



PME 3430

Materiais para Construção Mecânica

Profs. Drs.: Newton K. Fukumasu, Deniol K. Tanaka & Amilton Sinatora

Referências:

CALLISTER, William D., *Materials science and engineering: an introduction*. 8ed. New York: John Wiley, 2009. 122p. ISBN-13: 978-0-471-73696-7

MEYERS, M. A. & Chawla K. K. *Mechanical Behavior of Materials*. Prentice Hall, 1999, 680. ISBN 0-13-262817-1 2



Cronograma de Atividades – 1º Semestre 2017

Proposta – 2

Aula	Data	Tópico do Programa
01	08/03	Apresentação da disciplina, critérios de avaliação e revisão de conceitos
02	15/03	Definição dos temas de trabalho e revisão de conceitos
03	22/03	Processamento de ligas metálicas (fundição)
04	29/03	Processamento de ligas metálicas (laminação e forjamento)
05	05/04	Tratamento térmico de ligas metálicas (diagrama TTT)
-	12/04	SEMANA SANTA – Não haverá aula
06	19/04	Tratamento de superfícies de ligas metálicas (químico e mecânico)
07	26/04	Processamento de polímeros (polimerização, borrachas e vulcanização)
08	03/05	Polímeros avançados (vítreos, piezos)
09	10/05	PROVA – P1 e entrega de TRABALHOS – T1
10	17/05	Processamento de cerâmicas (fundição e sinterização)
11	24/05	Processamento de cerâmicas (tratamento térmico)
12	31/05	Cerâmicas avançadas (piezos e termo-elétricos)
13	07/06	Recobrimentos cerâmicos (carbonetos, nitretos, óxidos)
14	14/06	Compósitos metal/cerâmicos (ferramentaria)
15	21/06	Compósitos polímero/cerâmicos (fibras de carbono, aramida)
16	28/06	Entrega de TRABALHOS – T2
17	05/07	PROVA – P2
18	07/07	PROVA Substitutiva

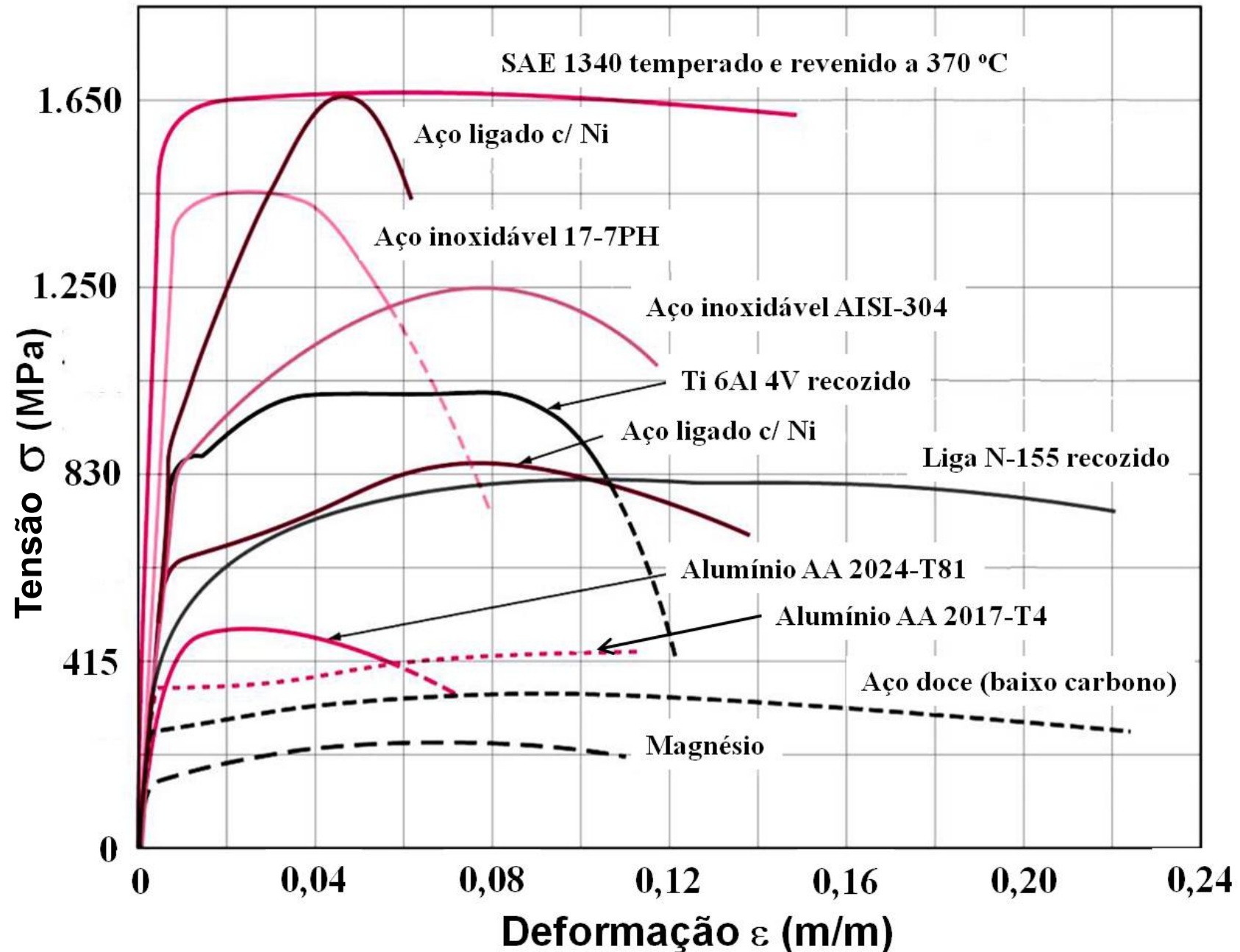


Cronograma de Atividades – 1º Semestre 2017

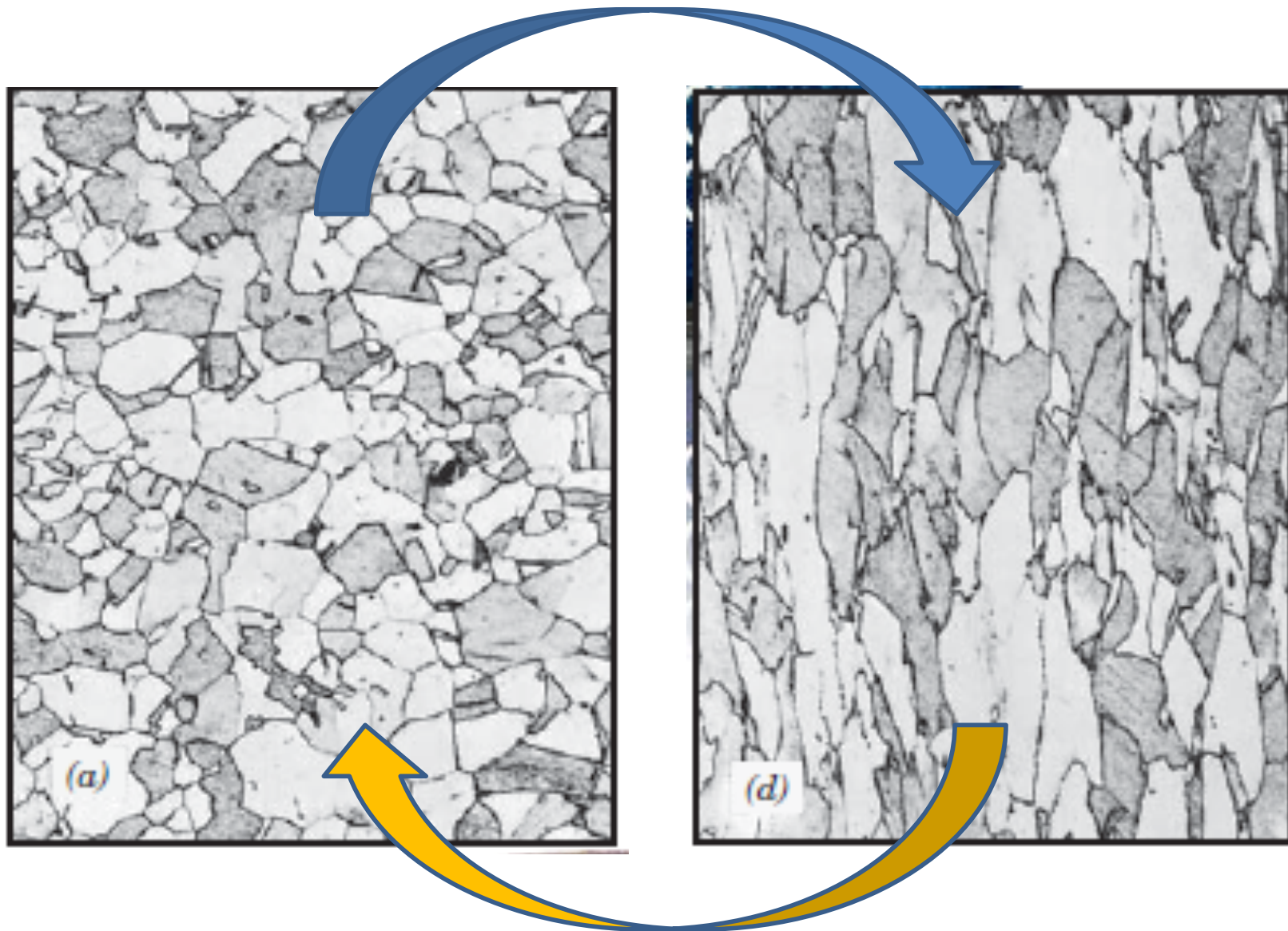
Proposta – 2

Aula	Data	Tópico do Programa
01	08/03	Apresentação da disciplina, critérios de avaliação e revisão de conceitos
02	15/03	Definição dos temas de trabalho e revisão de conceitos
03	22/03	Processamento de ligas metálicas (fundição)
04	29/03	Processamento de ligas metálicas (laminação e forjamento)
05	05/04	Tratamento térmico de ligas metálicas (diagrama TTT)
-	12/04	SEMANA SANTA – Não haverá aula
06	19/04	Tratamento de superfícies de ligas metálicas (químico e mecânico)
07	26/04	Ligas contra corrosão (Aço Inox)
08	03/05	Aula de exercícios
09	10/05	PROVA – P1 e entrega de TRABALHOS – T1
10	17/05	Processamento de Polímeros (polimerização, vulcanização, temperatura vítrea)
11	24/05	Processamento de Cerâmicas (fundição, sinterização, tratamento térmico)
12	31/05	Cerâmicas avançadas (piezos e termo-elétricos)
13	07/06	Recobrimentos cerâmicos (carbonetos, nitretos, óxidos)
14	14/06	Compósitos metal/polímero/cerâmicos (fibras de carbono, aramida)
15	21/06	Aula de exercícios
16	28/06	Entrega de TRABALHOS – T2
17	05/07	PROVA – P2
18	07/07	PROVA Substitutiva

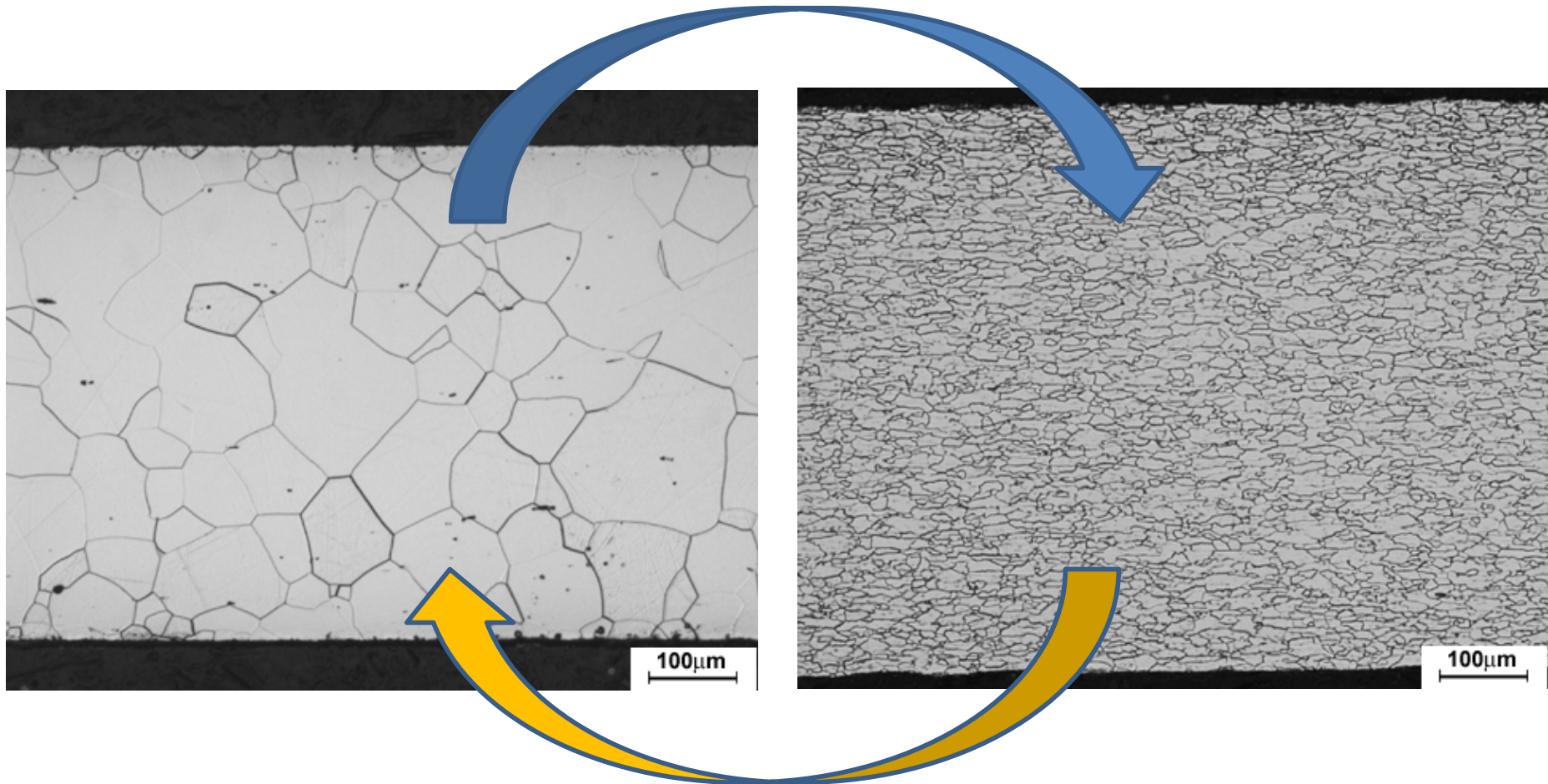
Curva tensão X deformação de metais



Laminação e Forjamento



Laminação e Forjamento

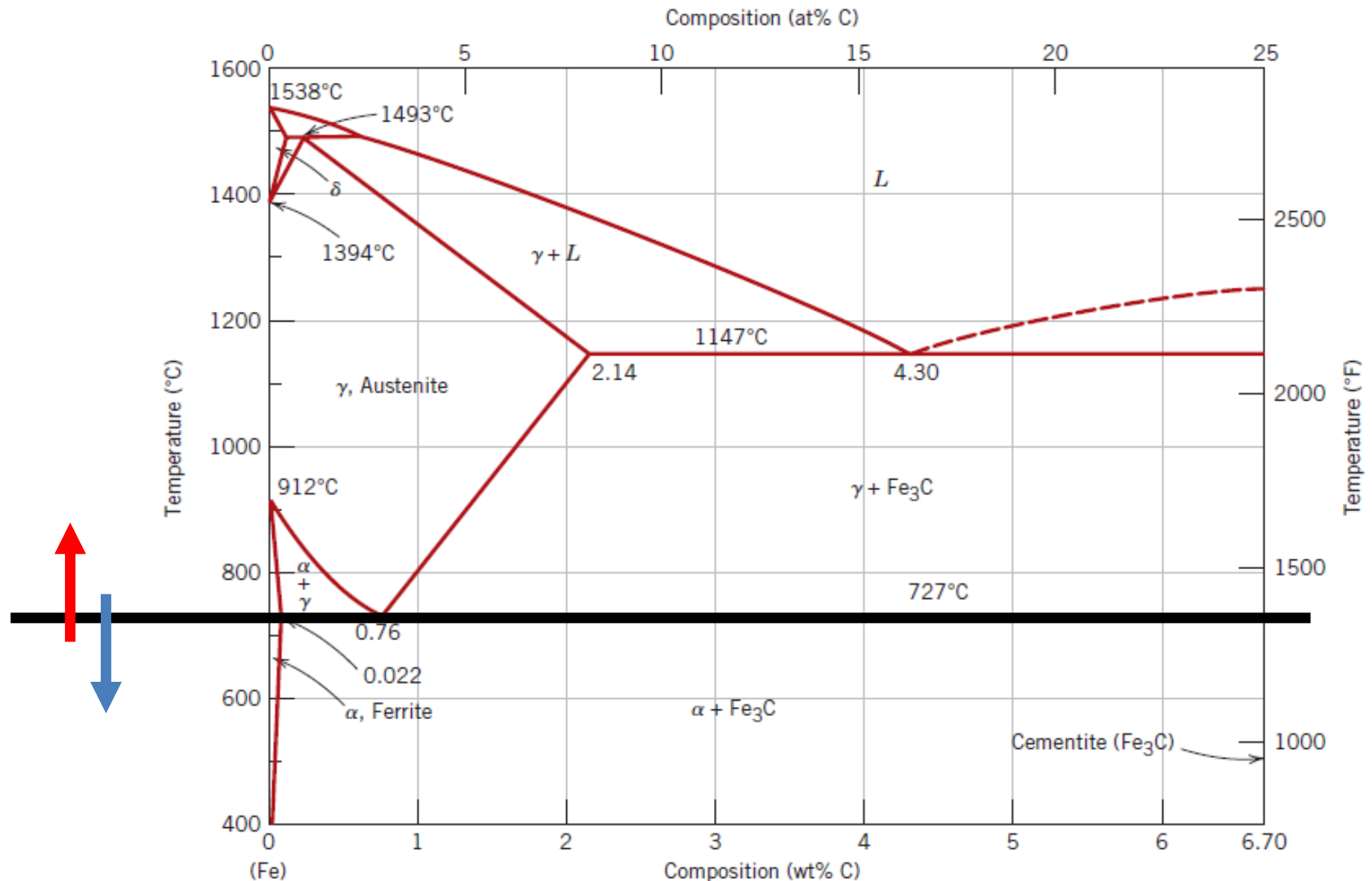




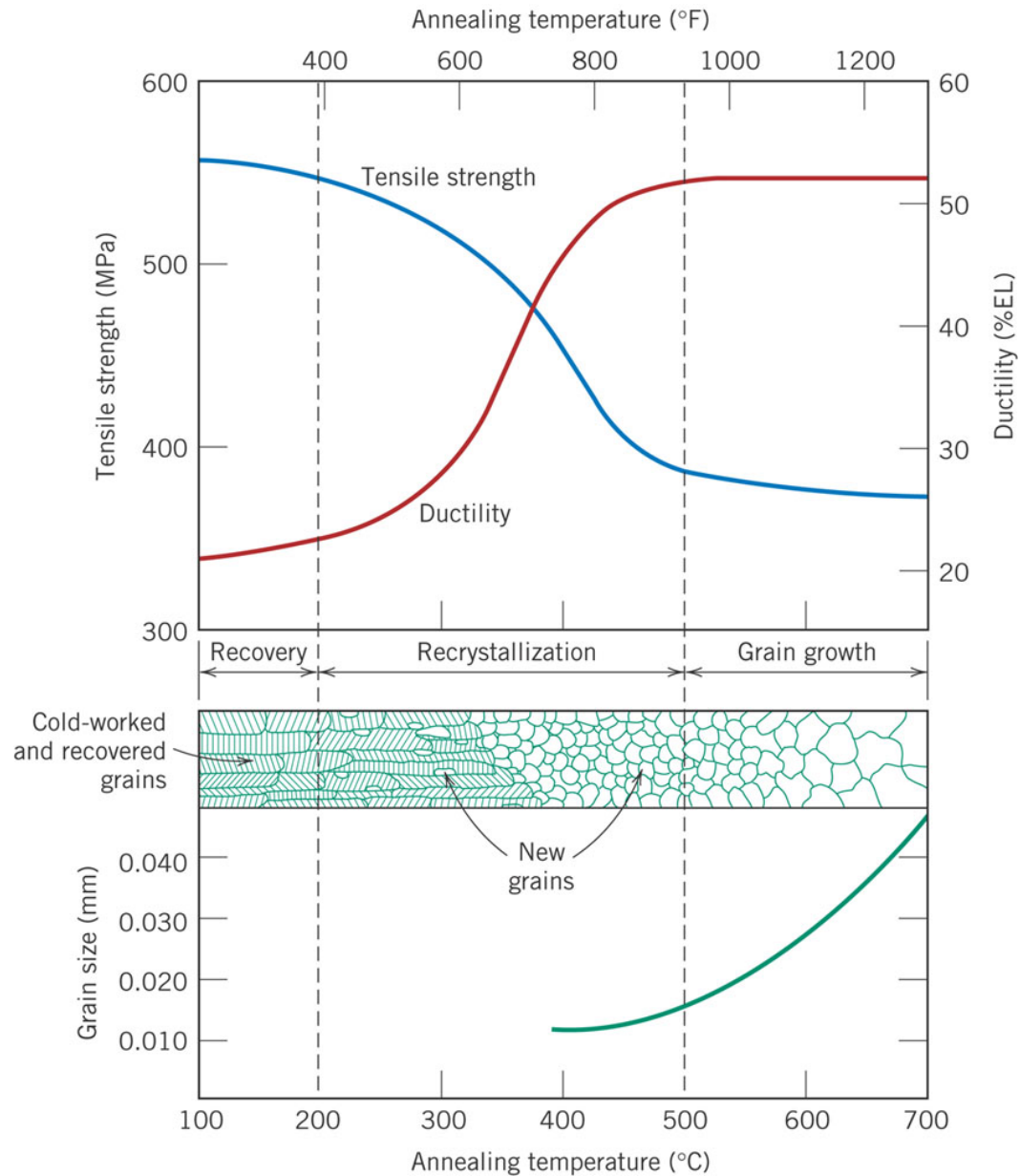
Tratamentos Térmicos

- ❖ **Crescimento de grão**
- ❖ **Austenitização**
- ❖ **Recozimento**
- ❖ **Têmpera**
- ❖ **Revenimento**
- ❖ **Austêmpera**

Tratamento Térmico – Ferro X Carbono

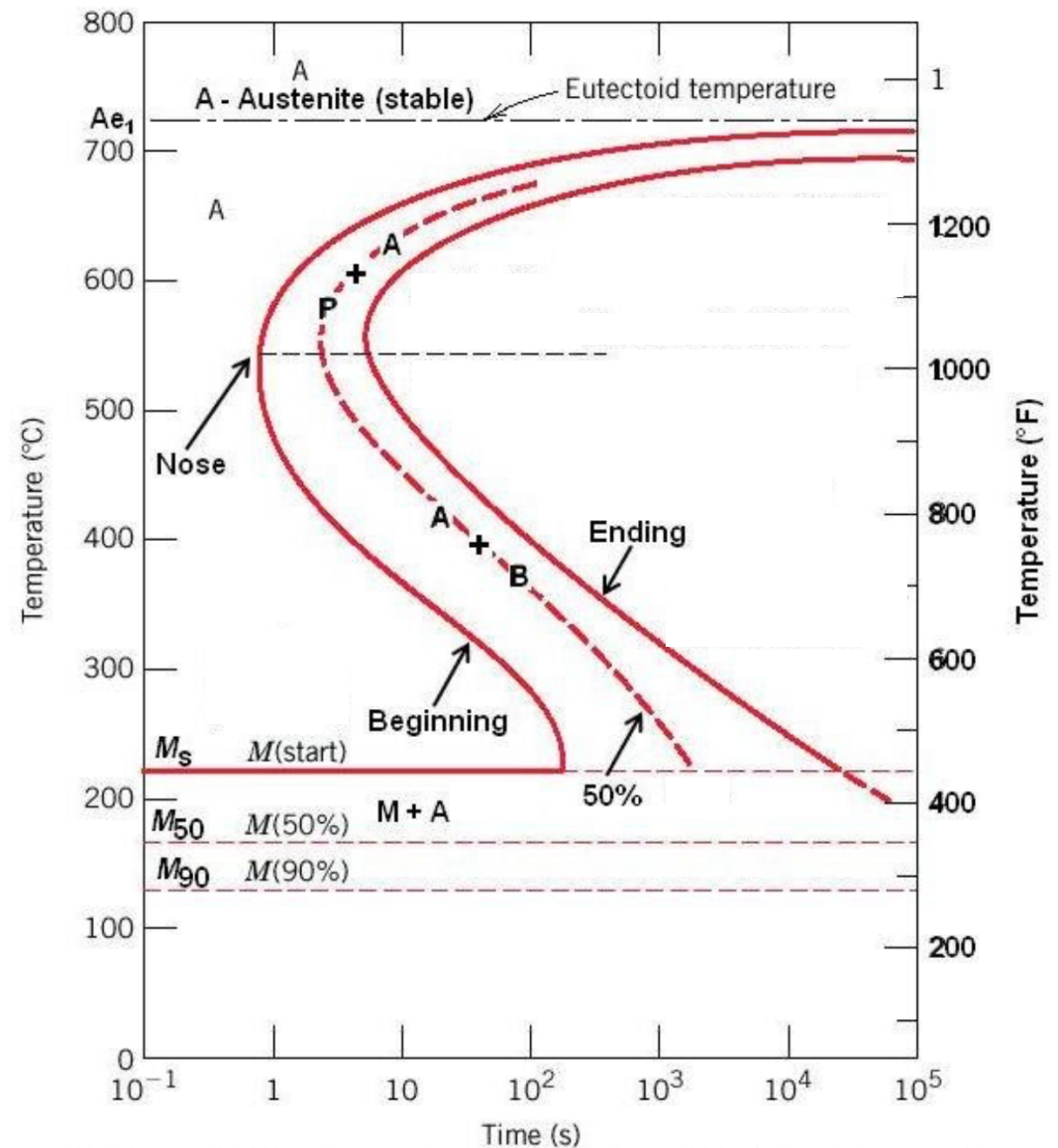


Recristalização de grãos – Aços



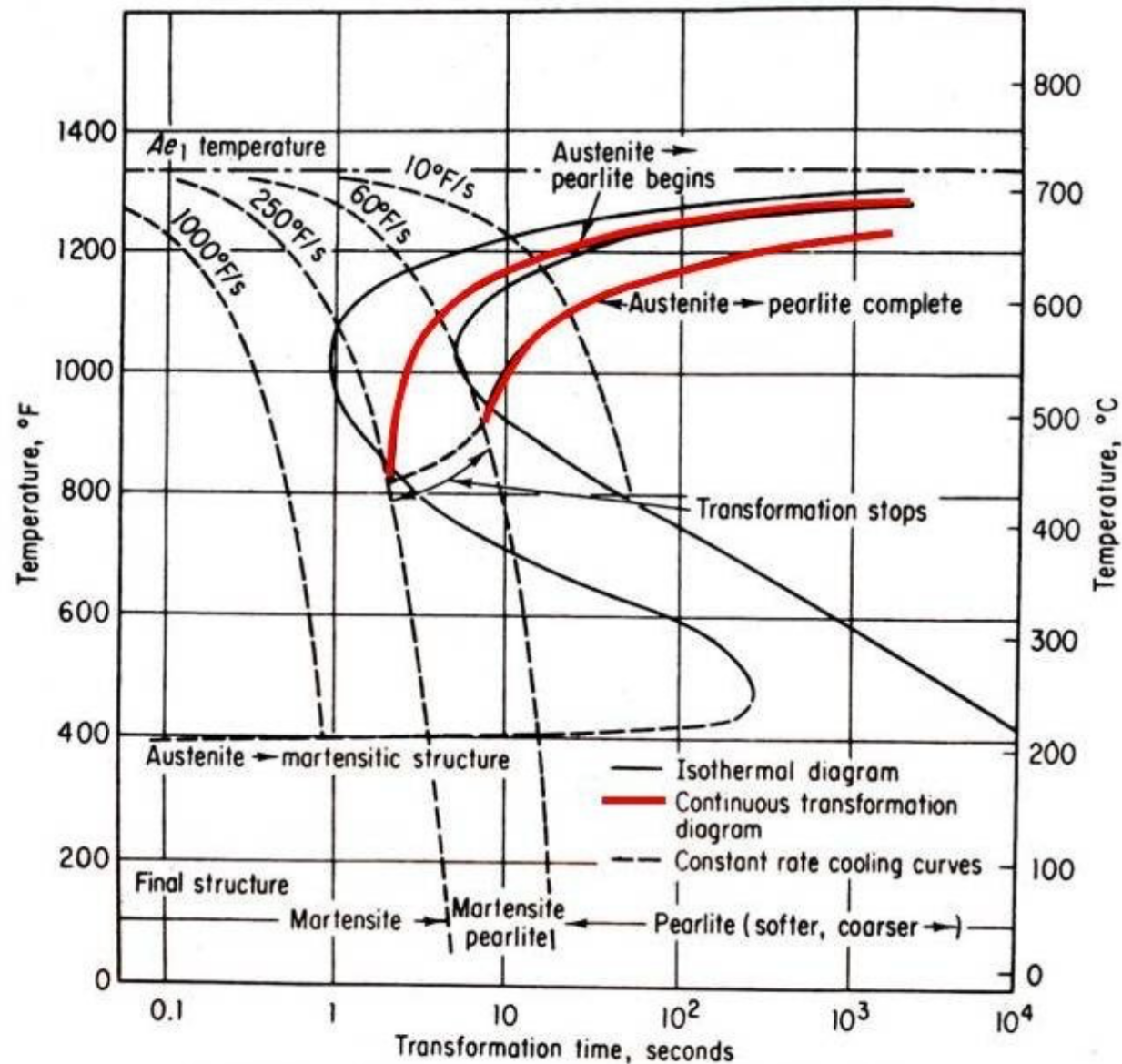
Tratamento térmico – Curva TTT

- **Curva mais à esquerda**
 - início da transformação.
- **Curva mais à direita**
 - fim da transformação
- Fases:
 - **Antes da curva (Austenita).**
 - **Depois da curva $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (Ferrita + Cementita)**
- Acima do cotovelo 550 °C
 - $\gamma = \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (Perlita)
- Abaixo do cotovelo
 - $\gamma = \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (Bainita)
- Maior temperatura de transformação
 - **Temperatura eutetóide = 727 °C**
- Menor distância entre eixo Y e a curva:
 - **Temperabilidade (tp = 1s)**
- Temperatura de início de martensita
 - **M_s (Martensite Start) = 220 °C**



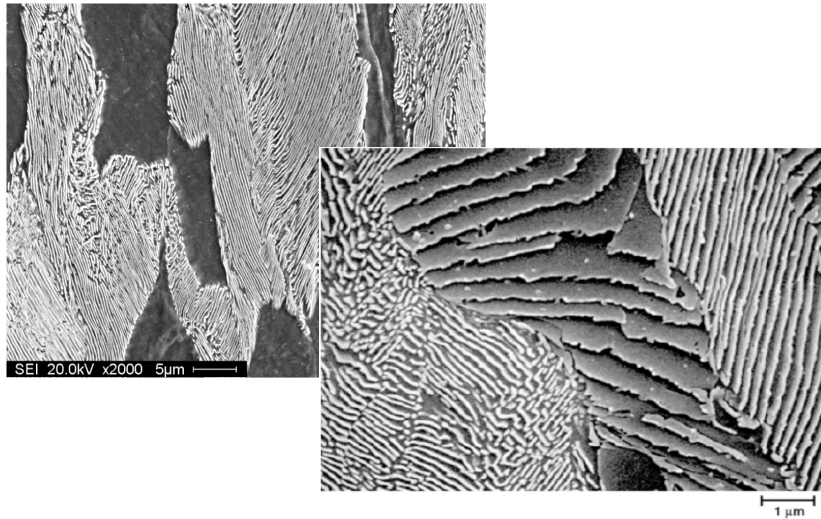
K.P. Shah, The Hand Book on Mechanical Maintenance

Tratamento térmico – Curva TTT

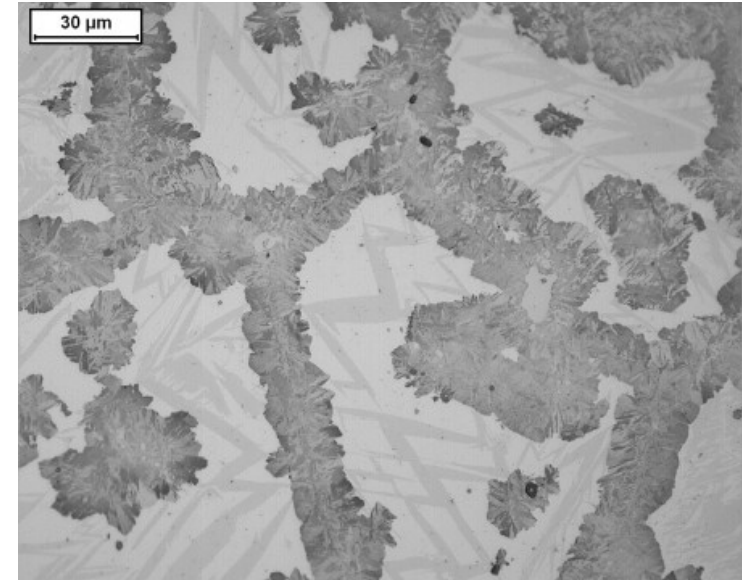


Tratamento térmico

Perlita

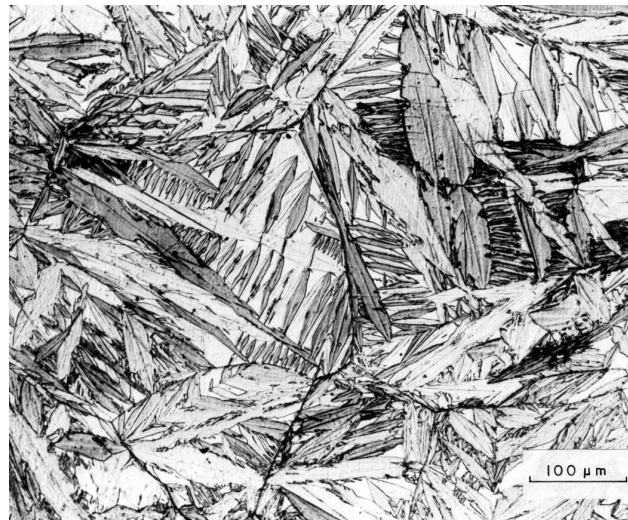


Bainita



<http://www.hero-m.mse.kth.se/page.php?pid=137>

Martensita





Tratamento térmico

❖ Dureza

❖ Austenita

❖ Hv: 150 ~ 200

❖ Ferrita

❖ Hv: 180 ~ 280

❖ Cementita

❖ Hv: 350 ~ 480

❖ Perlita

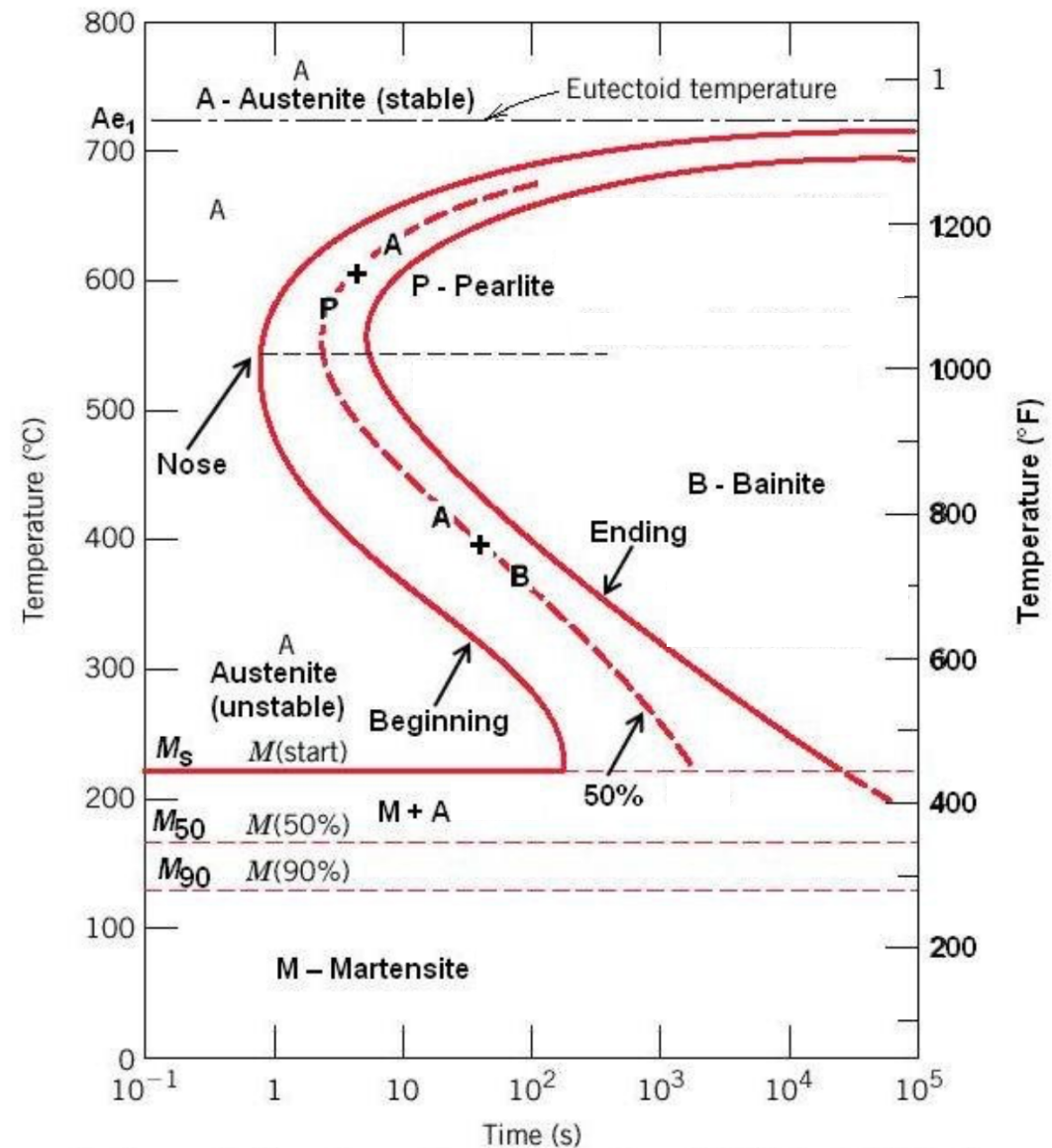
❖ Hv: 250 ~ 300

❖ Bainita

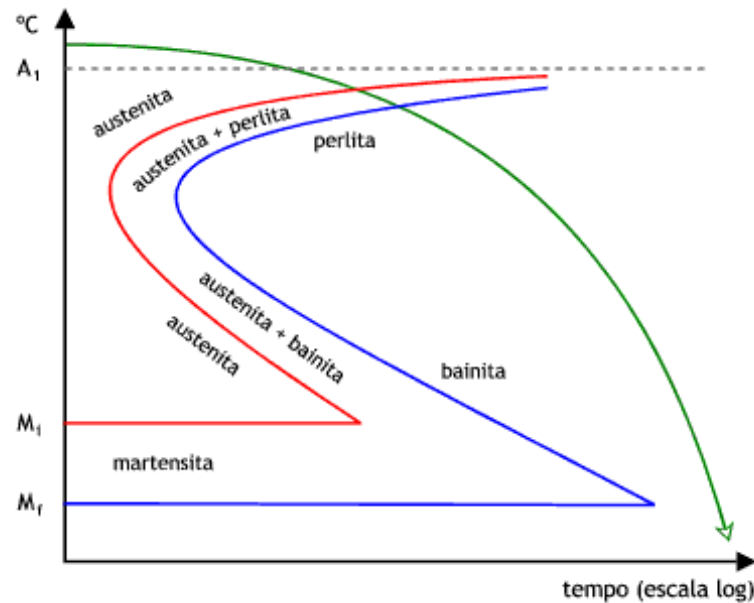
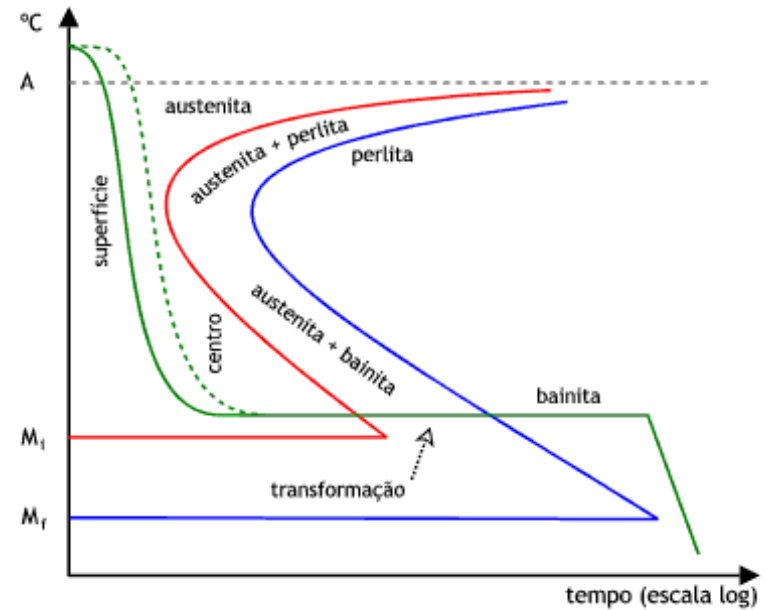
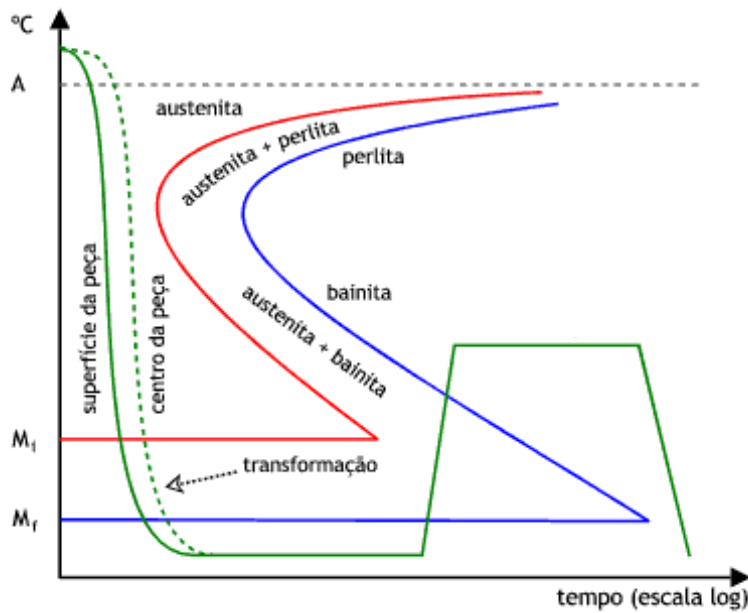
❖ Hv: 500 ~ 800

❖ Martensita

❖ Hv: 700 ~ 1200



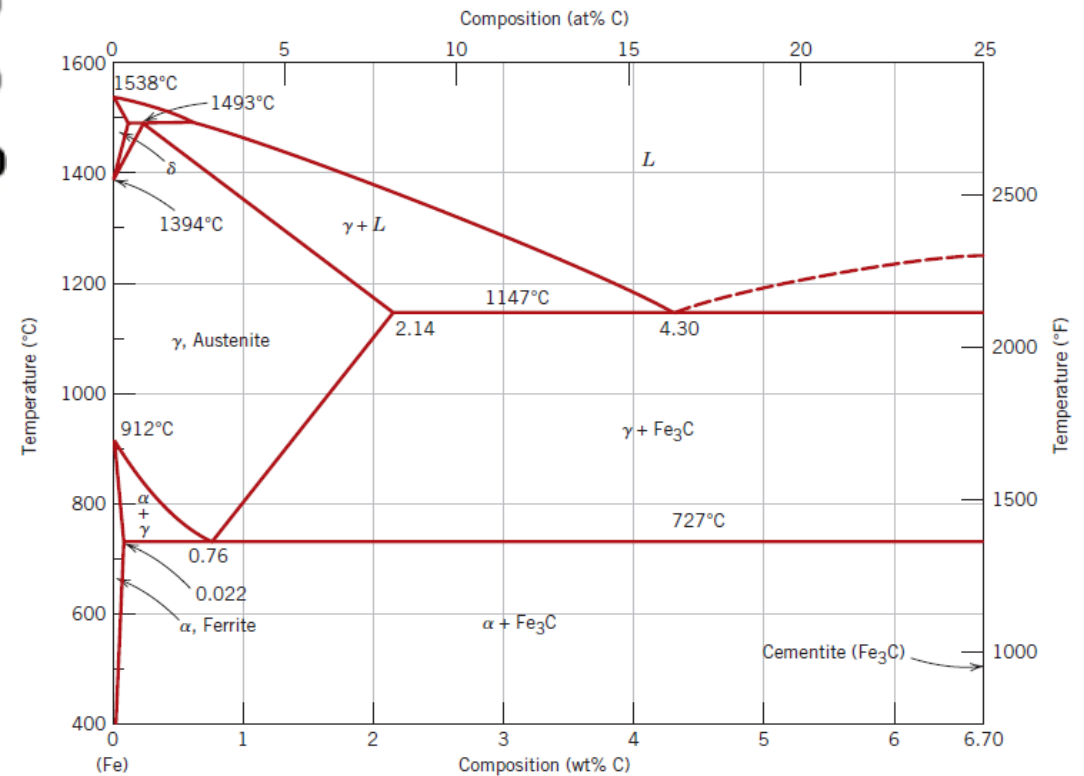
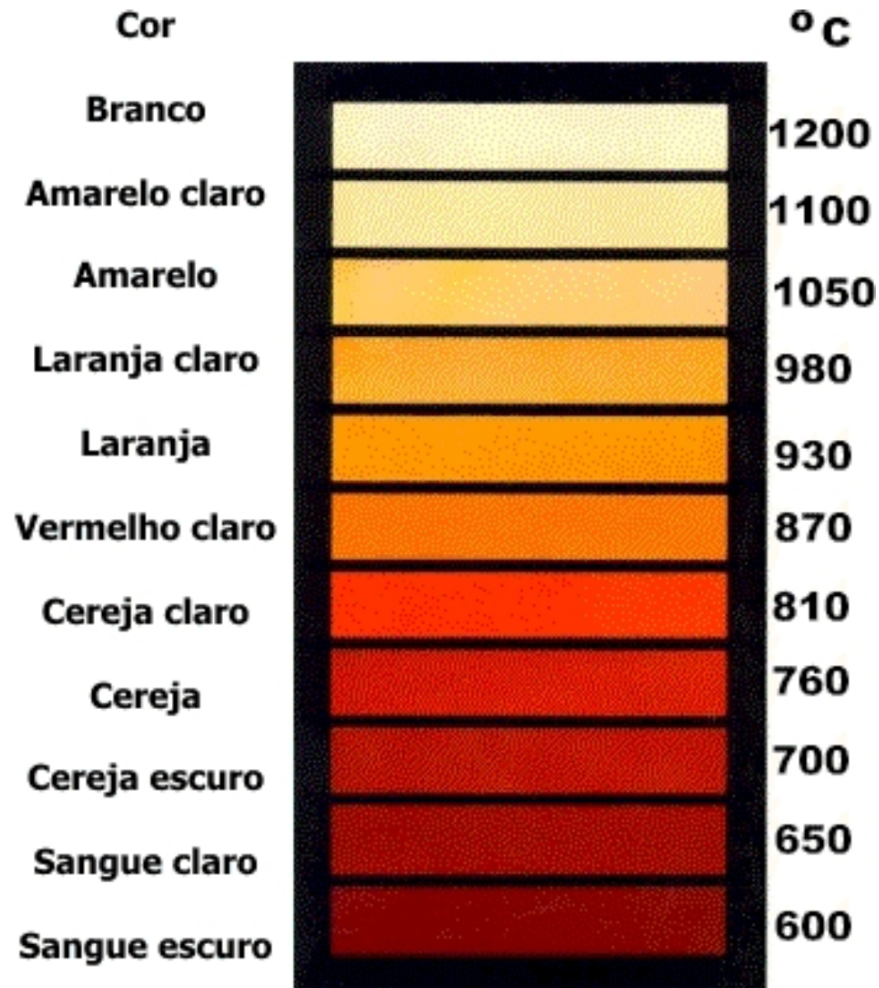
Tratamentos Térmicos



<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco130.shtml>



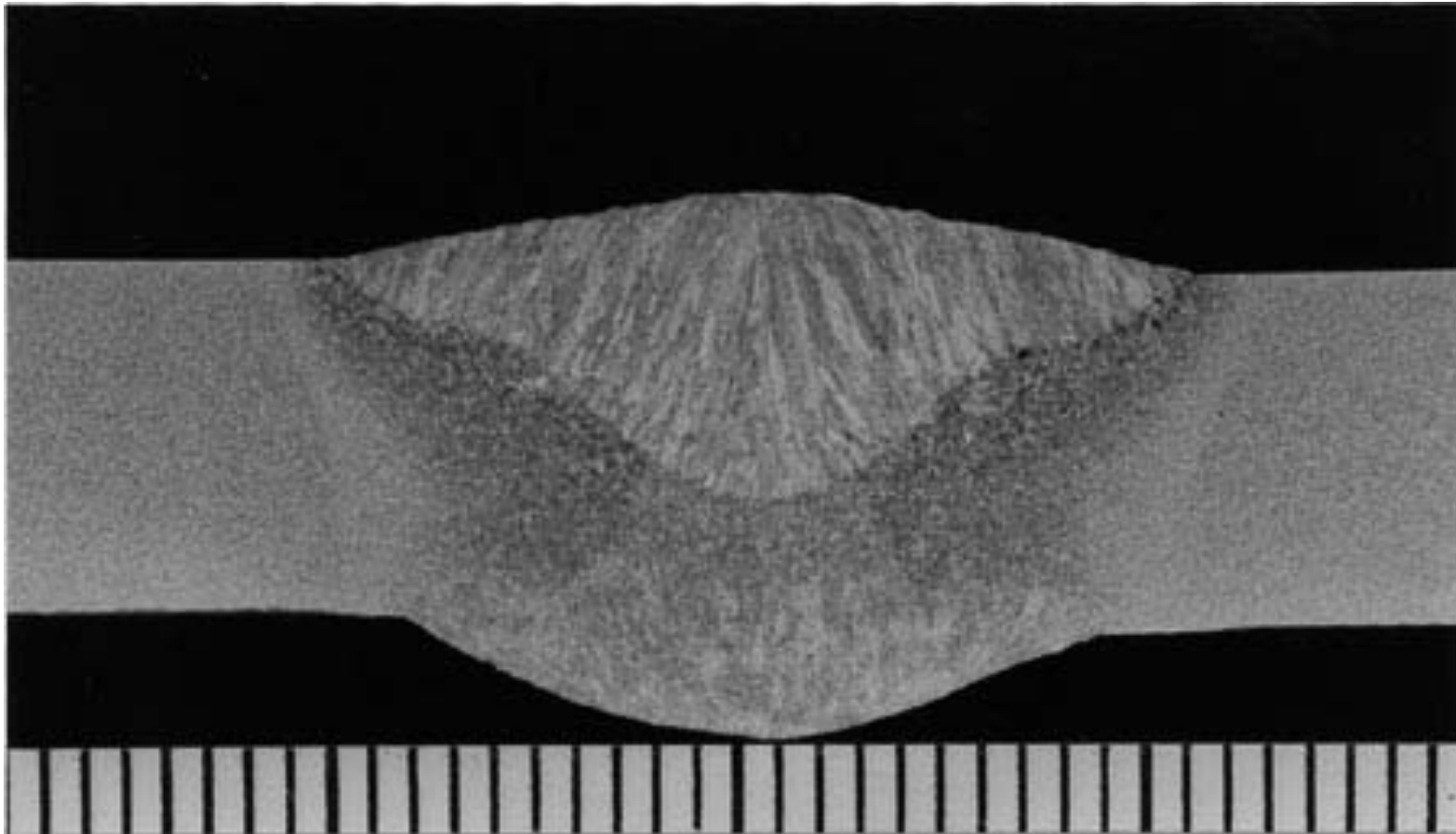
Tratamentos Térmicos





Processo com Tratamento Térmico

❖ Soldagem



<http://www.kobelco-welding.jp/portuguese/education-center/medium/medium02.html>



Tratamentos Superficiais



Tratamentos Termo-Mecânicos Localizados

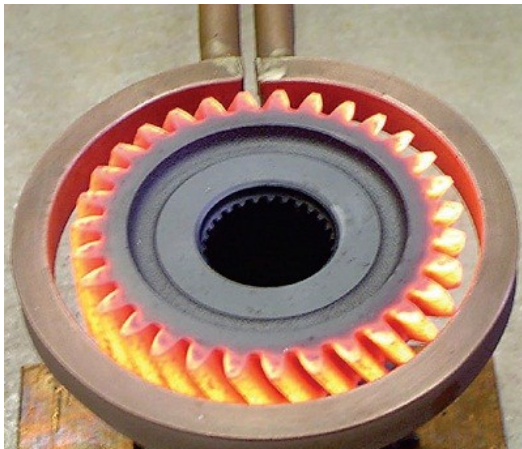
- ❖ **Modificação das superfícies**
 - ❖ **Sem mudança de composição**
 - ❖ **Tratamentos térmicos localizados (Têmpera Superficial)**
 - ❖ **Deformação plástica (Shot Peening)**
 - ❖ **Acabamento superficial (Rugosidade, Texturização)**
 - ❖ **Com mudança de composição**
 - ❖ **Cementação (Carburizing)**
 - ❖ **Nitretação (Nitriding)**
 - ❖ **Boretação**
 - ❖ **Carbo-Nitretação**
- ❖ **Recobrimento das superfícies**



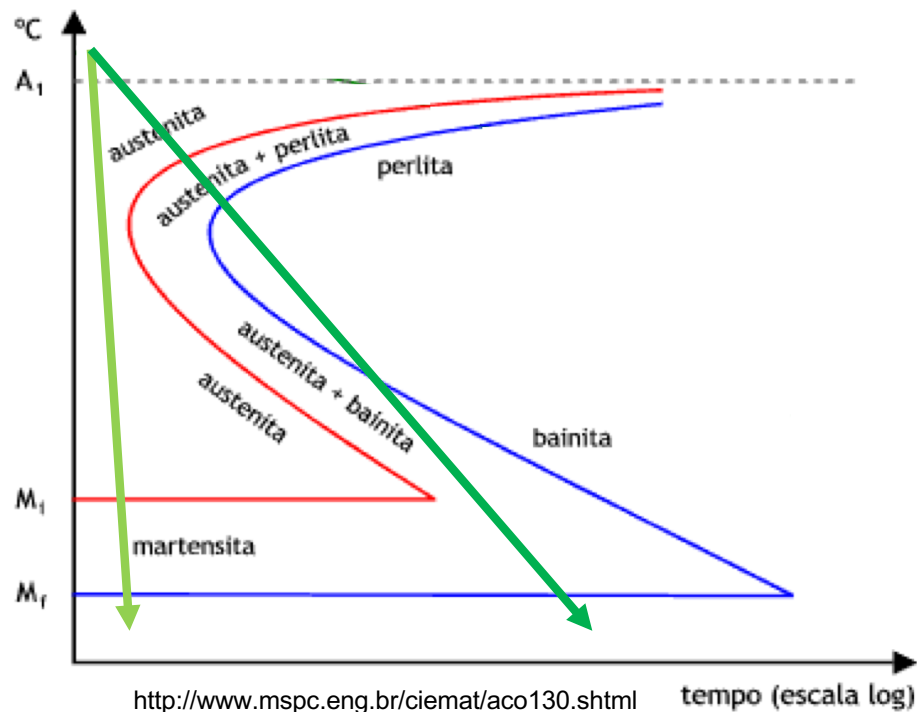
Tratamentos Termo-Mecânicos Localizados

- ❖ **Modificação das superfícies**
 - ❖ **Sem mudança de composição**
 - ❖ **Tratamentos térmicos localizados (Têmpera Superficial)**
 - ❖ Deformação plástica (Shot Peening)
 - ❖ Acabamento superficial (Rugosidade, Texturização)
 - ❖ **Com mudança de composição**
 - ❖ Cementação (Carburizing)
 - ❖ Nitretação (Nitriding)
 - ❖ Boretação
 - ❖ Carbo-Nitretação
- ❖ **Recobrimento das superfícies**

Têmpera superficial



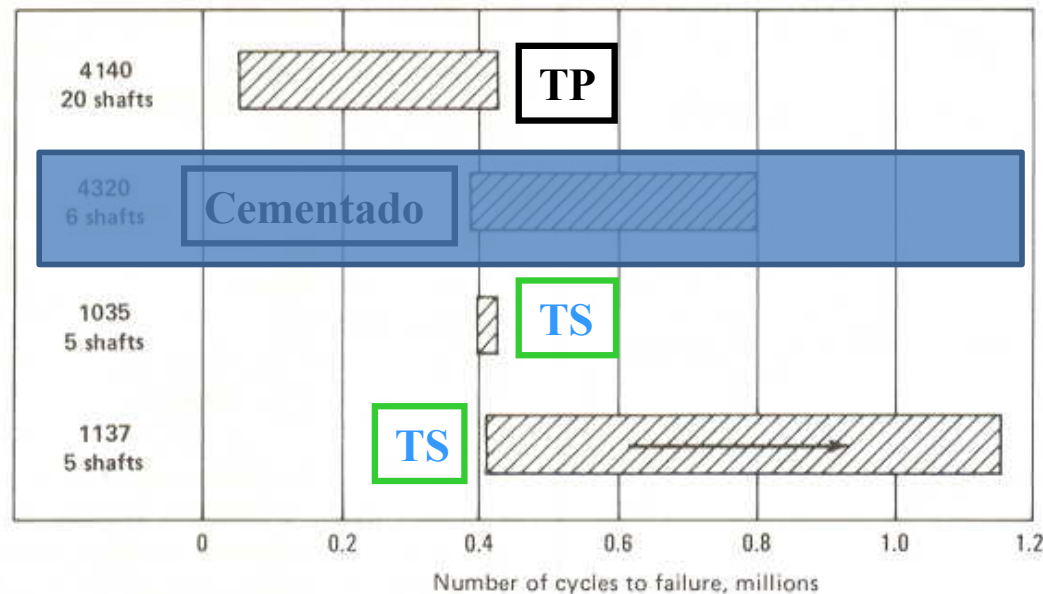
http://www.solucoesindustriais.com.br/images/produtos/magens_885/p_maquina-de-tempera-por-inducao-14.jpg



Têmpera superficial

Resistência à Fadiga

Fig. 17 Effect of carburizing and surface hardening on fatigue life



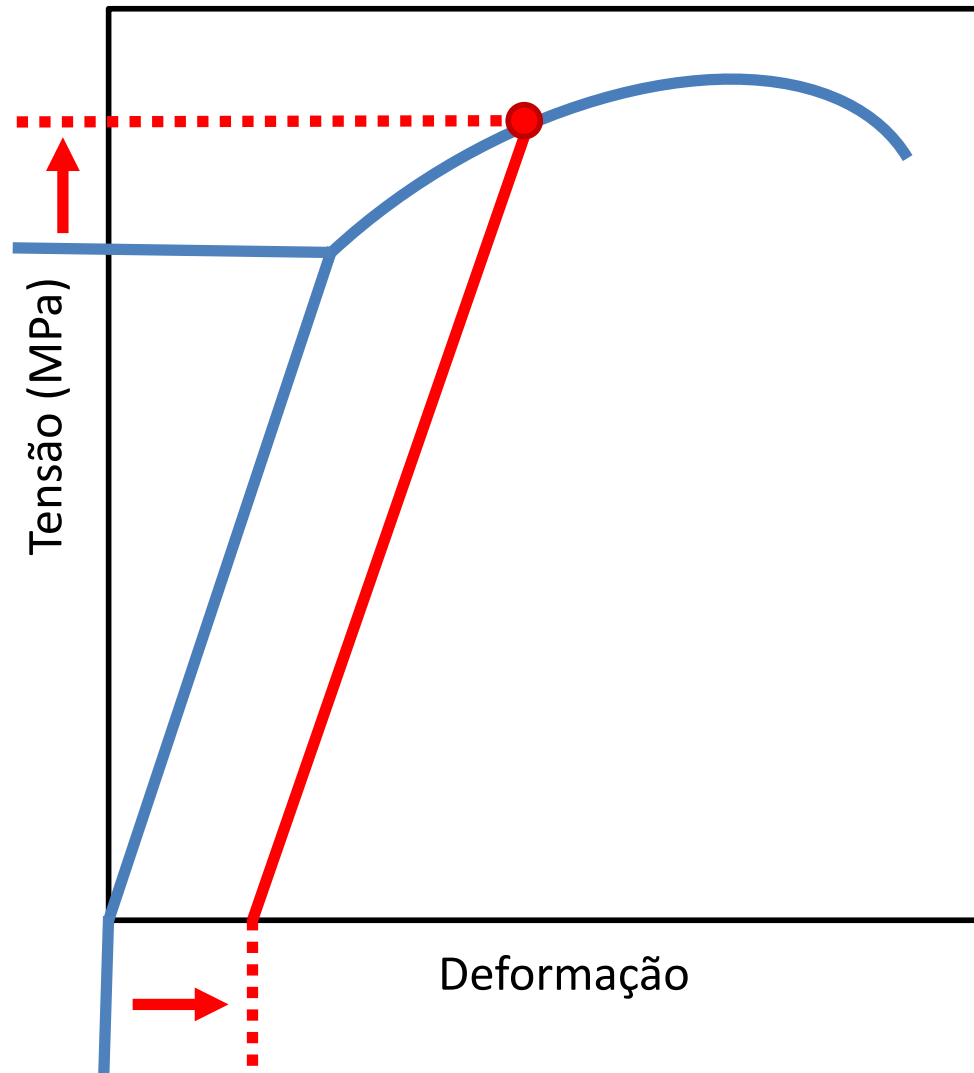
Comparison of carburized, through hardened and induction hardened transmission shafts tested in torsion. Arrow in lower bar on chart indicates that one shaft had not failed after the test was stopped at the number of cycles shown.



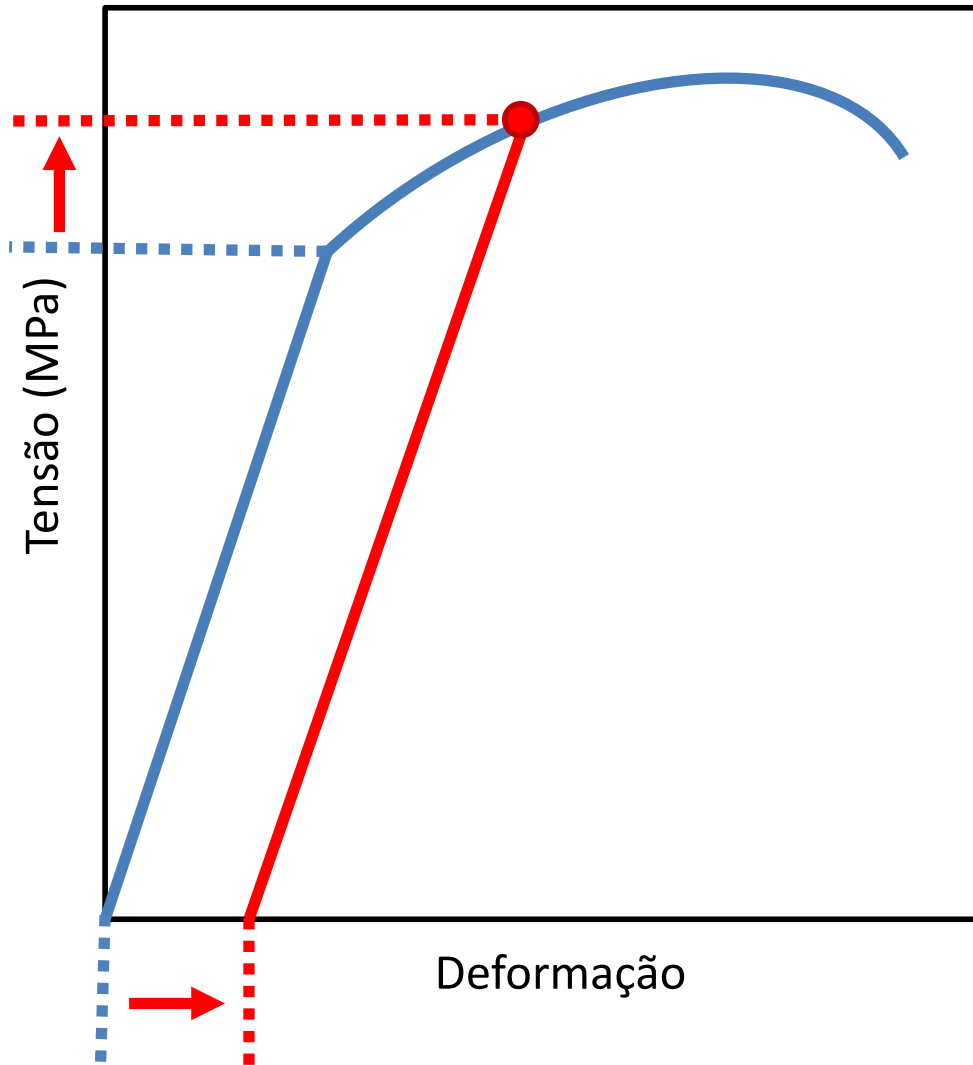
Tratamentos Termo-Mecânicos Localizados

- ❖ **Modificação das superfícies**
 - ❖ **Sem mudança de composição**
 - ❖ Tratamentos térmicos localizados (Têmpera Superficial)
 - ❖ **Deformação plástica (Jateamento – Shot Peening)**
 - ❖ Acabamento superficial (Rugosidade, Texturização)
 - ❖ **Com mudança de composição**
 - ❖ Cementação (Carburizing)
 - ❖ Nitretação (Nitriding)
 - ❖ Boretação
 - ❖ Carbo-Nitretação
- ❖ **Recobrimento das superfícies**

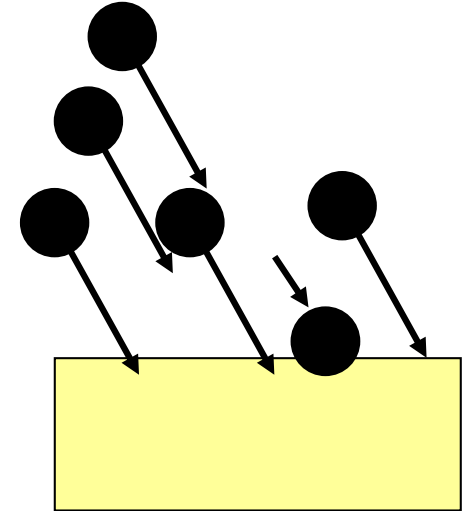
Deformação plástica



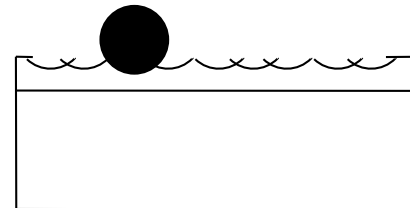
Deformação plástica



Jateamento...

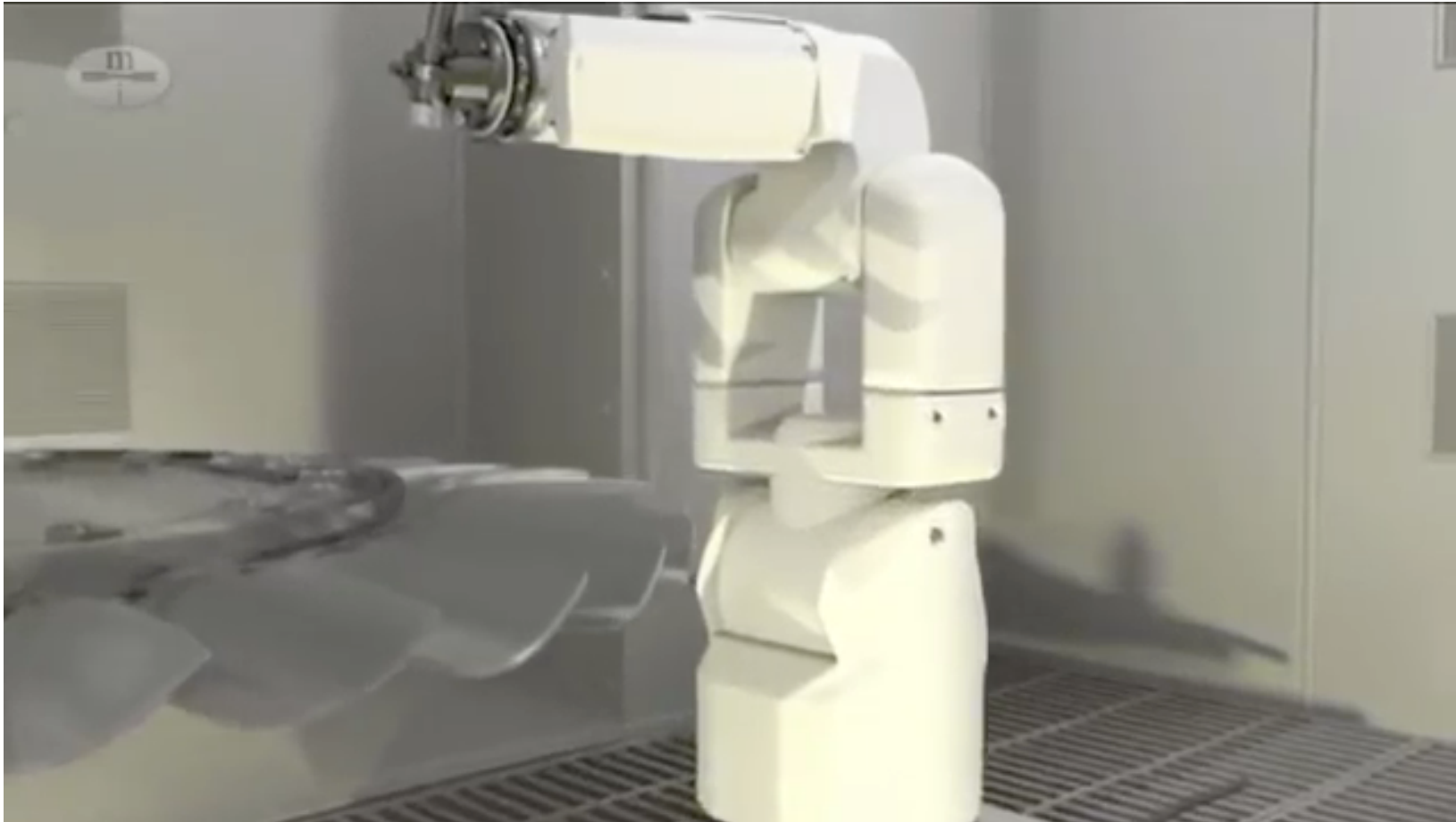


Deformação...



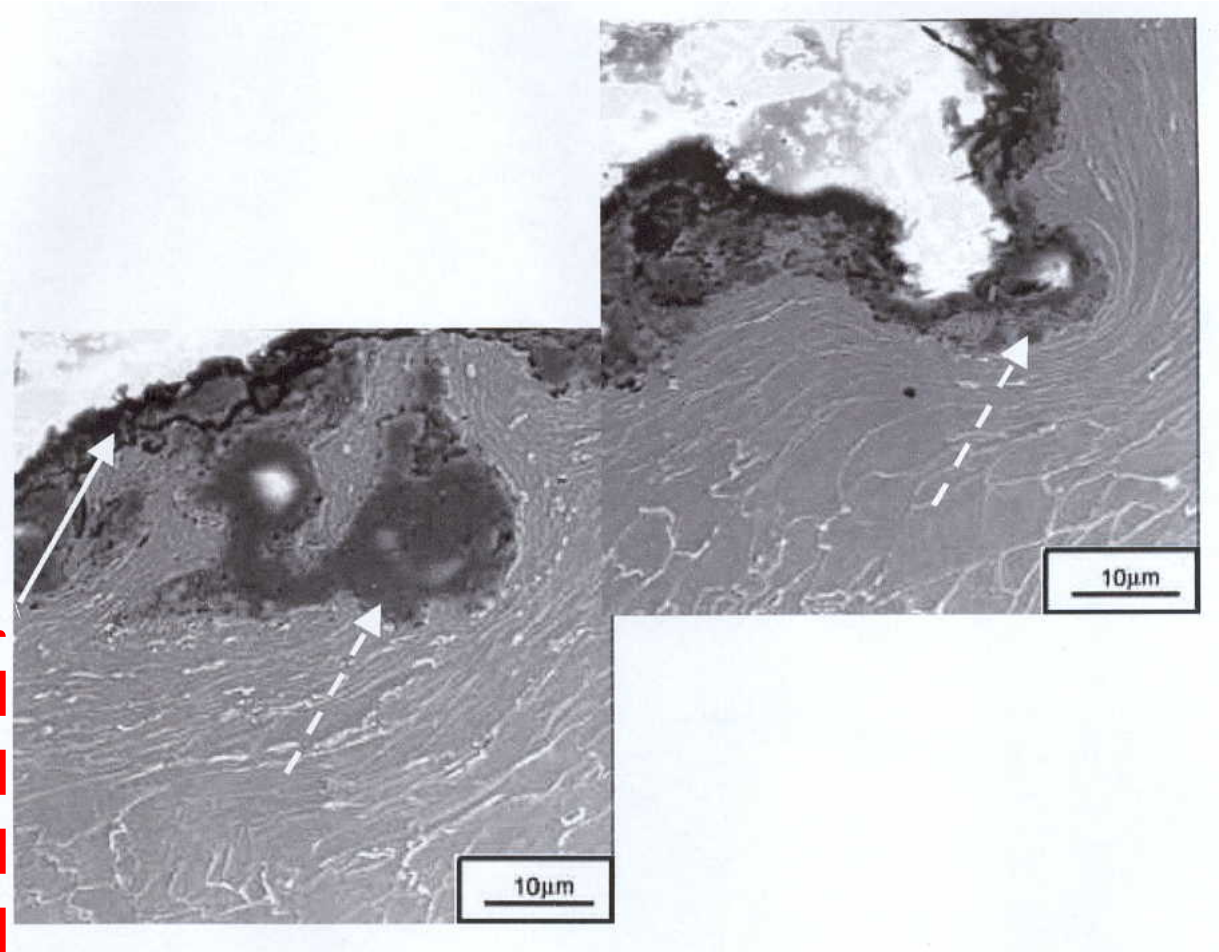
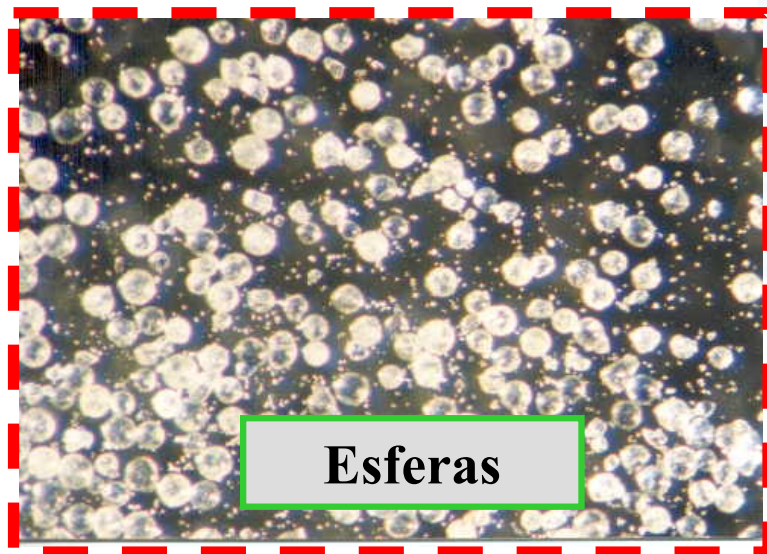


Deformação plástica

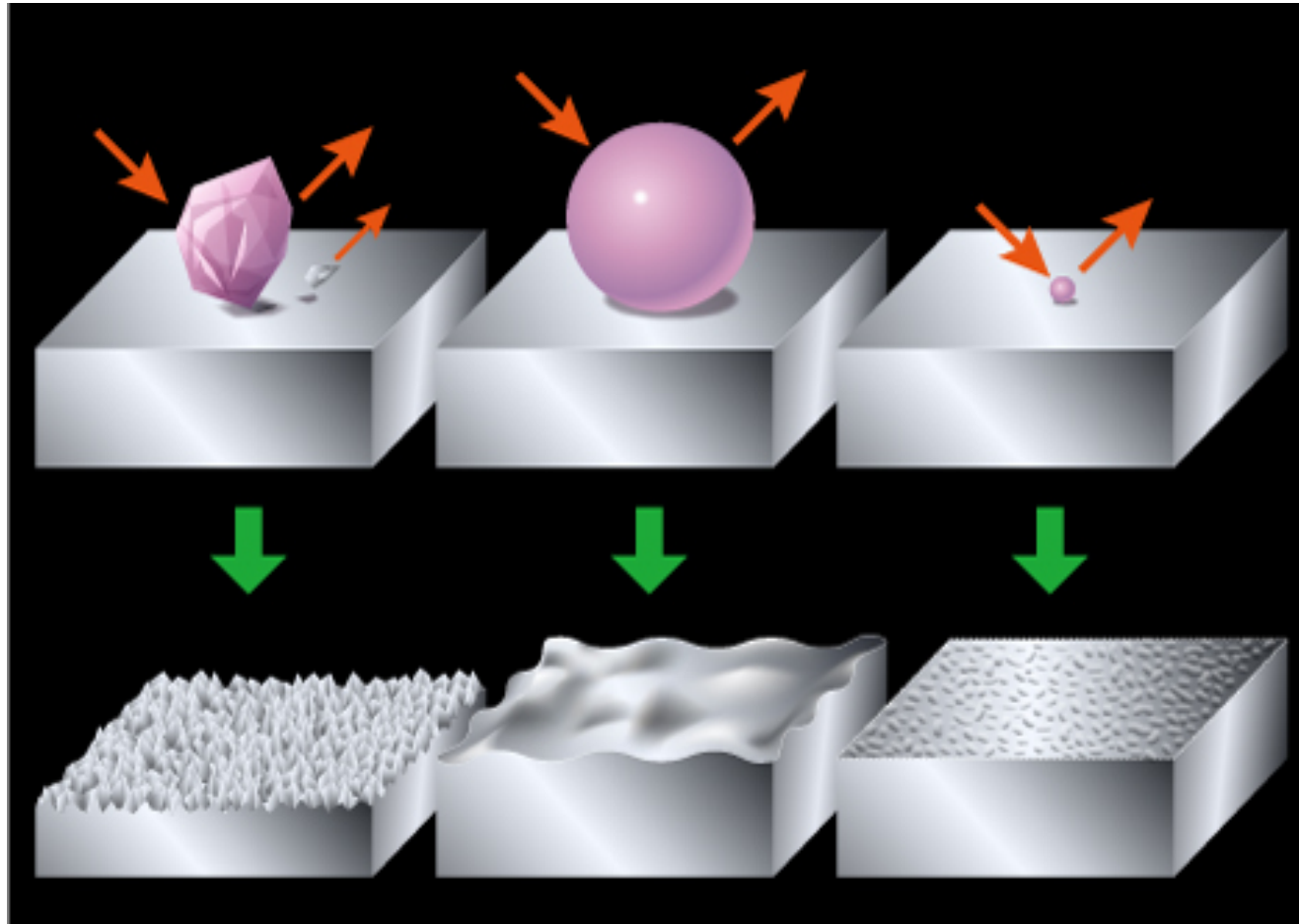




Deformação plástica



Deformação plástica



<http://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=372224>



Tratamentos Termo-Mecânicos Localizados

- ❖ **Modificação das superfícies**
 - ❖ **Sem mudança de composição**
 - ❖ Tratamentos térmicos localizados (Têmpera Superficial)
 - ❖ Deformação plástica (Shot Peening)
 - ❖ **Acabamento superficial (Rugosidade, Texturização)**
 - ❖ **Com mudança de composição**
 - ❖ Cementação (Carburizing)
 - ❖ Nitretação (Nitriding)
 - ❖ Boretação
 - ❖ Carbo-Nitretação
- ❖ **Recobrimento das superfícies**

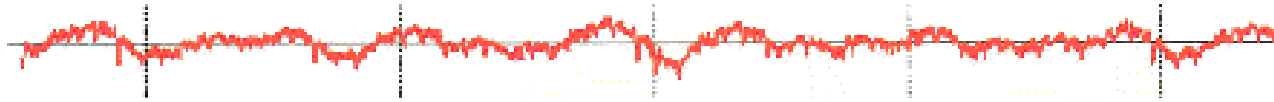


Acabamento superficial

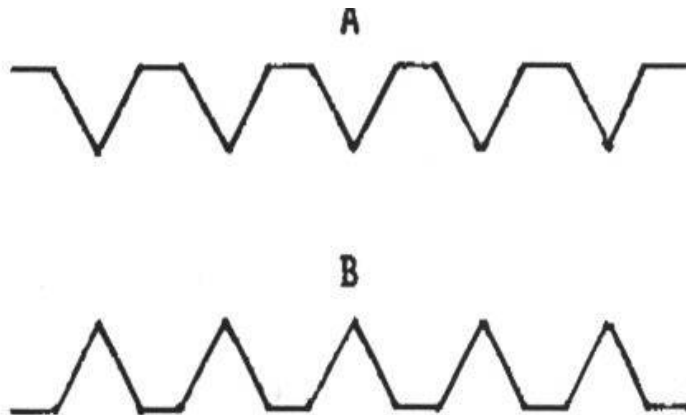
- ❖ **Projetar o perfil da superfície para melhorar o desempenho**
 - ❖ **Usinagem**
 - ❖ **Retífica**
 - ❖ **Laser**
 - ❖ **Microfresamento**
 - ❖ **Jateamento**

Acabamento superficial

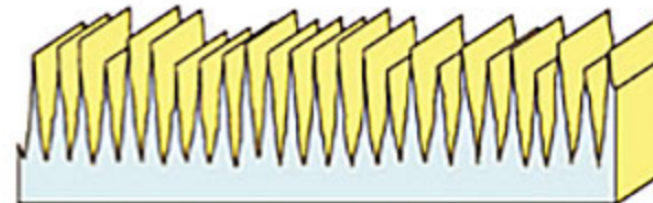
- Rugosidade avaliada em R_a (retífica 0,1 a 0,8)



- Diferentes superfícies podem ter mesmo R_a (não é um bom parâmetro)



$R_a = 2.5$



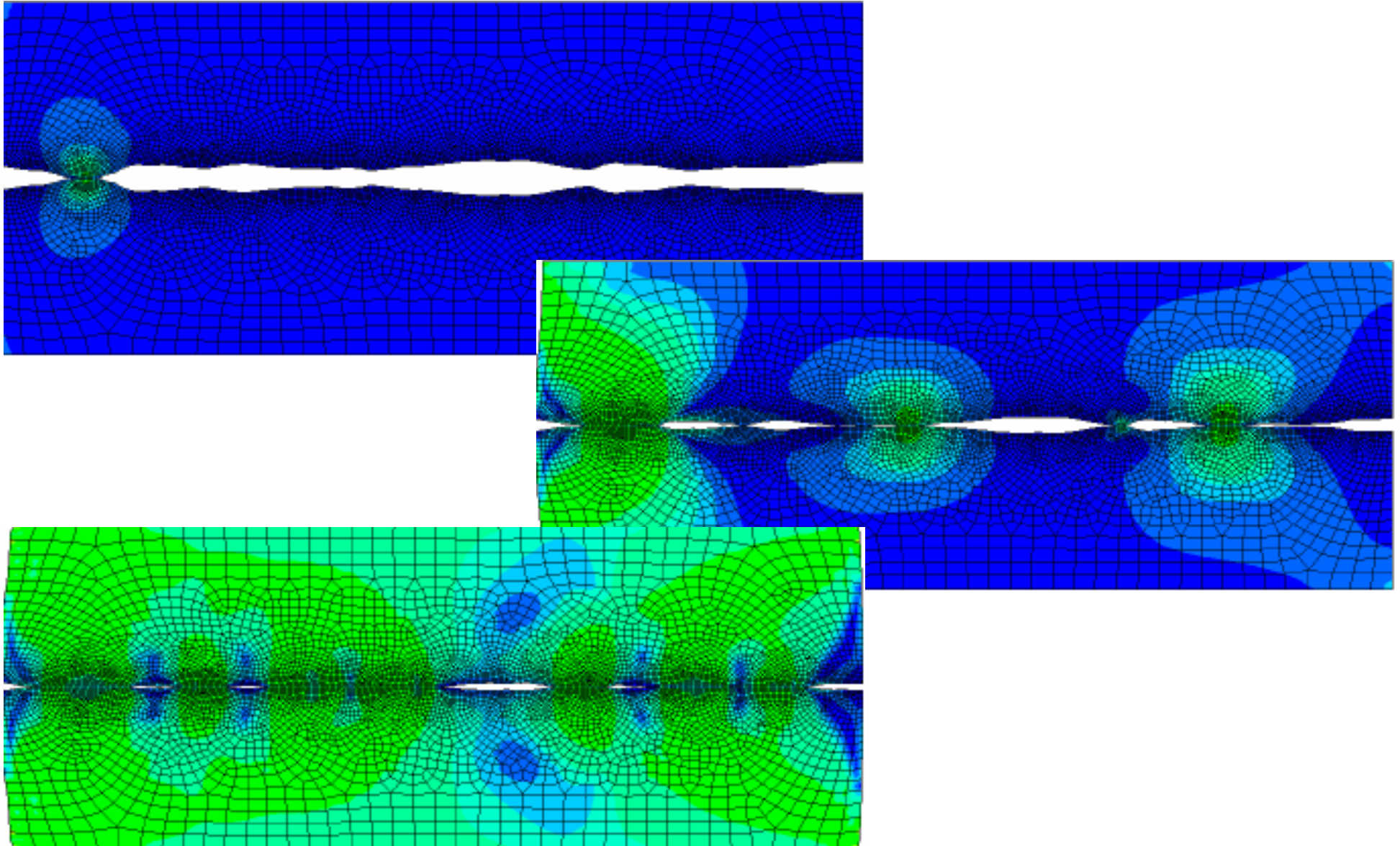
$R_a = 2.5$



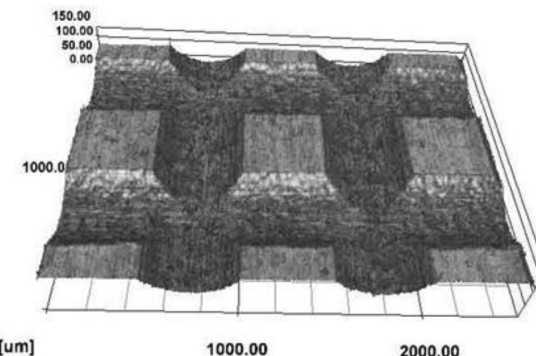
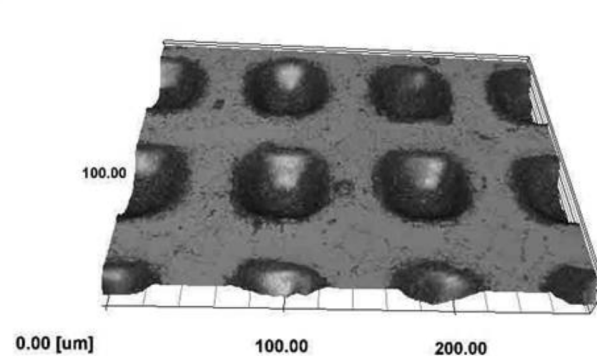
$R_a = 2.4 \mu m$

<http://www.qualitymag.com/articles/92093-a-different-size-of-surface-finish>

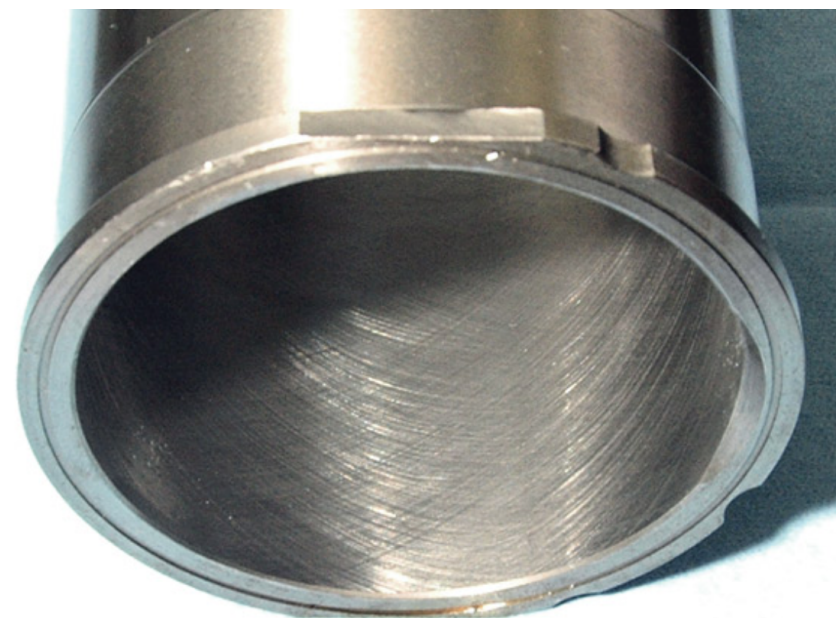
Acabamento superficial



Acabamento superficial



<https://unit.aist.go.jp/am-ri/ja/teams/sid/en/img/contents/texture.html>



<http://mlcromoduro.com.br/brunimento.html>

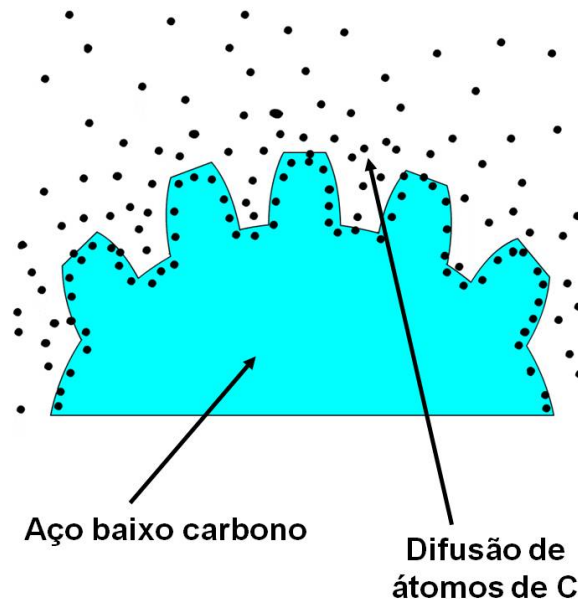


Tratamentos Termo-Mecânicos Localizados

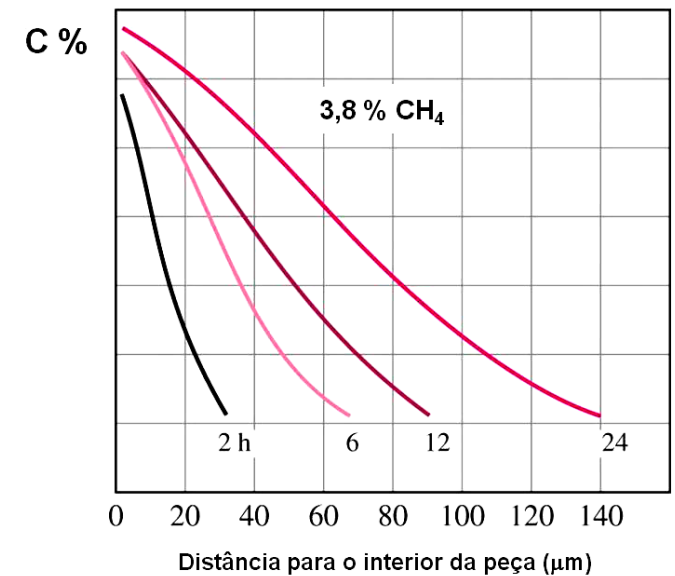
- ❖ **Modificação das superfícies**
 - ❖ **Sem mudança de composição**
 - ❖ Tratamentos térmicos localizados (Têmpera Superficial)
 - ❖ Deformação plástica (Shot Peening)
 - ❖ Acabamento superficial (Rugosidade, Texturização)
 - ❖ **Com mudança de composição**
 - ❖ **Cementação (Carburizing)**
 - ❖ **Nitretação (Nitriding)**
 - ❖ **Boretação**
 - ❖ **Carbo-Nitretação**
- ❖ **Recobrimento das superfícies**

Tratamentos por difusão – Cementação

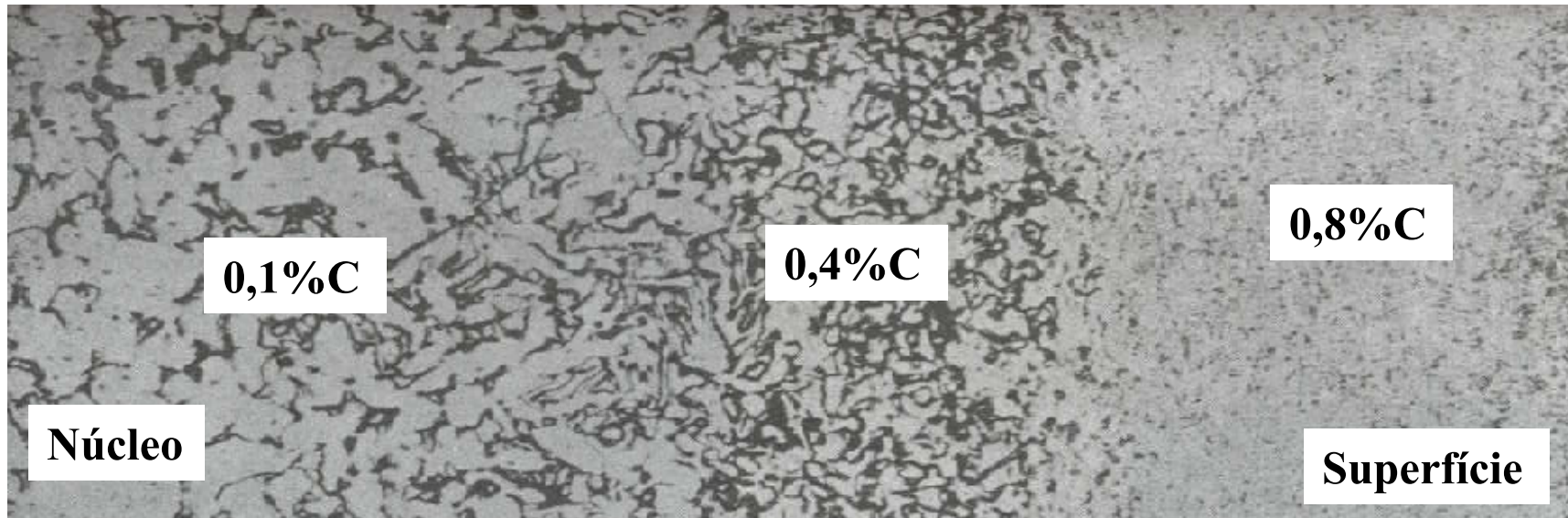
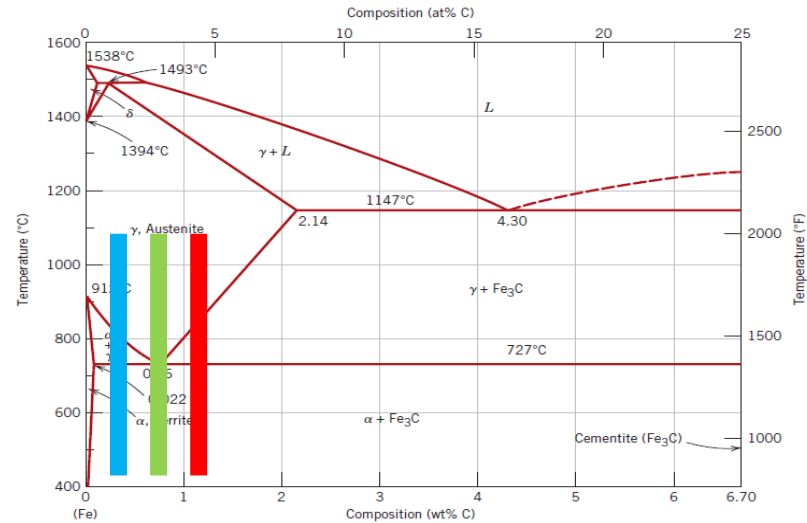
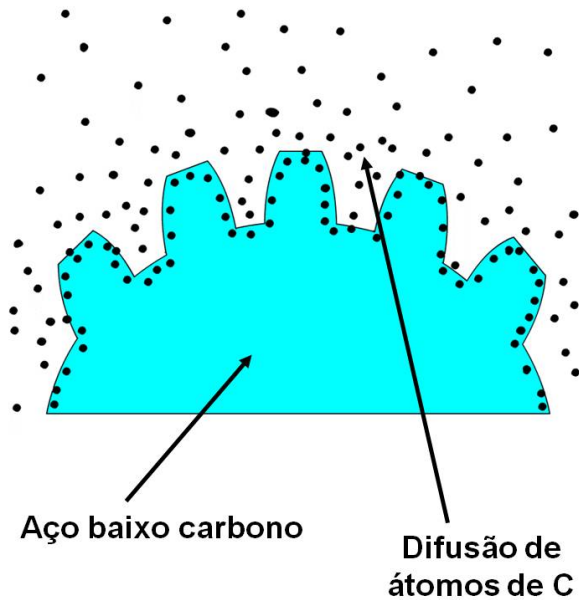
- Superfícies sujeitos a desgaste
- Normalmente de aço carbono usinado
- Difusão em meio sólido, líquido, gasoso ou plasma
- Carbono difunde para a engrenagem preenchendo espaços intersticiais endurecendo a peça



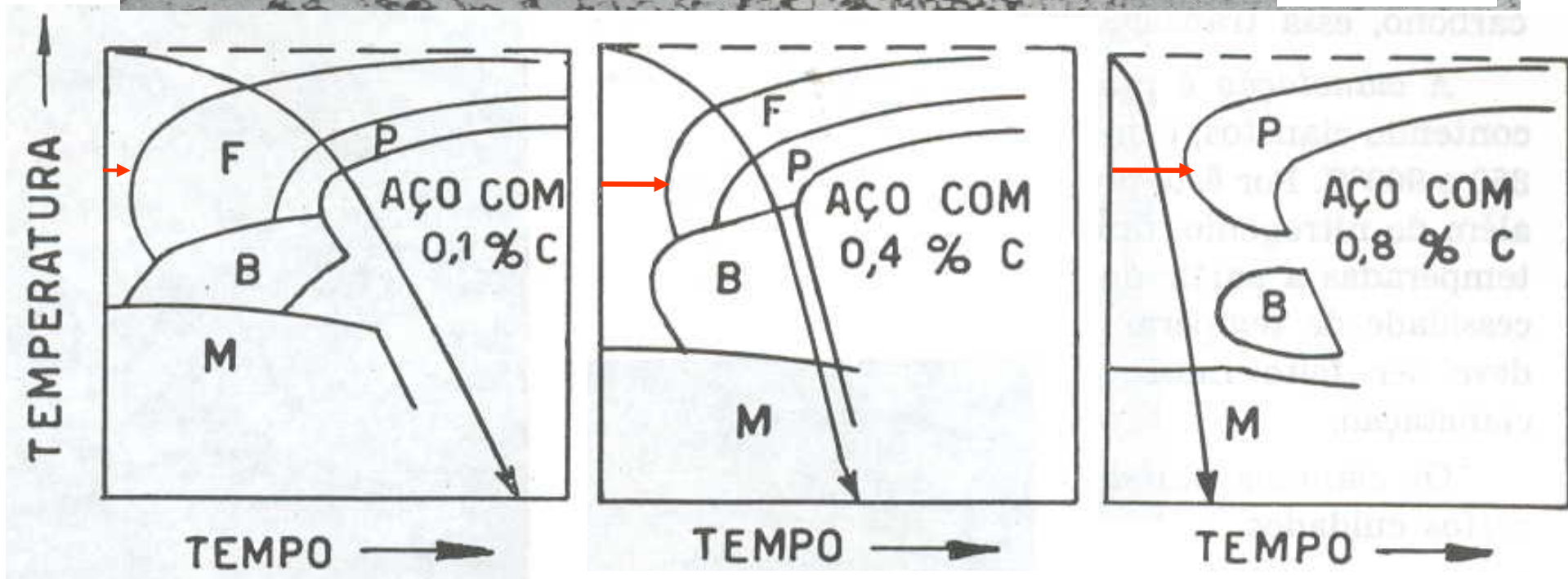
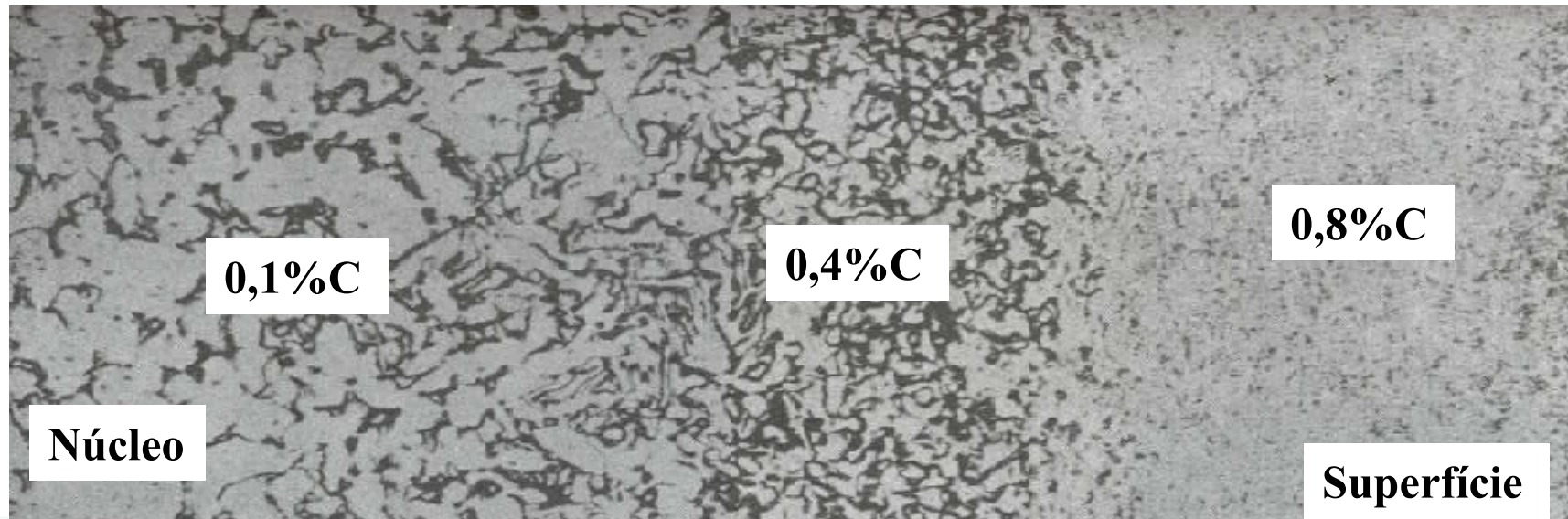
Gradiente de C para o interior da peça



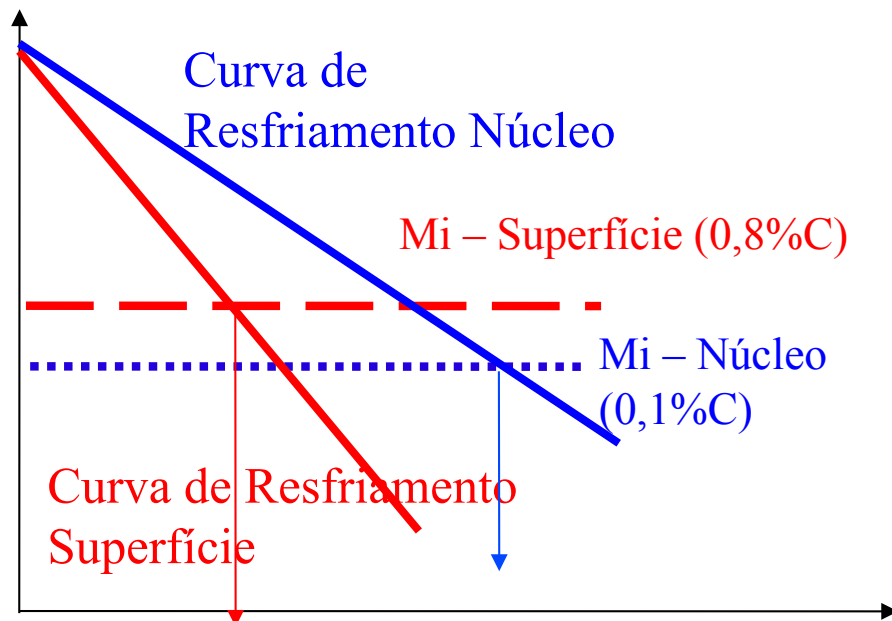
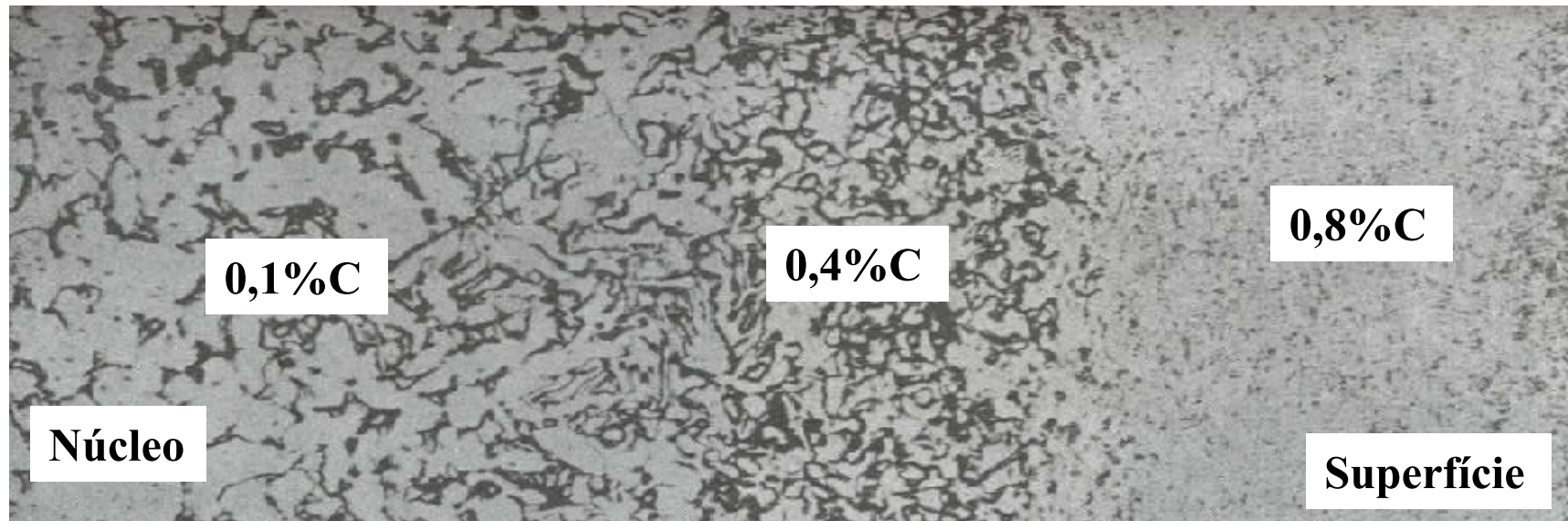
Tratamentos por difusão – Cementação



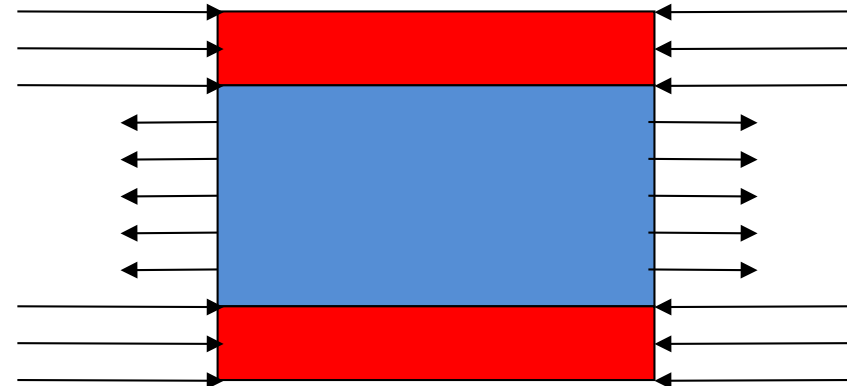
Tratamentos por difusão – Cementação



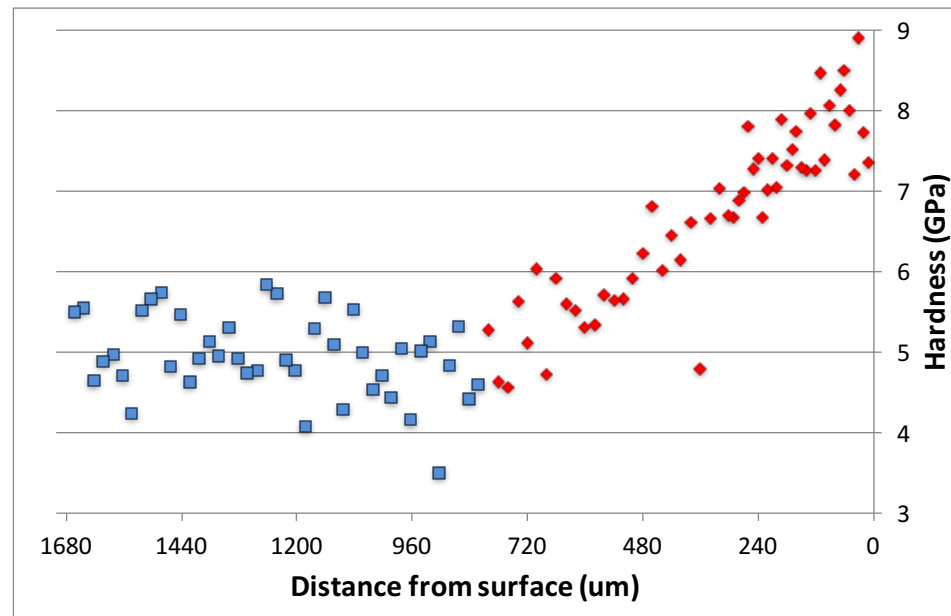
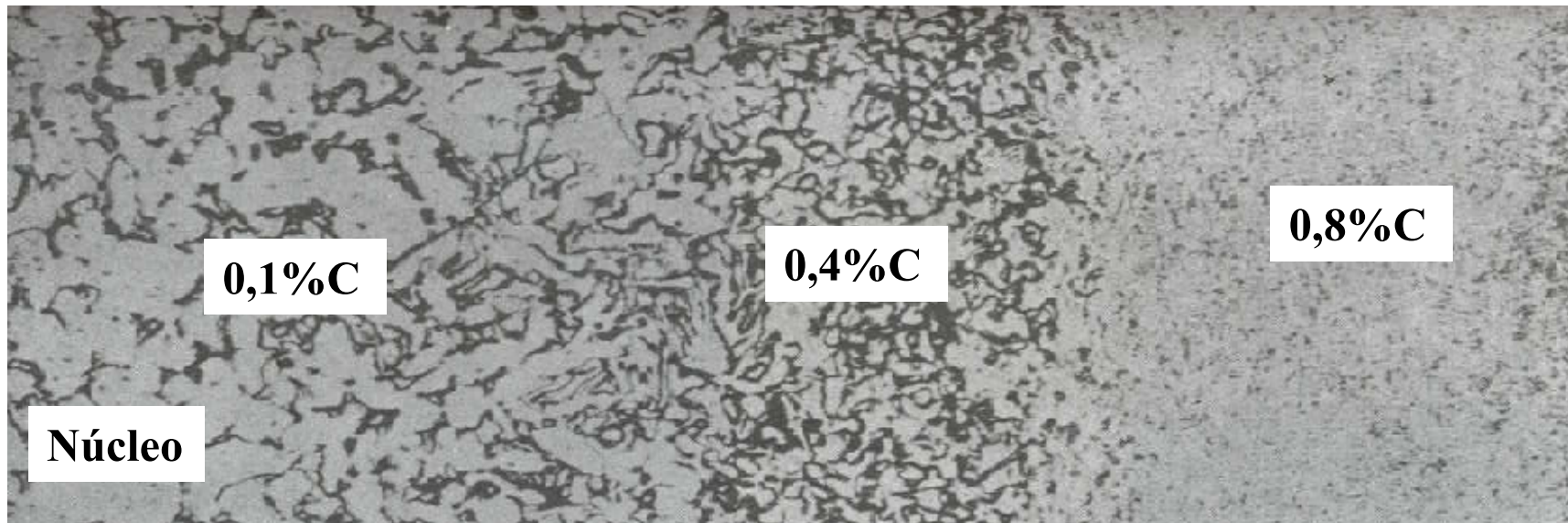
Tratamentos por difusão – Cementação



A **superfície** se transforma em M antes que **núcleo**



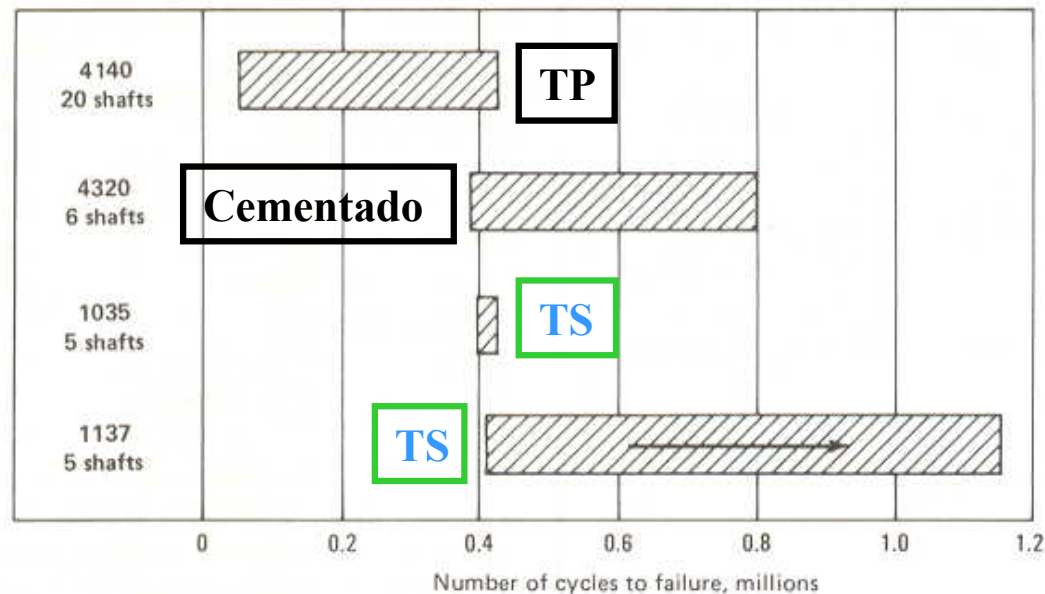
Tratamentos por difusão – Cementação



Tratamento superficial

Resistência à Fadiga

Fig. 17 Effect of carburizing and surface hardening on fatigue life

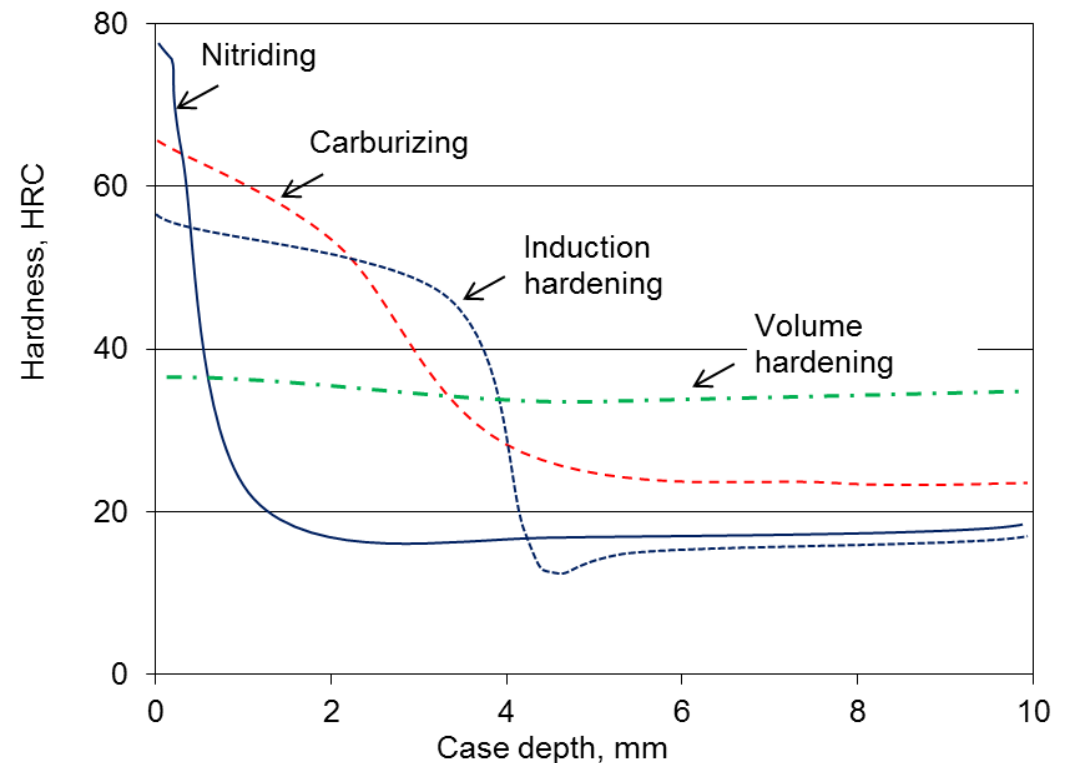


Steel	Surface hardness, HRC	Hardening process
4140	36 to 42	Through hardened
4320	40 to 46	Carburized to 0.040 to 0.050 in.
1035	42 to 48	Induction hardened to 0.120-in. min effective depth (40 HRC)
1137	42 to 48	Induction hardened to 0.120-in. min effective depth (40 HRC)

Comparison of carburized, through hardened and induction hardened transmission shafts tested in torsion. Arrow in lower bar on chart indicates that one shaft had not failed after the test was stopped at the number of cycles shown.

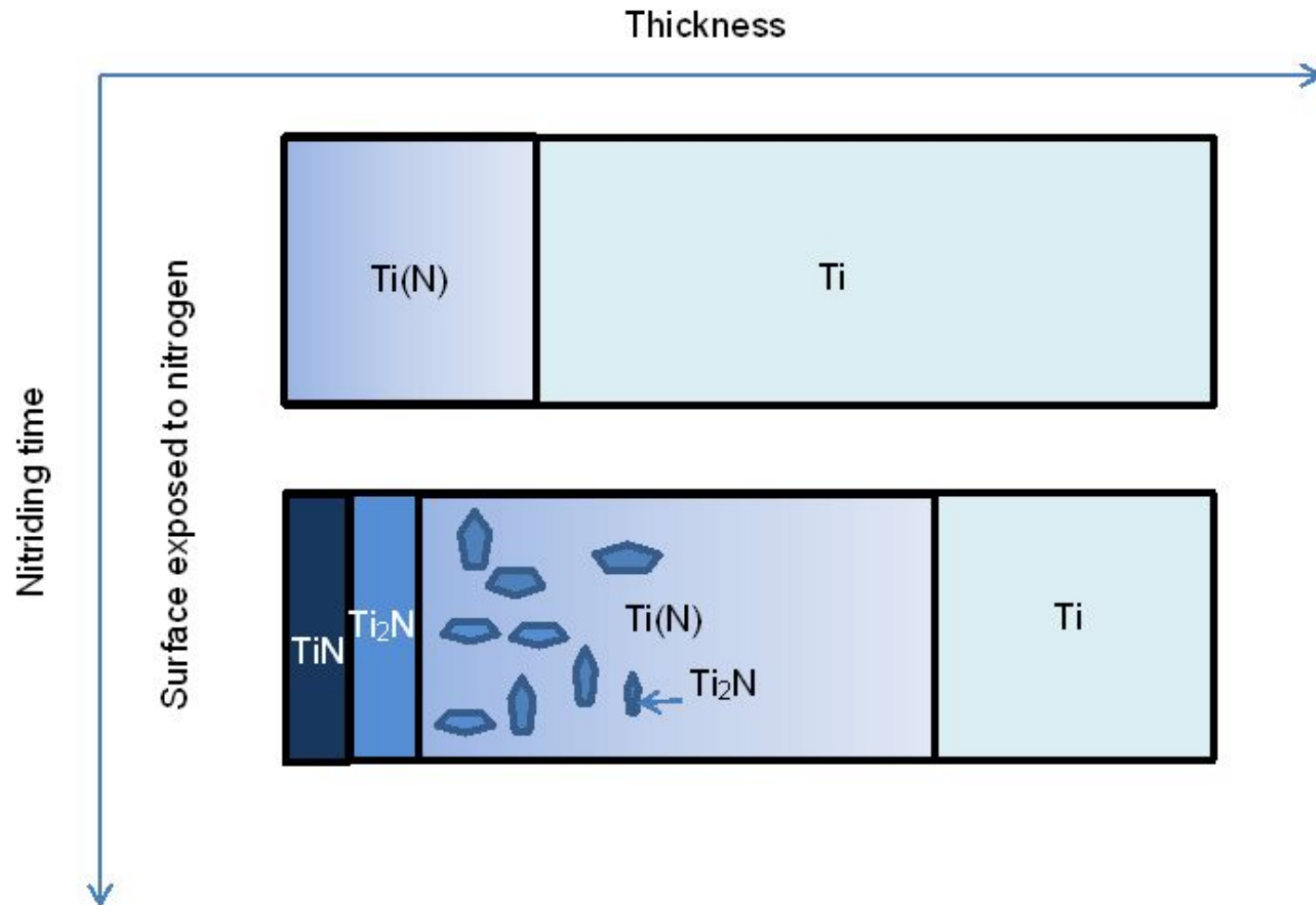
Tratamento superficial

- ❖ Nitretação
 - ❖ Maior dureza
 - ❖ Menor camada
- ❖ Cementação
 - ❖ Dureza intermediária
 - ❖ Camada espessa
- ❖ Têmpera superficial
 - ❖ Menor dureza
 - ❖ Maior camada
- ❖ Têmpera plena
 - ❖ Dureza homogênea

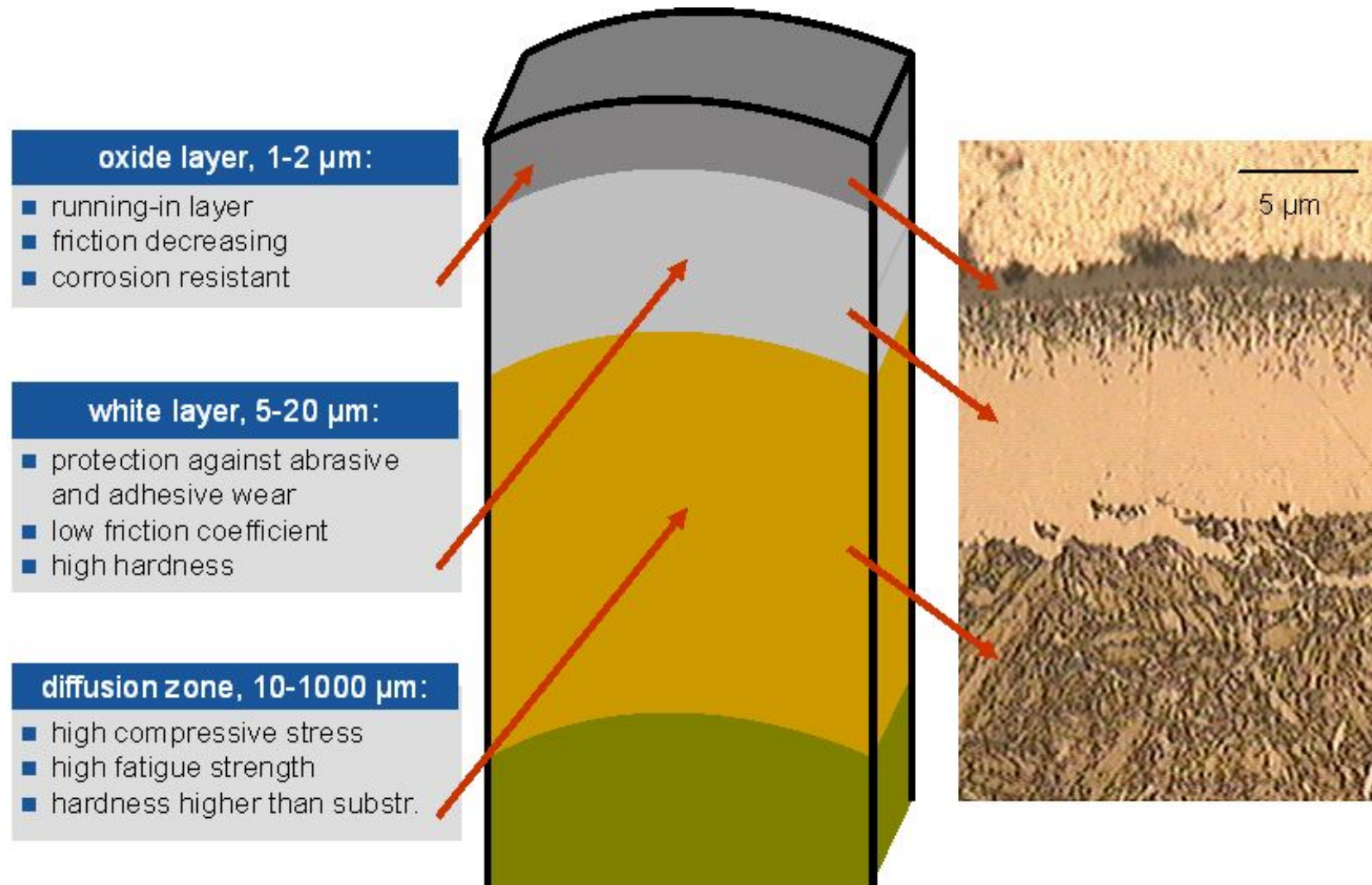


<https://www.intechopen.com/books/heat-treatment-conventional-and-novel-applications/thermochemical-treatment-of-metals>

Tratamento superficial – Nitretação



Tratamento superficial – Nitretação



<https://www.intechopen.com/books/heat-treatment-conventional-and-novel-applications/thermochemical-treatment-of-metals>



Tratamentos Termo-Mecânicos Localizados

- ❖ **Modificação das superfícies**
 - ❖ Sem mudança de composição
 - ❖ Tratamentos térmicos localizados (Têmpera Superficial)
 - ❖ Deformação plástica (Shot Peening)
 - ❖ Acabamento superficial (Rugosidade, Texturização)
 - ❖ Com mudança de composição
 - ❖ Cementação (Carburizing)
 - ❖ Nitretação (Nitriding)
 - ❖ Boretação
 - ❖ Carbo-Nitretação
- ❖ **Recobrimento das superfícies**