% C formam pequenos nódulos de perlita. Nesta quantidade elas têm pouco efeito na tenacidade;
2. A medida que %C cresce a quantidade de perlita aumenta influindo no decréscimo de ductilidade e de tenacidade
3. O teor crescente de perlita endurece o aço e aumenta sua resistência mecânica;

Ligas metálicas ferrosas

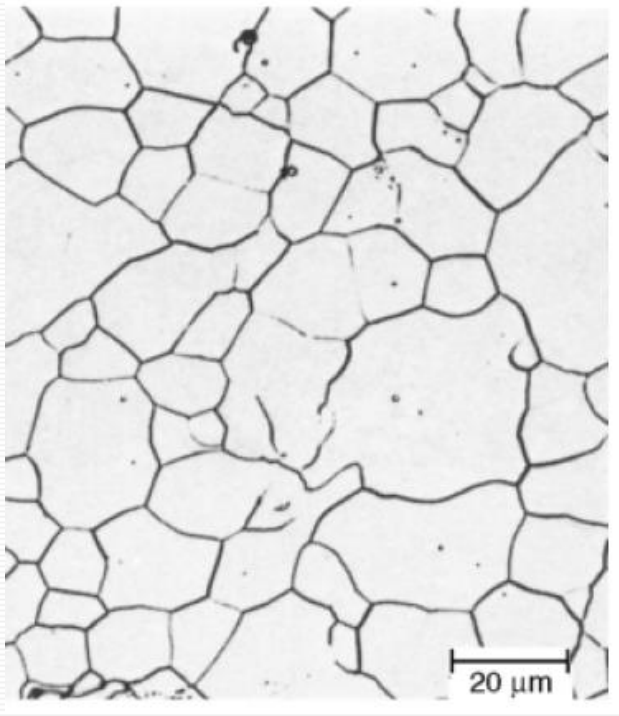
Efeito do Carbono nos aços

1. A má soldabilidade dos aços com alto %C é devido a formação de carbonetos Fe_3C e martensita, ambos frágeis, tendendo a formar fissuras.
2. Modifica radicalmente a temperabilidade dos aços;
3. Modifica a usinabilidade devido a resistência a abrasão dos carbonetos Fe_3C.

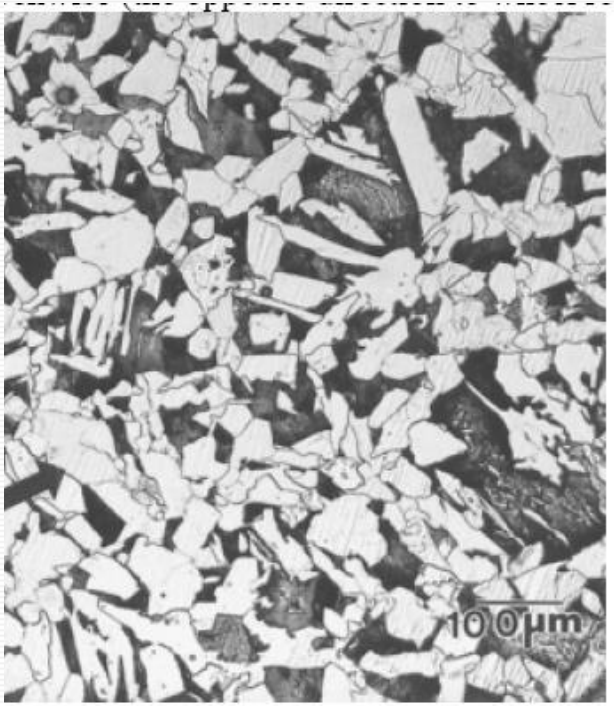
Ligas metálicas ferrosas

Microestrutura dos aços carbono

Ferro Puro



Fe + 0,45% C

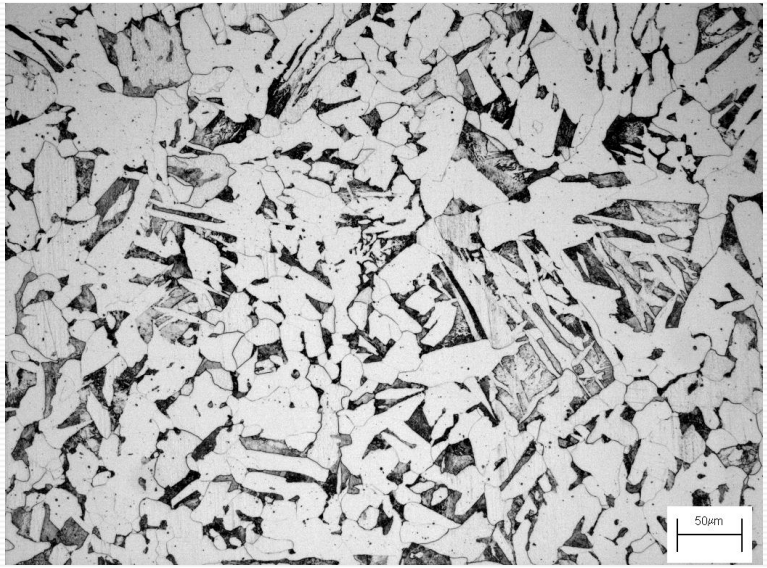


Fe + 0,8% C

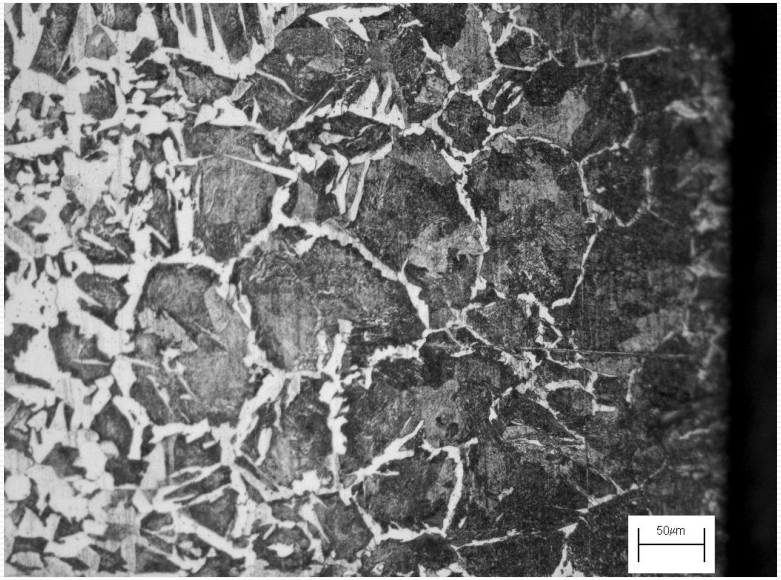
Ligas metálicas ferrosas

Aço cementado

Interior



Superfície



Ligas metálicas ferrosas

Características químicas do aço carbono

Aço carbono é uma liga Fe+C, mas pode conter outros elementos residuais do processo siderúrgico.

1. Até 1,65% de Mn;
2. Até 0,25% de Si;
3. Até 0,04% P;
4. Até 0,05% S;

Ligas metálicas ferrosas

Aplicações dos aços carbono

1. São usados quando não existem requisitos de resistência mecânica e resistência à corrosão muito severa.
2. Quando a temperatura de utilização não é elevada
3. Geralmente os aços ao carbono necessitam de um revestimento (pintura, galvanização...)

Vantagens:

- Custo relativamente baixo
- Pouca exigência de tratamentos térmicos

Ligas metálicas ferrosas

Aplicações dos aços carbono

Ligas metálicas ferrosas

Aplicações dos aços carbono

NAVIOS

- Aço “macio” com %C entre 0,18 e 0,23 para facilitar a soldagem

AUTOMÓVEIS

- Lataria: 1006, 1008
- Suspensão e direção: 1021~1046
- Motor: 1046, 1049, 1041 (biela), 1041 (pino do êmbolo), 1040, 1010 (martelo), 1041, 1547 (válv. Admissão)
- Transmissão: 1024, 1036, 1045 end. superficialmente

MOLAS

- 1050, 1070, 1095 temp. e revenidos

Não temperáveis	Fácil Usinagem	Temperáveis
a. AISI 1006/1010 b. AISI 1020 c. AISI 1030	d. AISI 1112 e. AISI 1140 (temperável) f. AISI 1150 (temperável)	g. AISI 1040 h. AISI 1045 i. AISI 1050 j. AISI 1060 k. AISI 1080 l. AISI 1095

Algumas recomendações na selecção de aços ao carbono

- a e b devem ser usados para peças que levarão extensa deformação plástica
- d~f devem ser usadas quando peças requerem usinagem
- g~j usam-se para endurecimento superficial
- k~l são para têmpera total

Ligas metálicas ferrosas

Aços ligados

Efeito da adição de elementos de liga

1. Melhorar as propriedades mecânicas através do aumento da temperabilidade.
2. Permite o uso de temperaturas de revenimento mais elevadas mantendo em uso a elevada dureza e boa dutilidade.
3. Melhorar as propriedades mecânicas em altas e baixas temperaturas.
4. Melhorar a resistência a corrosão e a oxidação em elevadas temperaturas.
5. Melhorar propriedades tais como resistência a abrasão e fadiga.

Ligas metálicas ferrosas

Aços ligados

Aços ao carbono em que são adicionados outros elementos de liga para modificar as propriedades químicas, mecânicas ou tecnológicas.

Aços Baixa liga — **A soma dos elementos de liga adicionados não ultrapassa 5%**

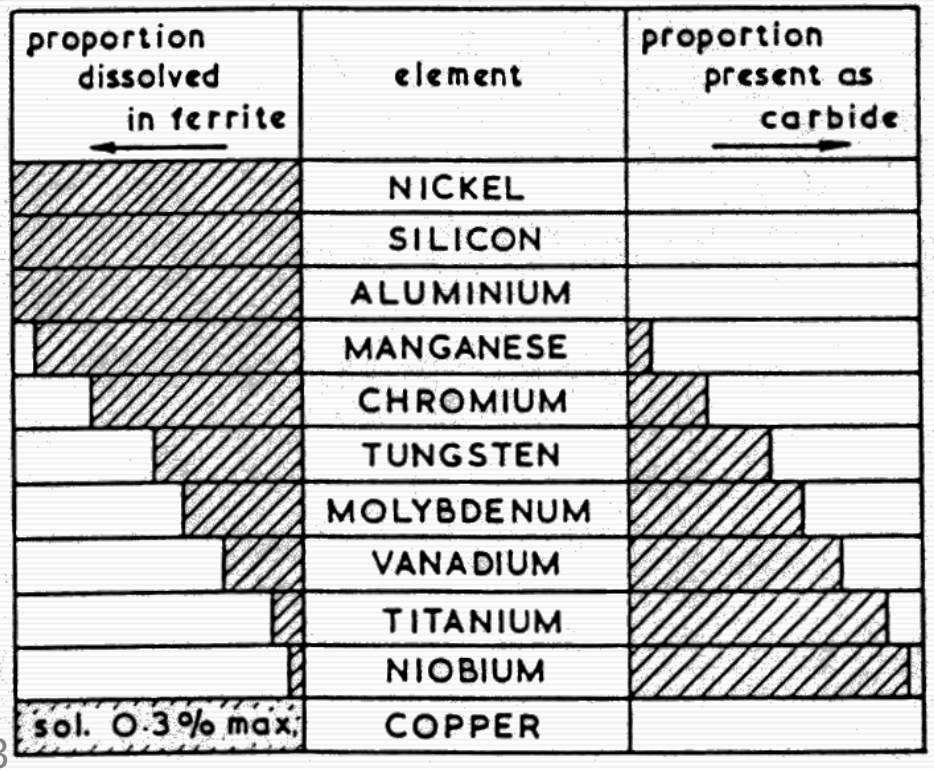
Aços Alta liga — **A soma dos elementos de liga adicionados é maior que 5%**

FORMA COMO SE ECONTRAM OS ELEMENTOS DE LIGA

DISSOLVIDOS NA MATRIZ

FORMANDO CARBONETOS

FORMANDO COMPOSTOS INTERMETÁLICOS



Ligas metálicas ferrosas

Aços baixa liga

- Propriedades dependem do tratamento térmico e % de deformação plástica
- Elevada rigidez
- Podem atingir elevada resistência e dureza
- Material por excelência para construção mecânica

Ligas metálicas ferrosas

Efeito dos elementos de liga

1. **Formadores de carbonetos**

   Ti, Nb, V, Ta, W, Mo, Cr e Mn

2. **Não formadores de carbonetos**

   Si, Al, Cu, Ni, Co, P e Zr

3. **Formadores de nitretos**

   Al, Si, Mo, Cr, B, Ti, Nb

4. **Elementos formadores de carbonitreto**

   Cr, V, Nb, Ti.

Ligas metálicas ferrosas

Efeito dos elementos de liga

	Si	Mn[1]	Mn[2]	Cr	Ni[3]	Ni[4]	Al	W	V	Co	Mo	Cu	S	P
Químicas														
Resistência a corrosão	-	-	-	⬆	-	⬆	-	-	↑	-	-	↑	↓	-
Tecnológicas														
Nitretabilidade	↓	~	-	⬆	-	-	⬆	↑	↑	-	⬆	-	-	-
Oxidação superficial	↓	~	⬇	⬇	↓	⬇	⬇	⬇	↓	↓	⬆	~	-	-
Usinabilidade	↓	↓	⬇	-	↓	⬇	-	⬇	-	~	↓	~	⬆	⬆
Forjabilidade	↓	↑	⬇	↓	↓	⬇	⬇	⬇	↑	↓	↓	⬇	⬇	↓
Resistência ao desgaste	⬇	⬇	-	↑	⬇	-	-	⬆	⬆	⬆	⬆	-	-	-
Formação de carboneto	↓	~	-	⬆	-	-	-	⬆	⬆	-	⬆	-	-	-
Soldabilidade	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	⬇	↓	-	⬇	↓	↓	↓
Temperabilidade	↑	↑	⬆	⬆	⬆	⬆	-	⬆	⬆	⬆	⬆	-	-	-
Mecânicas														
Resis. mec. a quente	↑	~	-	↑	↑	⬆	-	⬆	⬆	⬆	⬆	↑	-	-
Elasticidade	⬆	↑	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
Resistência ao impacto	↓	~	-	↓	~	⬆	↓	~	↑	↓	↑	~	↓	⬇
Estricção	~	~	~	↓	~	⬆	↓	↓	~	↓	↓	~	↓	↓
Alongamento	↓	~	⬆	↓	~	⬆	-	↓	~	↓	↓	~	↓	↓
Limite de escoamento	⬆	↑	↓	⬆	↑	↓	-	↑	↑	↑	↑	⬆	-	↑
Lim. Ruptura a tração	↑	↑	↑	⬆	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑
Dureza	↑	↑	⬇	⬆	↑	⬇	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑

↑ aumenta | ↓ diminui | ~ constante | – não conhecido | ⬆ ou ⬇ efeito pronunciado

1 Manganês em aços perlíticos
2 Manganês em aços austeníticos
3 Níquel em aços perlíticos
4 Níquel em aços austeníticos

Ligas metálicas ferrosas

Classificação ABNT dos aços carbono e baixa liga

Tipo	ABNT
Aço-carbono	1XXX
Simples	10XX
Ressulfurado	11XX
Ressulfurado e Resfosforado	12XX
Com adição de Nb	14XX
Simples (Mn>1,00%)	15XX
Aços-manganês	13XX
Aços-Níquel	2XXX
Aços-Níquel-Cromo	3XXX
Aços com molibdênio	4XXX
Aços-cromo	5XXX
Aços-cromo-vanádio	6XXX
Aços-cromo-tungstênio	7XXX
Aços-níquel-cromo-molibdênio	8XXX
Aços-silício-manganês	92XX

Ligas metálicas ferrosas

Aços Alta liga

Aços especiais que necessitam de resistência ao desgaste, corrosão, a temperaturas elevadas ou com alta resistência mecânica.

Nestas situações o emprego de aços-carbono é impraticável.

Ligas metálicas ferrosas

Aços Alta liga

Aços Ferramenta

- Dureza à temperatura ambiente
- Resistência ao desgaste
- Temperabilidade
- Tenacidade
- Resistência Mecânica
- Dureza a quente

Ligas metálicas ferrosas

Aços Alta liga

Temperados em água	W
Resistente a choque	S
Trabalhado a Frio	
Temperado em óleo	O
Média liga temperada ao ar livre	A
Alto C e alto Cr	D
Trabalhado a quente	H
Aço Rápido	
Tipo Tungstênio	T
Tipo Molibdênio	M
Aço Ferramenta para molde	P

Ligas metálicas ferrosas

Aços Alta liga

Aços inoxidáveis

Composição - Cr, C, Ni

Características Gerais

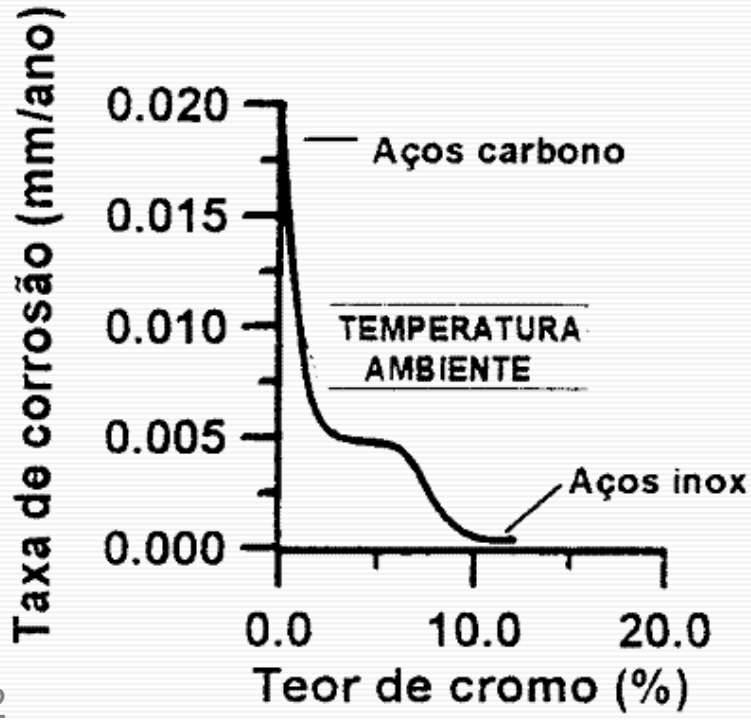
- resistência a corrosão e oxidação
- boas propriedades mecânicas a T elevadas
- boa tenacidade - aços austeníticos
- dureza e resistência a corrosão - aços martensíticos

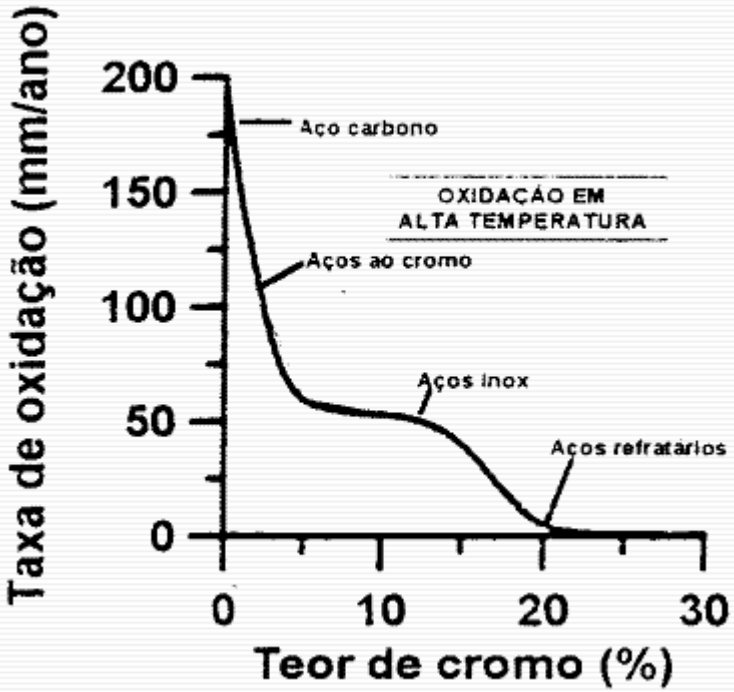
Aplicações

- indústria química
- indústria alimentícia
- elevada temperatura (oxidação)
- baixa temperatura (tenacidade)

Ligas metálicas ferrosas

- **Fenômeno da Passivação**
  - película estável
  - impermeável
  - aderente
  - alta veloc. formação





Ligas metálicas ferrosas

Aços Alta liga

Aços inoxidáveis

- **Tipos de Corrosão**
  - corrosão intergranular - sensitização
  - corrosão sob tensão - meios agressivos (soluções de Cl)
  - corrosão por pites - meios com solução aquosa de Cl e Br

- **Sensitização - corrosão intercristalina**
  - diminuição teor de Cr - corrosão intergranular
  - solução: C em baixos teores < 0,1%
    uso de elementos de liga - Ti, V, Nb
    teor de Cr acima de 12%
    tratamento térmico - solubilização e resfr. rápido

Ligas metálicas ferrosas

Classificação ABNT dos aços inoxidáveis

AISI	Composição (%)				
	C	Cr	Ni	Mo	Outros
			Classe Ferrítica		
405	0,08	13,0			0,2 Al
430	0,12	17,0			
446	0,20	20,5			
			Classe Martensítica		
403	0,15	12,2			
410	0,15	12,5			
416	0,10	13,0			1,1Mn / 0,15 min S
420	0,20 a 0,4	13,0			
431	0,20	16,0	1,8		
440	0,6 a 1,2	17,5	0,75	0,75	
			Classe Austenítica		
302	0,15	17,5	8,3		
303	0,15	17,5	8,5		0,15 min S
304	0,08	18,3	8,5		
304L	0,03	19,0	10,0		
310	0,25	25,0	20,0		
316	0,08	17,0	12,0	2,50	
316L	0,03	17,0	12,0	2,50	
			Endurecíveis por precipitação		
17-4 PH	0,07	17,0	4,0		3,4Cu/0,3(Nb+Ta)
17-7 PH	0,09	17,0	7,0		1,0 Al

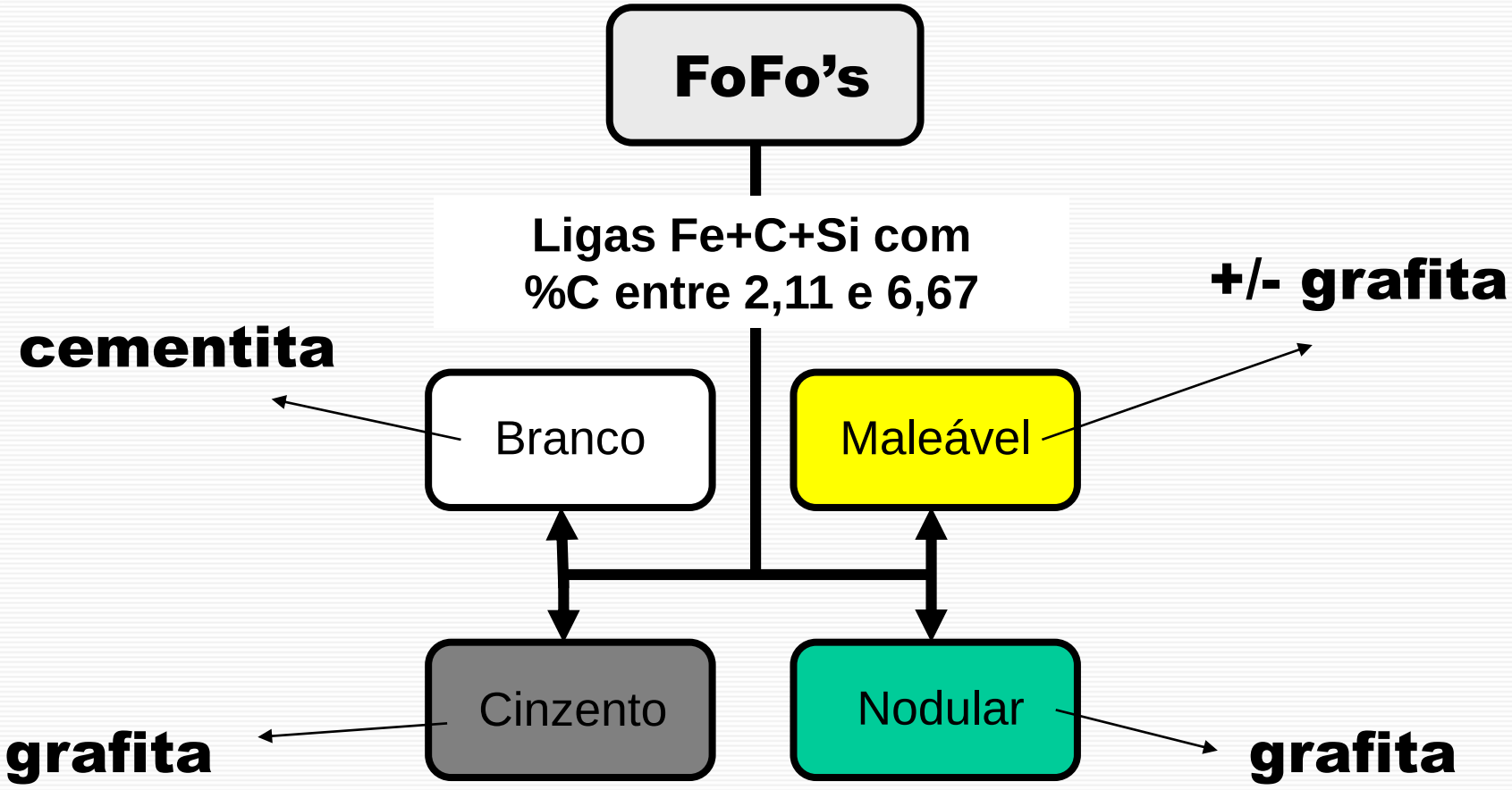
Ligas metálicas ferrosas

Ferro Fundido

Características

- *produzidos na forma desejada*
- *ligas ternárias (Fe-Si-C)*
- *são baratos*
- *obtenção de geometrias complexas*
- *precisão dimensional limitada*
- *variação das propriedades mecânicas*
- *metalurgia complexa*
- *classificação pelas propriedades e microestrutura*

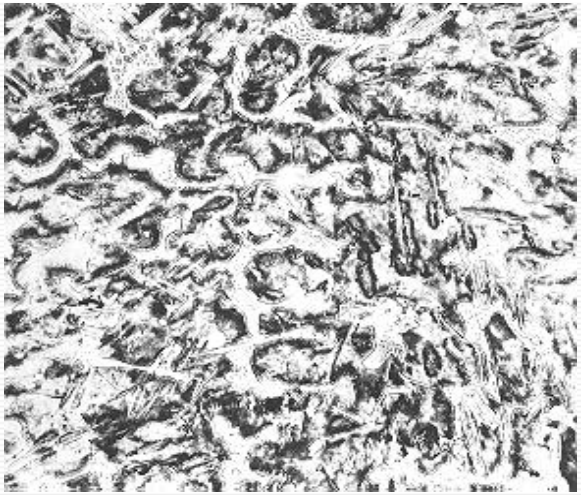
Ligas metálicas ferrosas



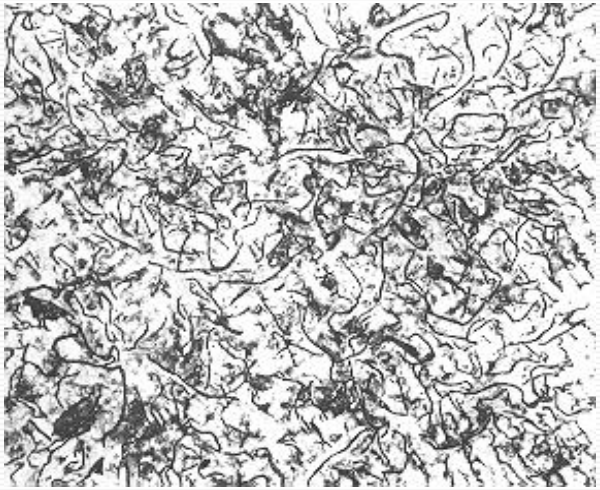
Ligas metálicas ferrosas

Ferro Fundido

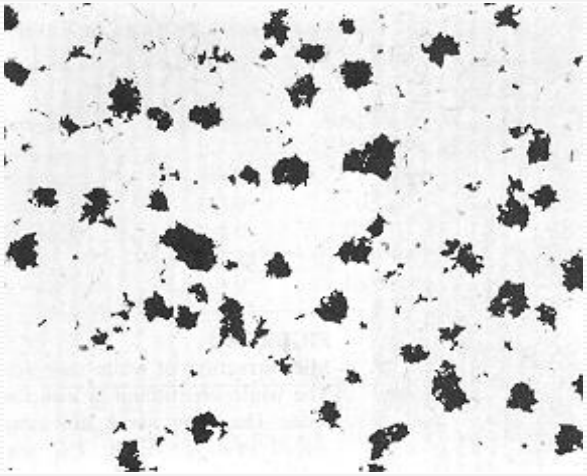
Branco



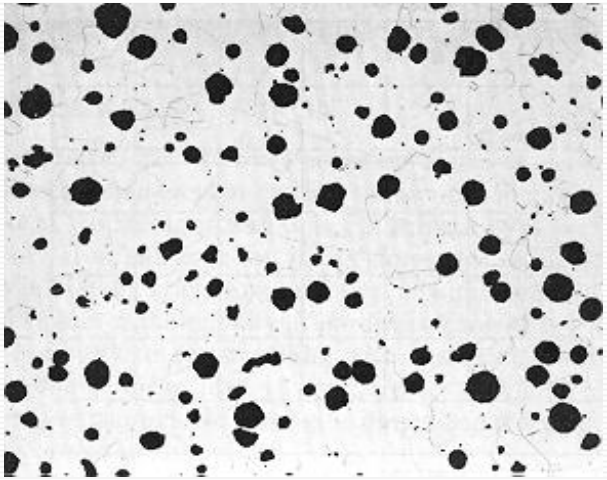
Cinzento



Maleável



Nodular



Ligas metálicas ferrosas

Ferro Fundido

BRANCO

- solidificação velocidade alta
- C combinado com o Fe - cementita
- frágil - exclente resistência ao desgaste

CINZENTO

- solidificação estável (veloc. baixa)
- C se separa do Fe - grafitiza em plaquetas
- muito fluente
- excelente usinabilidade e elevada dureza
- elevada resistência

Ligas metálicas ferrosas

Ferro Fundido

MALEÁVEL

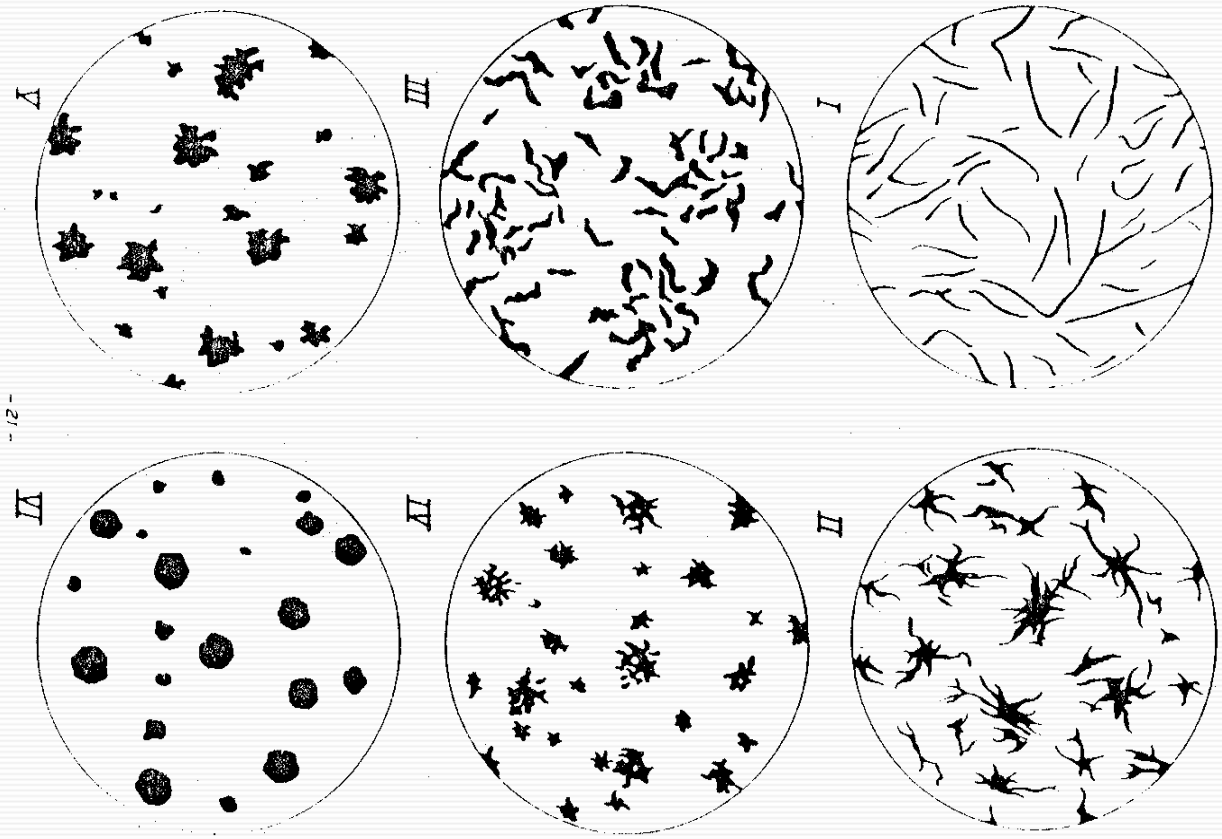
- resfria rápido na forma de branco
- recoze - grafita se separa da cementita e cresce na forma de nódulos - rosetas
- diversidade de propriedades mecânicas, dependendo do tratamento de recozimento

NODULAR

- C grafitiza na forma de esferas
- adição de Mg, S e P
- é dútil (elevado LE)

Ligas metálicas ferrosas

Ferro Fundido Cinzento – Tipos de grafita



I - lamelar
II - rosetas
III - vermicular
IV - semi-compacta
V – compacta
VI - esferoidal