



EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

Rscp/labats/demec/ufpr/2017

Seleção do processo de fundição

- **Metal a ser fundido [C. Q.];**
- **Qualidade requerida da superfície do fundido;**
- **Tolerância dimensional requerida para o fundido;**
- **Quantidade de peças a produzir;**
- **Tipo de modelo e equipamento de macharia necessário;**
- **Custo de fabricação do(s) molde(s);**
- **Como o processo de fundição vai afetar o projeto do fundido.**

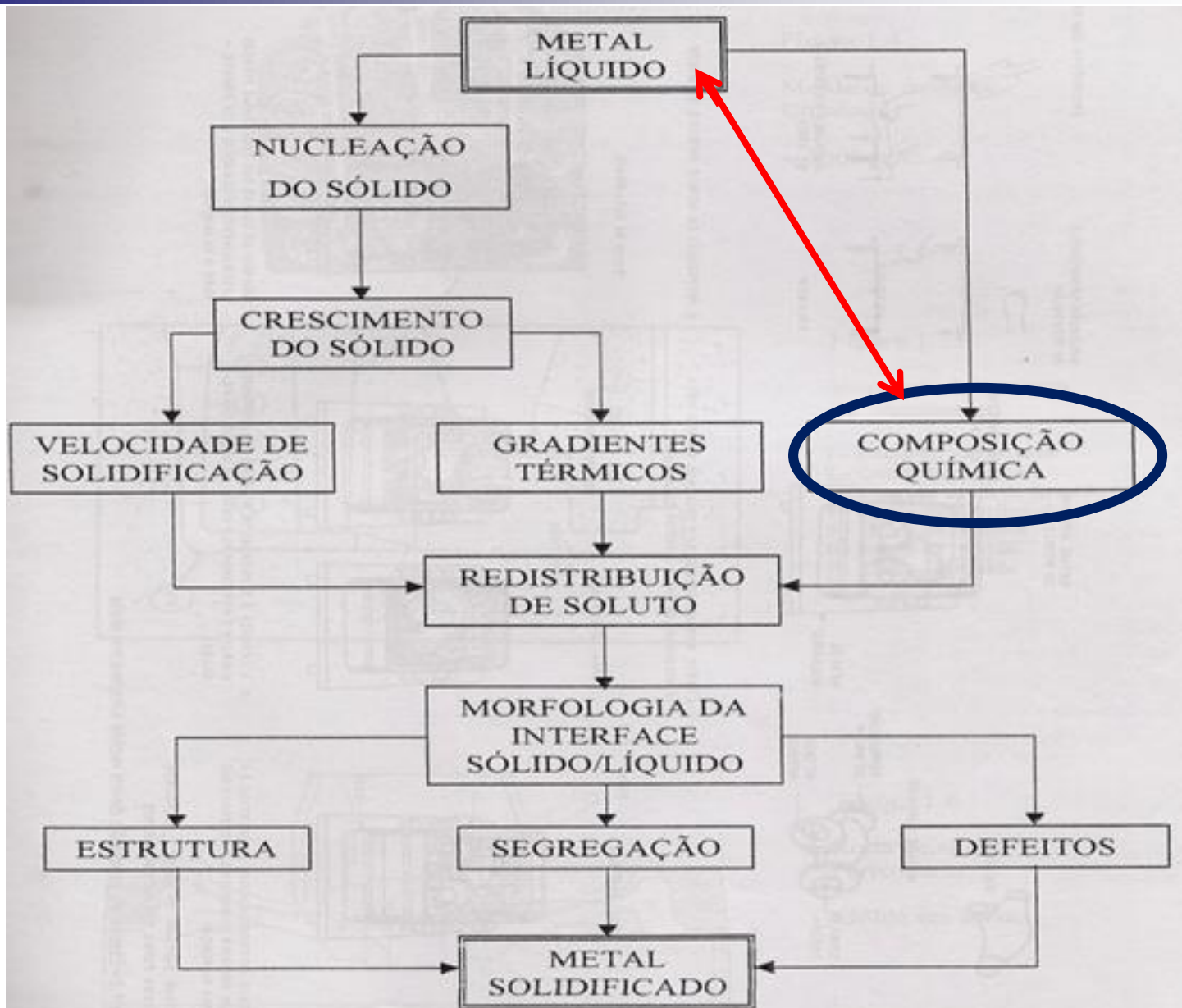


Figura 1.2 - Seqüência de eventos que caracterizam o processo de solidificação.

Para começar....



O que são elementos de liga?

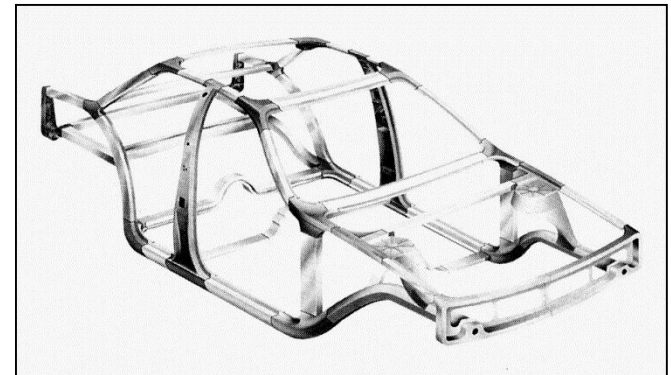
São os elementos químicos formadores das ligas metálicas, que são materiais de propriedades semelhantes às dos metais e que contêm pelo menos um metal em sua composição.



Bronze



Aço inoxidável



Alumínio/Titânio

Efeito dos Elementos de Liga nos Aços

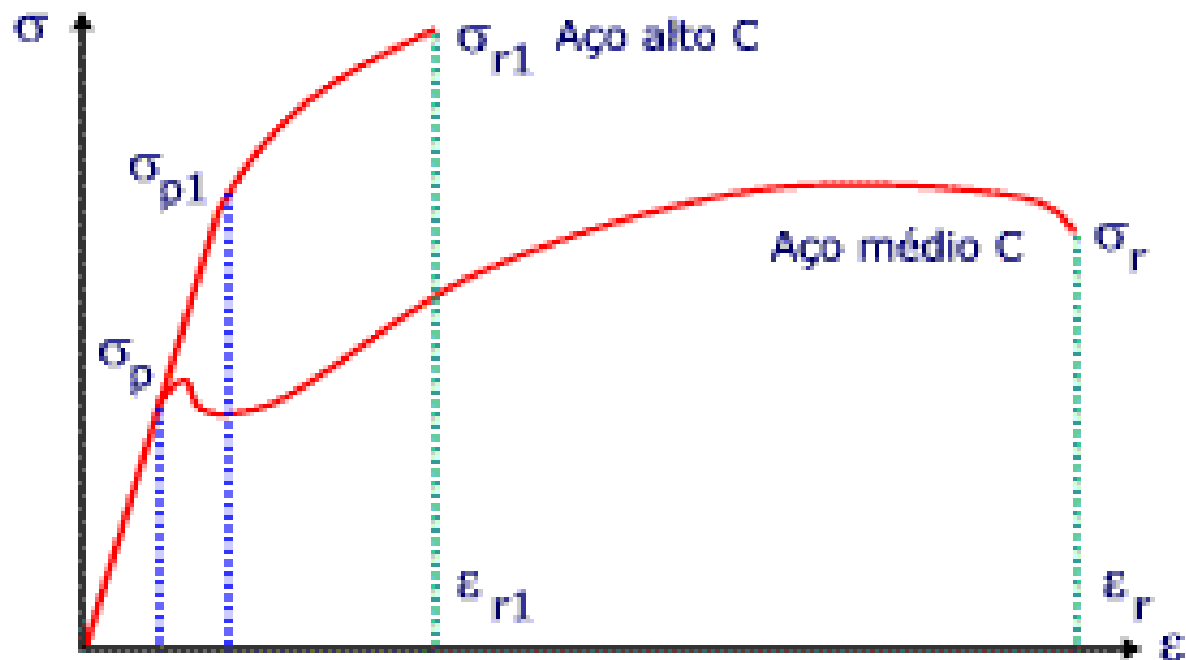
De um modo geral, ao introduzir-se elementos de liga nos aços, visam os seguintes objetivos:

- **Alterar as propriedades mecânicas**
- **Aumentar a usinabilidade**
- **Aumentar a temperabilidade**
- **Conferir dureza a quente**
- **Aumentar a capacidade de corte**
- **Conferir resistência à corrosão**
- **Conferir resistência ao desgaste**
- **Conferir resistência a oxidação**
- **Modificar as características elétricas e magnéticas.**
- **Melhorar a soldabilidade.**

Qual a importância dos elementos de liga?

É através da adição de elementos de ligas que podemos obter melhorias de algumas propriedades como diminuição ou aumento do ponto de fusão, aumento da dureza, aumento da resistência mecânica, melhoramento da soldabilidade, da corrosão e/ou de outras características desejadas de acordo com o uso em condições de serviço específicas.

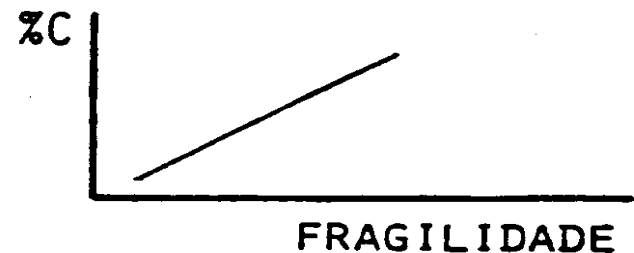
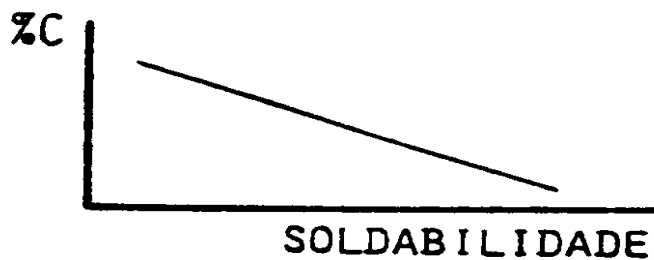
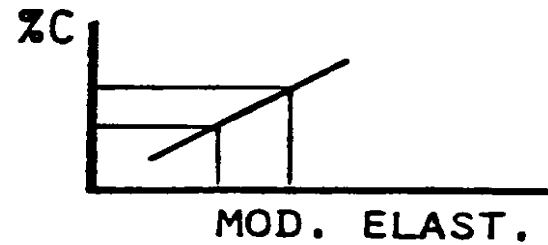
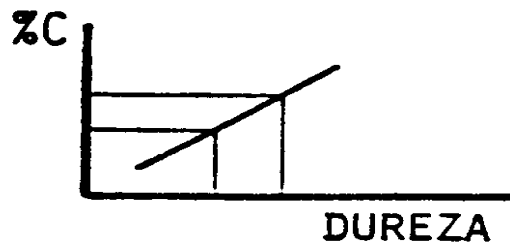
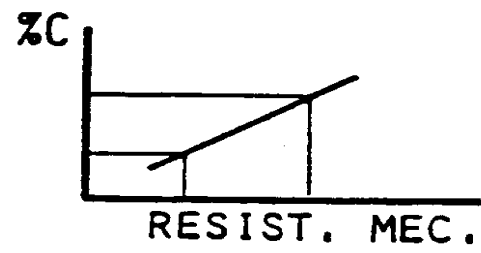
No decorrer da apresentação será visto qual o efeito de alguns elementos de liga nos aços, sejam eles formadores de carbonetos ou não.



Efeito dos elementos de liga nos aços ao carbono

Influência na Propriedade	Elemento									
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al
Aumento da Resistência	●	●	●		●				●	
Aumento da Dureza	●	●	●		●					
Aumento da Resistência ao Impacto						●				
Redução da ductilidade	●		●	●						
Aumento da Resistência em altas temperaturas						●		●		
Aumento da Temperabilidade	●						●	●		
Ação Desoxidante		●			●					●
Aumento da Resistência à Corrosão						●	●			
Aumento da Resistência à Abrasão							●			
Redução da Soldabilidade	●			●						

INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS



$$\text{Equivalent e de C} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

Efeito dos elementos de liga no diagrama de transformação isotérmica

Com exceção do Cobalto, todos os elementos de liga antes citados deslocam o diagrama para direita, isto é, aumentam a faixa de temperabilidade do aço.

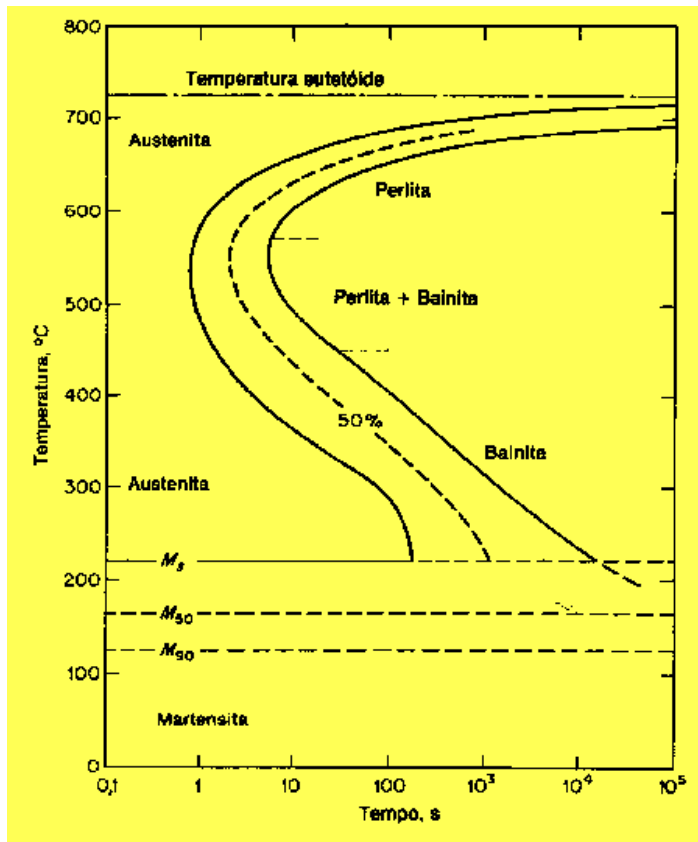


Diagrama TTT Fe-C

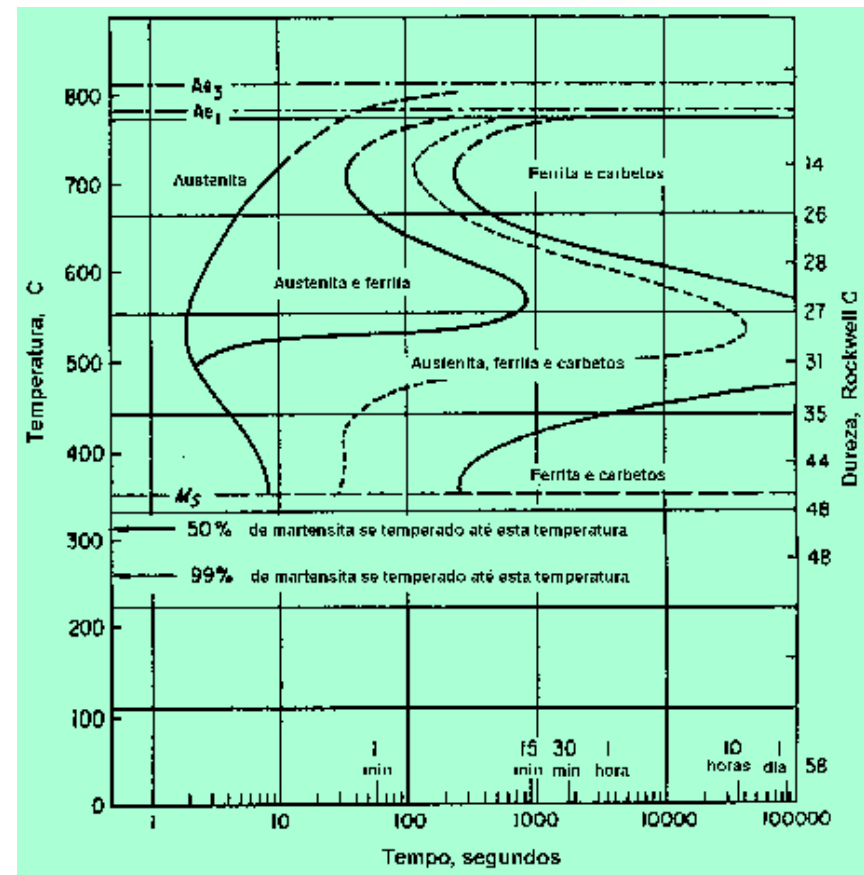
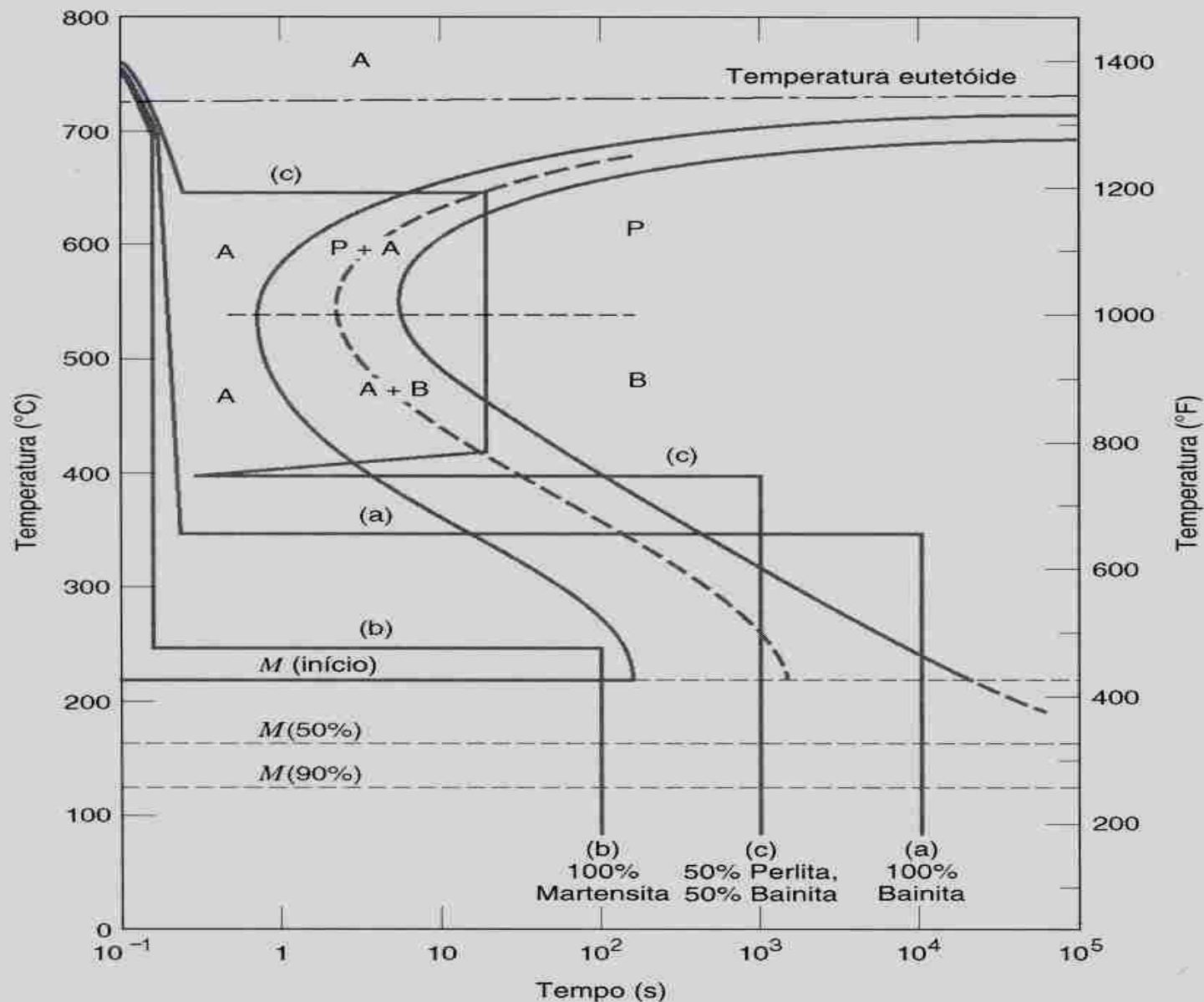



Diagrama TTT Fe-C ligado

DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA



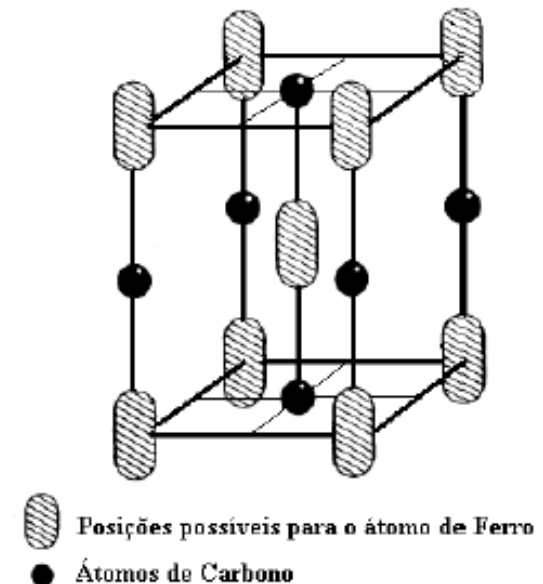


Elementos de liga formadores de carboneto

Qual a importância dos carbonetos?

Os carbonetos puros tem sido objeto de muitos estudos em função das suas excelentes propriedades químicas, mecânicas, elétricas e magnéticas.

Os carbonetos encontrados nos aços são denominados de carbonetos intersticiais, já que o arranjo cristalino pode ser descrito como um arranjo de átomos metálicos com átomos de carbono ocupando os interstícios.



Elementos de liga formadores de carboneto

Cromo: Forma carbonetos

Tungstênio (w): Forma carbonetos muito duros

Molibdênio: Influência na estabilização do carboneto

Vanádio: Forma carbonetos

- Aumenta a resistência à corrosão e à oxidação.
- Aumenta a resistência à altas temperaturas;

Aplicações:

- Aços para construção mecânica.
- Aços-ferramenta.
- Aços inoxidáveis
- Produtos para indústria química, talheres, válvulas e peças para fornos, Ferramentas de corte.



Cromo



Tungstênio

- Forma carbonetos muito duros.
 - Aumenta a dureza.
 - Aumenta a resistência a altas temperaturas.
-
- Aplicações: Aços rápidos. Aços ferramentas.
 - Produtos: Ferramentas de corte.



Broca de aço rápido



- Influência na estabilização do carboneto.
- Aumenta a resistência à tração.
- Aumenta a temperabilidade.
- Aumenta resistência em altas temperaturas.

Molibdênio

- Aplicações: Aços-ferramenta. Aços-cromo-níquel. Substituto do tungstênio em aços rápidos.
- Produtos: Ferramentas de corte.



Chaves em aço cromo-molibdênio



Alicate de aço-cromo-níquel

- Inibe o crescimento dos grãos.
 - Forma carbonetos.
 - Aumenta resistência mecânica e aumenta a resistência à fadiga e à abrasão.
-
- Aplicações: Aços cromo-vanádio
 - Produtos: Ferramentas de corte.

Vanádio



Soquete de aço cromo-vanádio



Chave em aço cromo- vanádio

Importância de alguns elementos de liga

Elemento de Liga	Influência na Estrutura	Influência nas Propriedades	Aplicações	Produtos
Níquel	Refina o grão Diminui a velocidade de transformação na estrutura do aço	Aumento da resistência à tração. Alta ductilidade	Aço para construção mecânica. Aço inoxidável Aço resistente a altas temperaturas	Peças para automóveis. Utensílios domésticos. Caixas para tratamento térmico
Manganês	Estabiliza os carbonetos. Ajuda a criar microestrutura dura por meio de têmpera. Diminui a velocidade de resfriamento	Aumento da resistência mecânica e temperabilidade da peça. Resistência ao choque.	Aço para construção mecânica	Peças para automóveis e peças para uso geral em engenharia mecânica

Elemento de Liga	Influência na Estrutura	Influência nas Propriedades	Aplicações	Produtos
Cromo	Forma carbonetos. Acelera o crescimento dos grãos.	Aumento da resistência à corrosão e a oxidação. Aumento da resistência a altas temperaturas	Aços para construção mecânica. Aços-ferramenta. Aços inoxidáveis.	Produtos para indústria química. Talheres, válvulas e peças para fornos. Ferramentas de corte.
Molibdênio	Influência na estabilização do carboneto. Melhora a resistência corrosão por pites.	Alta dureza ao rubro. Aumento da resistência à tração. Aumento da temperabilidade.	Aços-ferramenta. Aços/Cr/Ní. Substituto do tungstênio em aços rápidos.	Ferramentas de corte.

Elemento de Liga	Influência na Estrutura	Influência nas Propriedades	Aplicações	Produtos
Vanádio	Inibe o crescimento dos grãos. Forma carbonetos	Maior resistência mecânica. Maior tenacidade e temperabilidade. Resistência à fadiga e à abrasão.	Aços cromo-vanádio	Ferramentas de corte.
Tungstênio	Forma carbonetos muito duros.	Aumento da dureza. Aumento da resistência a altas temperaturas.	Aços rápidos. Aços ferramentas.	Ferramentas de corte.
Cobalto	Forma carbonetos (fracamente) Desloca a curva TTT para esquerda.	Aumento da dureza. Aumento da resistência à tração. Resistência à corrosão e à erosão.	Aços rápidos. Elementos de liga em aços magnéticos.	Lâminas de turbina de motores a jato.
Silício	Auxilia na desoxidação. Auxilia na grafitização. Aumenta a fluidez.	Aumento da resistência à oxidação em temperaturas elevadas. Melhora da temperabilidade e da resistência à tração.	Aços com alto teor de carbono. Aços para fundição em areia.	Peças fundidas.

Elementos de liga **não** formadores de carboneto



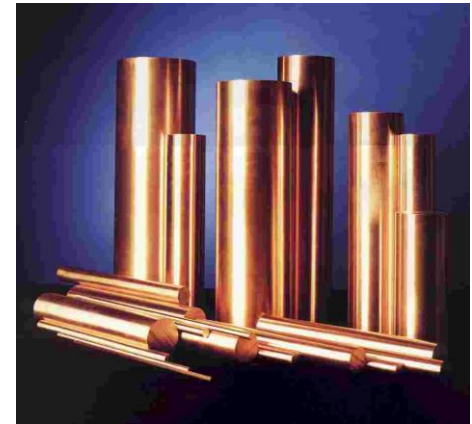
Silício

Manganês

Níquel

Cobre

Cobalto



Silício



- Auxilia na desoxidação e na grafitização.
- Aumenta a fluidez.
- Aumento da resistência à oxidação em temperaturas elevadas.
- Melhora da temperabilidade e da resistência à tração.
- Aplicações: Aços com alto teor de carbono. Aços para fundição em areia.
- Produtos: Peças fundidas.



Chapas de aço silício



Válvula redutora de pressão com aço silício

Manganês

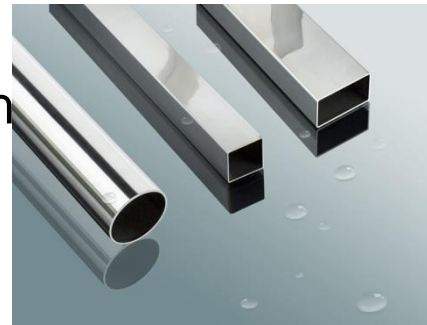
- Estabiliza os carbonetos.
 - Estabiliza o enxofre como MnS
 - Ajuda a criar microestrutura dura por meio de têmpera.
 - Diminui a velocidade de resfriamento.
 - Aumenta a resistência mecânica, a temperabilidade da peça e a resistência ao choque.
-
- Aplicações: Aço para construção mecânica.
 - Produtos: Peças para automóveis e peças para uso geral em enç



Níquel

- Refina o grão e diminui a velocidade de transformação na estrutura do aço
 - Aumenta a resistência à corrosão nos aços inoxidáveis
 - Aumenta da resistência à tração.
- Aplicações: Aço para construção mecânica. Aço inoxidável, Aço resistente a altas temperaturas.

- Produtos: Peças para automóveis, utensílios e caixas para tratamento térmico



Tubulações em aço inoxidável com níquel

Cobalto


- Desloca a curva TTT para esquerda;
- Aumenta a dureza.
- Aumenta a resistência à tração, resistência à corrosão e à erosão.
- Aplicações: Aços rápidos. Elementos de liga em aços magnéticos.
- Produtos: Lâminas de turbina de motores a jato.



dreamstime.com



Brocas em aço com cobalto



MOLIBDÊNIO (Mo), melhora a resistência à corrosão por pites nos ácidos sulfúricos e sulfuroso a altas temperaturas, em soluções neutras de cloretos ou na água do mar;

- COBRE (Cu), melhora a resistência à corrosão, entre certos reagentes, como o ácido sulfúrico;
- TÂNTALO, NIÓBIO E TITÂNIO, evitam o fenômeno de corrosão intergranular, dos aços inox cromo-níquel;
- TITÂNIO, utilizado em implantes;
- SILÍCIO, melhora a resistência à oxidação a temperaturas elevadas.

INFLUÊNCIA DE OUTROS ELEMENTOS DE LIGA NO AÇO CARBONO

- **ADIÇÃO DE MANGANÊS (Mn):**

AUMENTO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA SEM GRANDE PREJUÍZO NA SOLDABILIDADE.

- **ADIÇÃO DE SILÍCIO (Si) e ALUMÍNIO (Al):**

PRODUZ AÇOS ACALMADOS (“KILLED STEELS”) QUE APRESENTAM MENOR INCIDÊNCIA DE DEFEITOS INTERNOS E MAIOR UNIFORMIDADE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA. SÃO AÇOS DE ALTA QUALIDADE APROPRIADOS PARA TEMPERATURAS ELEVADAS (Si) E BAIXAS (Al).

- **PRESENÇA DE FÓSFORO (P) e ENXOFRE (S):**

IMPUREZAS PREJUDICIAIS À QUALIDADE DO AÇO E POR ISSO SUA PRESENÇA É LIMITADA A VALORES MUITO BAIXOS.

- **ADIÇÃO DE COBRE (Cu):**

MELHORA A RESISTÊNCIA À CORROSÃO ATMOSFÉRICA.



Questões de concursos

32- Petrobrás-2011

Todos os elementos de liga comumente utilizados nos aços aumentam a sua temperabilidade, **EXCETO o**

- (A) cobalto.
- (B) cromo.
- (C) manganês.
- (D) níquel.
- (E) silício.

32- Petrobrás-2011

Todos os elementos de liga comumente utilizados nos aços aumentam a sua temperabilidade, **EXCETO o**

- (A) cobalto.
- (B) cromo.
- (C) manganês.
- (D) níquel.
- (E) silício.

37 – Petrobrás-2006-Engenheiro de equipamentos Pleno

Em uma aplicação na qual uma tubulação será submetida à pressão interna de 150 kgf/cm² e temperatura de 300°C, foi indicado um tubo de aço liga ao Cr-Mo, com a seguinte composição química:

C=0,15% max

Mn=0,30 a 0,60%

S=0,030% max

P=0,030% max

Si=0,25% a 1,00%

Cr=8,00 a 10,00%

Mo=0,9 a 1,10%

A seleção desse aço é correta porque o Mo:

- (A) assegura resistência à fluência e o Cr aumenta a resistência mecânica e melhora a resistência à corrosão.
- (B) assegura resistência à fadiga e o Cr assegura resistência à corrosão.
- (C) assegura resistência à fadiga e o Cr assegura resistência à fluência.
- (D) aumenta a resistência mecânica e o Cr assegura resistência à fluência.
- (E) aumenta a resistência mecânica e melhora a resistência à corrosão e o Cr assegura resistência à fluência.

37 – Petrobrás-2006-Engenheiro de equipamentos Pleno

Em uma aplicação na qual uma tubulação será submetida à pressão interna de 150 kgf/cm² e temperatura de 300°C, foi indicado um tubo de aço liga ao Cr-Mo, com a seguinte composição química:

C=0,15% max

Mn=0,30 a 0,60%

S=0,030% max

P=0,030% max

Si=0,25% a 1,00%

Cr=8,00 a 10,00%

Mo=0,9 a 1,10%

A seleção desse aço é correta porque o Mo:

(A) assegura resistência à fluência e o Cr aumenta a resistência mecânica e melhora a resistência à corrosão.

(B) assegura resistência à fadiga e o Cr assegura resistência à corrosão.

(C) assegura resistência à fadiga e o Cr assegura resistência à fluência.

(D) aumenta a resistência mecânica e o Cr assegura resistência à fluência.

(E) aumenta a resistência mecânica e melhora a resistência à corrosão e o Cr assegura resistência à fluência.