

ESCOLA DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL METALÚRGICA
DE VOLTA REDONDA
EEIMVR-UFF

Laboratório de Tratamentos Térmicos

Tratamentos térmicos e termo-químicos

- Reozimento
- Normalização
- Têmpera
- Revenimento
- Cementação
- Nitretação

Tratamentos Térmicos

- Operações de aquecimento de um material a uma dada temperatura e esfriamento após certo tempo, em condições controladas, com a finalidade de dar ao material propriedades especiais.
- São executados por alteração da velocidade de esfriamento e da temperatura de aquecimento ou da temperatura a que são esfriados ou de ambos.

Possibilidade de Tratamento Térmico

- Devido a:
 - Recristalização
 - Modificação de fase

Recristalização

- Ocorre para os materiais e ligas a diferentes temperaturas.
- Deve apresentar um mínimo de **encruamento** e ser aquecido à **temperatura adequada**.

Modificação de fase

- Ocorre em muitas ligas metálicas com a temperatura, no estado sólido.

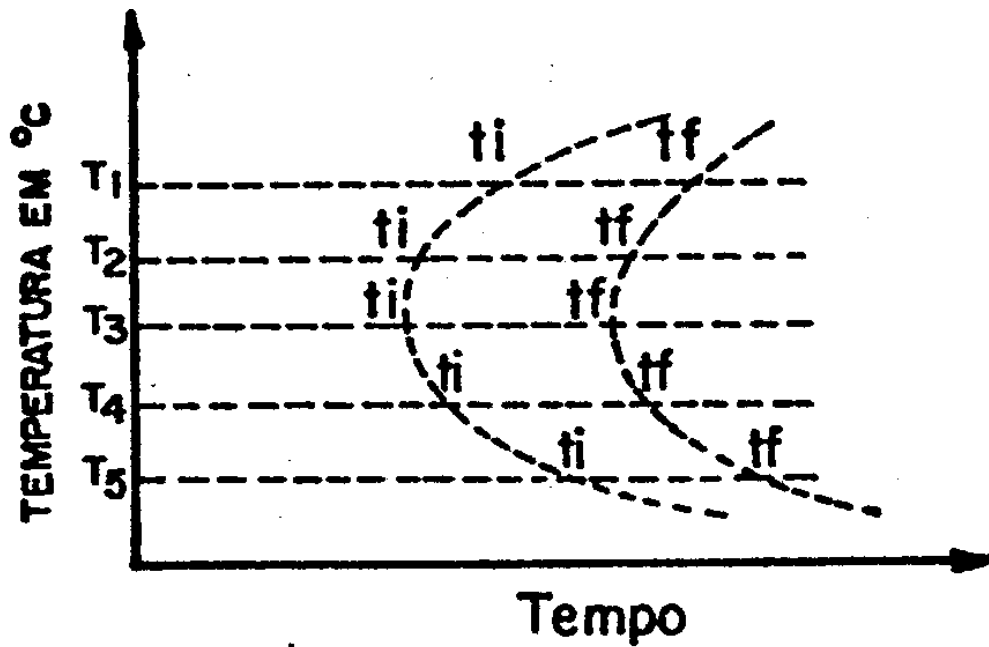
Ligas que podem ser tratadas - I

- Ligas com eutetóide e modificação de fase
 - Ferro-Carbono
 - Cobre-Alumínio
 - Cobre-Estanho

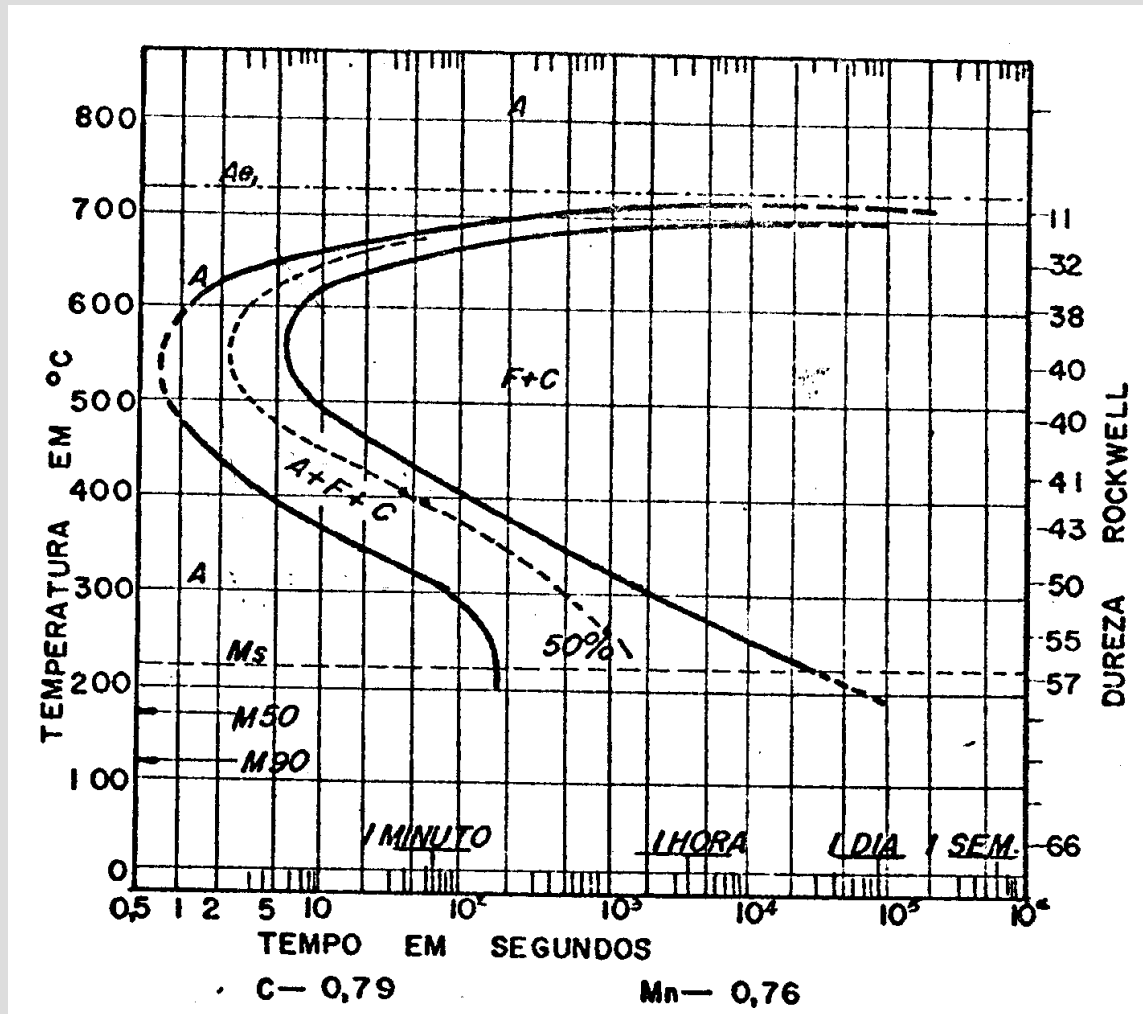
Ligas que podem ser tratadas - II

- Ligas com modificação de solubilidade
 - Ferro-Carbono
 - Alumínio-Cobre
 - Cobre-Prata
 - Cobre-Cromo

Curvas TTT - construção



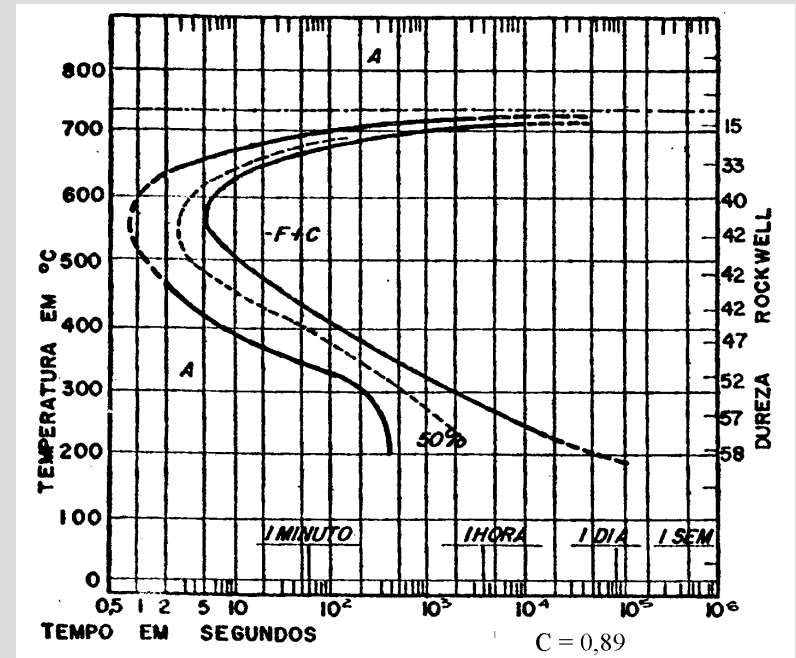
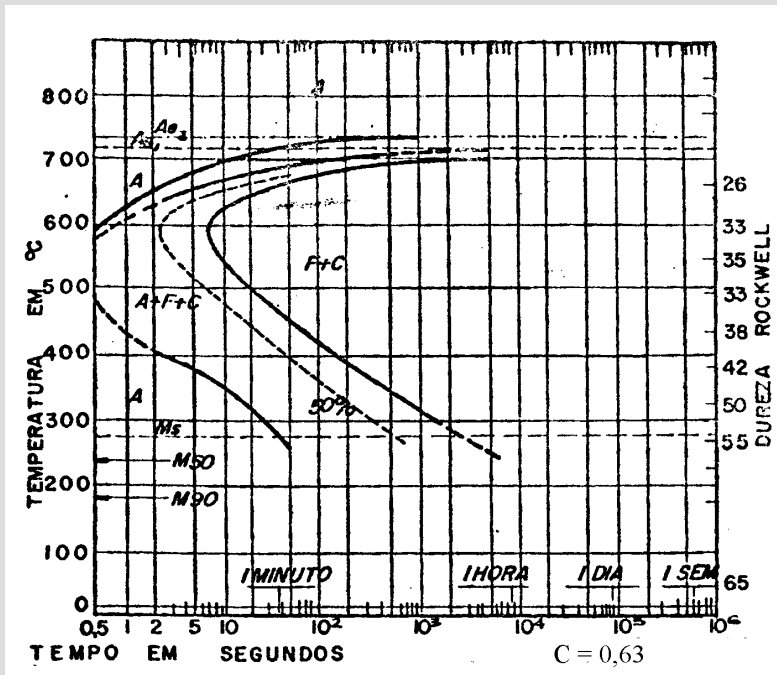
Curva TTT - exemplo



Fatores que influenciam as curvas TTT

- Composição química
 - Em geral, com o aumento do teor de carbono, a curva desloca-se para a direita (com exceção do Co, os elementos de liga agem como o carbono)
- Tamanho de grão
 - Quanto maior o tamanho de grão, mais demorada será a transformação total da austenita, deslocando a curva para a direita

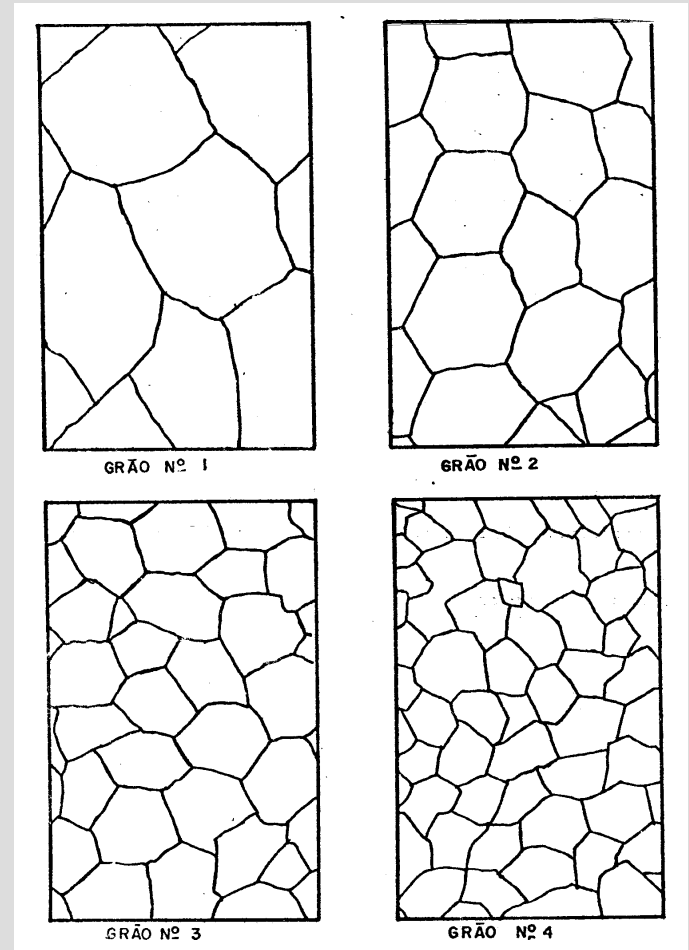
Influência da composição química



Tamanho de grão austenítico

O material com granulação grosseira apresenta em geral propriedades inferiores às do mesmo material com granulação fina, à temperatura ambiente.

É determinado por comparação direta ao microscópio metalográfico

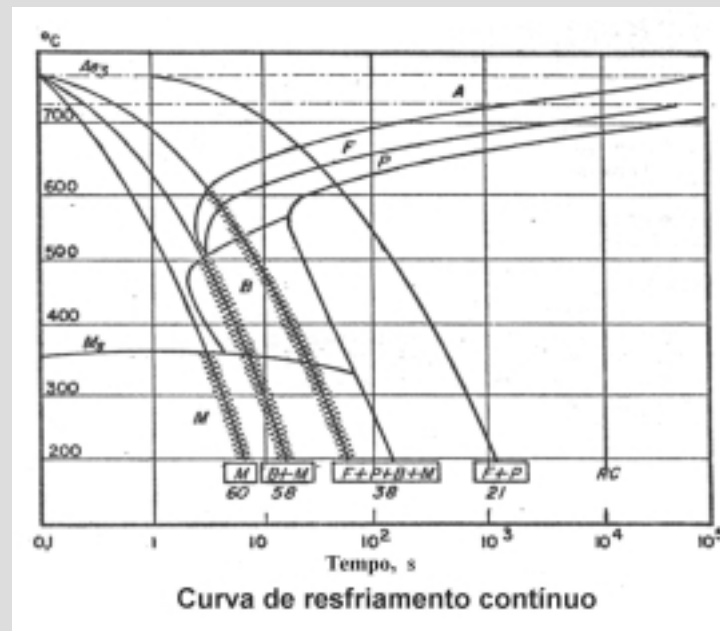


Fatores de influência no TT

- Velocidade de aquecimento
- Temperatura de tratamento
- Encharque
- Velocidade de esfriamento
- Atmosfera do forno

Curvas de esfriamento contínuo

- São as curvas onde se obtém as estruturas finais dos materiais tratados termicamente



Recozimento I

- Finalidade
 - regularizar a estrutura bruta de fusão, possibilitando maior homogeneidade aos materiais fundidos.
 - regularizar as estruturas de materiais deformados a frio, regularizando ou eliminando tensões existentes

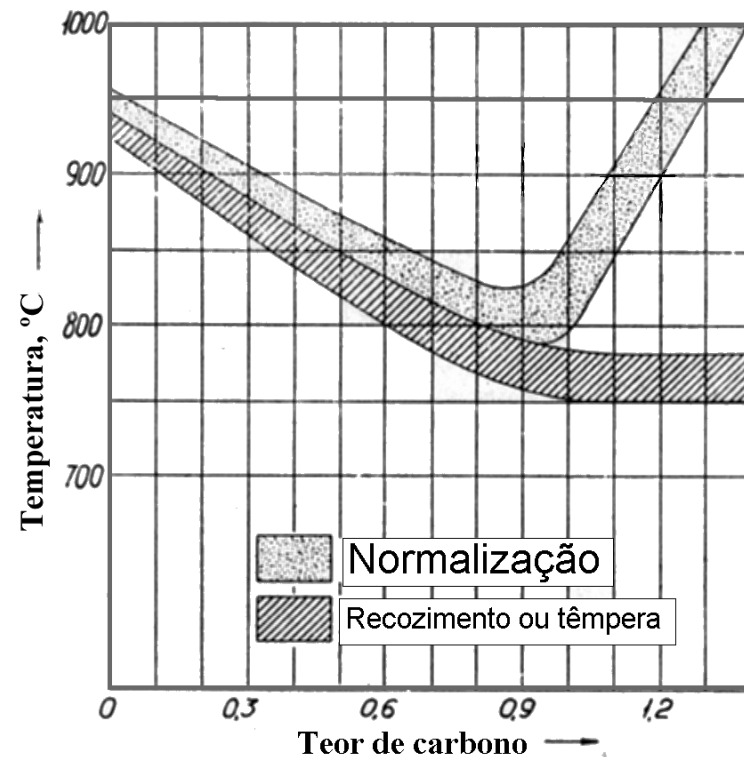
Recozimento II

- Finalidade
 - regularizar a estrutura proveniente de tratamentos térmicos anteriores
 - remover tensões devidas a irregularidades no resfriamento de diferentes partes de peças
 - eliminação de impurezas gasosas

Recozimento III

- Método
 - aquecimento do material até uma temperatura acima da sua zona crítica, mantendo-o nessa temperatura para homogeneização e resfriando lentamente.

Recozimento IV



Temperaturas mais adequadas à normalização, recozimento e têmpera em função do teor de carbono no aço.

Recozimento V

- Tempo de permanência (encharque)
 - aços carbono: ~ 20 min. por centímetro de espessura.
 - aços liga: ~ 30 min. por centímetro de espessura.

Recozimento VI

- Resfriamento
 - lento, no interior do forno desligado, de preferência.
 - quanto menor o teor de carbono, mais rápido pode ser efetuado o resfriamento (retirado do forno e mergulhado em areia, cinza, cal) ou em ar parado.
 - velocidade de $\sim 50^{\circ}\text{C}$ por hora

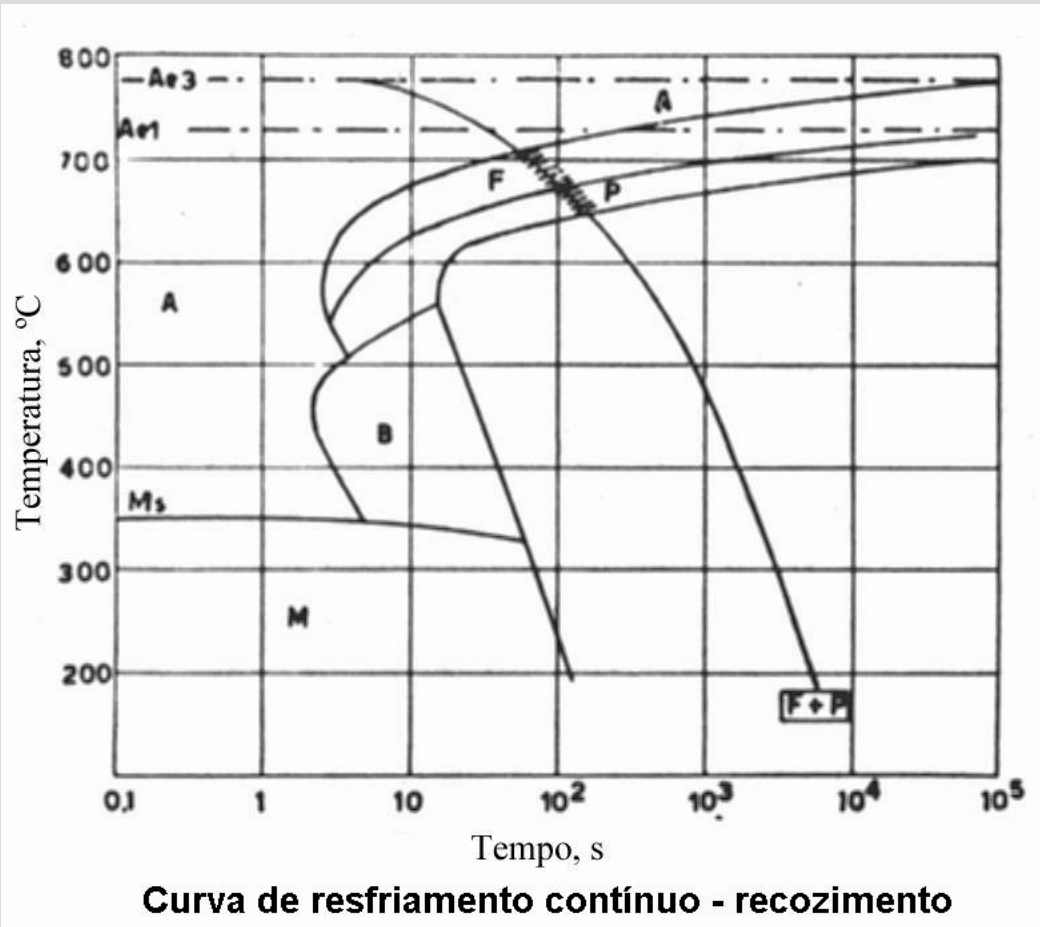
Recozimento VII

- Cuidados no recozimento
 - controle do tempo de aquecimento
 - controle de tempo e temperatura de tratamento
 - apoio das peças no forno
 - controle da atmosfera do forno

Recozimento VIII

- Aplicações
 - peças fundidas
 - peças encruadas

Recozimento IX



Normalização I

- Finalidade
 - uniformizar e refinar a granulação.
 - é obtida uma melhor homogeneização do que o recozimento pois a temperatura de tratamento é mais alta.
 - a granulação mais fina é conseguida no resfriamento mais rápido.

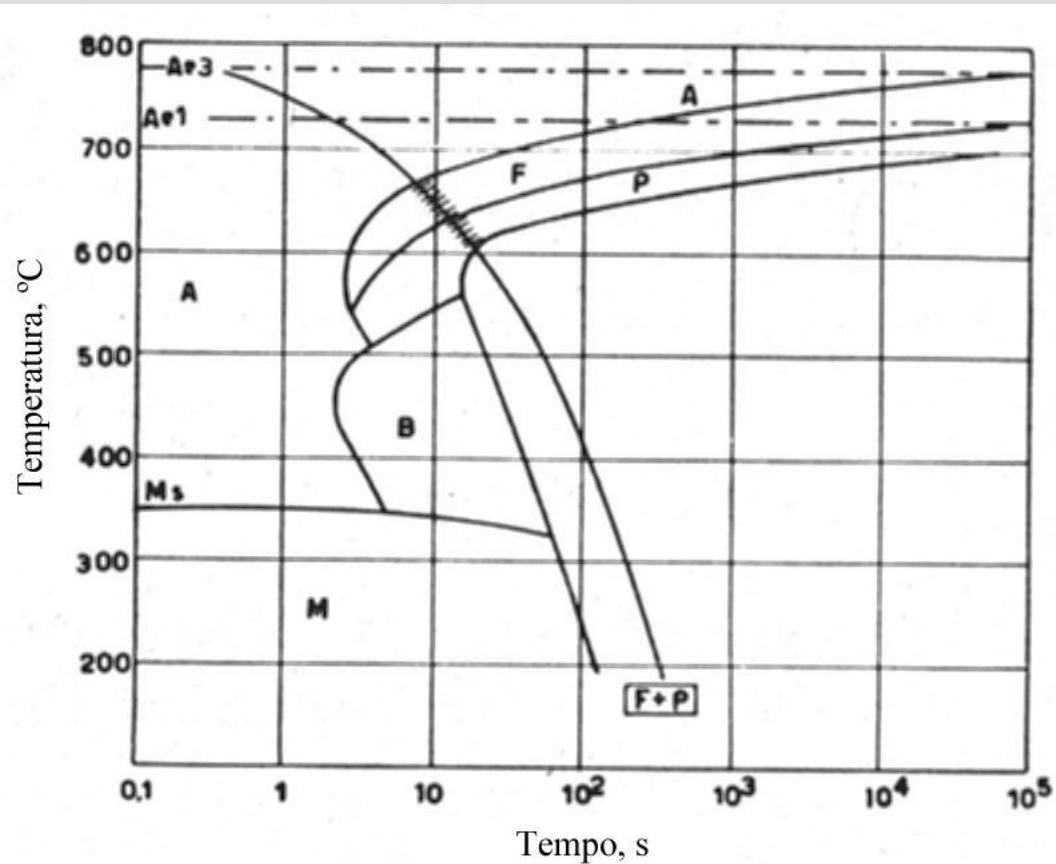
Normalização II

- Método
 - aquecimento de um aço a temperaturas acima da sua zona crítica, mantendo-o nessa temperatura para homogeneização e resfriamento ao ar.

Normalização III

- Aplicações
 - peças fundidas
 - peças forjadas
 - peças de grandes dimensões

Normalização IV



Curva de resfriamento contínuo - normalização

Têmpera - I

- Objetivos:
 - Aumentar a dureza
 - Aumentar a resistência mecânica
- Conseqüências:
 - Diminuição da ductilidade
 - Aumento da fragilidade
 - Aumento da resistência ao desgaste

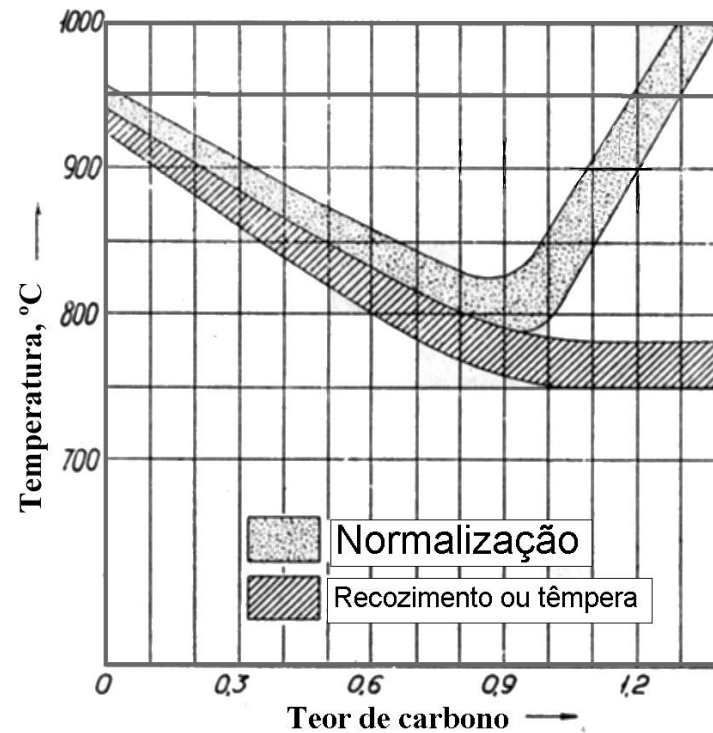
Têmpera - II

- Método:
 - Aquecimento a temperatura acima da zona crítica
 - Manutenção à temperatura de tratamento para homogeneização
 - Resfriamento brusco - fator mais importante, que influenciará nas propriedades finais do material - de forma a obter-se estrutura martensítica

Têmpera - III

- Aquecimento
 - Aços hipoeutetóides:
 - A temperatura deve, para cada caso, estar acima da linha de transformação completa (austenitização plena) - somente aços com %C > 0,4
 - Aços eutetóides e hiperutetóides
 - A temperatura deve estar acima de 723°C (+50°C)

Têmpera - IV



Temperaturas mais adequadas à normalização, recozimento e têmpera em função do teor de carbono no aço.

Têmpera - V

- O tempo de homogeneização deve ser o suficiente para a completa austenitização do material.
- O tratamento deve ser realizado em atmosfera controlada para evitar-se a descarbonetação superficial, muito prejudicial ao material

Têmpera - VI

- Resfriamento
 - O mais rápido possível, desde que não interfira ou prejudique o material ou a peça (velocidade crítica de resfriamento)
 - É realizado em meios tais como:
 - água
 - óleo
 - salmoura

Têmpera - VII

Meio de resfriamento	Intensidade relativa
Água a 20°C	1,0
Água a 40°C	0,7
Água a 80°C	0,2
Solução de NaCl @ 10%	3,0
Solução de NaOH @ 50%	2,0
Óleo mineral 20~200°C	0,3

Têmpera - VIII

- Temperabilidade
 - Capacidade do material ser endurecido a certa profundidade
- Endurecibilidade
 - Susceptibilidade do material desenvolver estrutura martensítica

Têmpera - IX

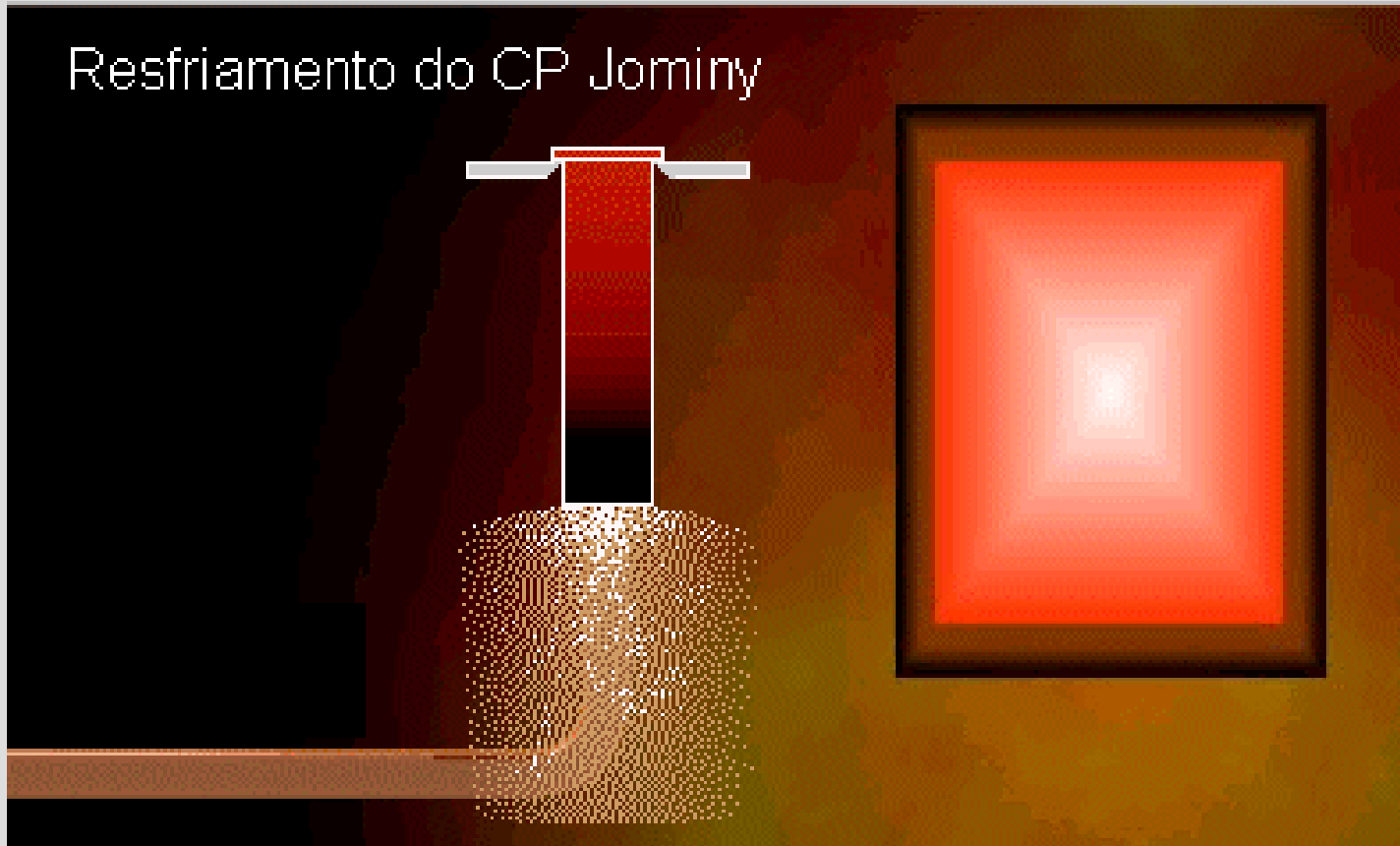
- Ensaio de Temperabilidade Jominy
 - Consiste em temperar pela base, por meio de jato de água, em dispositivo apropriado, um corpo de prova padrão; após o tratamento térmico, medições de dureza são realizadas ao longo do comprimento (verificando-se a diminuição da dureza ao longo do comprimento).

Têmpera - X

Corpo de prova do ensaio Jominy

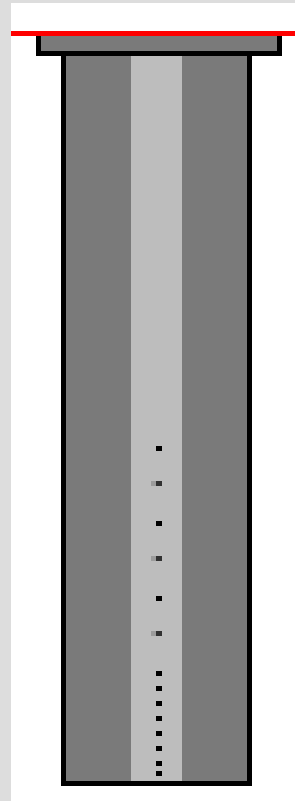


Têmpera - XI



Têmpera - XII

CP Jominy preparado para as medições de dureza



Têmpera - XIII

- Ensaio de endurecibilidade Grosmann
 - Consiste em submeter à têmpera diversos corpos de prova, do mesmo material, porém de diâmetros diferentes, submetendo-os a análise metalográfica (ou ensaios de dureza) com a finalidade de determinar o diâmetro crítico.
 - Diâmetro crítico: é aquele que não apresenta o centro sem estar temperado (critério de 50%)

Têmpera - XIV

- Têmpera superficial: realizada somente na superfície de peças acabadas (ou com pequeno sobremetal)
- Objetivo:
 - Aumento da dureza superficial, mantendo um núcleo dúctil

Revenido - I

- Consiste no tratamento térmico após a têmpera, a temperaturas inferiores às críticas, seguido de resfriamento lento, efetivando alívio de tensões
- Objetivo:
 - Minimizar os efeitos das altas durezas (alta fragilidade)
 - Homogeneização da estrutura martensítica

Revenido - II

- Temperatura de tratamento:
 - entre 100°C e 650°C
- Tempo de permanência:
 - Parâmetro importante pois dele (e da velocidade de resfriamento) dependerá as propriedades finais do material
- Resfriamento:
 - Normalmente realizado em óleo

Revenido - III

- Fragilidade
 - Alguns aços apresentam após o revenimento, certa fragilidade, principalmente quando a temperatura de tratamento é da ordem de 270°C
 - A correção deste tipo de problema pode ser feita por sub-resfriamento ou por duplo revenimento

Cementação - I

- Tratamento termo-químico que consiste em aumentar-se o teor de carbono na superfície do material, mantendo-se um núcleo dúctil
- Consiste no aquecimento e manutenção do material a altas temperaturas, em atmosfera rica em carbono (meio sólido, líquido ou gasoso), ocorrendo a difusão do carbono da superfície para o centro da peça

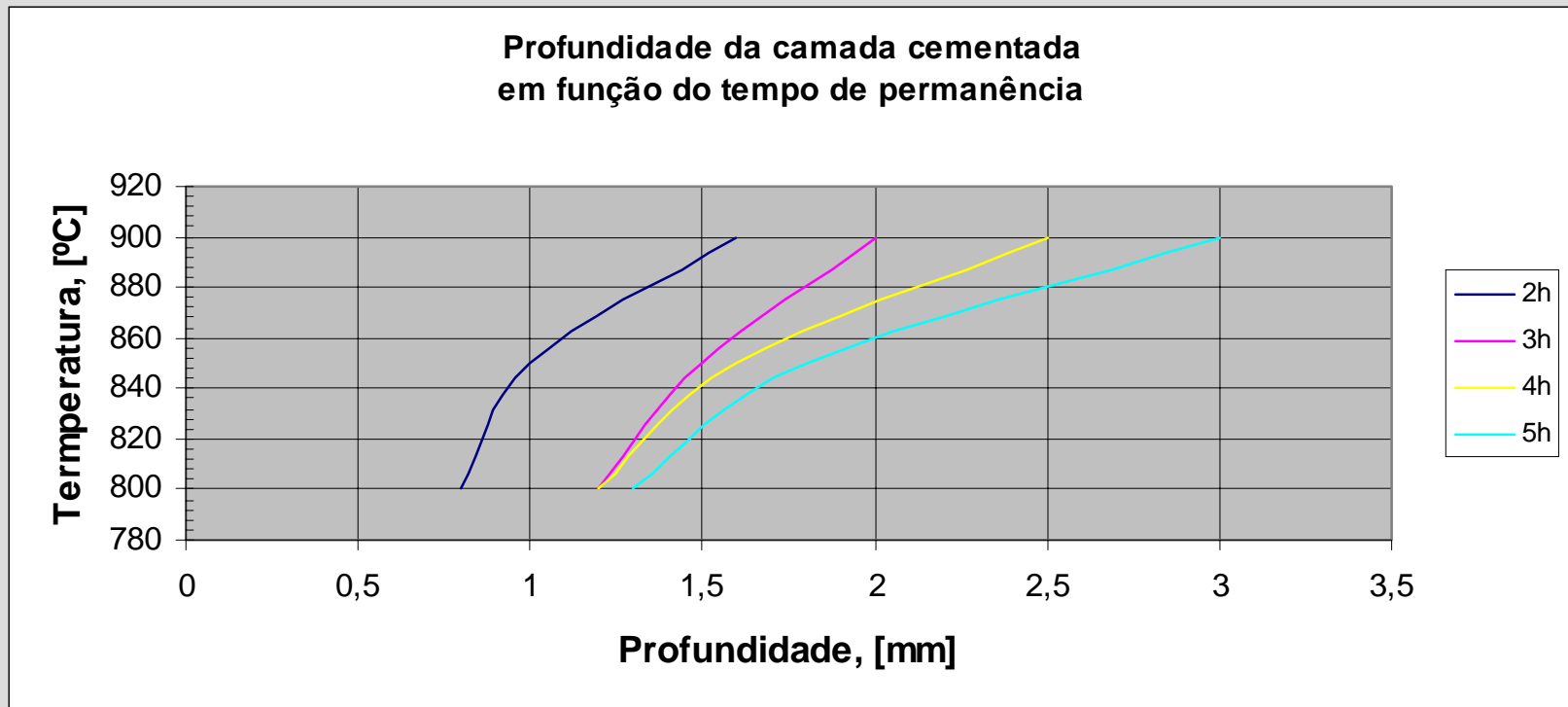
Cementação - II

- Materiais para cementação
 - Aços com teor de carbono até 0,2%, podendo o material possuir na sua composição Mn, , Al, V, Si, Ni e Cr (esses últimos com a finalidade de facilitar a têmpera)
- Temperatura de tratamento
 - Entre 850°C e 1000°C

Cementação - III

- Profundidade de cementação
 - Varia com a temperatura de tratamento e o tempo de permanência a essa temperatura
 - entre 0,01 até no máximo 3,0mm
- Cementação parcial
 - Uma cobertura de cobre depositado eletroliticamente possibilita a cementação das partes não cobertas

Cementação - IV



Cementação - V

- Resfriamento
 - Em geral, as peças são resfriadas ao ar
- Tratamentos posteriores
 - Normalização
 - Têmpera (de acordo com a constituição da parte periférica)

Cementação - V

- O controle da profundidade é em geral realizado com corpos de prova colocados junto às peças (de mesmo material das mesmas), que são retirados de tempos em tempos para confirmação
- Processo dispendioso pois o consumo de energia e mão de obra é alto

Nitreção - I

- Objetiva o endurecimento superficial de aços por absorção de nitrogênio
- É realizado em fornos com atmosfera controlada, rica em Nitrogênio (em geral NH_3)

Nitreção - II

- Vantagens
 - A temperatura de tratamento é inferior à da cementação
 - As peças apresentam-se nas dimensões e acabamento finais
- Desvantagens
 - O tempo de permanência é grande
 - A espessura da camada cementada é muito pequena

Nitretação - III

Tempo, [h]	Espessura, [mm]
10	0,1
25	0,2
40	0,3
50	0,4
65	0,5
96	0,8

Influência do tempo
de nitretação para um
aço ao cromo

Nitretação - IV

- Aços para nitretação
 - São utilizados aços com teores de carbono entre 0,13 e 0,40%, podendo ter adições de alumínio (essencial), cromo, silício, tungstênio e vanádio.
- Tratamentos térmicos anteriores
 - Têmpera e revenido

Nitreção - V

- Nitreção parcial
 - As partes das peças que não se queira tratar são cobertas por estanho ou liga estanho-chumbo (80-20)
 - Podem ser cobertas com cobre (com espessuras entre 0,01 e 0,02mm)
- Controle da camada nitretada
 - Semelhante ao controle de camada cementada