

Engenharia e Ciência dos Materiais I  
Profa. Dra. Luralice Canale

# RECOZIMENTO E NORMALIZAÇÃO

# Tratamentos Térmicos

- Finalidade:
- Alterar as microestruturas e como consequência as propriedades mecânicas das ligas metálicas

# Tratamentos Térmicos - Objetivos

- - Remoção de tensões internas
- - Aumento ou diminuição da dureza
- - Aumento da resistência mecânica
- - Melhora da ductilidade
- - Melhora da usinabilidade
- - Melhora da resistência ao desgaste
- - Melhora da resistência à corrosão

# Fatores de Influência nos Tratamentos Térmicos

- **Temperatura**
- **Tempo**
- **Velocidade de resfriamento**

# Fatores de Influência nos Tratamentos Térmicos

## **Tempo:**

O tempo de tratamento térmico depende muito das dimensões da peça e da microestrutura desejada.

## **Quanto maior o tempo:**

- maior a segurança da completa dissolução das fases para posterior transformação
- maior será o tamanho de grão

## □ Temperatura:

depende do tipo de material e da transformação de fase ou microestrutura desejada

## ▣ **Velocidade de Resfriamento:**

-Depende do tipo de material e da transformação de fase ou microestrutura desejada

Normalmente quanto mais rápido o resfriamento maior a dureza e resistência

-

# Principais Meios de Resfriamento

- Ambiente do forno (+ brando)
- Ar
- Banho de sais ou metal fundido ( Pb)
- Óleo
- Água
- Soluções aquosas de sais (+ severos)

# 1- RECOZIMENTO

## Objetivos:

- Remoção de tensões internas devido aos tratamentos mecânicos
- Diminuir a dureza para melhorar a usinabilidade
- Alterar as propriedades mecânicas como a resistência e ductilidade

# TIPOS DE RECOZIMENTO

- Recozimento para **alívio de tensões** (qualquer liga metálica)
- Recozimento para **recristalização** (qualquer liga metálica)
- Recozimento para **homogeneização** (para peças fundidas)
- Recozimento **total ou pleno** (aços)
- Recozimento para **esferoidização**

# ALÍVIO DE TENSÕES

- **Objetivo:** Remoção de tensões internas originadas de processos (tratamentos mecânicos, soldagem, corte, ...)
- **Temperatura:** Abaixo da zona crítica (500° C a 650° C)
- **Resfriamento:** Deve-se evitar velocidades muito altas devido ao risco de distorções

# RECOZIMENTO PARA RECRISTALIZAÇÃO

□ **Objetivo:** Veremos em outra aula

□ **Temperatura**

→ Abaixo da zona crítica ( $550^{\circ}\text{C}$  a  $700^{\circ}\text{C}$ )

□ **Resfriamento**

Lento (ao ar ou ao forno)

# Recozimento

**A recristalização é iniciada a uma temperatura mais baixa e completada numa faixa mais estreita de temperatura quando:**

- ▶ O encruamento prévio tiver sido mais intenso
- ▶ Tamanho de grão original for menor
- ▶ O metal for mais puro
- ▶ O tempo de recozimento for mais longo



(1)



(2)

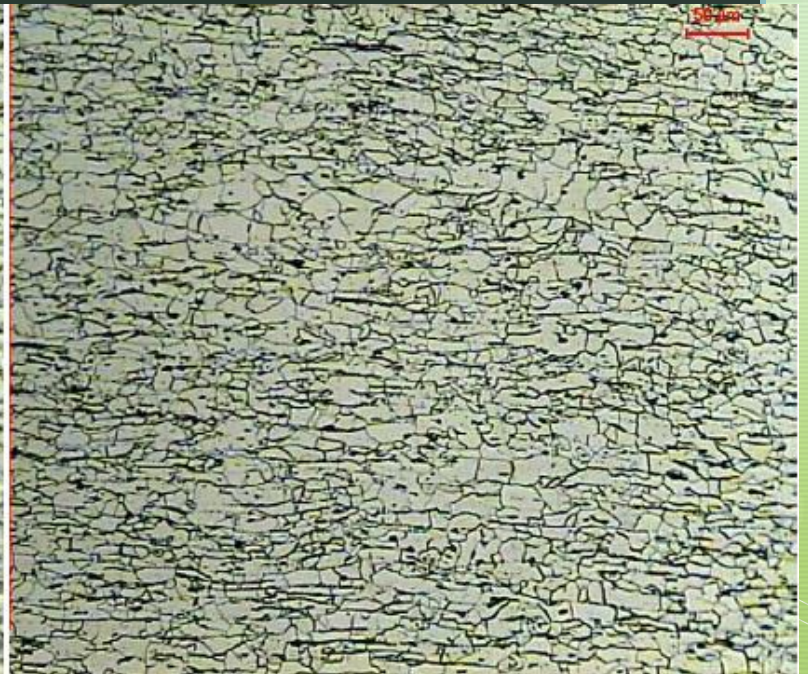
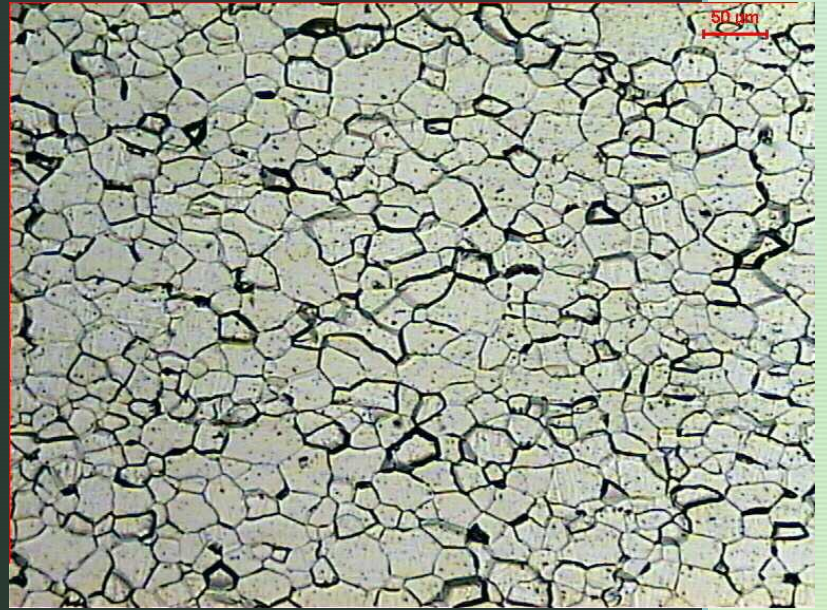
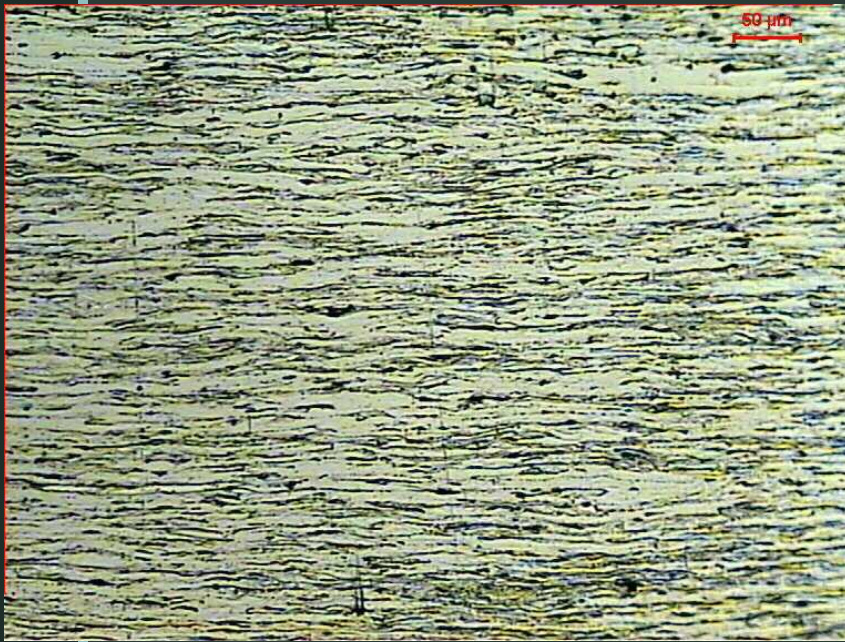


(3)

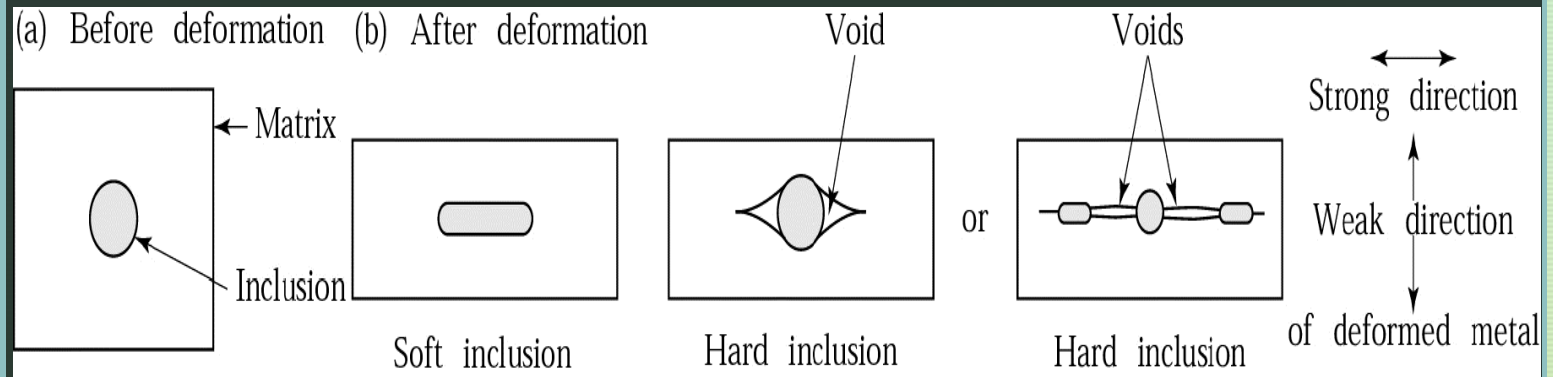
Micrografias de um mesmo aço baixo carbono

- ▶ Bruto de laminação
- ▶ Parcialmente recozido
- ▶ Completamente recozido

Ataque de Marshall-1000x



# Deformação de inclusões duras e moles



# Recozimento

## ➤ Fatores que afetam o recozimento

- Encruamento prévio
- Tamanho de grão inicial
- Pureza do metal

## ➤ O tamanho de grão recristalizado é menor quando:

- Menor a temperatura
- Mais curto o tempo em temperatura
- Mais intenso o encruamento prévio
- Maior quantidade e melhor distribuição de partículas insolúveis



# RECOZIMENTO HOMOGENEIZAÇÃO

## Objetivo

- Melhorar a homogeneidade da microestrutura de peças fundidas através da difusão dos elementos
- Utilizado em aços em lingotes que são difíceis de trabalhar a quente

## □ Temperatura

→ Não deve ocorrer nenhuma transformação de fase

□ Temperaturas entre  $1050^{\circ}\text{C}$  e  $1200^{\circ}\text{C}$   
(acima da linha crítica)

## □ Resfriamento

□ Lento (ao ar ou ao forno)

# RECOZIMENTO TOTAL OU PLENO

## □ Objetivos

Amolecer o aço

Regenerar sua microestrutura  
apagando tratamentos térmicos  
anteriores

## □ Temperatura

→ Hipoeutetóides e eutetóides : 50° C acima do limite superior da zona crítica

→ Hipereutetóides: 50° C acima do limite inferior da zona crítica

## □ Resfriamento

□ Lento (ao ar ou ao forno)

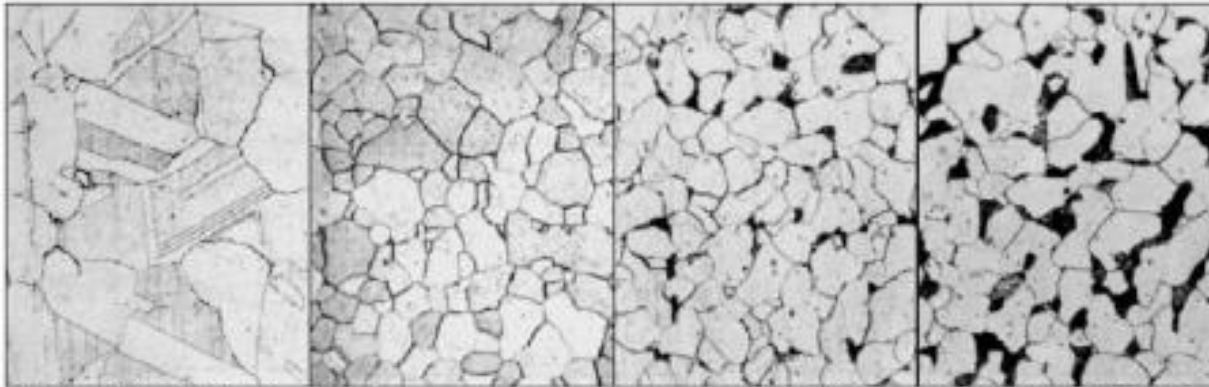
# Constituintes estruturais

Hipoeutetóide → ferrita + perlita  
grosseira

Eutetóide → perlita grosseira

Hipereutetóide → cémentita + perlita  
grosseira

- *A pelita grosseira é ideal para melhorar a usinabilidade dos aços baixo e médio carbono*
- \* *Para melhorar a usinabilidade dos aços alto carbono recomenda-se a esferoidização*

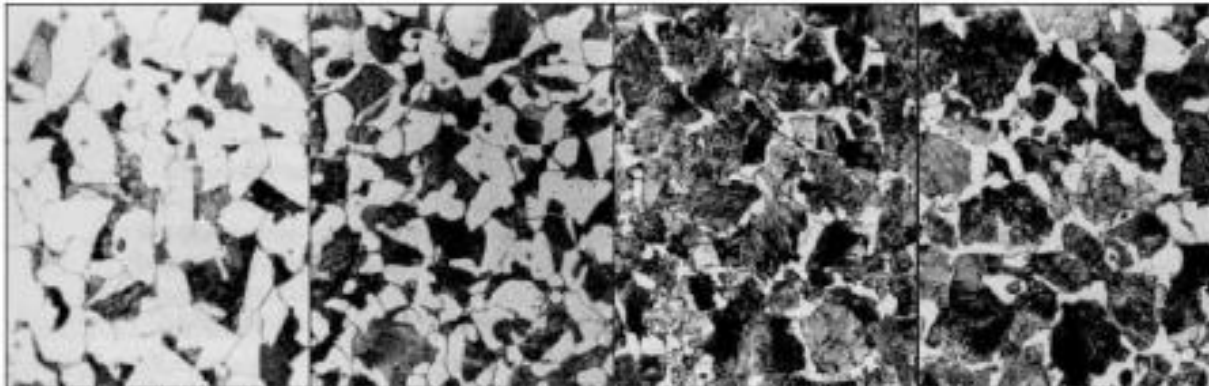


1 Austenit (18% Cr, 8 % Ni)

2 Ferrit

3 Ferrit und Perlit, 0,1% C

4 Ferrit und Perlit, 0,16% C

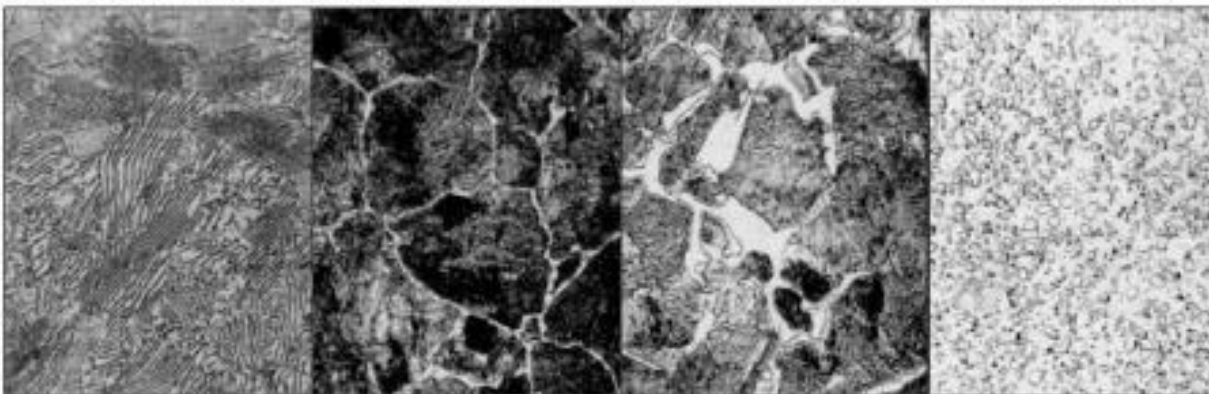


5 Ferrit und Perlit, 0,25% C

6 Ferrit und Perlit, 0,35% C

7 Ferrit und Perlit, 0,45% C

8 Ferrit und Perlit, 0,60. C



9 Lamellarer Perlit, 0,8% C

10 Perlit und Sekundärzementit, 1,1% C

10 Perlit und Sekundärzementit, 1,5% C

12 Körniger Zementit, 0,8% C

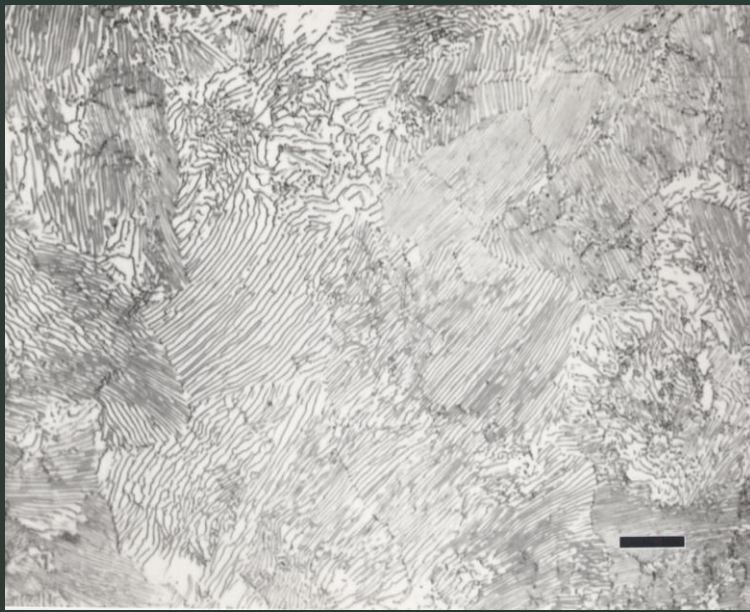
V = 500 : 1 (Bild 1 V = 100 : 1)

# ESFEROIDIZAÇÃO (Globulização) OU COALESCIMENTO

## Objetivo

Produção de uma estrutura globular ou esferoidal de carbonetos no aço

- melhora a usinabilidade, especialmente dos aços alto carbono
- facilita a deformação a frio



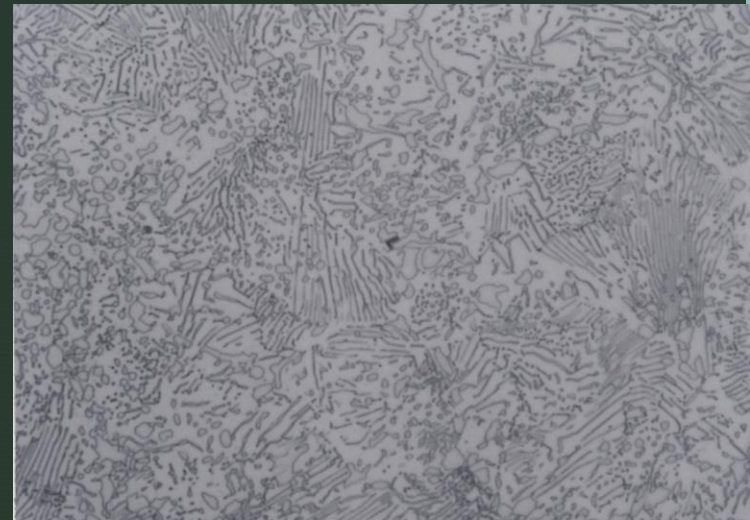
Annealed Fe – 1.15% C steel with a coarse lamellar pearlite microstructure and some large **globular cementite particles**.

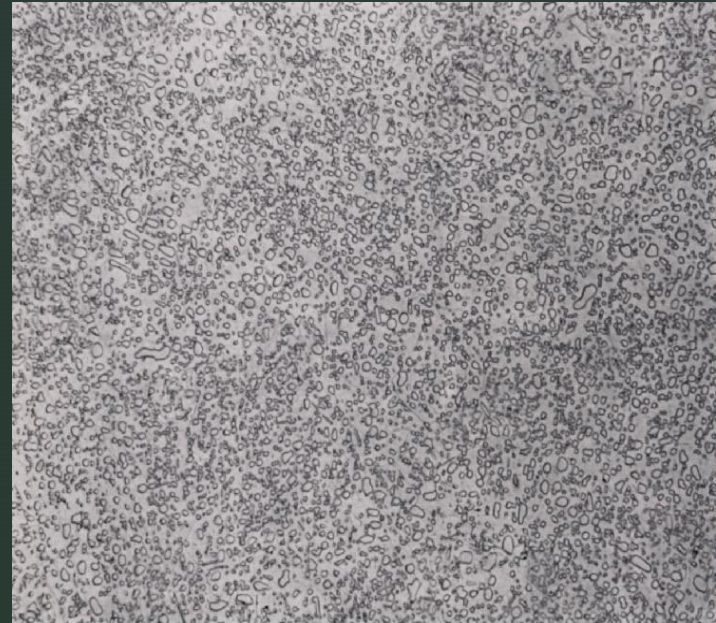
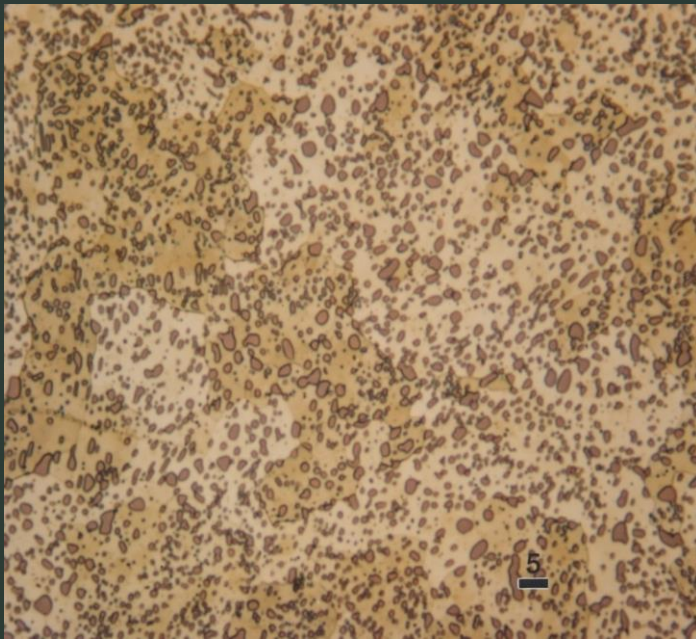
Heat treatment was: 800 °C (1472 °F) – 1 h, furnace cool.

Etched with 4% picral.

Original at 1000X. Black spots are inclusions.

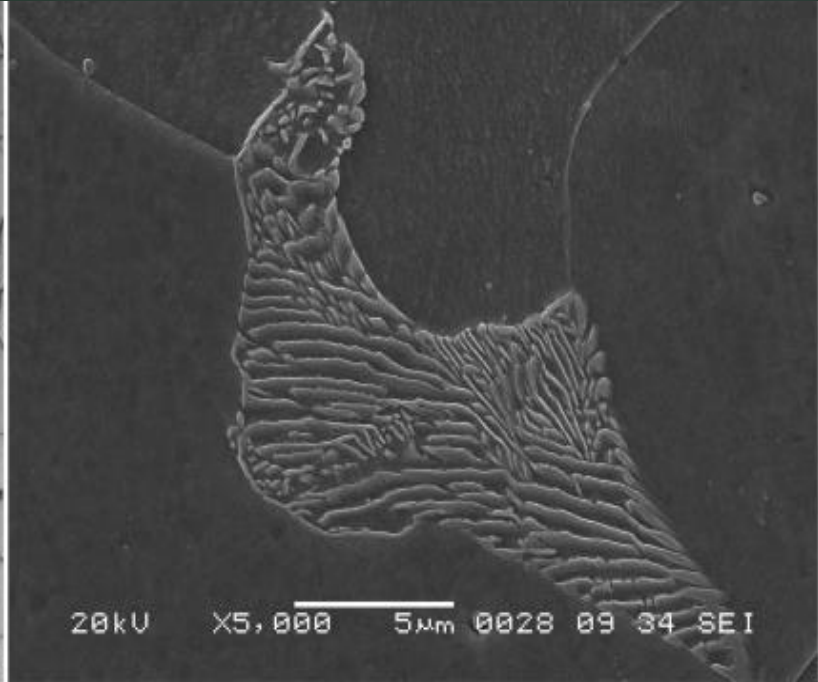
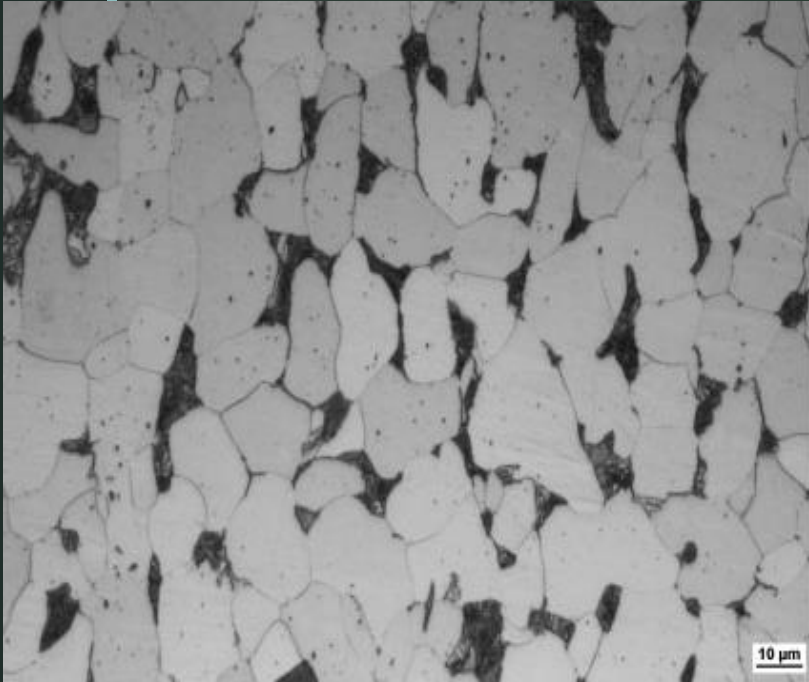
**Coarse lamellar pearlite in a hot-rolled Fe – 0.8% C binary alloy. Picral etch. Magnification bar is 20 μm in length.**



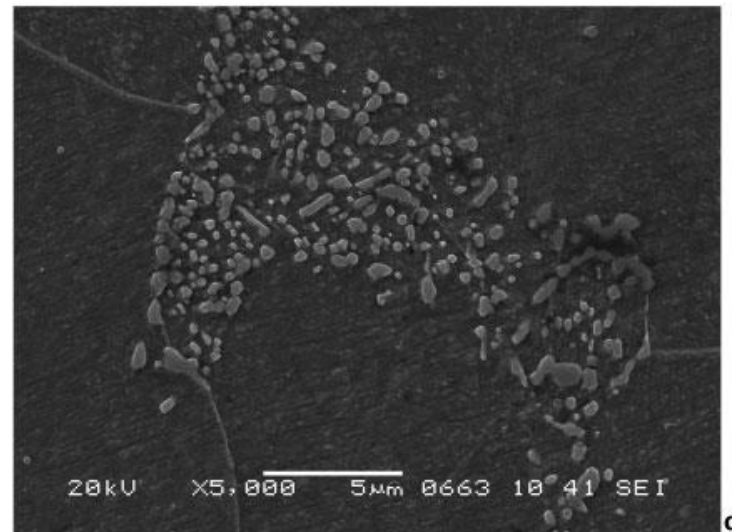
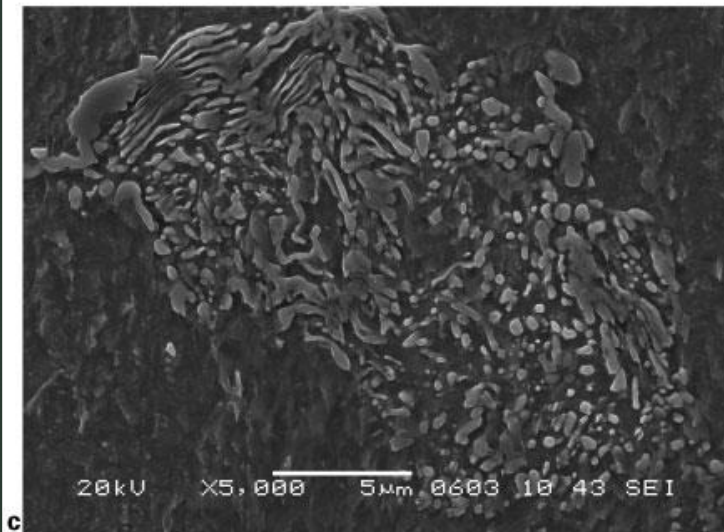
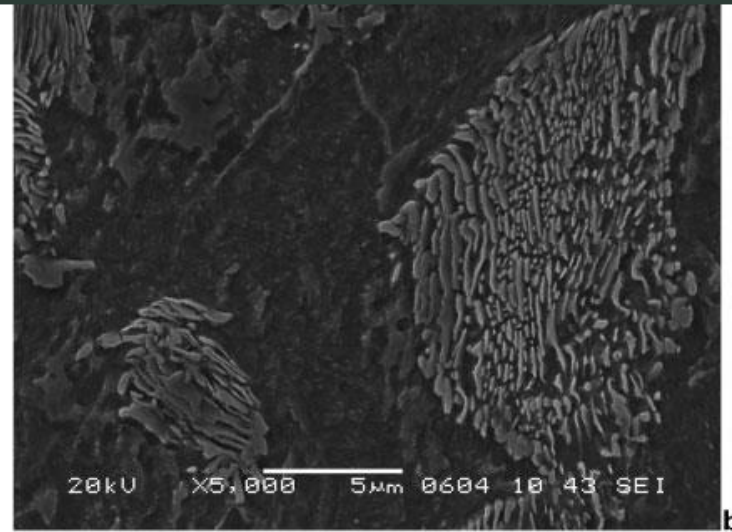
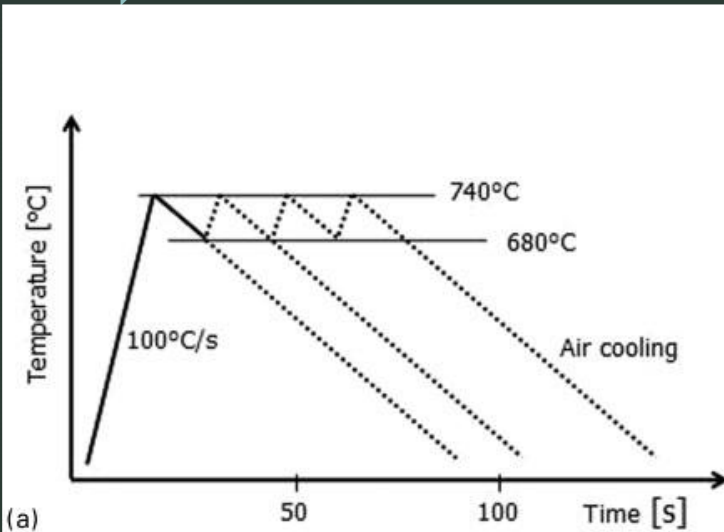


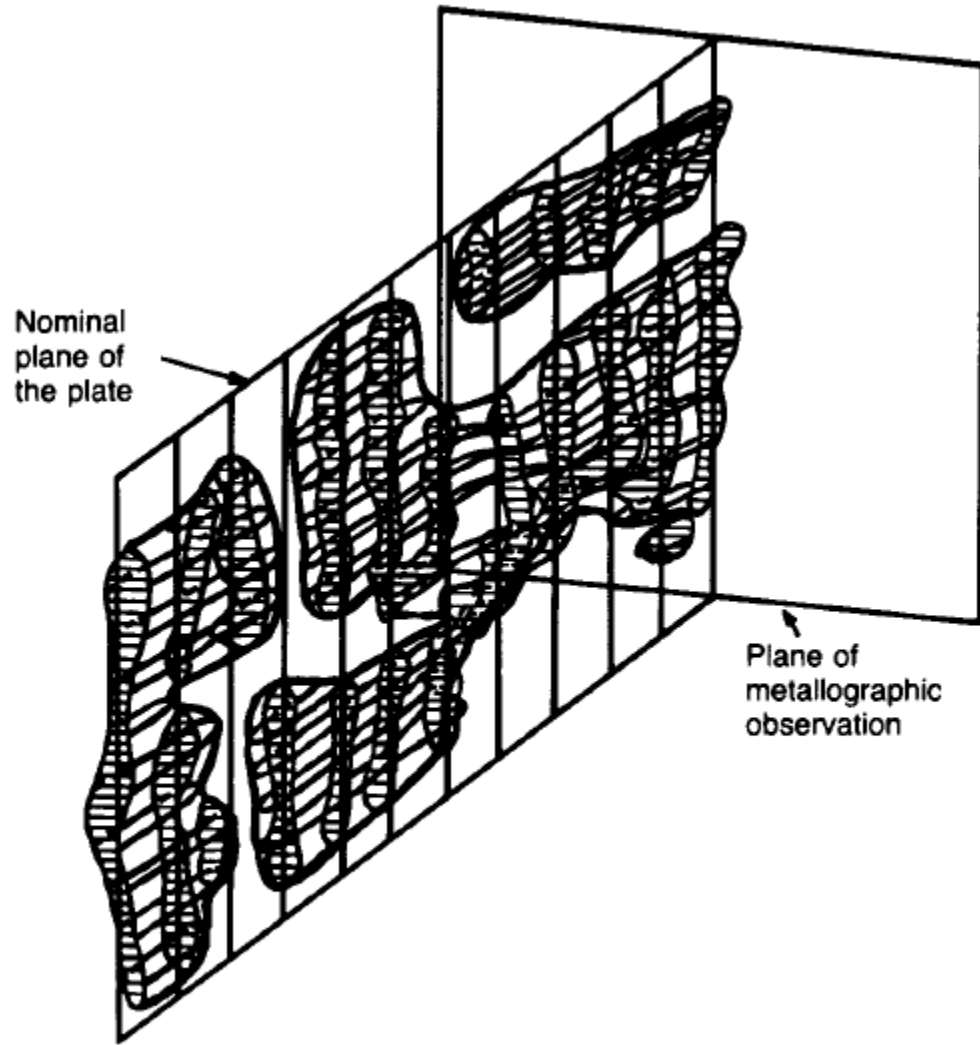
Spheroidize annealed microstructure of type W1 carbon tool steel (Fe - 1.05% C – 0.25% Mn – 0.2% Si) etched with Beraha's sodium molybdate reagent which colored both the cementite particles (brownish red) and the ferrite matrix. Original at 1000X.

# Esferoidização



# Esferoidização



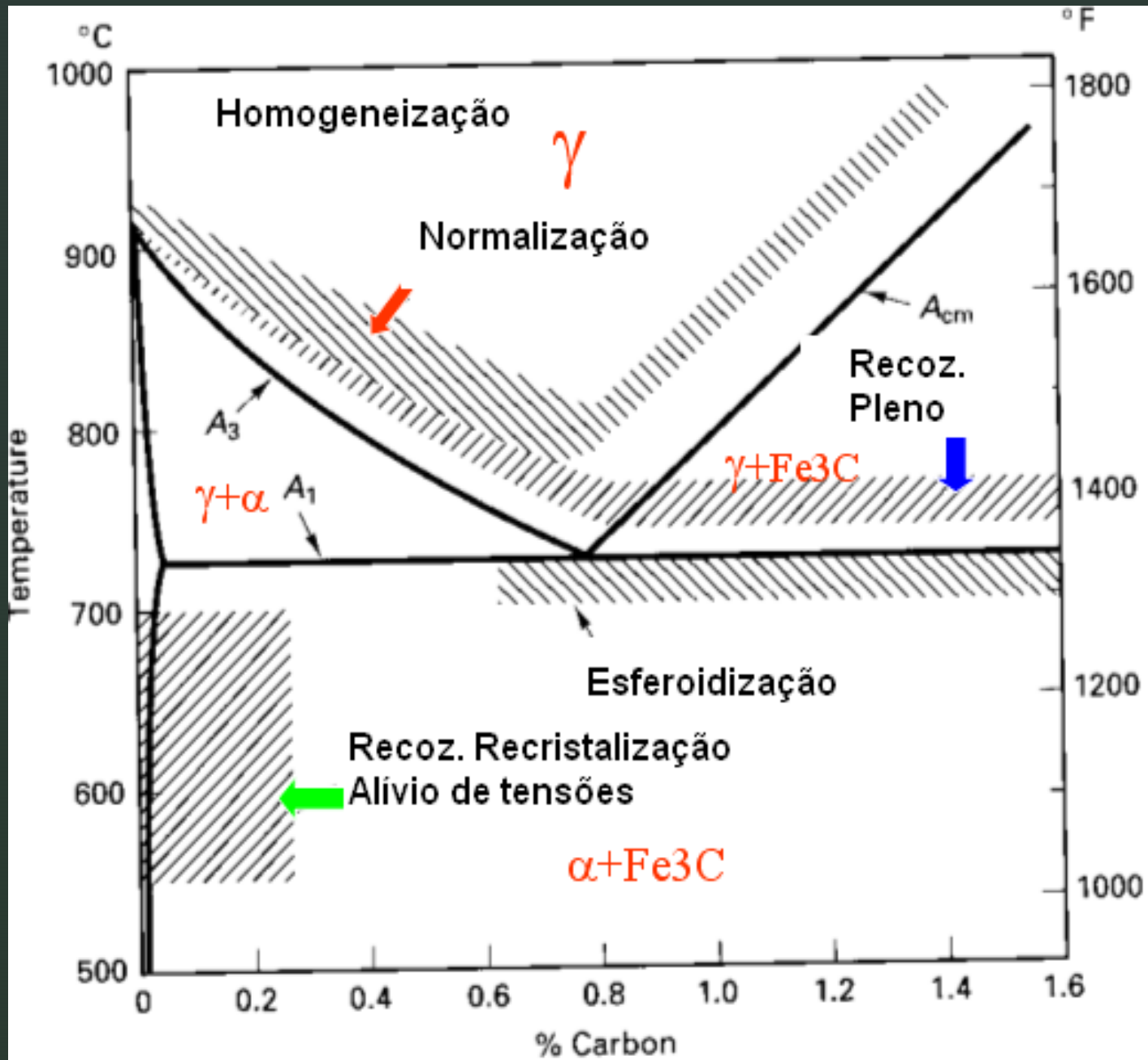


**Fig. 13.6** Representation of partial spheroidization of a cementite plate or lamella in coarse pearlite in a high Si steel annealed for 150 h at 700 °C (1290 °F). Source: Ref 13.10

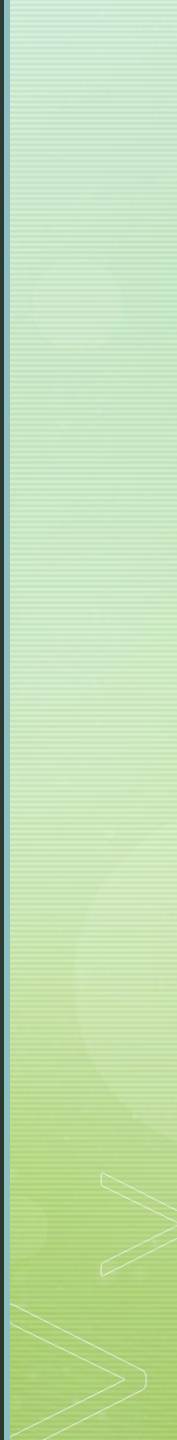


**Aquecimento por tempo prolongado a uma temperatura logo abaixo da linha inferior da zona crítica,**

**Aquecimento e resfriamentos alternados entre temperaturas que estão logo acima e logo abaixo da linha inferior da zona crítica.**



# Normalização



# NORMALIZAÇÃO

- **Temperatura**

Hipoeutetóide e eutetóide → 30° C  
acima do recozimento pleno

Hipereutetóide → 50° C acima do limite  
superior da zona crítica

- **Resfriamento**

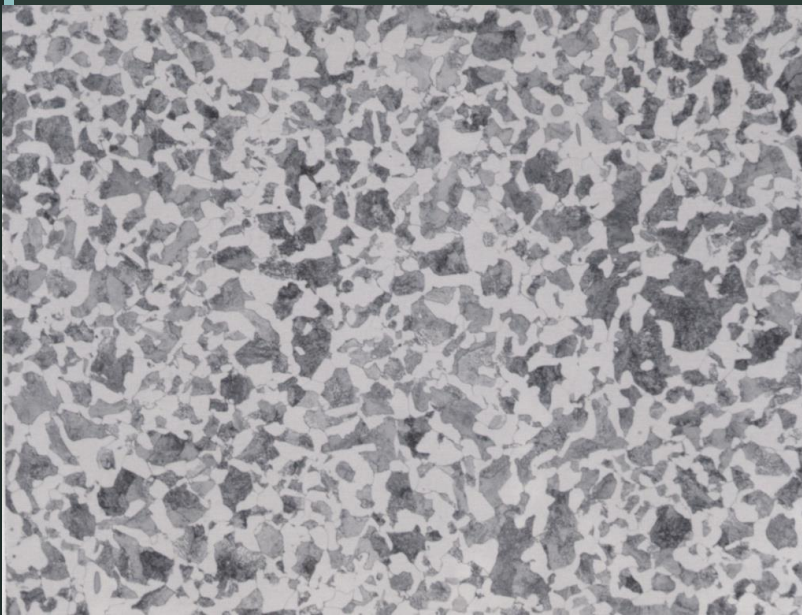
Ao ar (calmo ou forçado)

Hipoeutetóide → ferrita + perlita fina

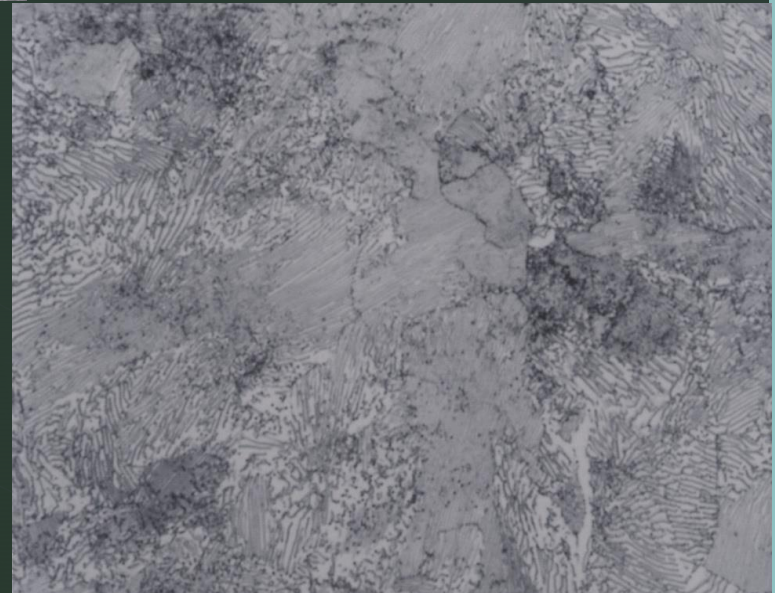
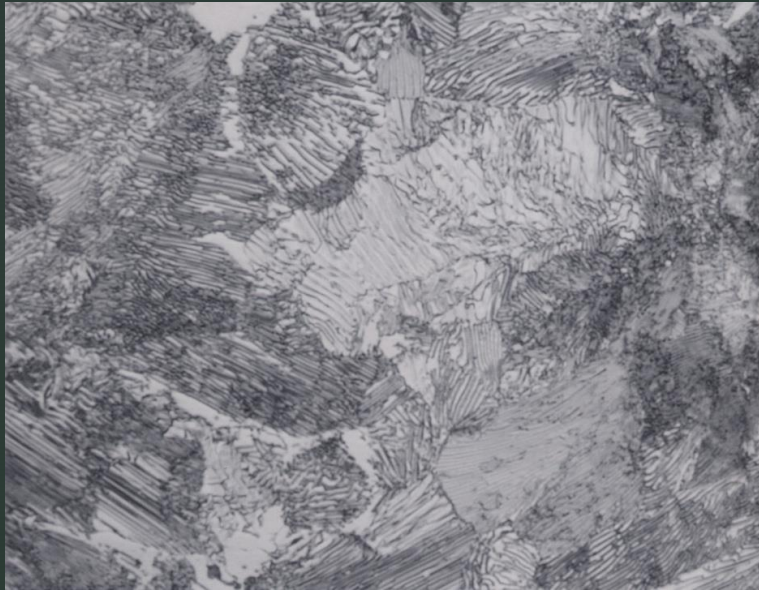
Eutetóide → perlita fina

Hipereutetóide → perlita fina

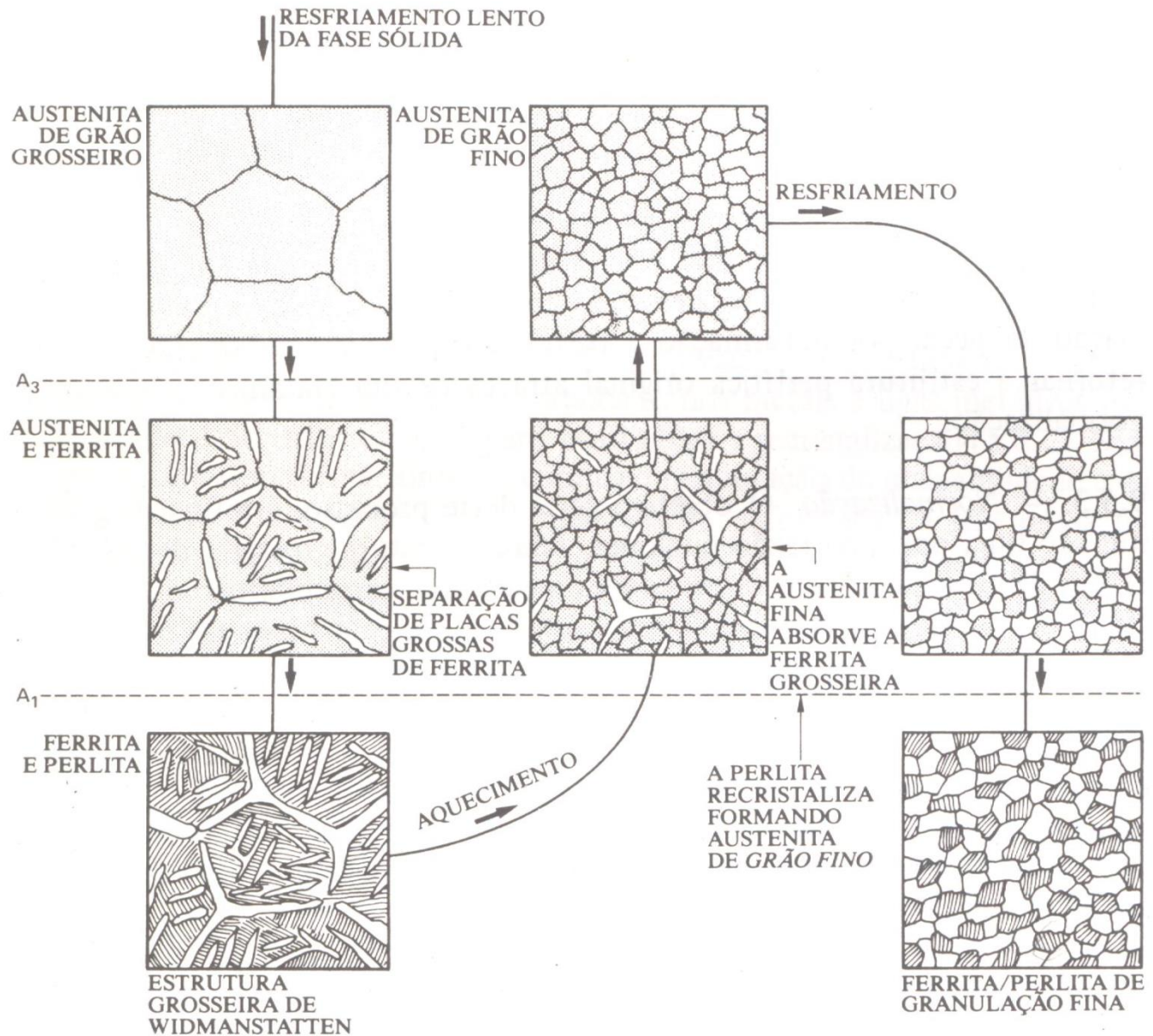
- \* Em relação ao recozimento a microestrutura é mais fina, apresenta menor quantidade e melhor distribuição de carbonetos



Fe – 0.4% C – 0.75% Mn – 0.20%Si



Fe – 0.80% C – 0.21% Mn – 0.22% Si





kaltverformtes  
Gefüge



grobkörniges  
Gefüge



Perlit      Ferrit

Widmannstätten-  
sches Gefüge

Normalglühen



normalisiertes Gefüge

**O espaçamento interlamelar na perlita depende da velocidade de resfriamento.**

**Para aumentar a difusão, o espaçamento entre as lamelas diminui, pois se reduz distância que o C percorre para se distribuir entre a ferrita e a cementita.**

## Em resumo:

O aumento da velocidade de resfriamento conduz a estruturas com mais perlita (hipo) e cada vez mais finas, tanto dos grãos ferríticos como da perlita .

Assim o controle da velocidade de resfriamento é então um meio de controlar a microestrutura dos aços.

## Aço SAE 4340 (Ni – Cr – Mo)

Tratamento térmico	Limite Resist. Tração MPa	Tensão Escoam. MPa	Alongam. %	Redução Área %	Dureza HB
Recoz.					
Normalizado					

1448

972

22

35

217

745

470

12

50

388