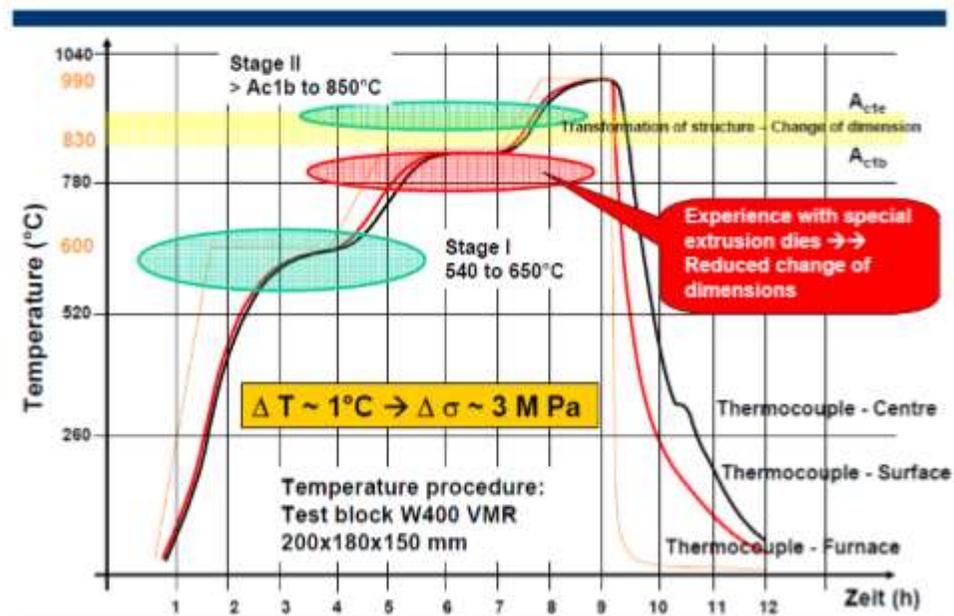


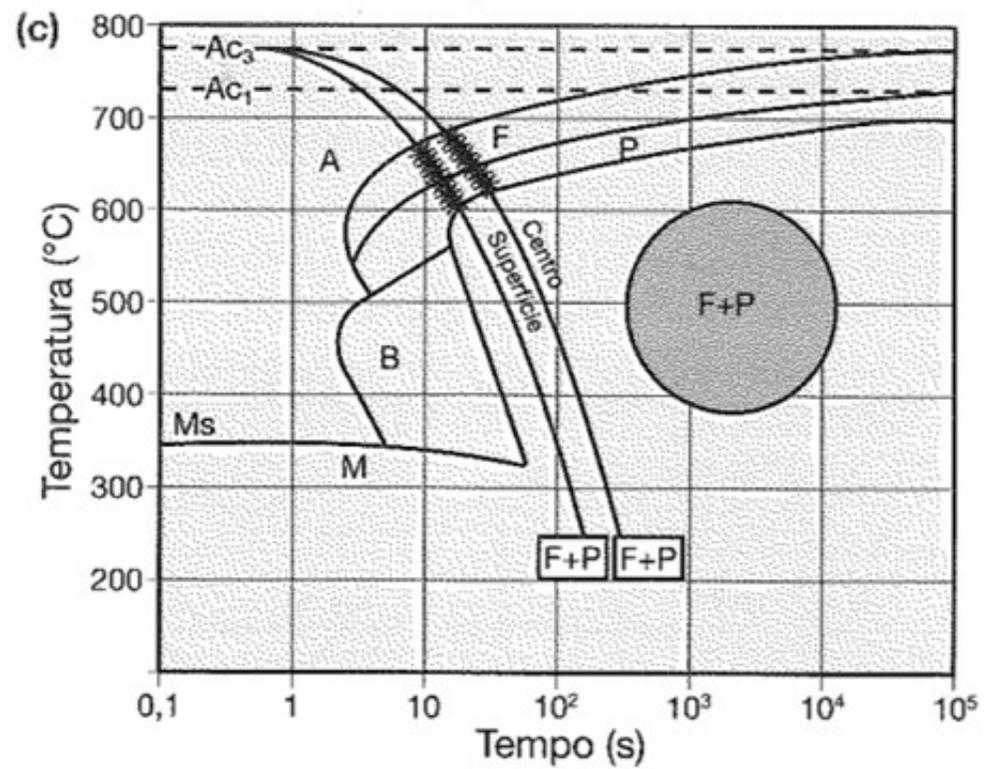


Têmpera

Lauralice Canale

Alívio de Tensões no pré-aquecimento







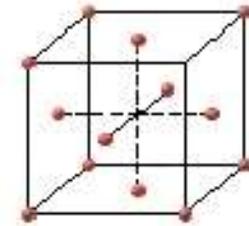
Transformação de fase em metais

- Fases metaestáveis podem ser formadas como um resultado de mudanças muito rápidas de temperatura. A microestrutura é fortemente afetada pela taxa de resfriamento.

MARTENSITA

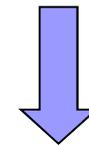
- A martensita se forma quando o resfriamento for rápido o suficiente de forma a **evitar a difusão do carbono**, ficando o mesmo retido em solução. Como consequência disso, ocorre a transformação polimórfica mostrada ao lado.
- Como a martensita não envolve difusão, a sua formação ocorre instantaneamente (independente do tempo).

AUSTENITA

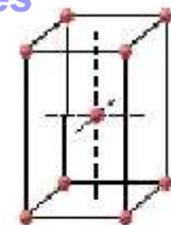


Cúbico
de face centrada

**TRANSFORMAÇÃO
ALOTRÓPICA COM
AUMENTO DE VOLUME,**
que leva à concentração de tensões



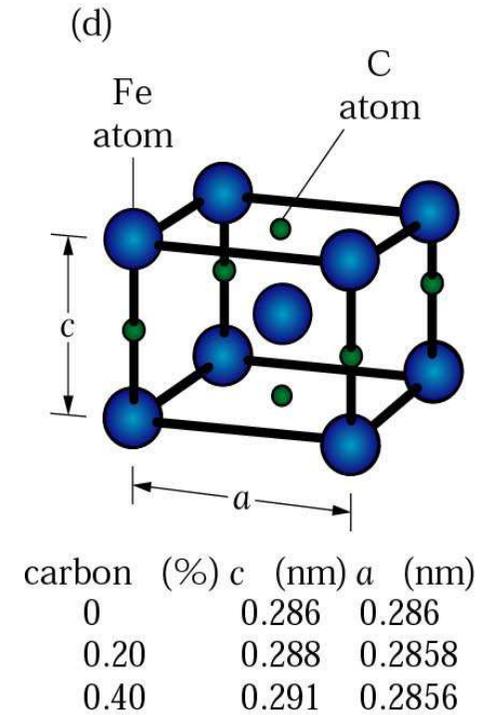
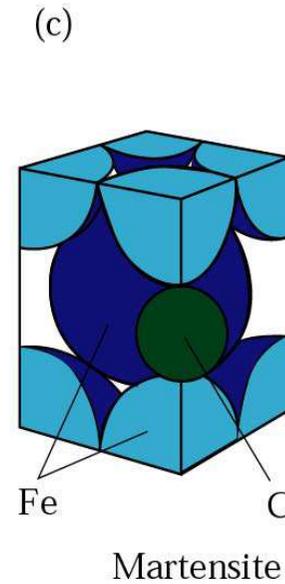
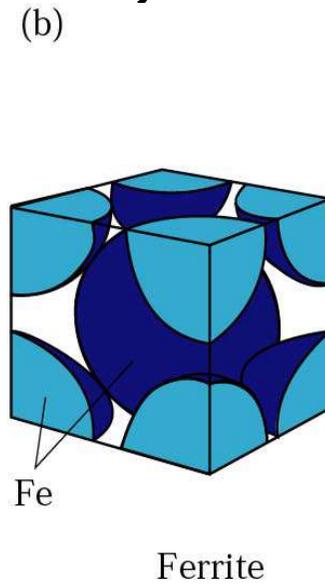
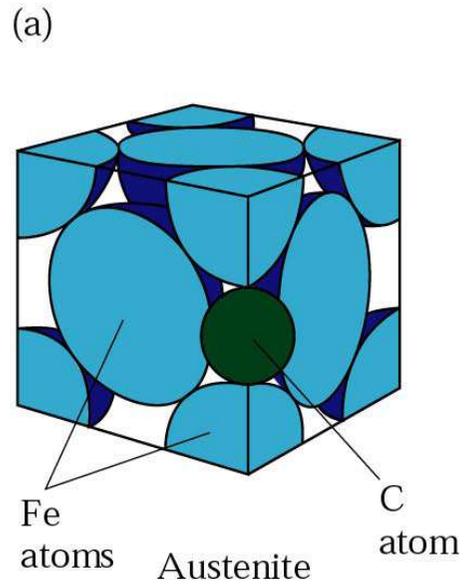
MARTENSITA

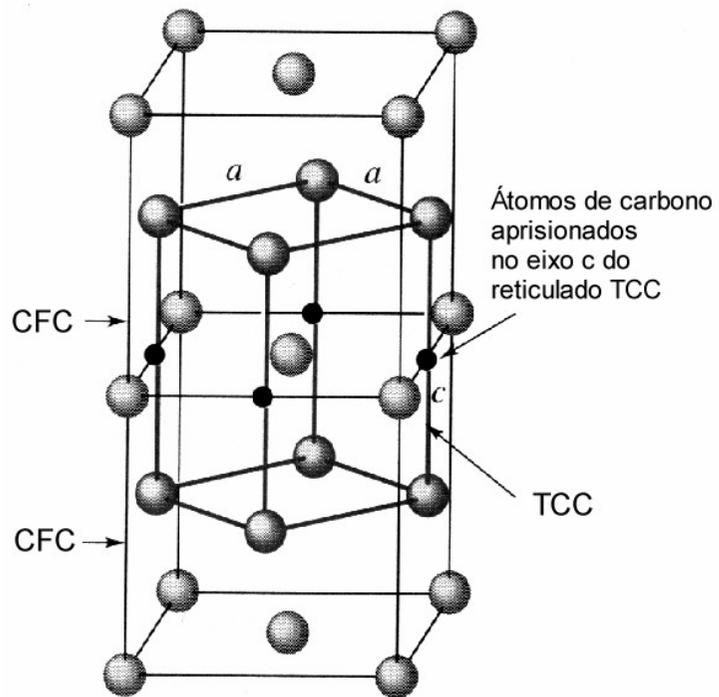


tetragonal
de corpo
centrado

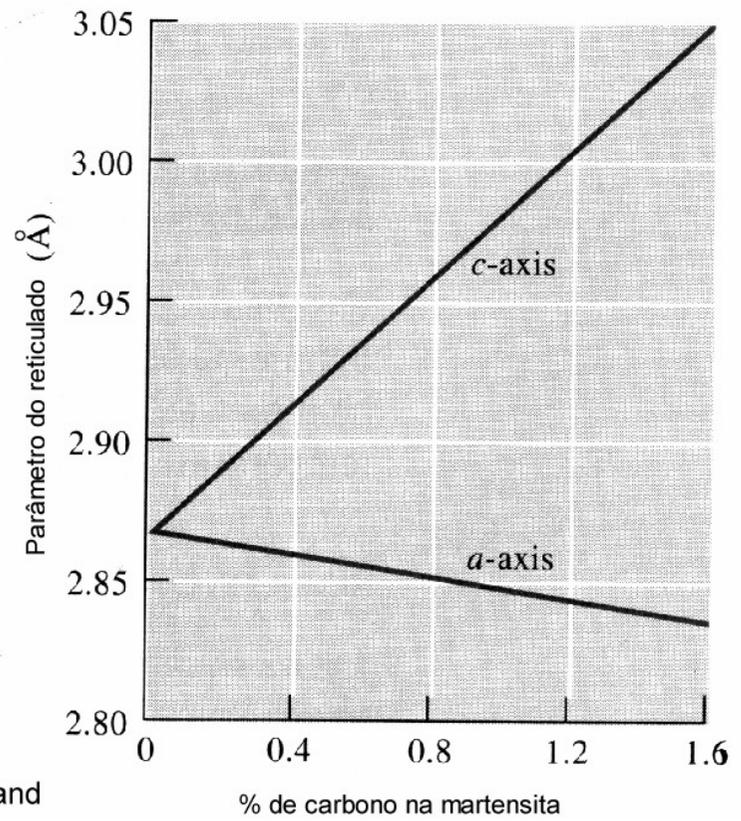


Austenita, Ferrita e Martensita





The Science and Engineering of Materials - D. Asklund



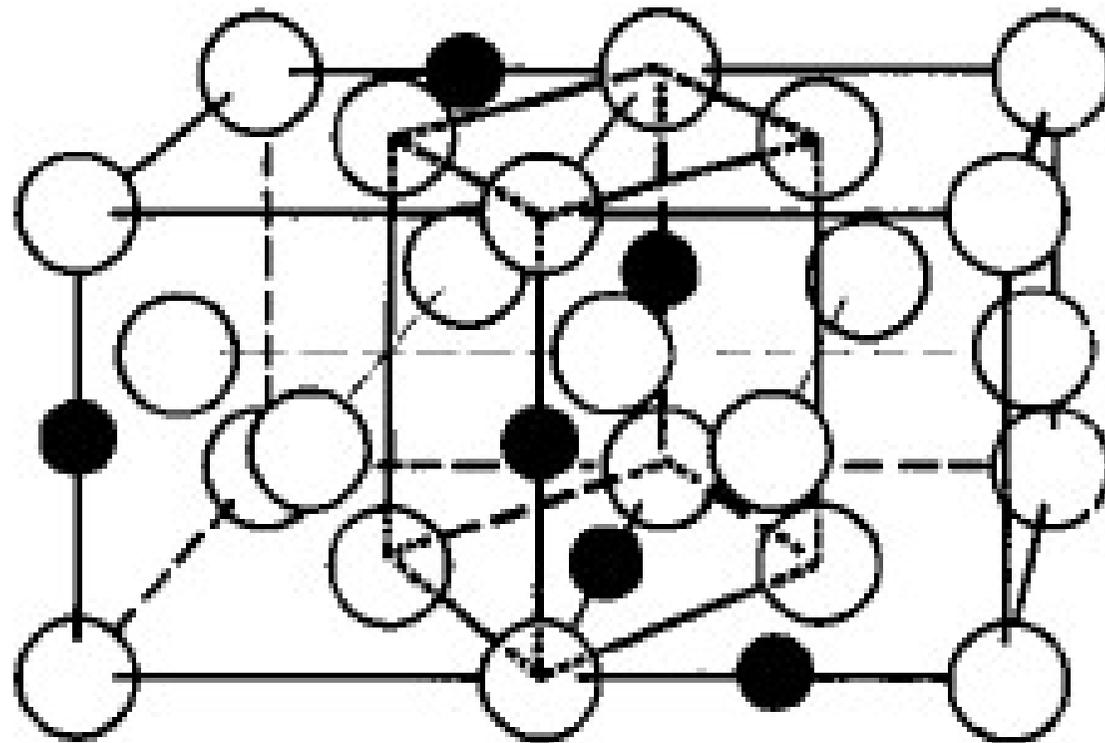
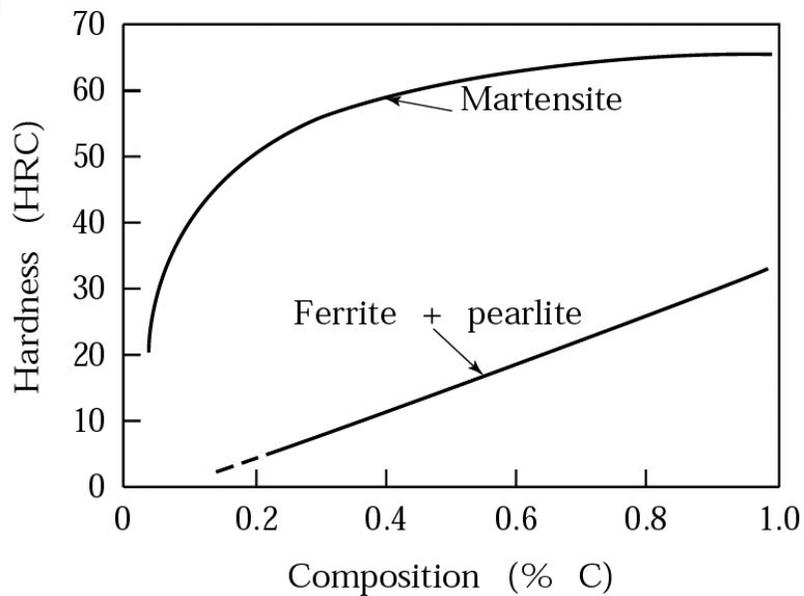
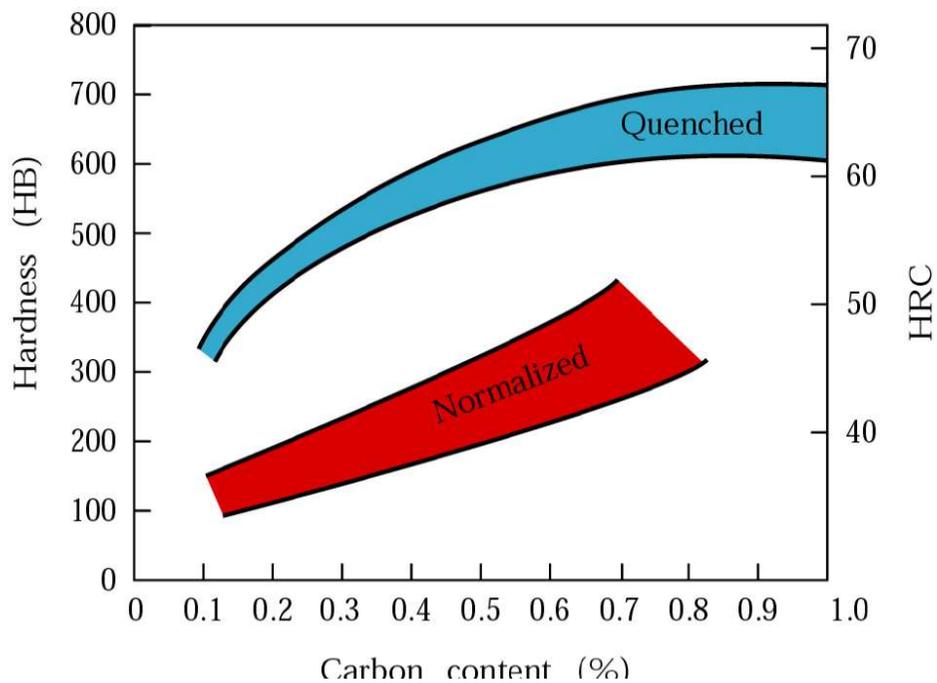
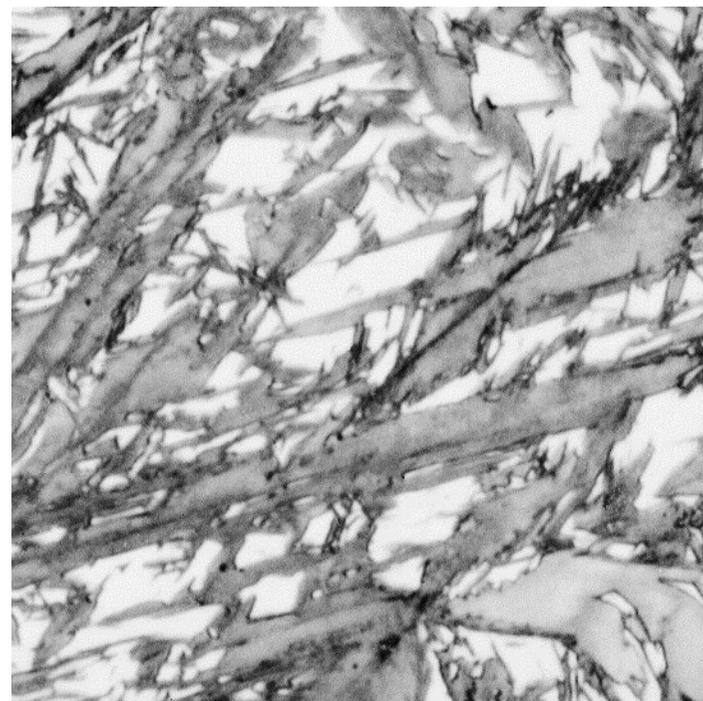


Figure 1.14 Simple model for the transformation of austenite (γ) to martensite (α)

(a)



Martensita

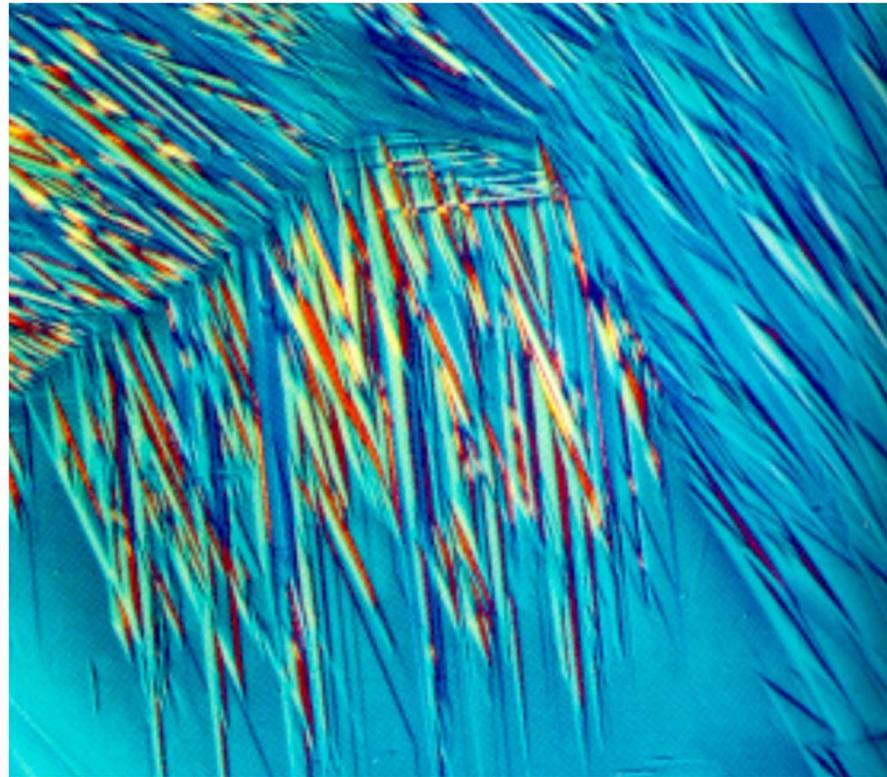




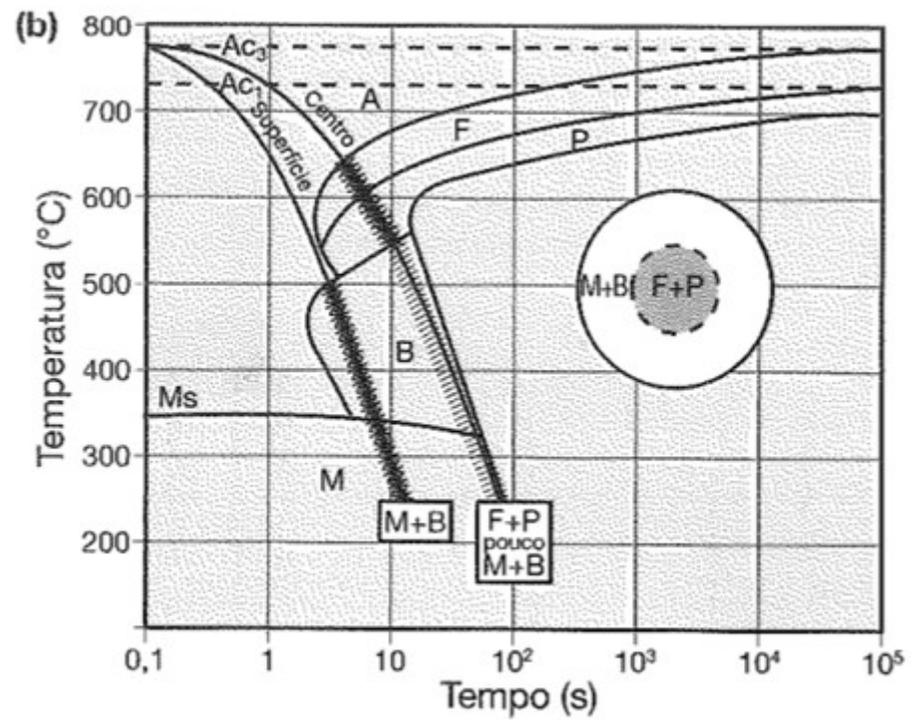
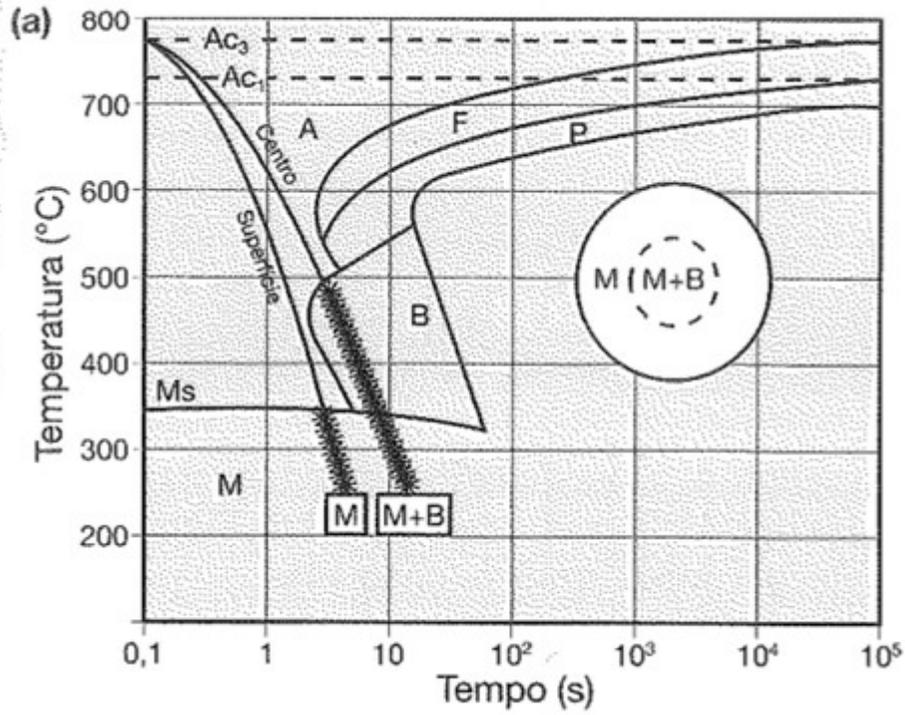
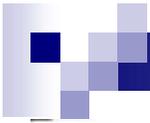
MARTENSITA

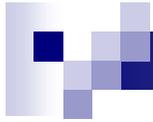
- Sendo uma fase fora de equilíbrio, a martensita não aparece no diagrama de fases Fe – C.
- Martensita se forma quando a austenita é rapidamente resfriada a temperatura ambiente.
- Forma-se instantaneamente quando a requerida baixa temperatura é atingida.
- A transformação não envolve difusão, é atérmica, forma-se por escorregamento de planos da austenita.

Fotomicrografia de uma liga de memória de forma (69%Cu-26%Zn-5%Al), mostrando as agulhas de martensita numa matriz de austenita



- 
- Martensita é metaestável, pode persistir indefinidamente na temperatura ambiente, mas se transformará em fases de equilíbrio se um recozimento a altas temperaturas for realizado.
 - A martensita pode coexistir com outras microestruturas do sistema Fe-C.





- Há duas morfologias da martensita

Ripas (blocos) - Lath

Lenticular (placas) - Plate



MARTENSITA EM FORMA DE RIPAS

- Para ligas que contêm menos do que cerca de 0,6% de C, os grãos de martensita se formam como ripas
- São placas longas e finas, tais como as lâminas de uma folha
- Os detalhes microestruturais são muito finos e técnicas de micrografia eletrônica devem ser aplicadas para a análise dessa microestrutura

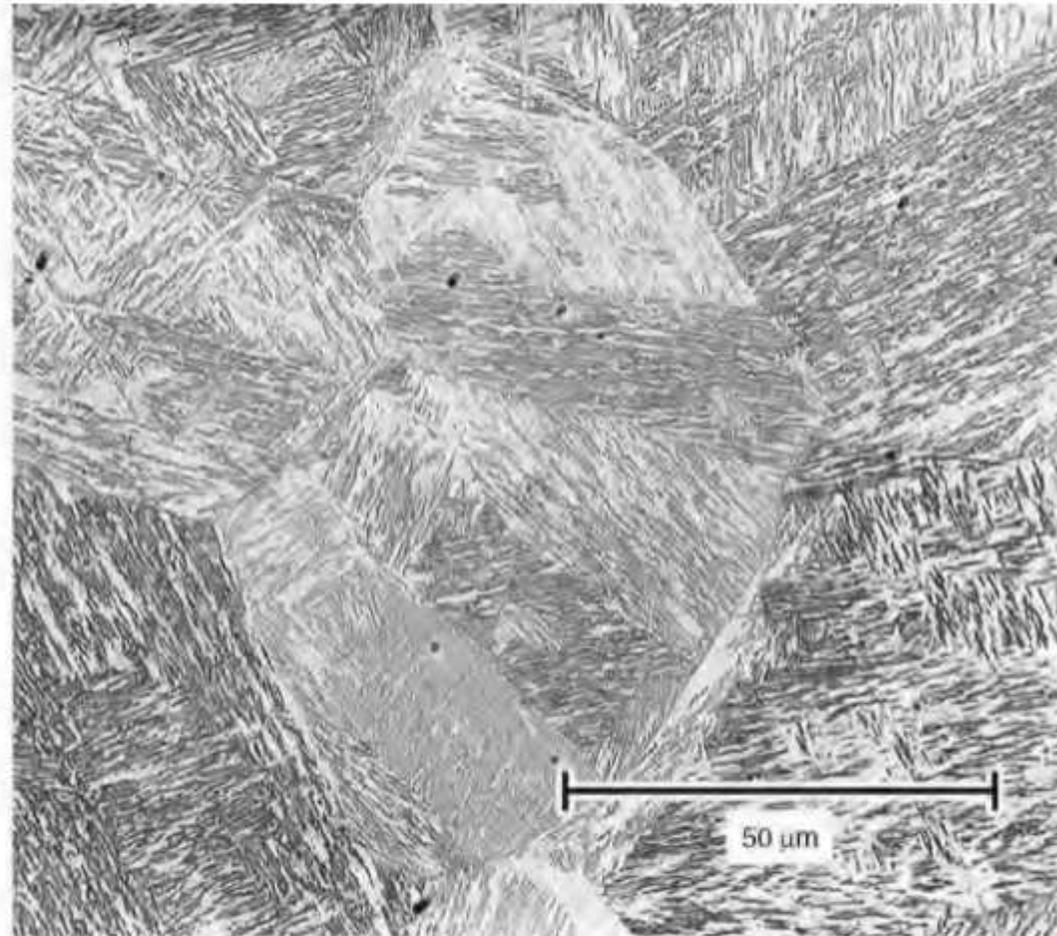
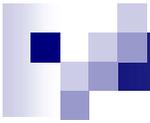


Fig. 9.15 Lath martensite in water-quenched low-alloy steel. 2% nital etch. Original magnification 500× Source: Ref 9.6

MARTENSITA EM FORMA LENTICULAR

- A martensita lenticular(ou em placas) é encontrada em ligas ferro-carbono com concentrações maiores que 0,6% de C
- Na fotomicrografia pode-se observar os grãos de martensita em forma de agulhas(regiões escuras) e austenita que não se transformou durante o resfriamento (regiões claras) denominada austenita retida



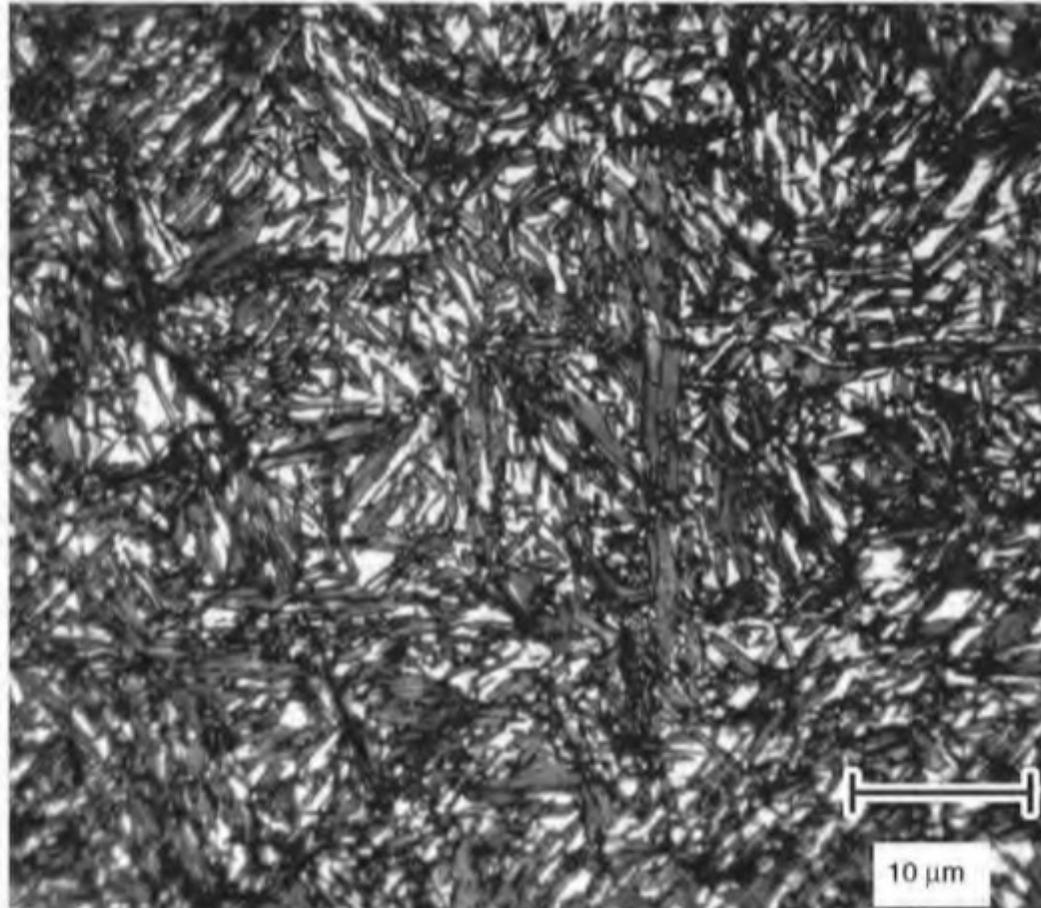
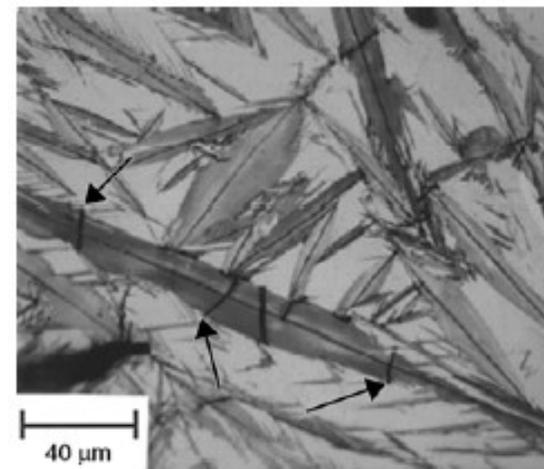
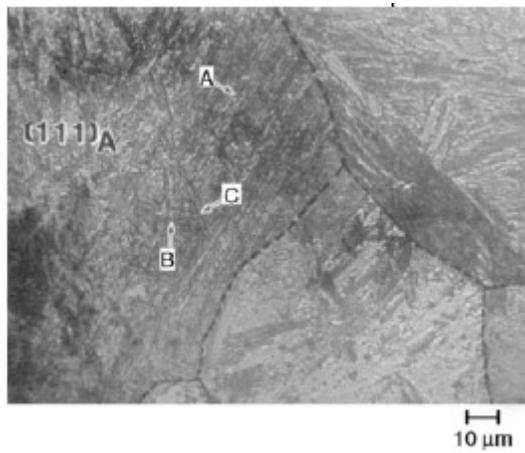
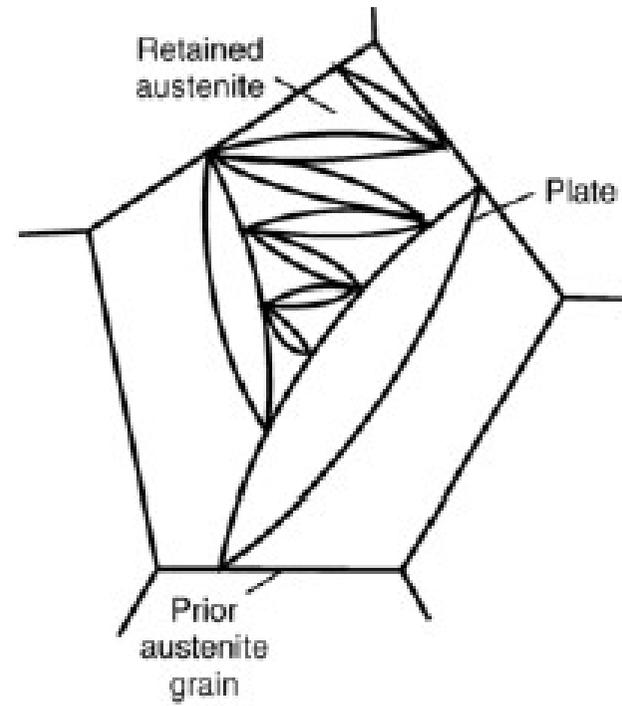
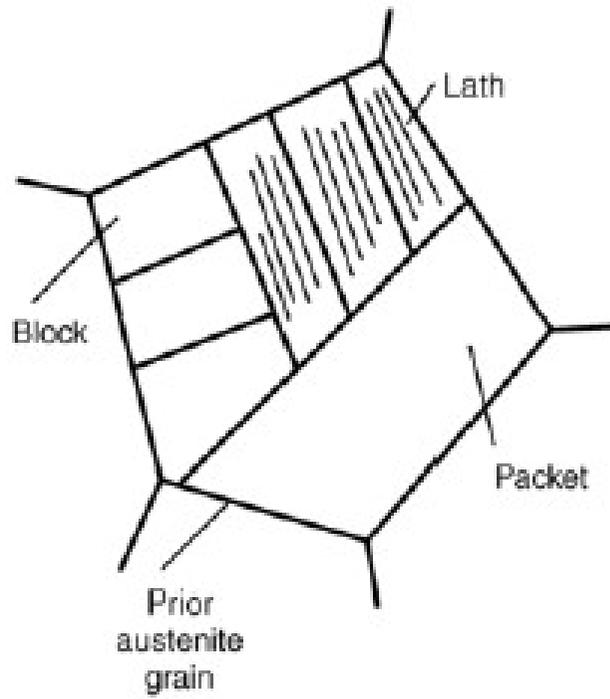
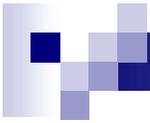
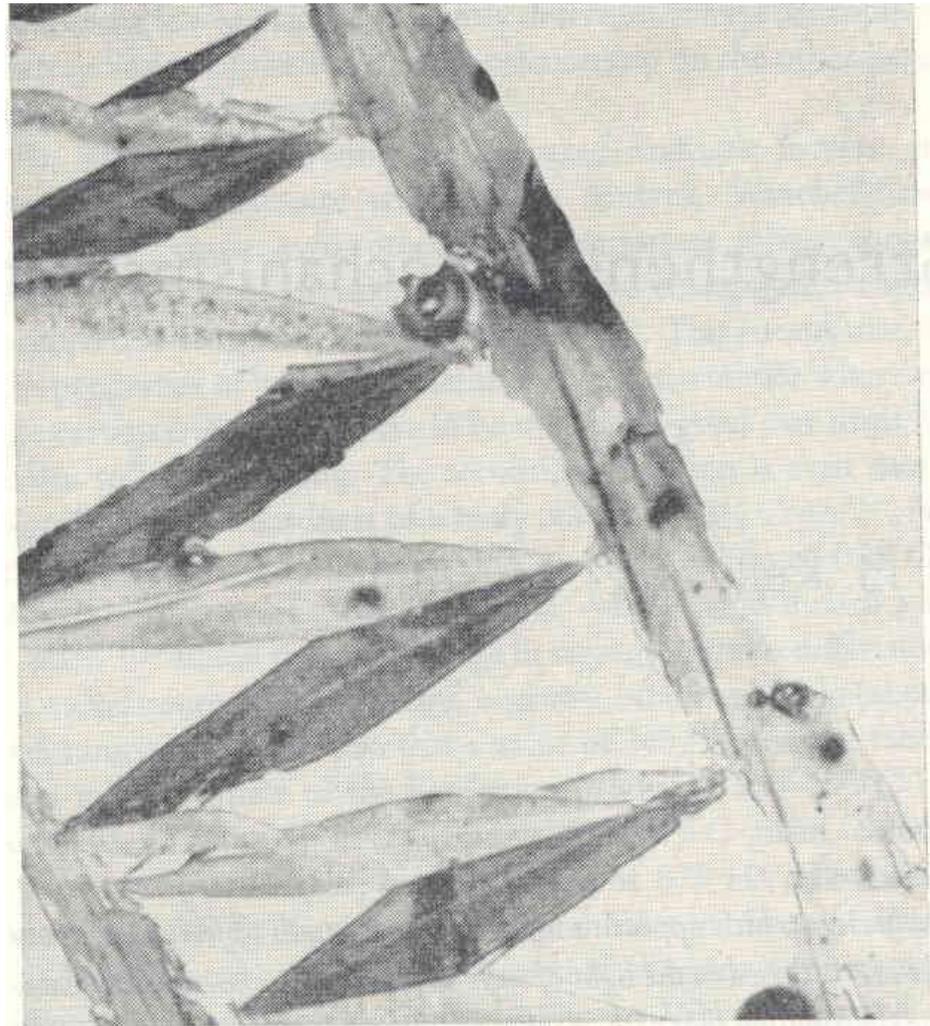


Fig. 9.14 Plate martensite in water-quenched eutectoid (~0.8% C) steel (UNS G10800) The light regions between the martensite plates are retained austenite. 10% sodium metabisulfite etch. Original magnification 1000 \times . Source: Ref 9.6



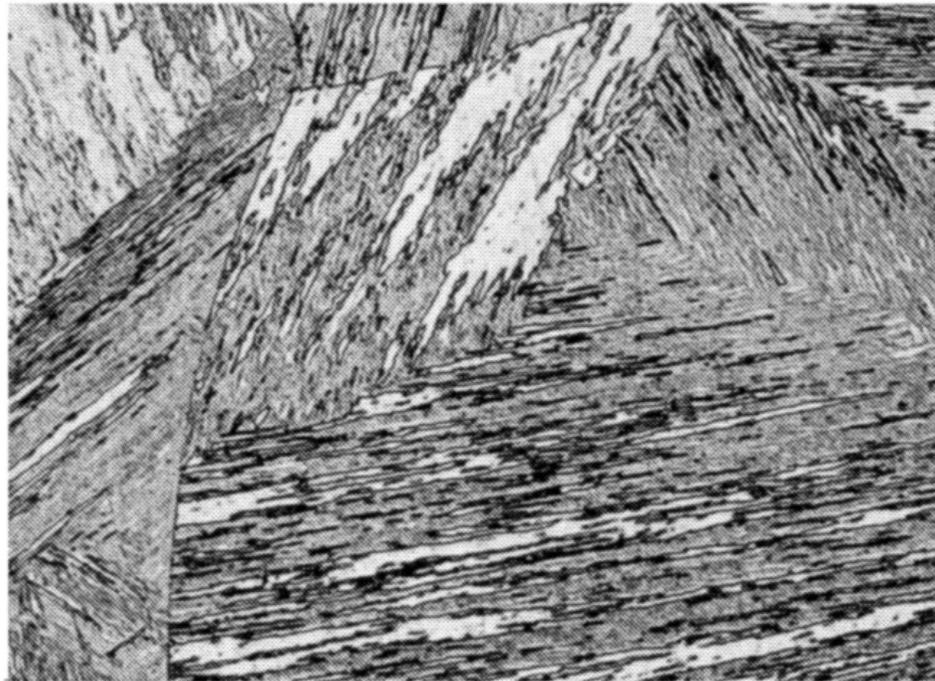


B Typical zig-zag array of plates produced by the burst transformation to martensite (0.5% C-24% Ni steel) $\times 500$

Reação martensítica nos aços

Tipos de martensita: escorregada (ripas) e maclada (placas)

Martensita em ripas

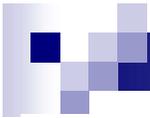


(a)- Martensita tipo "ripas" em aço baixo carbono (80 X)

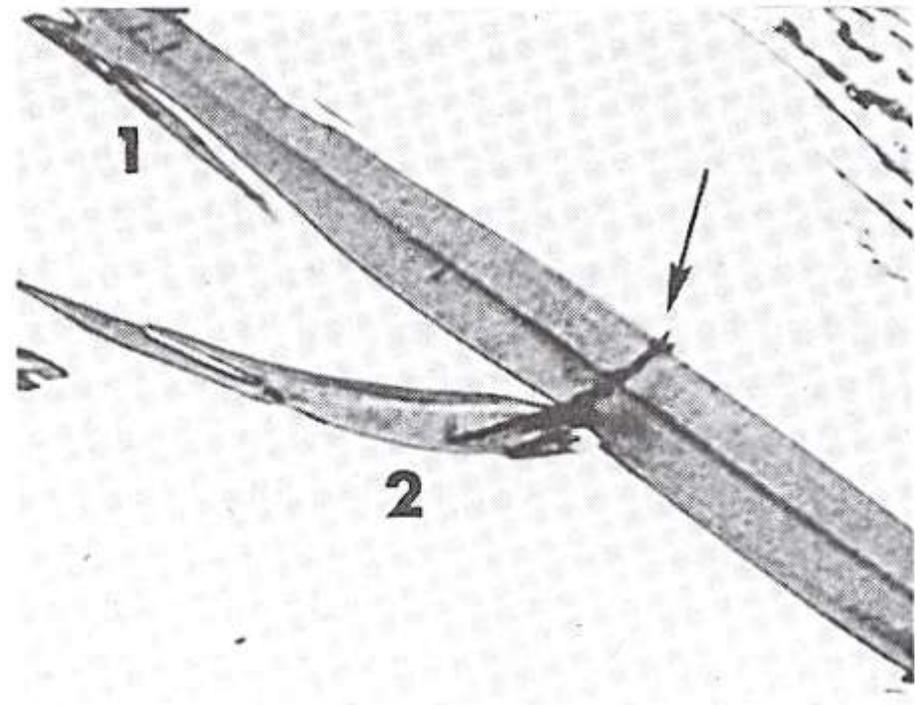
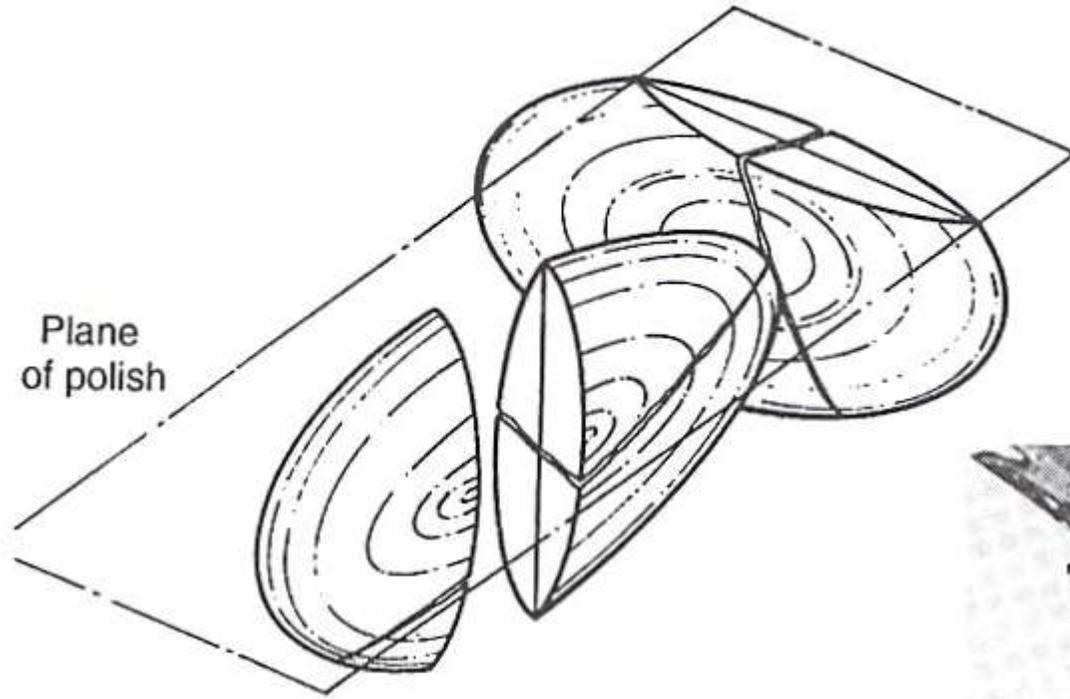
Martensita em placas



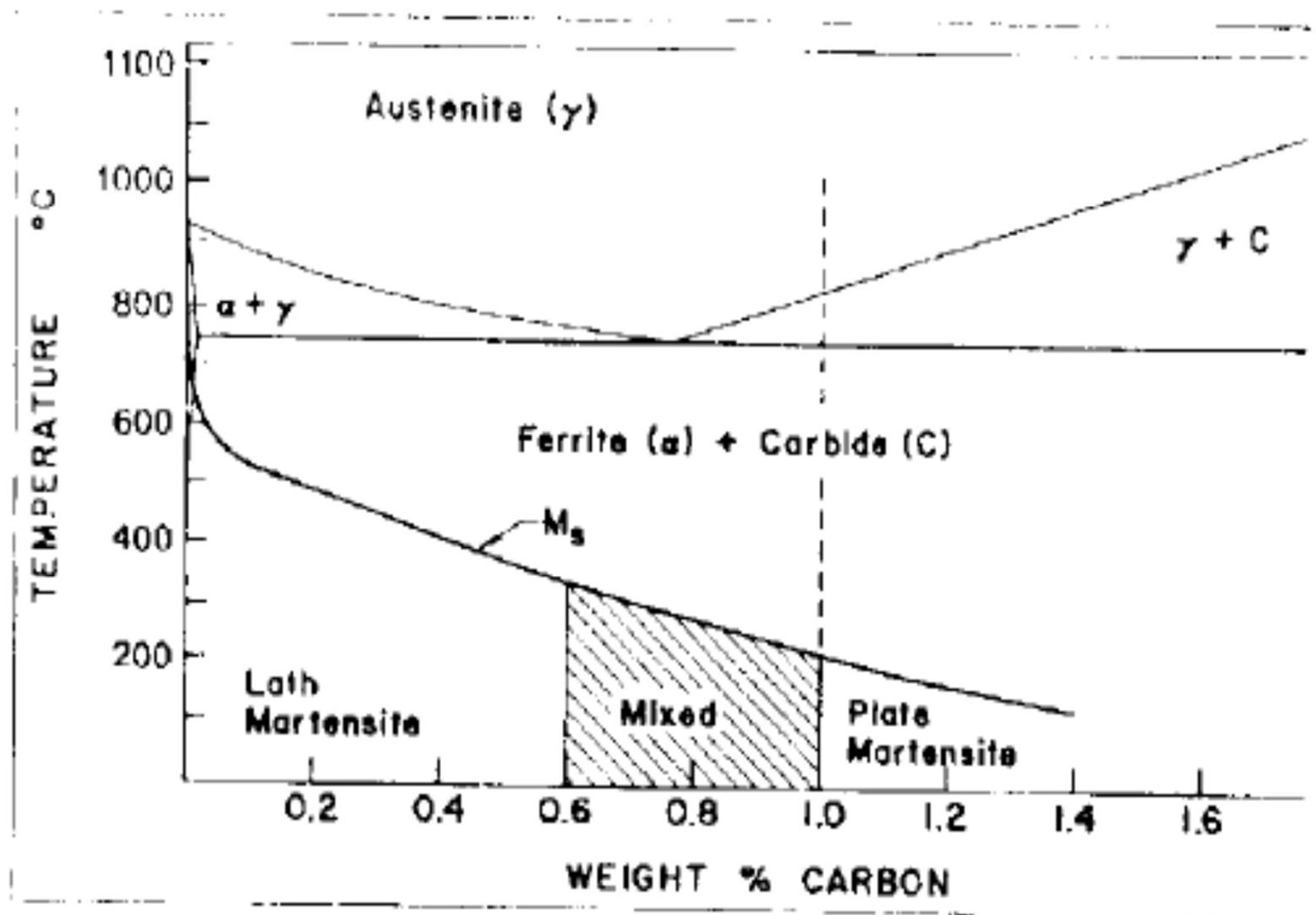
(b) Martensita tipo "placas" em aço de alto carbono (400 X)



Plane
of polish

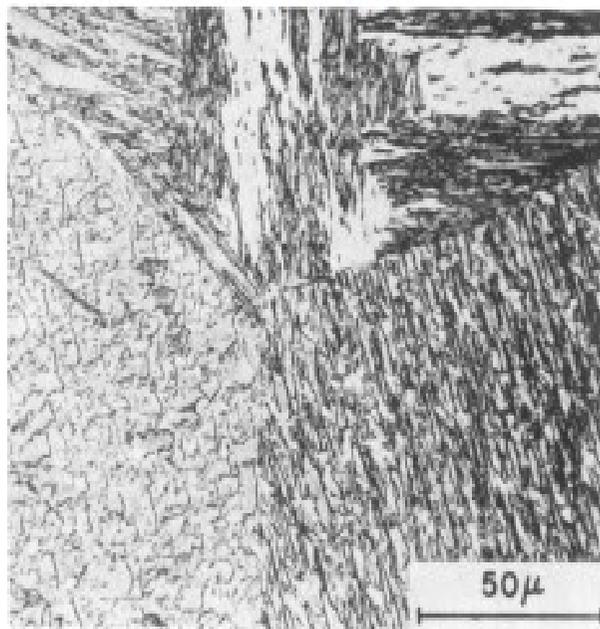


Martensitic Transformation Temperature



Microstructure of Martensitic Transformation in Plain Carbon Steels

~0.6%C



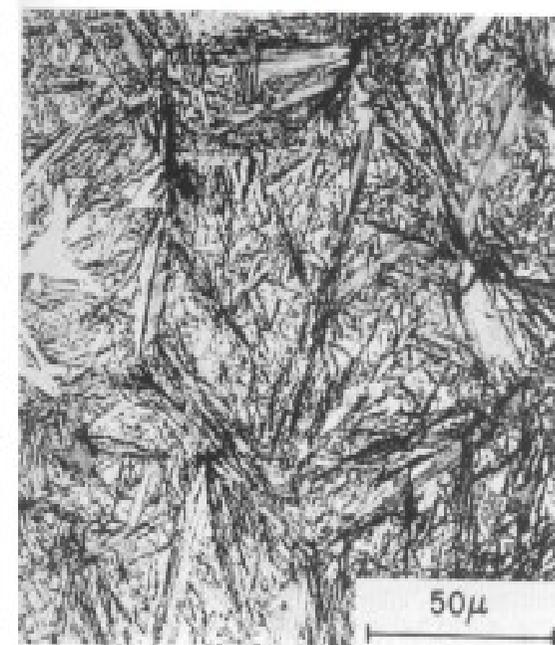
(a)

~0.2%C



(b)

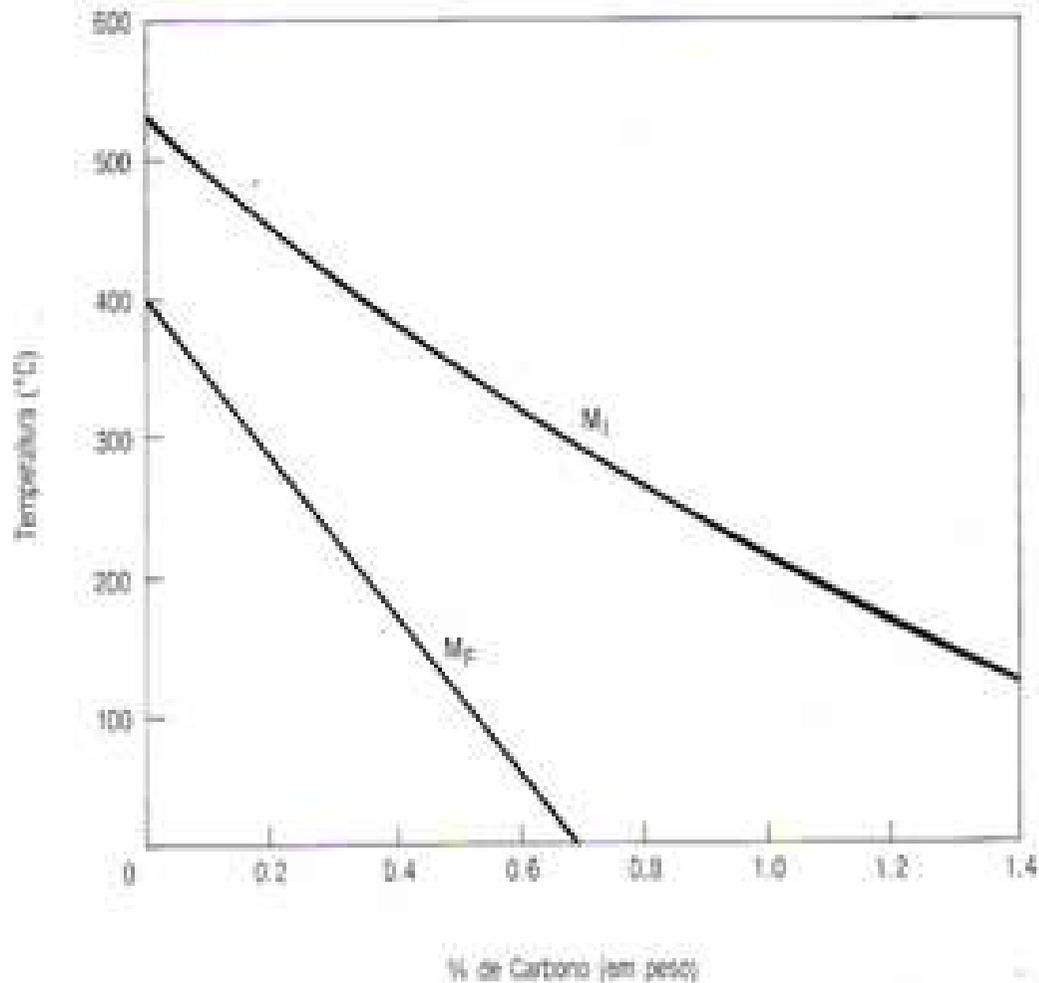
~1.2%C

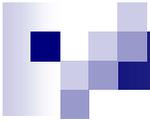


(c)

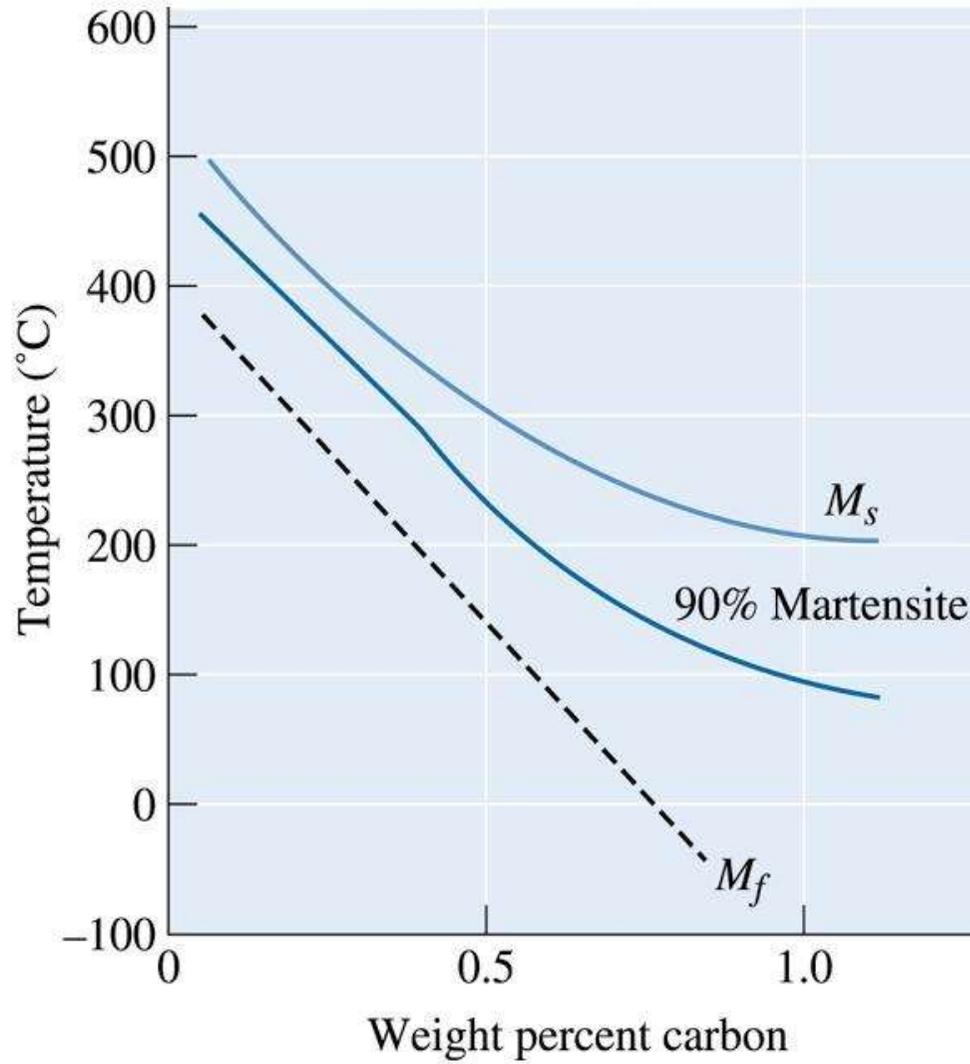
INFLUÊNCIA DO CARBONO NO INÍCIO E FIM DE TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA

MARTENSITA +
AUSTENITA RETIDA

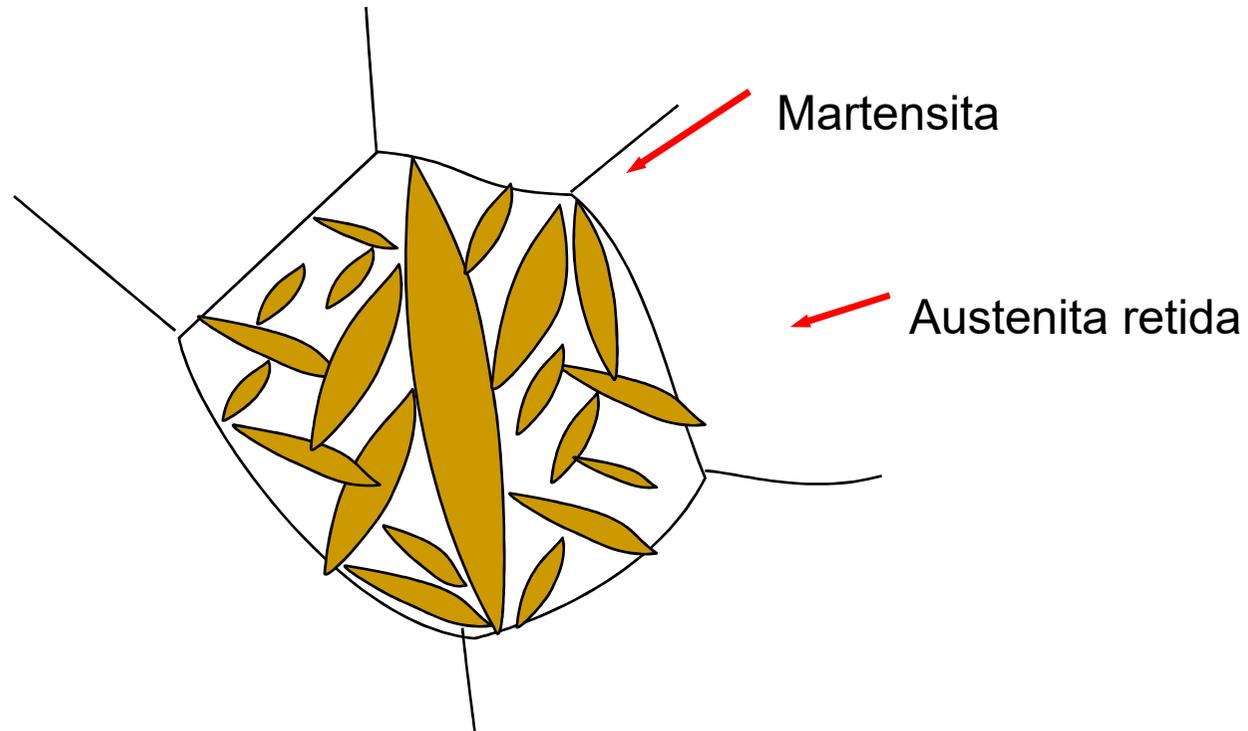




©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.



Martensita



Martensita formada por escorregamento na austenita

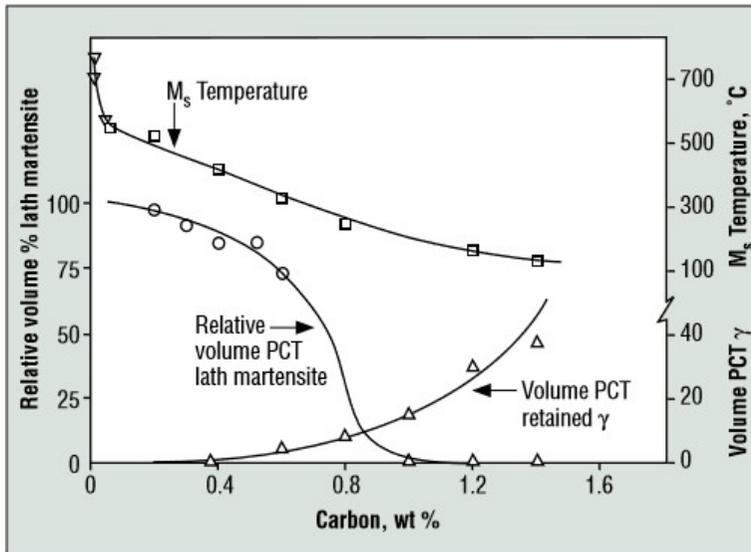


Fig. 7. Influence of carbon content of the austenite on the percentages of lath (or plate) martensite, Ms temperature and percentage of retained austenite^[5]

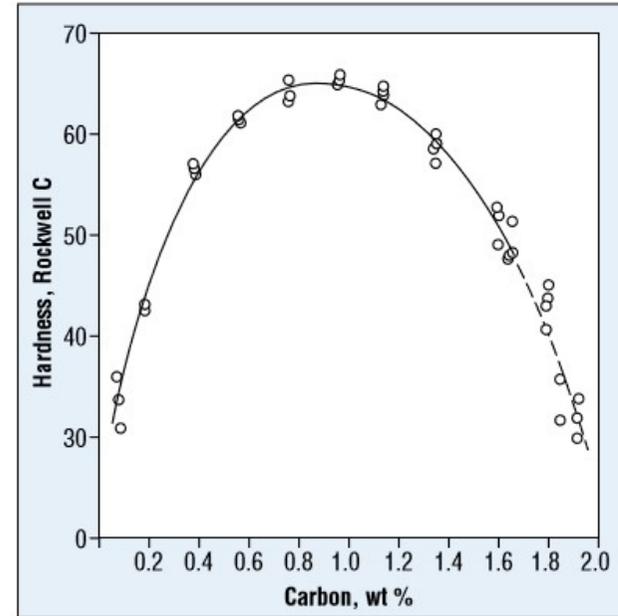


Fig. 2. As-quenched or brine quenched Fe-C alloys up to nearly 2 wt. % by Litwinchuk et al.^[3]

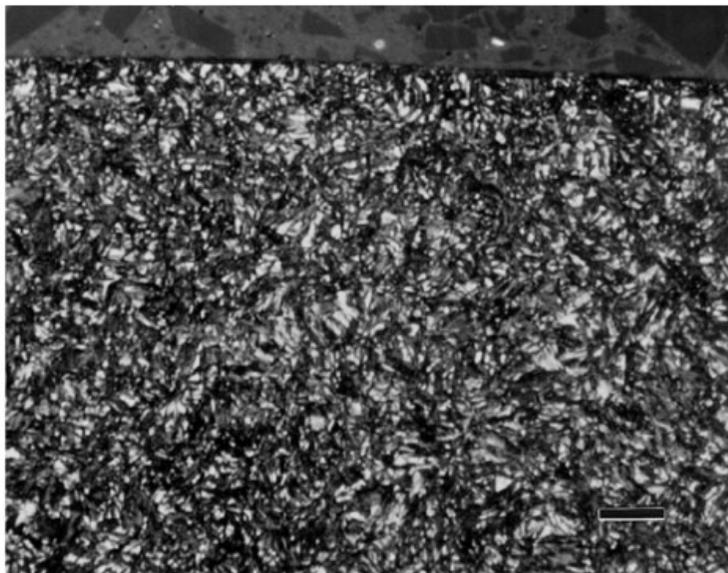


Fig. 8. Surface of a carburized 8720 alloy-steel railroad-cone bearing etched with nital plus 1% zephiran chloride. Image analysis yielded 13.3% retained austenite vs 25.4% by XRD (1000x).

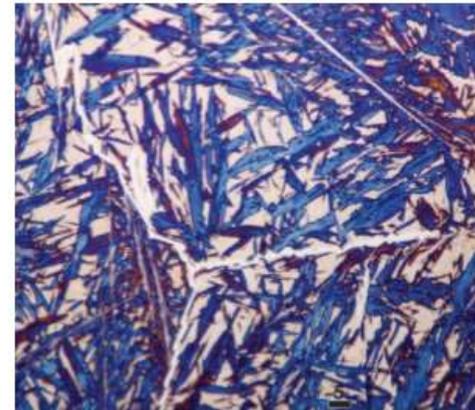


Fig. 6. High-carbon plate martensite (blue and brown), retained austenite (white), plus intergranular and intragranular cementite in a carburized specimen of 9310 alloy steel etched with Beraha's reagent (100 mL water, 10 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ and 3 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) at 1000x (marker bar is 5 μm long).



Differences in **cooling rate** also affect martensite transformation kinetics. Slower **cooling** rates lower the **rate** of martensite transformation **and** result in higher amounts of **retained austenite** on **cooling** to a given temperature. Table 8-6 shows the effect of



Pode ser atribuído ao mecanismo da transformação de fase. Se o movimento das discordâncias é o principal mecanismo da transformação da fase martensítica, as discordâncias captam alguns átomos de carbono da matriz e, conseqüentemente, a concentração de carbono na interface austenita / martensita aumenta.

Os átomos de carbono entre as camadas de martensita, portanto, fixam as discordâncias e atuam como obstáculos aos seus movimentos.

Como resultado, alguma austenita permanecerá entre as camadas de martensita, uma vez que a transformação é interrompida quando essas discordâncias são fixadas por átomos de carbono.

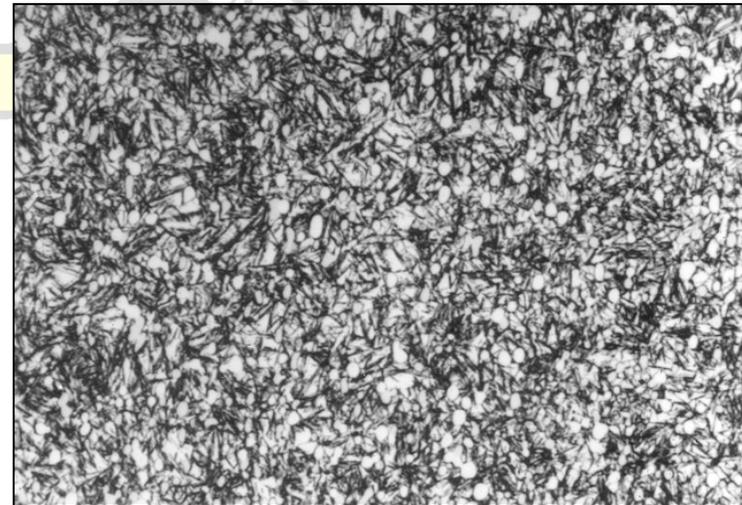


SUB ZERO

- **Consiste em resfriar as peças após a têmpera em temperaturas abaixo de 0°C, como: nitrogênio líquido $\cong -176^\circ\text{C}$, gelo seco $\cong -68^\circ\text{C}$ ou hélio líquido $\cong -268^\circ\text{C}$.**
- **Propiciando temperaturas inferiores a M_f ocorrendo a transformação da austenita retida em martensita.**

Sub Zero

Tem por objetivo reduzir ao mínimo o teor de austenita retida após a têmpera.

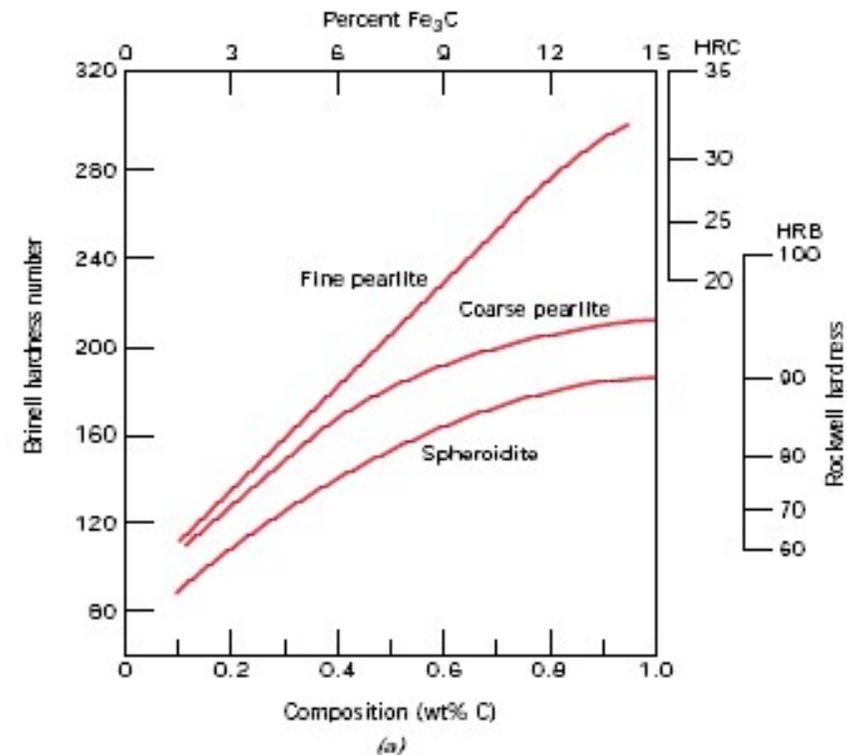


Aço rápido M3:2 temperado
com 16% de austenita retida

Tanque para tratamento
sub-zero

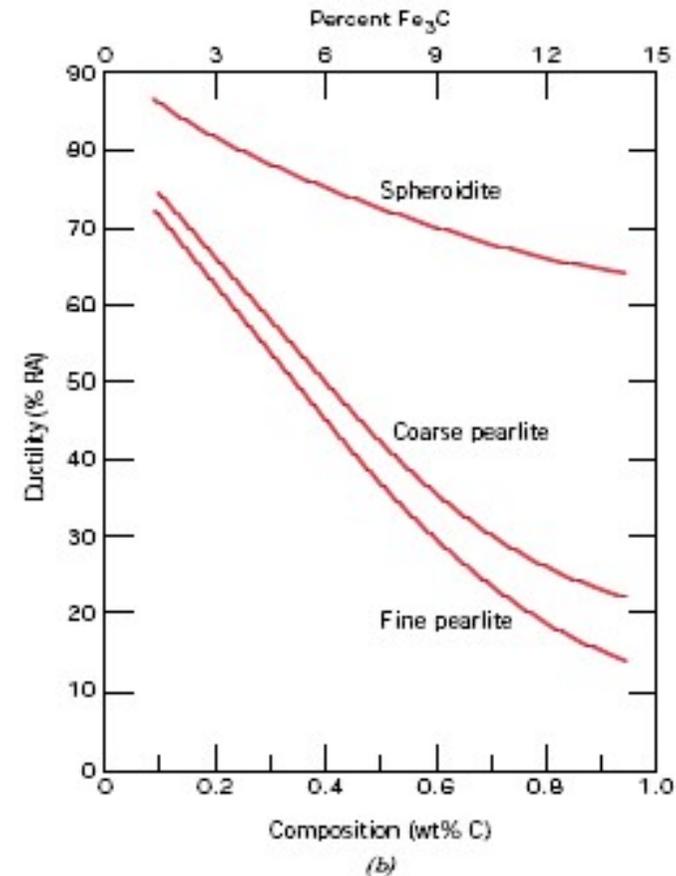
PROPRIEDADES MECÂNICAS

- A cementita é mais dura, porém mais frágil do que a ferrita. Dessa forma aumentando a fração de Fe_3C irá resultar em um material mais duro e mais resistente.
- A espessura da camada de cada fase também influencia. A perlita fina é mais dura e mais resistente que a perlita grosseira. A perlita fina possui maior restrição ao movimento de discordâncias e um maior reforço de cementita na perlita, devido à maior área de contornos de fases
- Na esferoidita existe uma menor área de contornos e menor restrição de discordâncias, portanto é menos dura e menos resistente



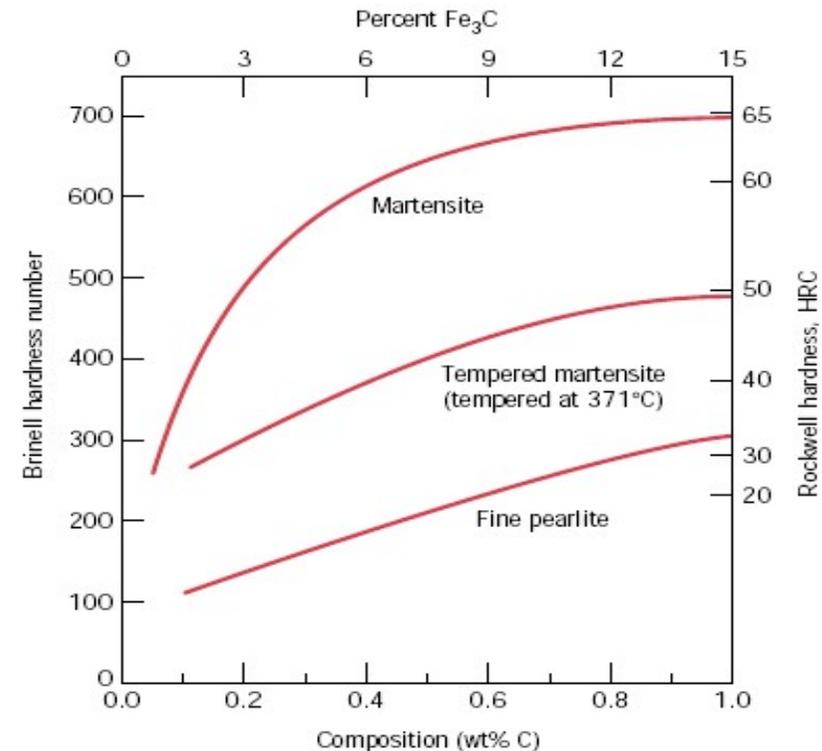
PROPRIEDADES MECÂNICAS

- Uma vez que a cementita é mais frágil, o aumento do seu teor resultará em uma diminuição de ductilidade
- A perlita grosseira é mais dúctil que a perlita fina, pois existe uma maior restrição à deformação plástica na perlita fina
- A esferoidita é extremamente dúctil, muito mais do que a perlita fina e perlita grosseira. Além disso são extremamente tenazes, pois qualquer trinca encontra uma pequena quantidade de partículas frágeis de cementita

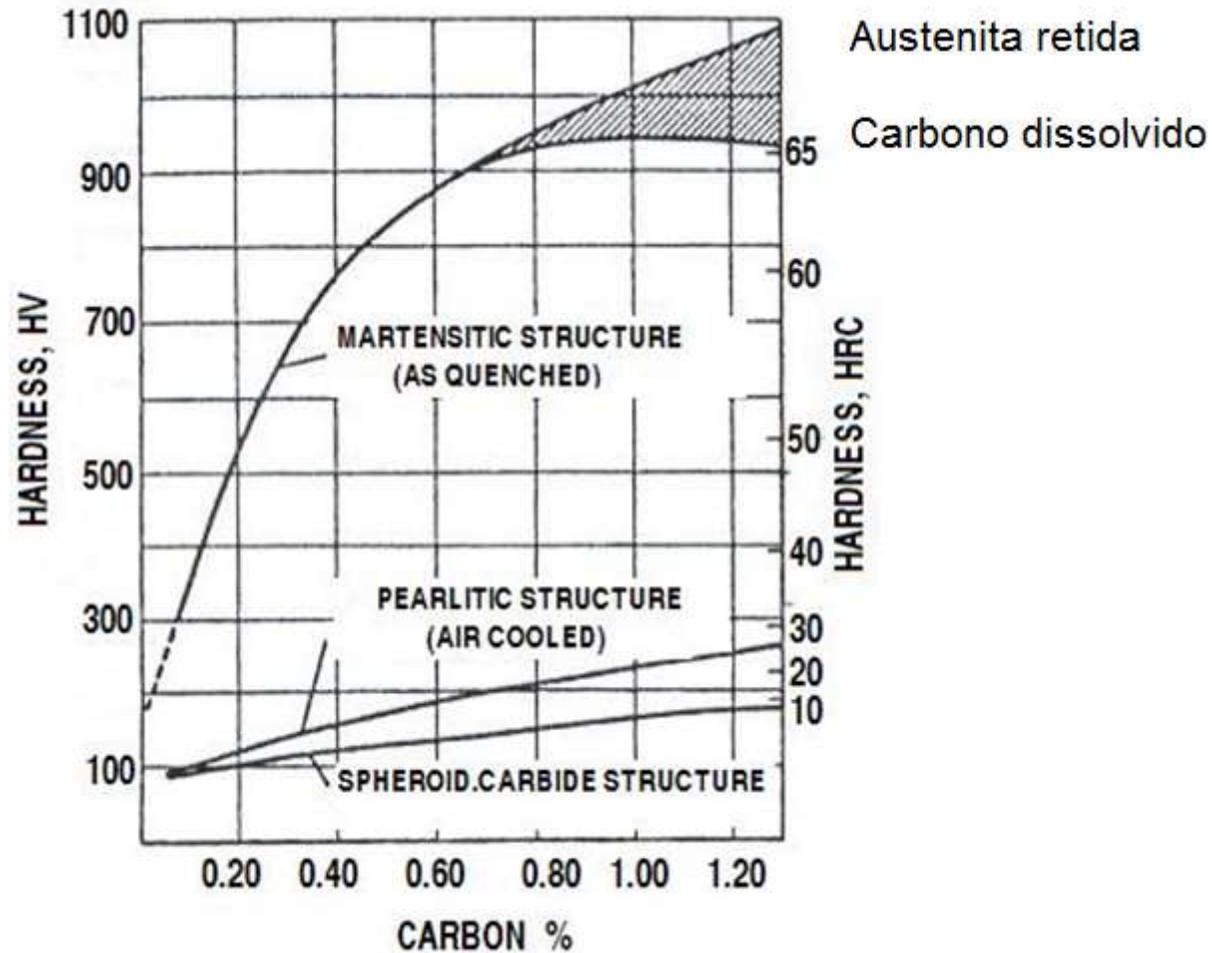


PROPRIEDADES MECÂNICAS

- A martensita é mais dura, mais resistente e mais frágil. A sua dureza depende do teor de carbono para aços com até aproximadamente 0,6% de C
- Essas propriedades são atribuídas aos átomos de carbono intersticiais que restringem o movimento de discordâncias
- A martensita revenida possui partículas de cementita extremamente pequenas, o que lhe dá uma melhor ductilidade e tenacidade

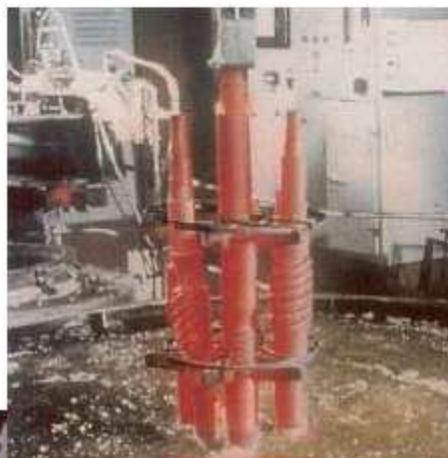


Propriedades

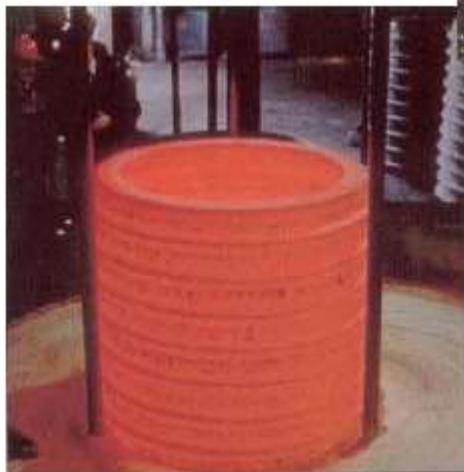


Exemplos de têmpera de peças

Eixo sem-fim



Roda de trem



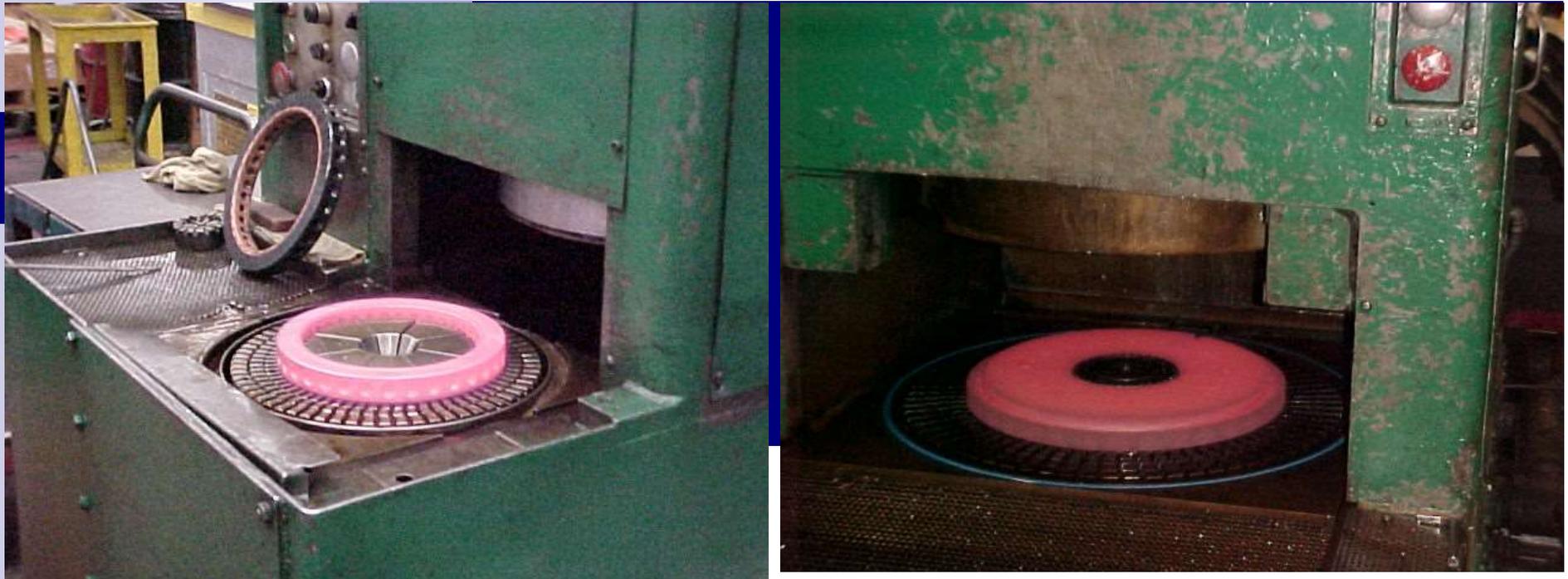
Cilindro de gás

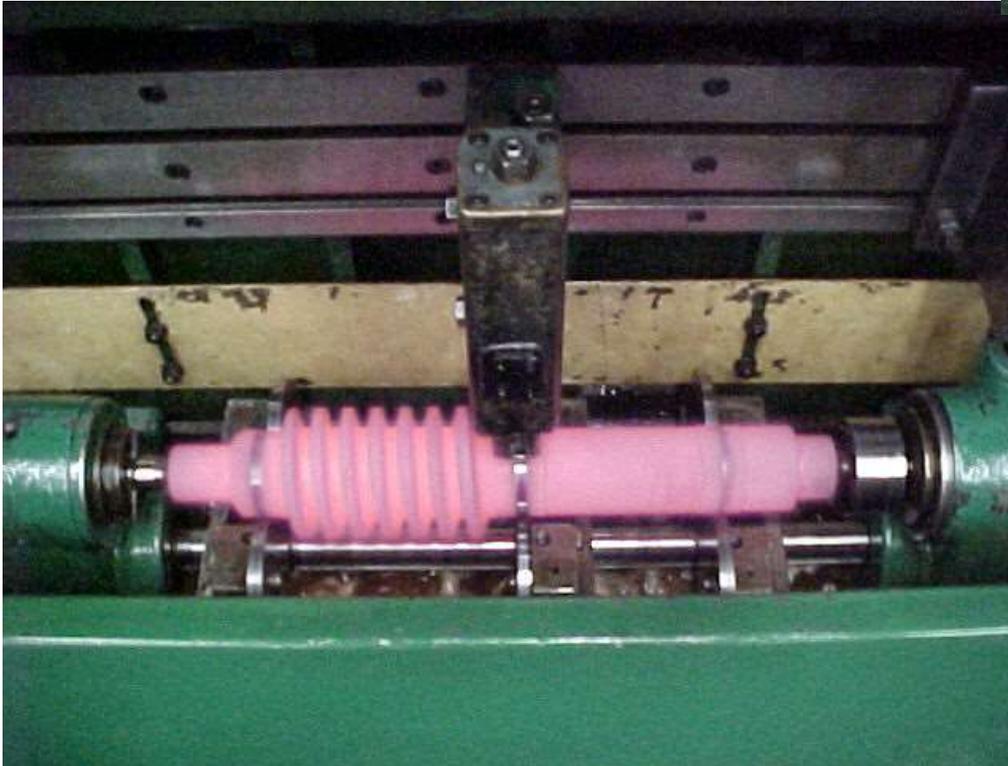
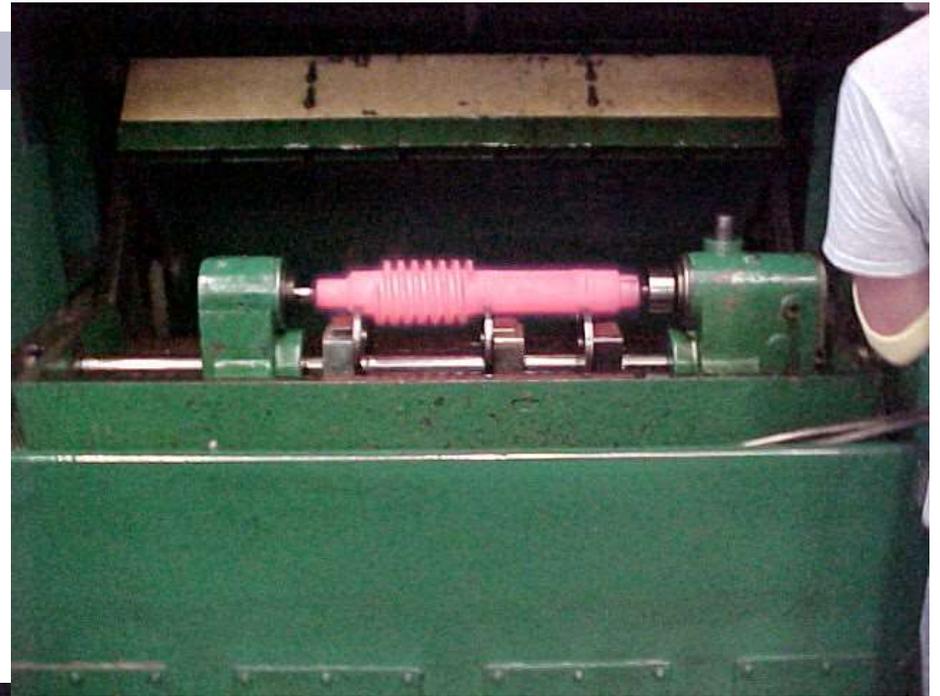


Posição das peças no resfriamento para têmpera



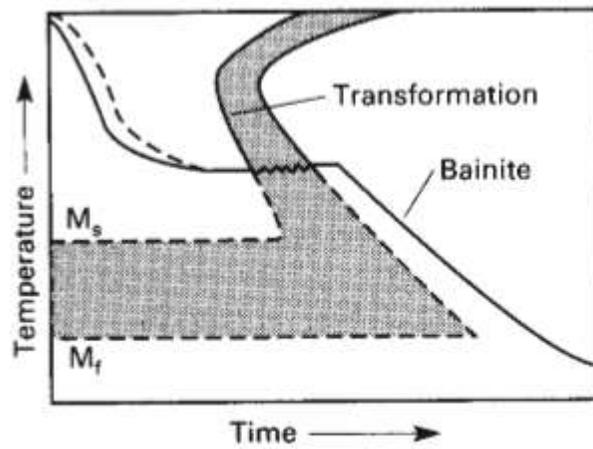
Press quenching



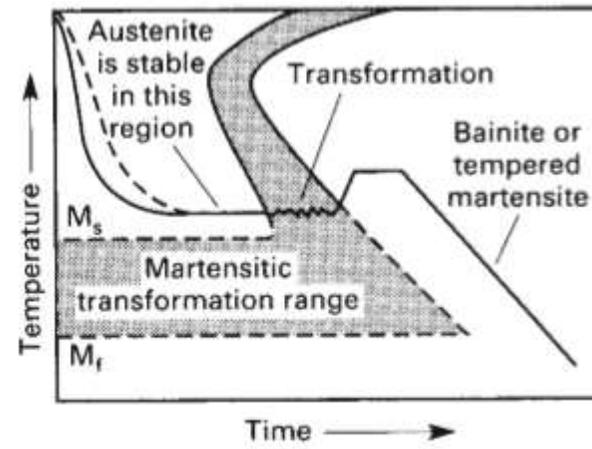


TÊMPERA AO AR



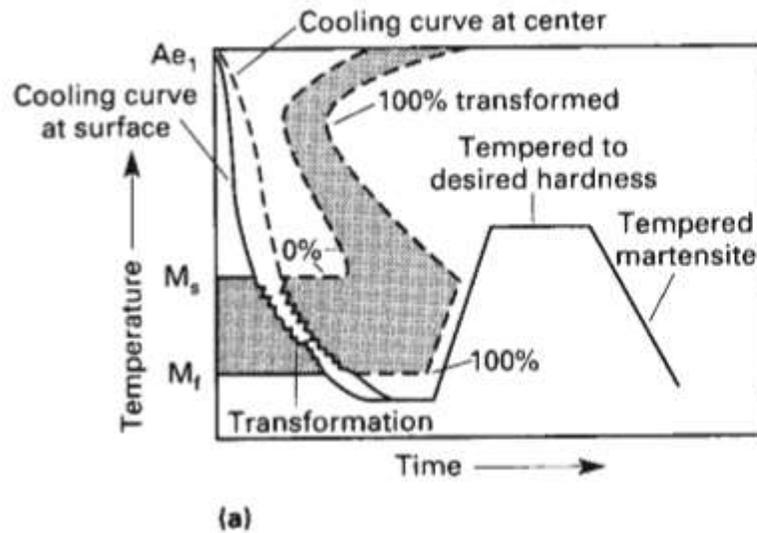


(c)

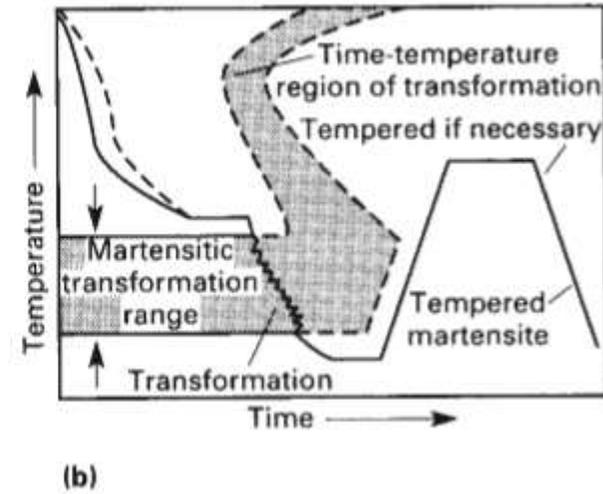


(d)

Austêmpera: Sal ou óleo quente



Têmpera convencional, que usa óleo, polímero, água ou soluções salinas.



Martêmpera que usa sal ou óleo quente.

Warping of soft steel cylinder through repeated water quenching

J. H. Whiteley, "Note on the Warping of Steel through Repeated Quenching", J. Iron & Steel Inst., Vol. 98, 1918, p211-215.

Initial shape



After 200 quenchings



After 800 quenchings



- Dimension: 3.5in (88.9mm) diameter.
- Heated blood-red heat (700C to 850C)