

Técnicas de Análise Microestrutural


Microscopia Ótica

Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior

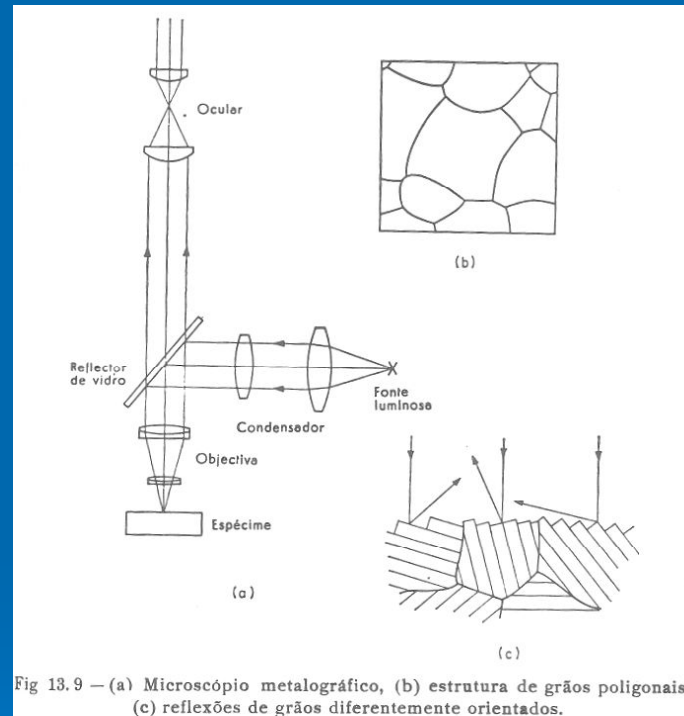
DEMAR – EEL – USP Lorena

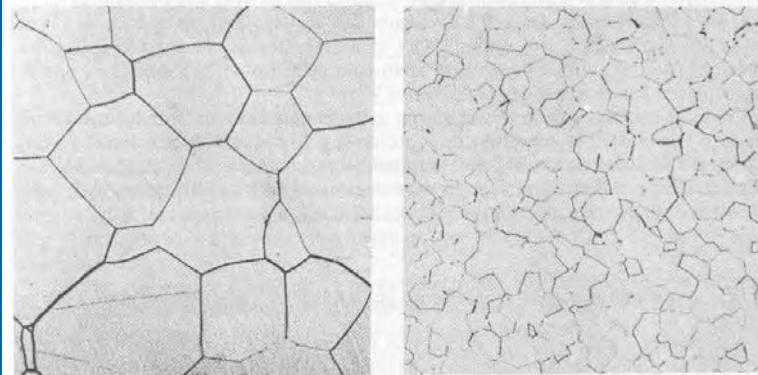


Observação em Microscopia Ótica

- 1) Observação microscópica;
 - 2) Elementos de um microscópio ótico;
 - 3) Tipos de microscópio;
 - 4) Escala e aumento;
 - 5) Aumento nominal X aumento real;
 - 6) Distorções visuais.
- 

Observação da estrutura no microscópio ótico





(a)

(b)

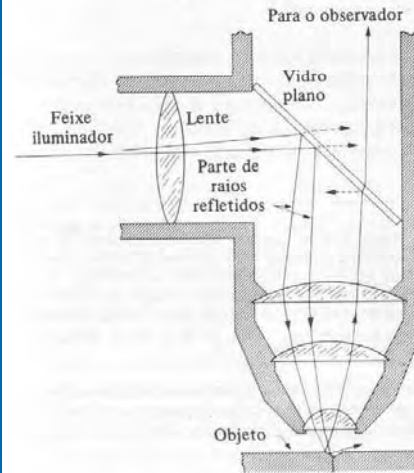


Figura 4-4.8 Contornos de grão. (a) Molibdênio (250 X) (O. K. Riegger). (b) Periclásio de alta densidade, MgO (250 X) R. E. Gardner and G. W. Robinson, Jr., *J. American Ceram. Soc.*

Figura 4-4.9 Observação do contorno de grão. O metal foi polido e atacado. O contorno corroído não reflete luz através do microscópio. (Reproduzido por permissão de B. Rogers, *The Nature of Metals*, 2ª ed., American Society for Metals, and Iowa State University Press, Capítulo 2.)

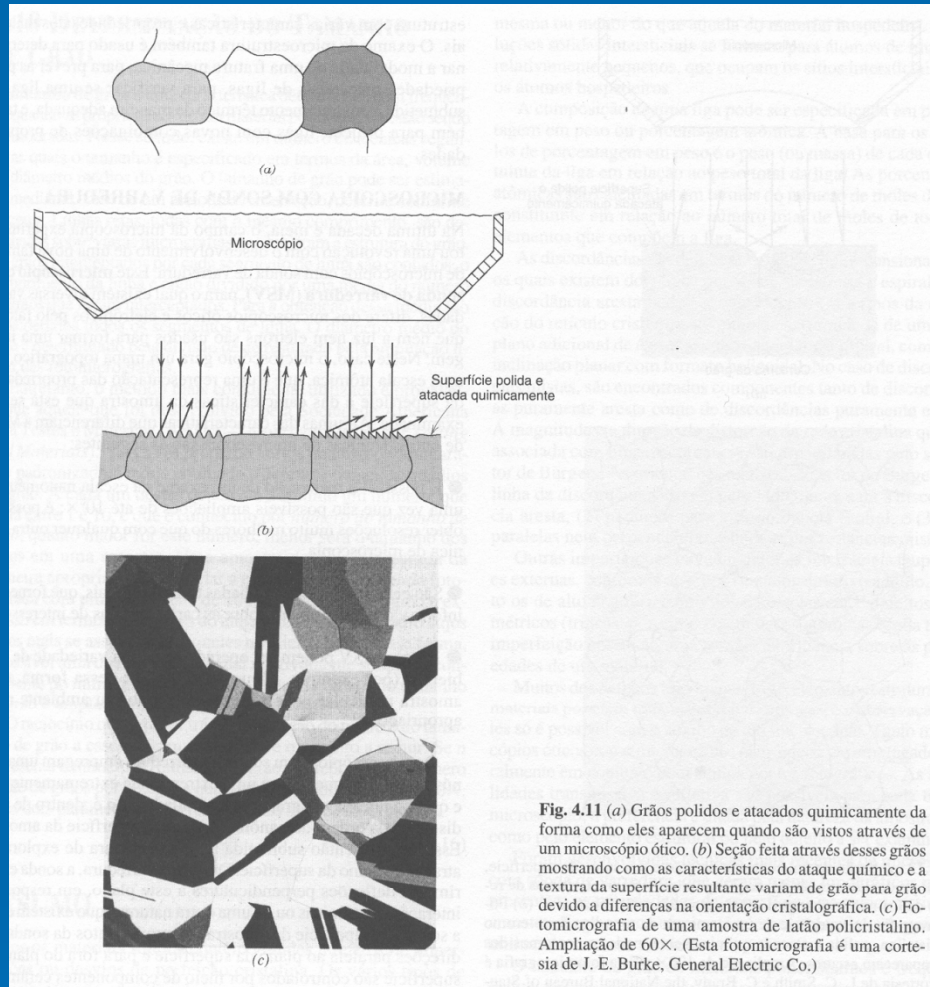


Fig. 4.11 (a) Grãos polidos e atacados quimicamente da forma como eles aparecem quando são vistos através de um microscópio ótico. (b) Seção feita através desses grãos mostrando como as características do ataque químico e a textura da superfície resultante variam de grão para grão devido a diferenças na orientação cristalográfica. (c) Fotomicrografia de uma amostra de latão policristalino. Ampliação de 60X. (Esta fotomicrografia é uma cortesia de J. E. Burke, General Electric Co.)

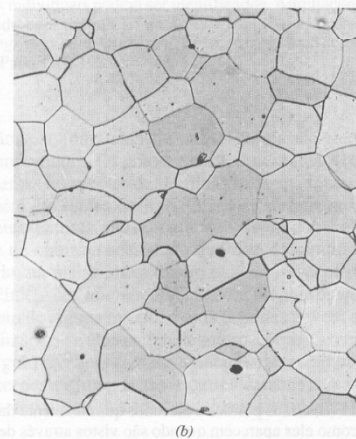
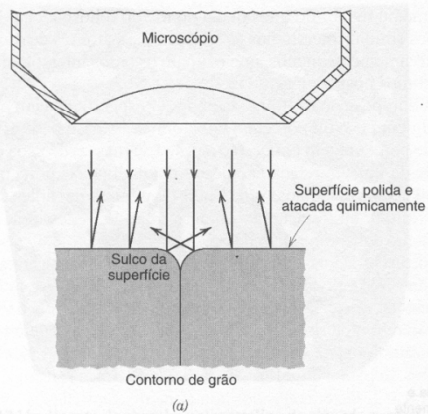


Fig. 4.12 (a) Seção de um contorno de grão e seu sulco de superfície, que foi produzido através de ataque químico. As características de reflexão da luz na vizinhança do sulco também estão mostradas. (b) Fotomicrografia da superfície de uma amostra de uma liga ferro-cromo policristalina, polida e atacada quimicamente, onde os contornos dos grãos aparecem escuros. Ampliação de 100×. (Esta fotomicrografia é uma cortesia de L. C. Smith e C. Brady, the National Bureau of Standards, Washington, DC.)

FRACTOGRAFIAS

FRATURA
DÚCTIL

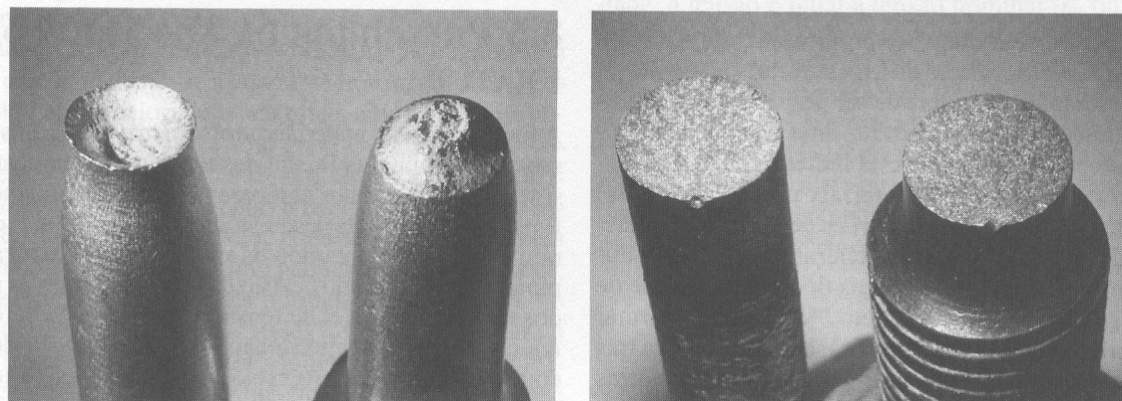


Fig. 8.3 (a) Fratura do tipo taça e cone no alumínio. (b) Fratura frágil em um aço doce.

FRATURA
FRÁGIL

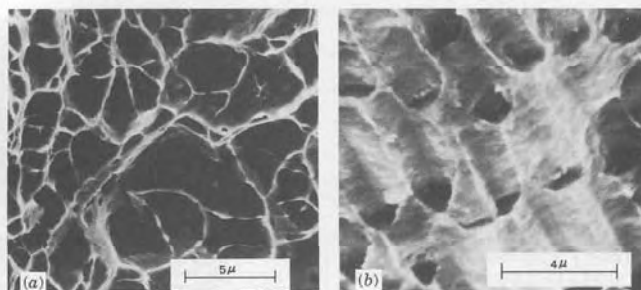


Fig. 8.4 (a) Fractografia eletrônica de varredura mostrando microcavidades esféricas características de uma fratura dúctil que resulta de cargas de tração uniaxiais. 3300X. (b) Fractografia eletrônica de varredura mostrando microcavidades com formato parabólico características de uma fratura dúctil que resulta da aplicação de uma carga cisalhante. 5000X. (De R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition. Copyright © 1989 de John Wiley & Sons, New York. Reimpresso sob permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

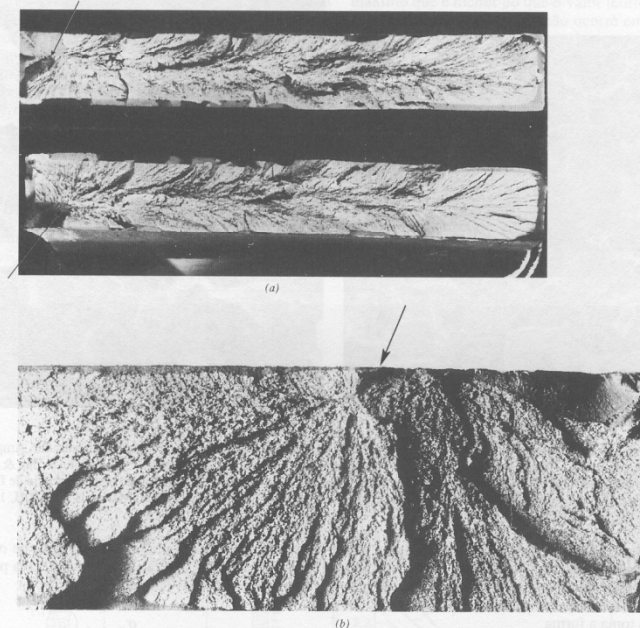


Fig. 8.5 (a) Fotografia mostrando "marcas de sargento" em forma de "V" características de uma fratura frágil. As setas indicam a origem da trinca. Aproximadamente em tamanho real. (De R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition. Copyright © 1989 de John Wiley & Sons, New York. Reimpresso sob permissão de John Wiley & Sons, Inc. A fotografia é uma cortesia de Roger Slutter, Lehigh University.) (b) Fotografia de uma superfície de fratura frágil mostrando nervuras radiais em formato de leque. As setas indicam a origem da trinca. Aumento de aproximadamente 2X. (Reproduzido com permissão de D. J. Wulpi, *Understanding How Components Fail*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

Fratura transgranular

Fratura intergranular

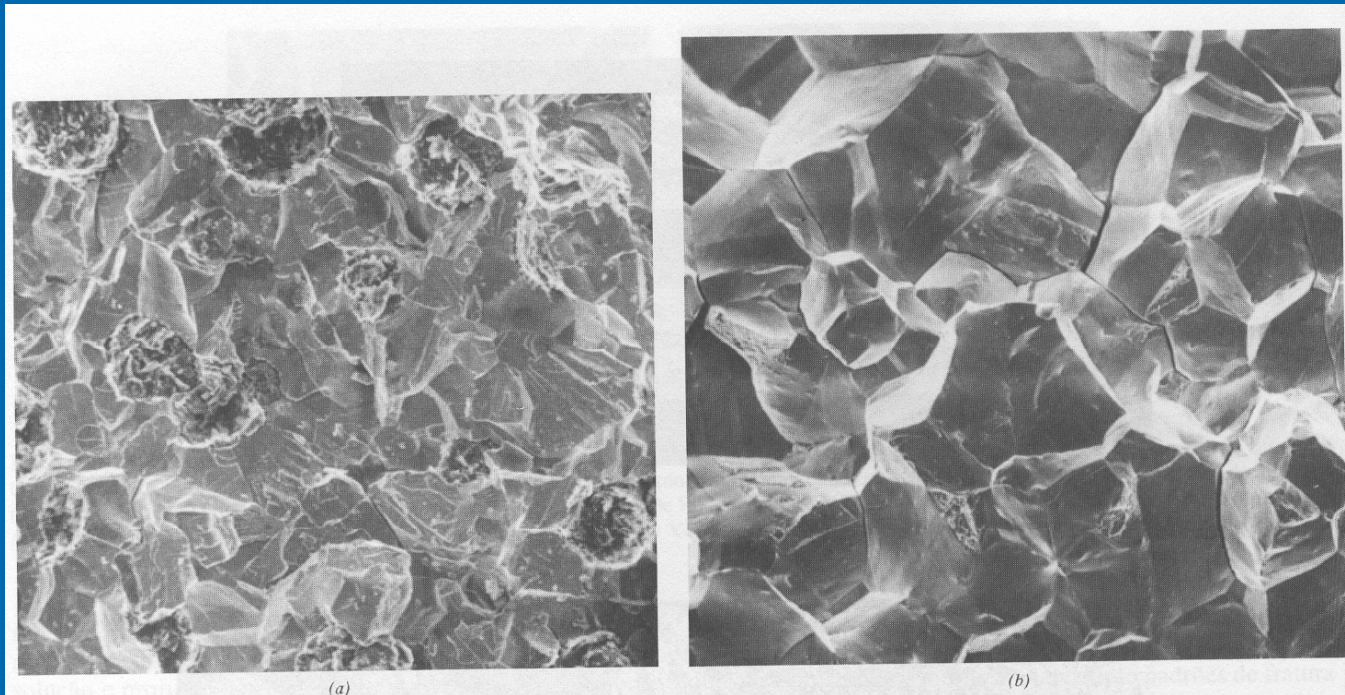


Fig. 8.6 (a) Fractografia eletrônica de varredura de ferro fundido dúctil mostrando uma superfície de fratura transgranular. Ampliação desconhecida. (De V. J. Colangelo e F. A. Heiser, *Analysis of Metallurgical Failures*, 2nd edition. Copyright © 1987 de John Wiley & Sons, New York. Reimpresso sob permissão de John Wiley & Sons, Inc.) (b) Fractografia eletrônica de varredura mostrando uma superfície de fratura intergranular. 50×. (Reproduzido com permissão de *ASM Handbook*, Vol. 12, *Fractography*, ASM International, Materials Park, OH, 1987.)

DEFORMAÇÃO MECÂNICA

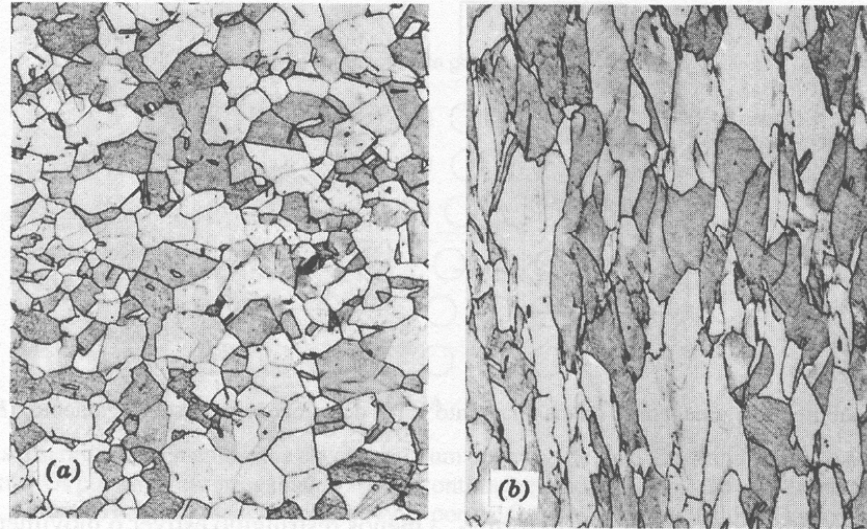
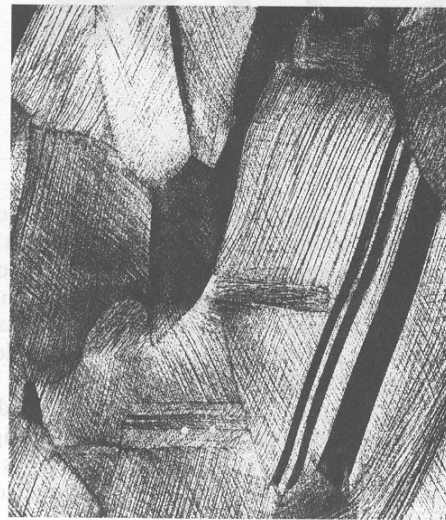
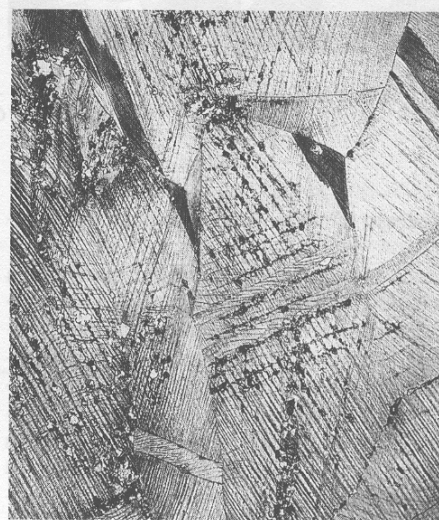


Fig. 7.11 Alteração da estrutura do grão de um metal policristalino como resultado de uma deformação plástica. (a) Antes da deformação, os grãos são equiaxiais. (b) A deformação produziu grãos alongados. $170\times$. (De W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, e J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 140. Copyright © 1964 por John Wiley & Sons, New York. Reimpresso sob permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

RECUPERAÇÃO, RECRISTALIZAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRÃOS



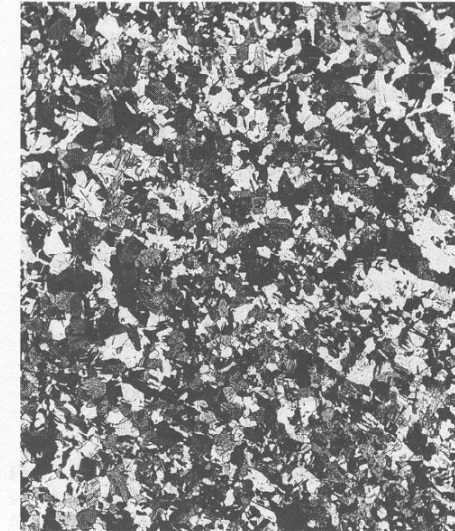
(a)



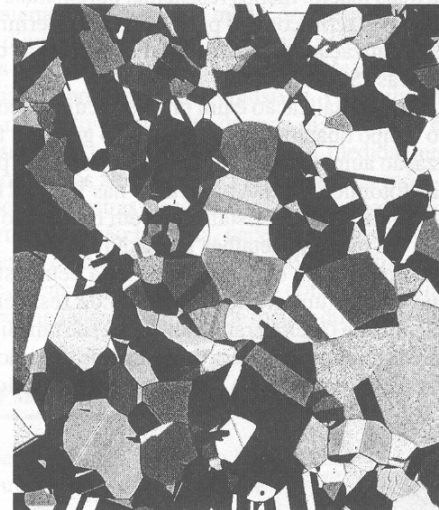
(b)



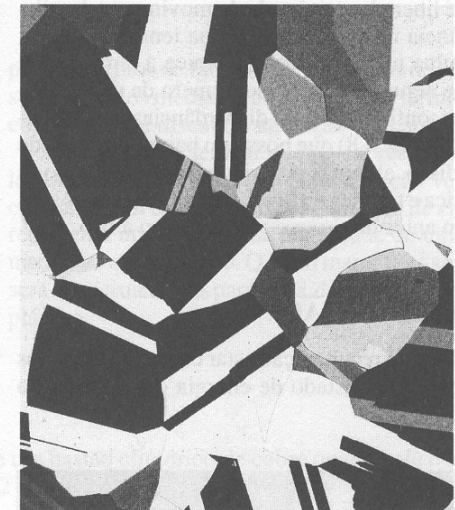
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 7.21 Fotomicrografias mostrando vários estágios da recrystalização e do crescimento de grãos de latão. (a) Estrutura de grãos submetidos ao trabalho a frio (33%TF). (b) Estágio inicial de recrystalização após aquecimento por 3 s a 580°C (1075°F). Os grãos muito pequenos são aqueles que foram recrystalizados. (c) Substituição parcial de grãos trabalhados a frio por grãos recrystalizados (4 s a 580°C). (d) Recrystalização completa (8 s a 580°C). (e) Crescimento de grão após 15 min a 580°C. (f) Crescimento de grão após 10 min a 700°C (1290°F). Todas as fotomicrografias estão com ampliação de 75×. (As fotomicrografias são cortesia de J. E. Burke, General Electric Company.)

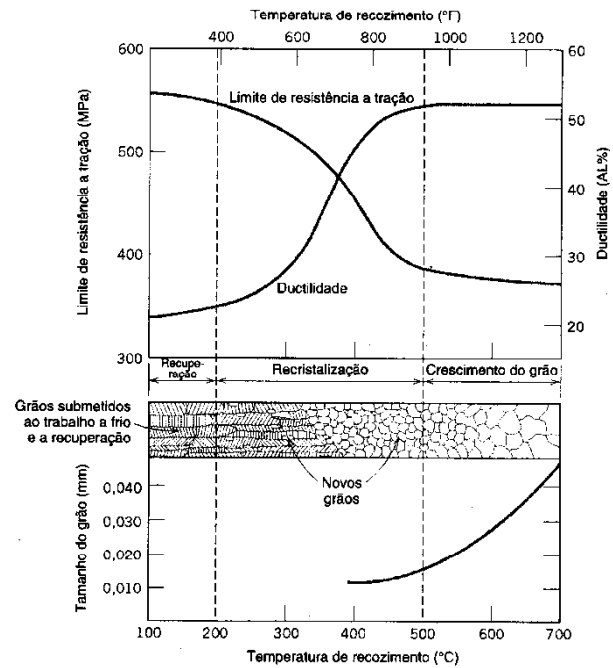
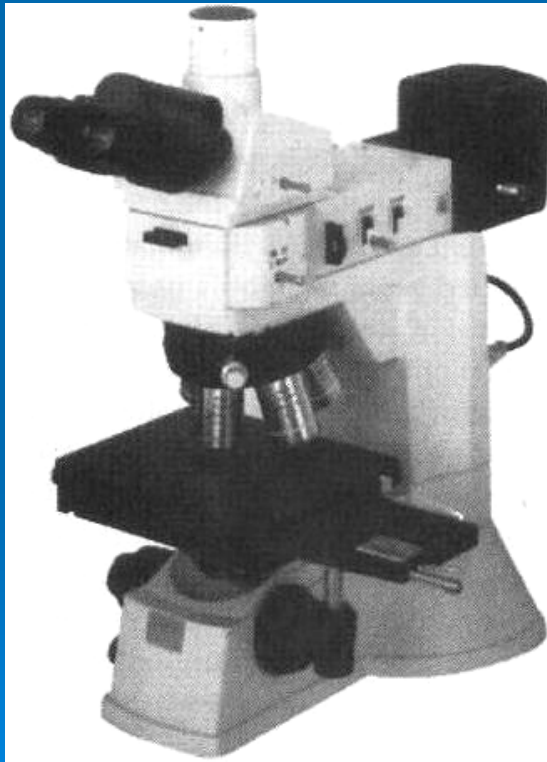


Fig. 7.22 A influência da temperatura de recozimento sobre o limite de resistência a tração e a ductilidade de uma liga de latão. O tamanho de grão está indicado em função da temperatura de recozimento. As estruturas dos grãos durante os estágios de recuperação, recristalização e crescimento de grão estão mostradas esquematicamente. (Adaptado de G. Sachs e K. R. Van Horn, *Practical Metallurgy, Applied Metallurgy and the Industrial Processing of Ferrous and Nonferrous Metals and Alloys*, American Society for Metals, 1940, p. 139.)

Microscópio ótico (MO)

MO luz direta

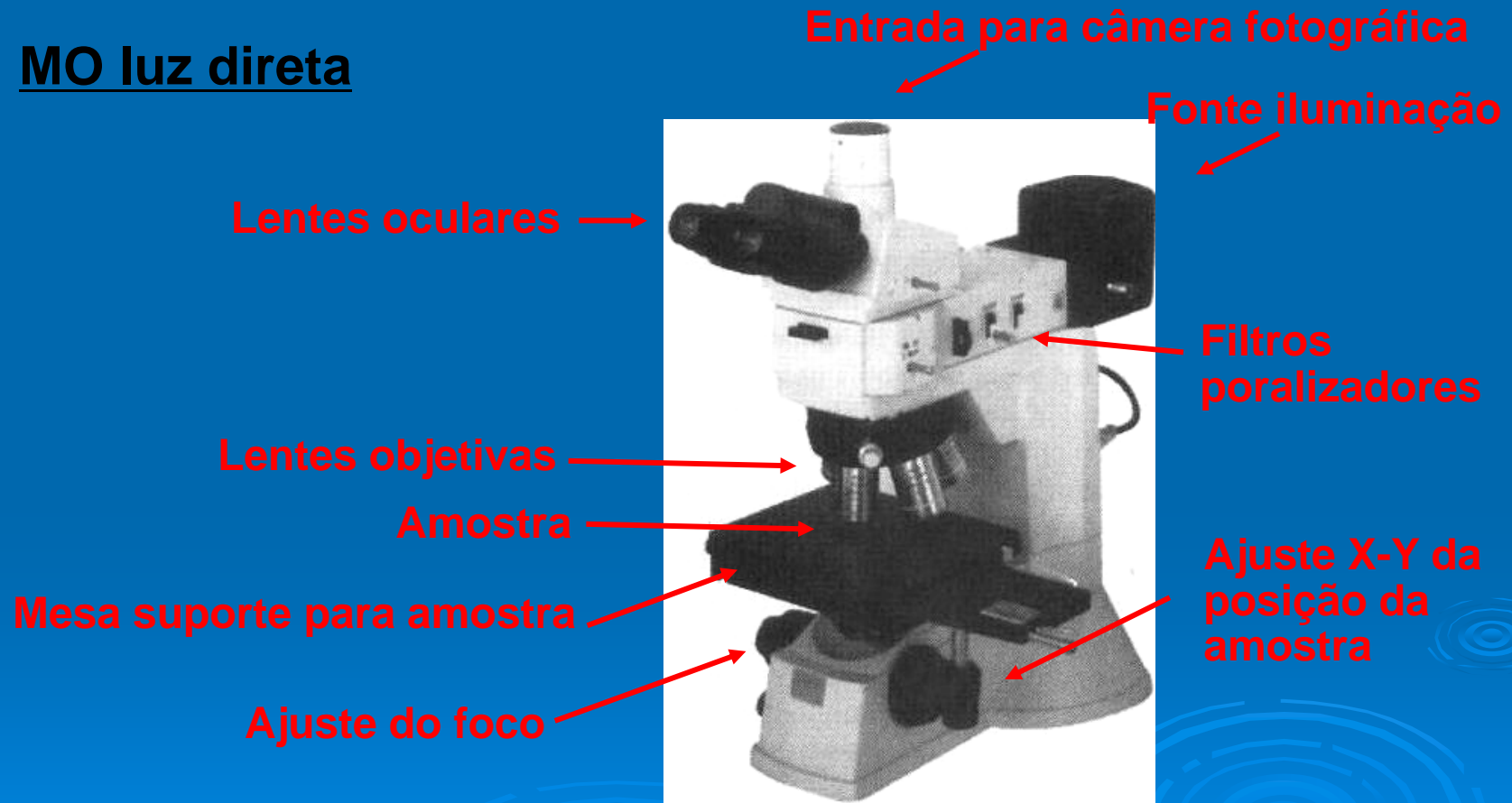


MO luz reversa



Microscópio ótico (MO)

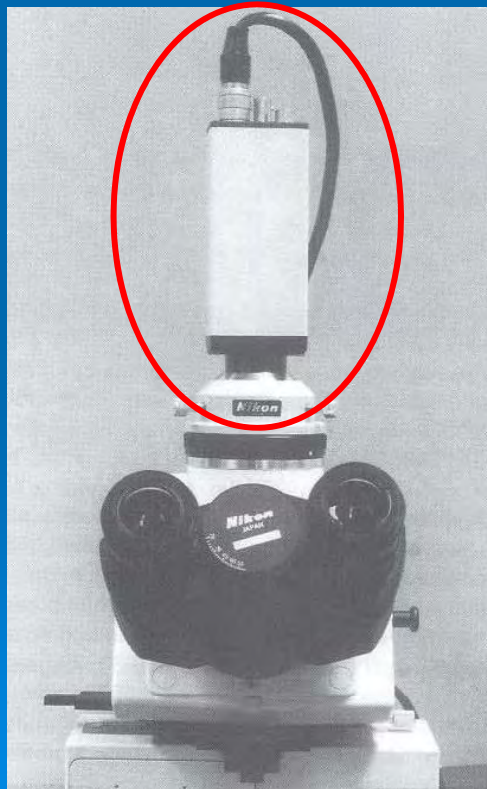
MO luz direta



Microscópio ótico (MO)

MO luz direta

Câmera CCD:
imagem digital



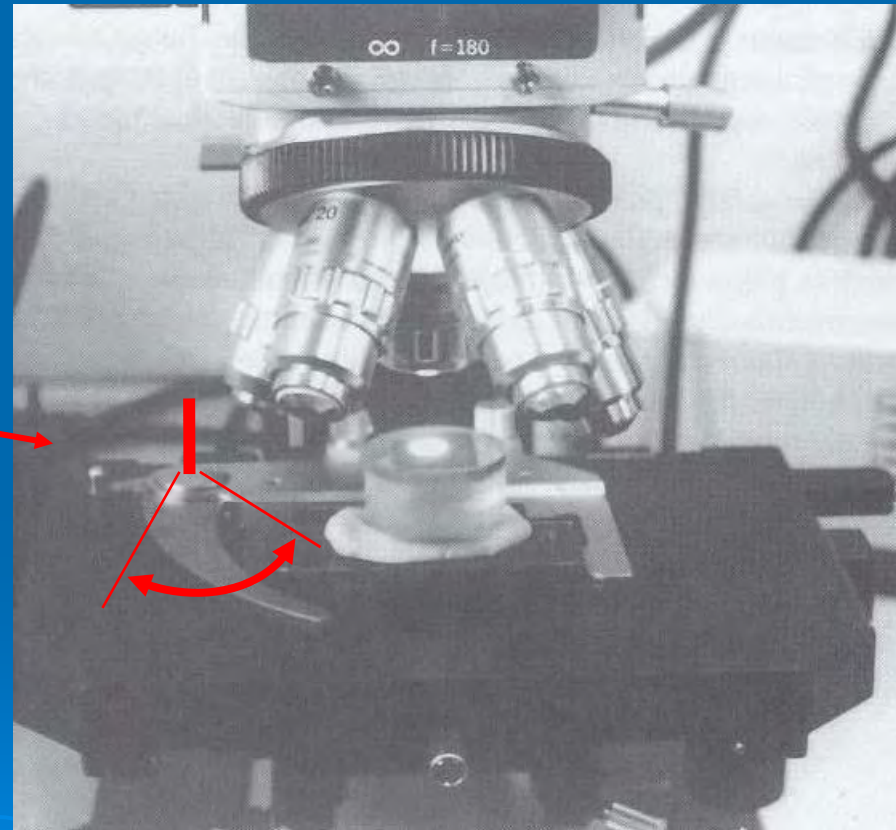
Ajuste X-Y da posição da amostra: a mesa movimenta para que seja possível selecionar determinada região da amostra.



Microscópio ótico (MO)

MO luz direta

Mecanismo de fixação da amostra à mesa

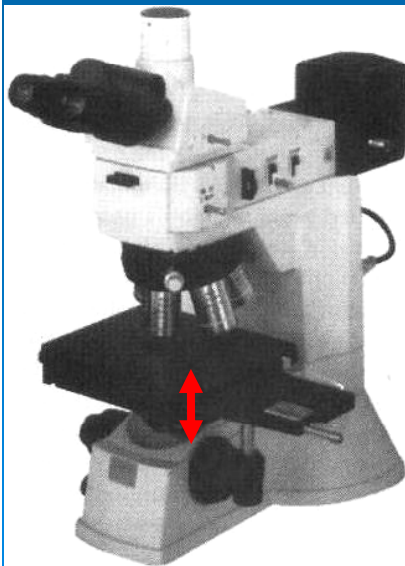


Microscópio ótico (MO)

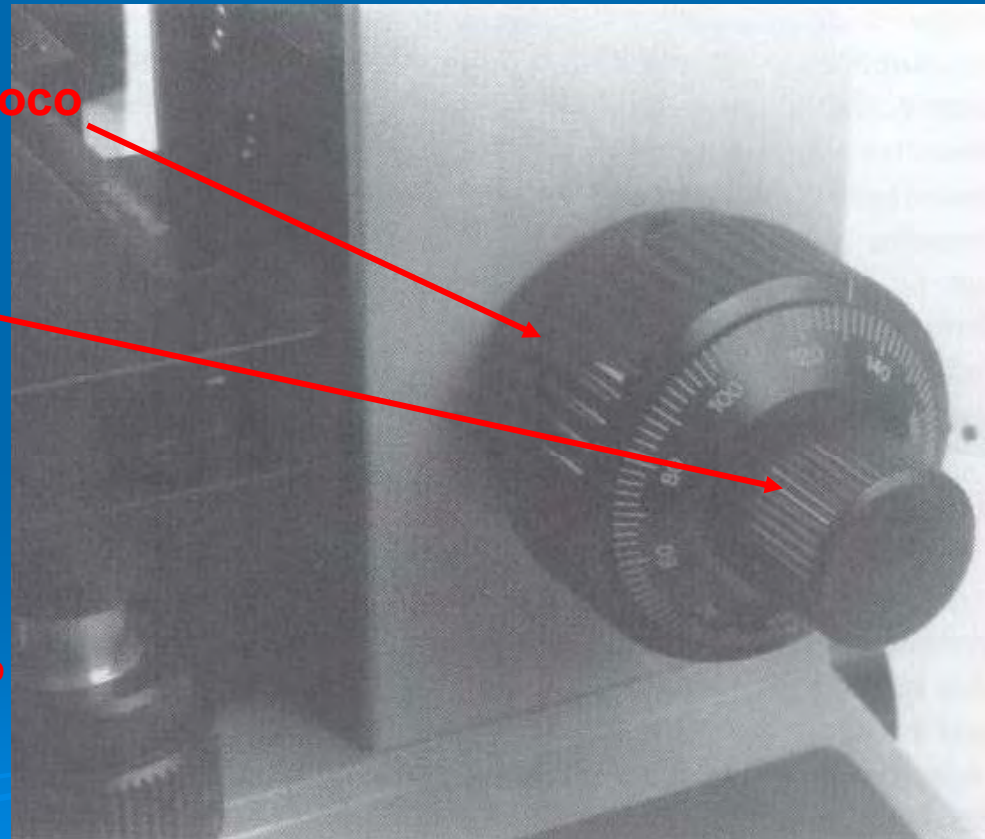
MO luz direta

Ajuste grossero do foco

Ajuste fino do foco

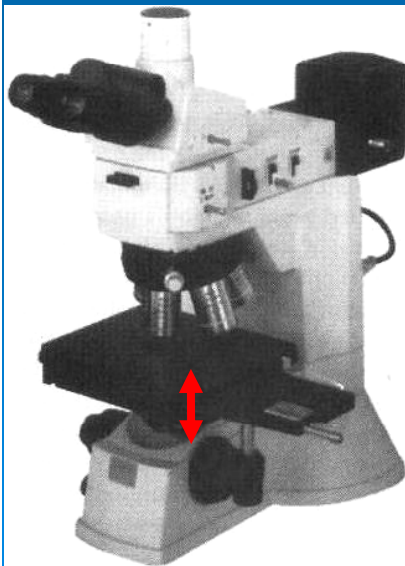


O ajuste do foco é feito movimentando a mesa verticalmente = distância focal



Microscópio ótico (MO)

MO luz direta



O ajuste do foco é feito movimentando a mesa verticalmente = distância focal

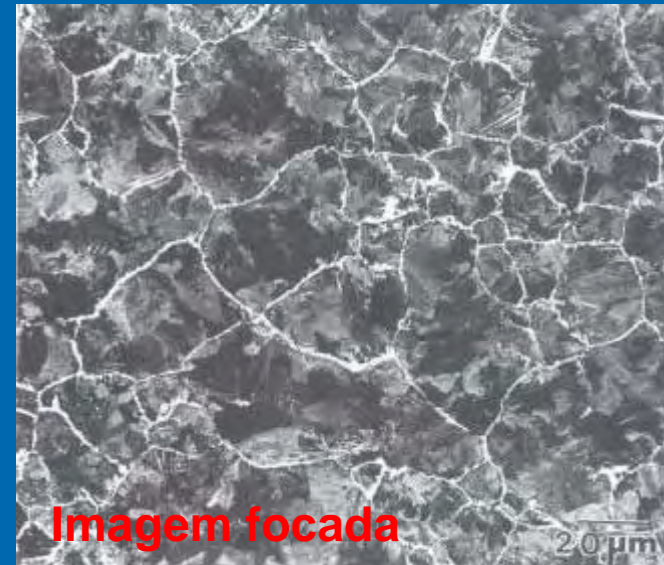


Imagem focada

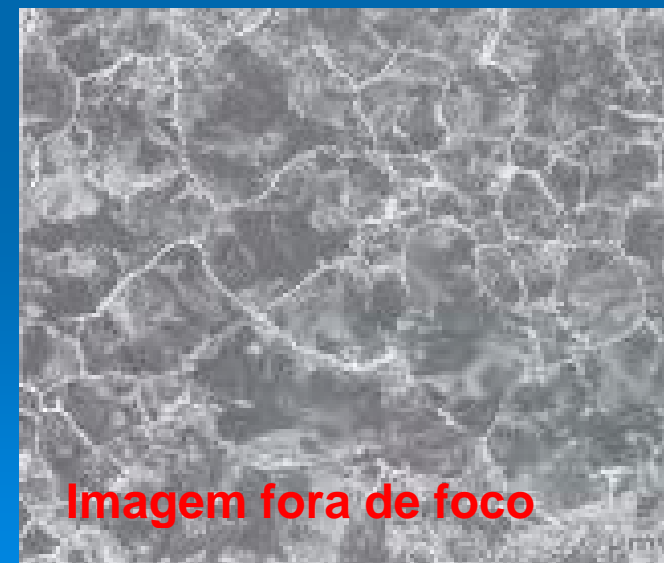
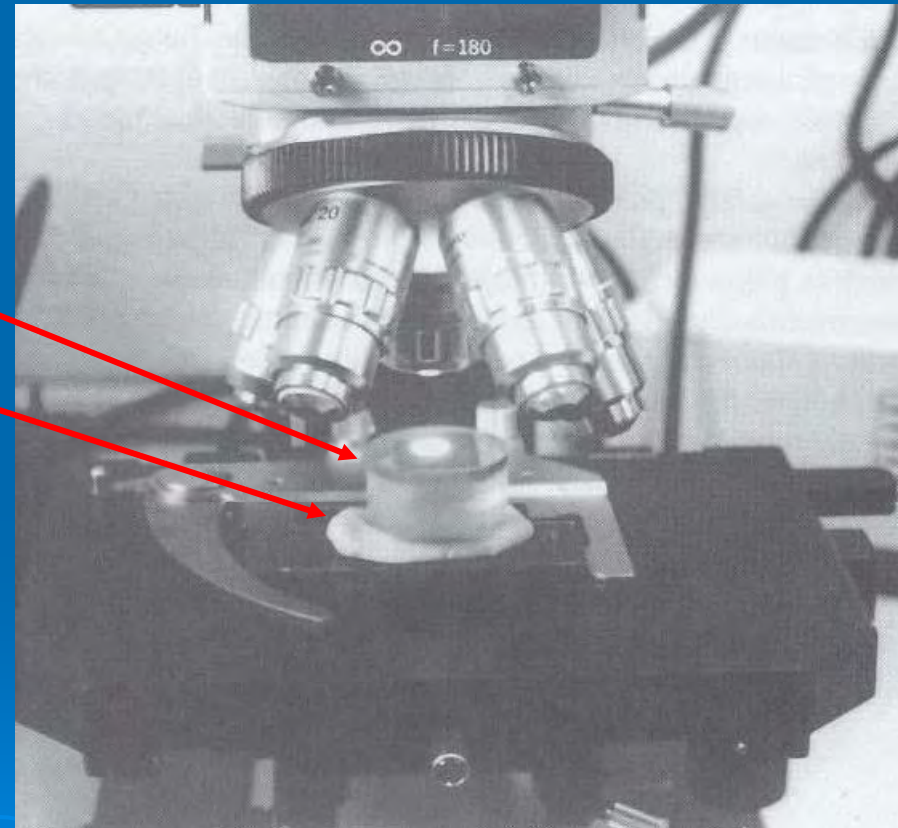


Imagem fora de foco

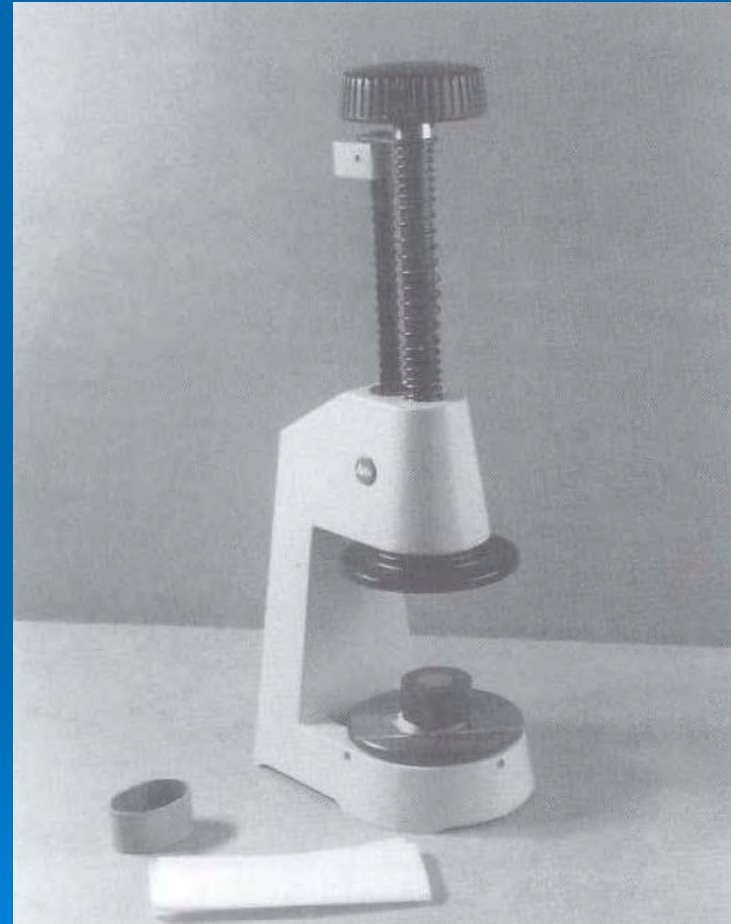
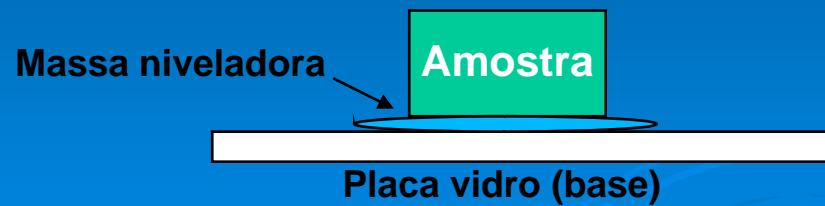
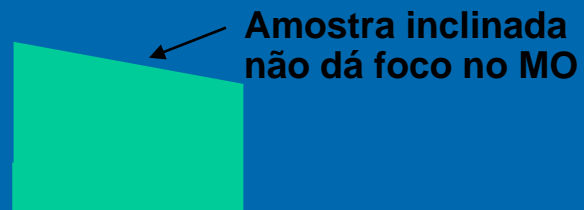
Microscópio ótico (MO)

MO luz direta



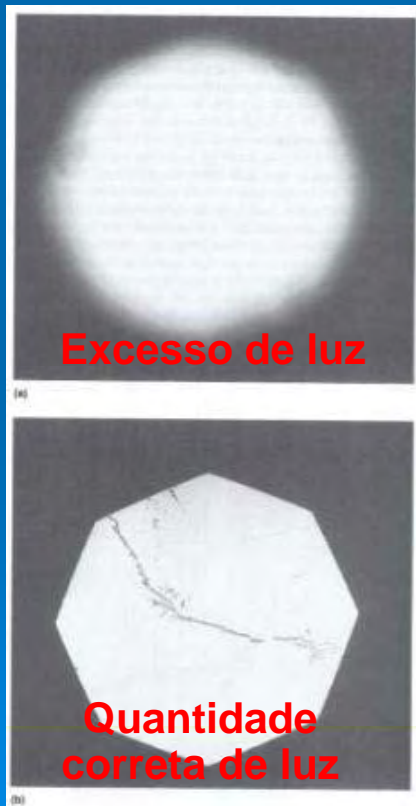
Microscópio ótico (MO)

MO luz direta



Microscópio ótico (MO)

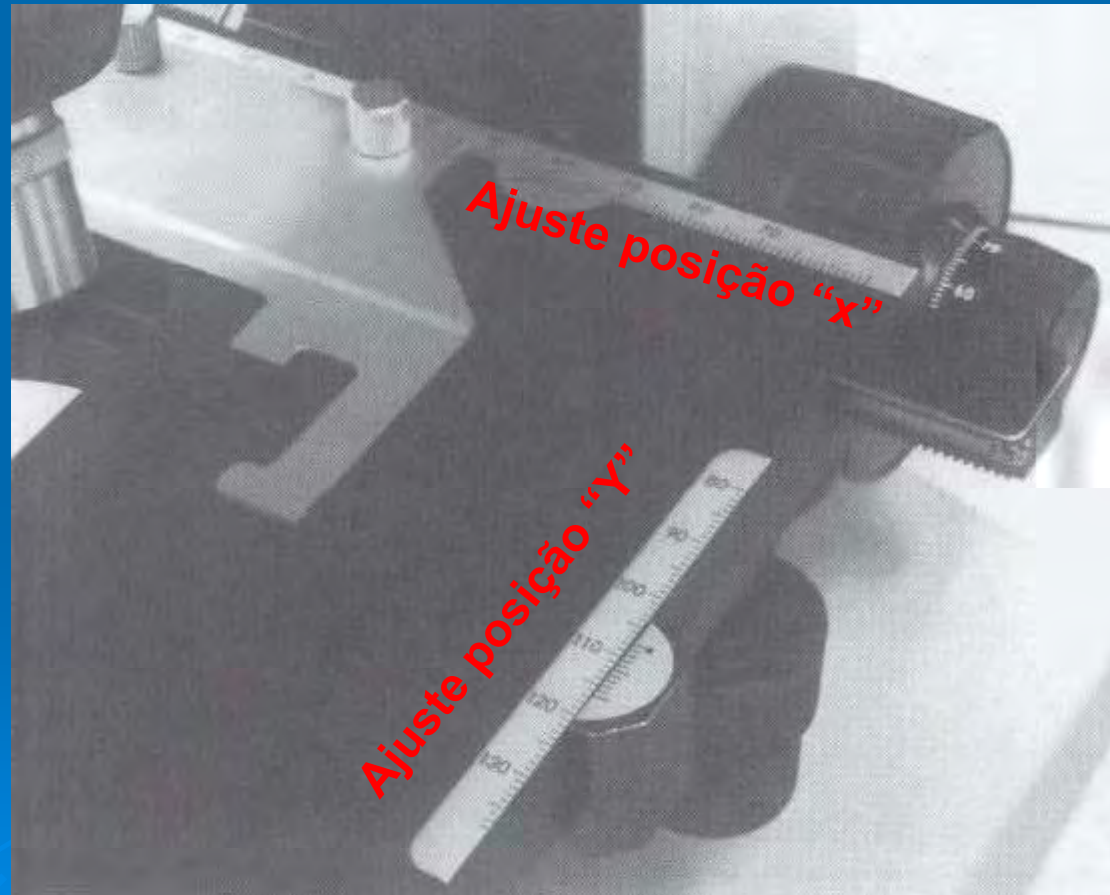
MO luz direta



Microscópio ótico (MO)

MO luz direta

Posicionadores ou
“charriot”



Microscópio ótico (MO)

Lentes objetivas:

Estão mais próximas do objeto

Lentes oculares:

Estão mais próximas do olhos do observador.



Microscópio ótico (MO)

Aumento nominal=
objetiva X ocular

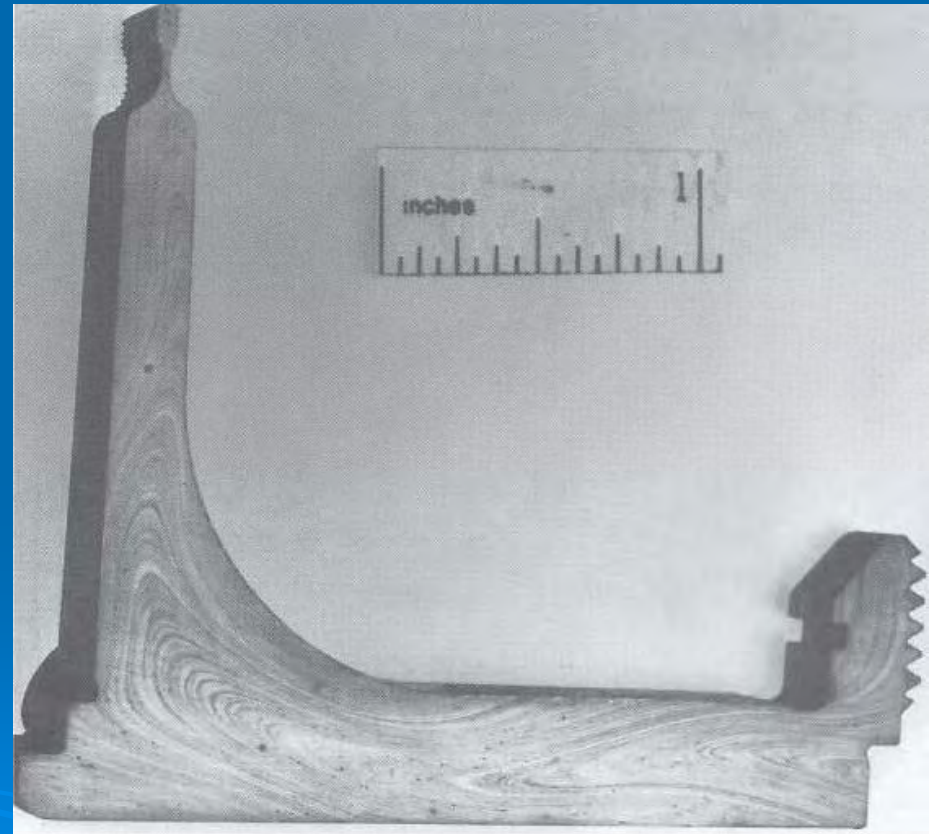
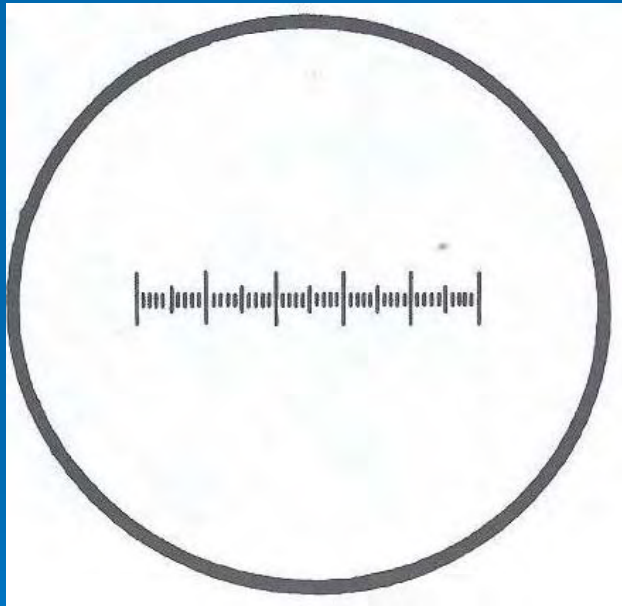
Ex.
Lente ocular 20x
Lente objetiva de 10x

Aumento nominal
= 20 x 10
= 200x



Microscópio ótico (MO)

Escala = aumento real





Escola de Engenharia de Lorena

O Departamento de Engenharia de Materiais



Microscópios Ópticos com aquisição e tratamento digital de imagens

Microscópio ótico (MO)

Aumento real X Nominal

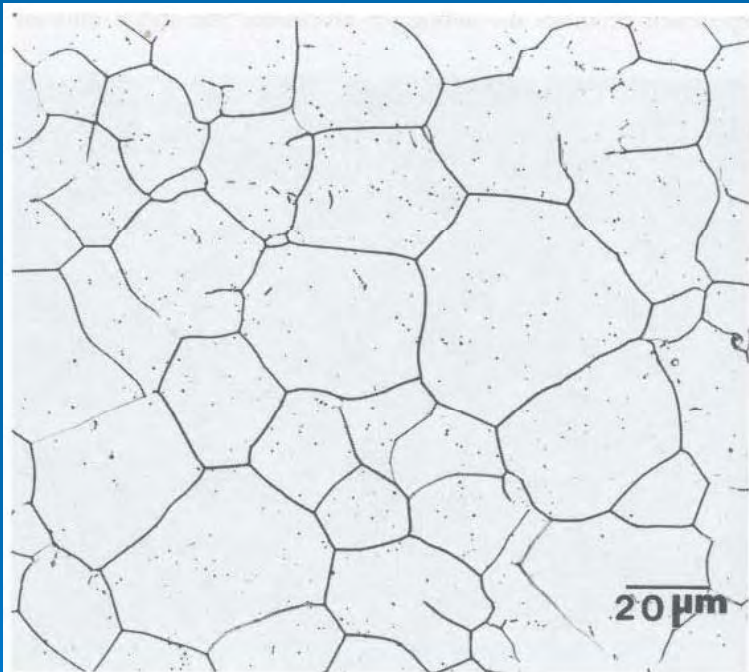


Fig. 8.46 Annealed AISI/SAE 316 austenitic stainless steel showing grain boundaries but the absence of twins. Ideal for grain size measurements by image analysis. Electrolytically etched with 60% nitric acid and 40% water using a platinum cathode at 5 V. 500×

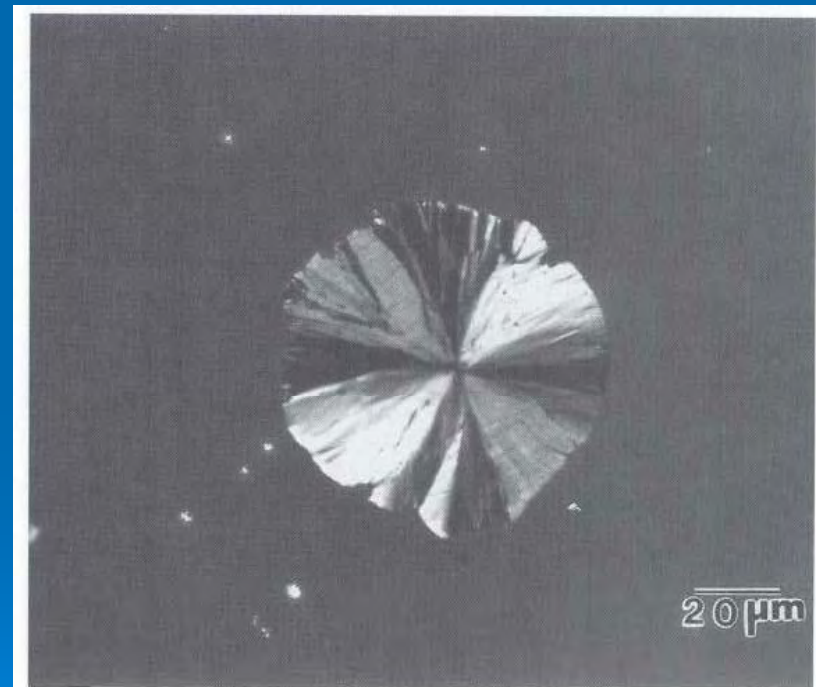


Fig. 3.27 Microstructure of a graphite nodule in ductile iron showing the internal structure of the nodule radiating from the central nucleus. Polarized light. Unetched. 500×

Microscópio ótico (MO)

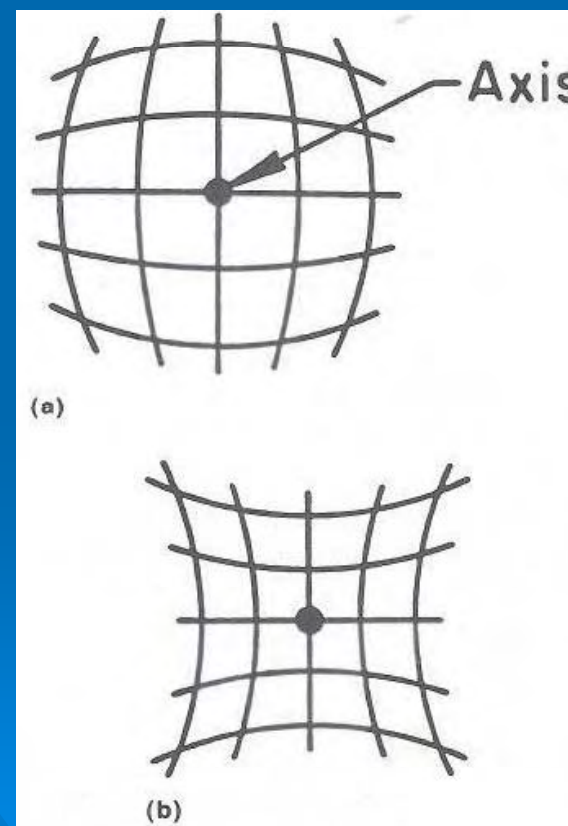
Distorções nas imagens:



**Amostra com
superfície
convexa**



**Amostra com
superfície
côncava**



Microscópio ótico (MO)

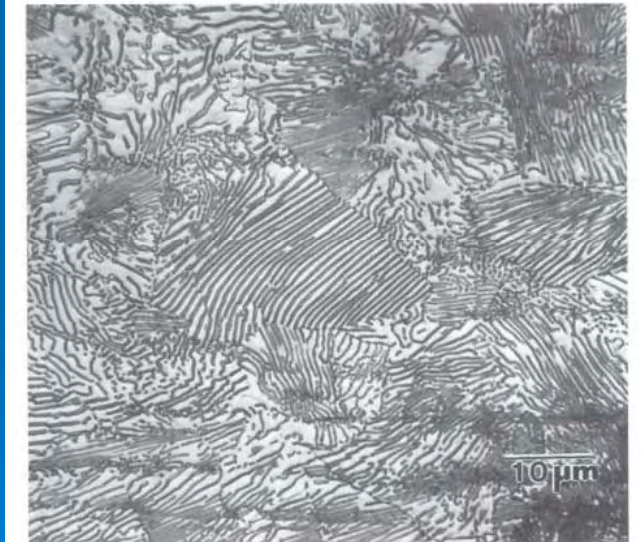
Nitidez em aumentos grandes

Aumentos grandes ($>1000\times$) com uso de objetivas de $100\times$, muitas vezes é necessário o uso de óleo de imersão.

Óleo de imersão: óleo usado entre a lente objetiva e a amostra. A lente fica imersa no óleo. Imagem mais nítida.



(a)



(b)

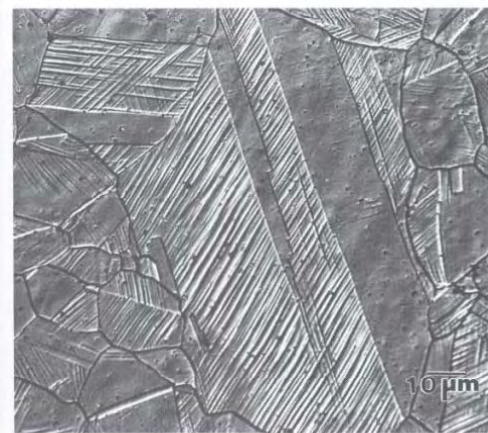
Fig. 5.24 Micrographs of an AISI/SAE 1080 steel showing the same field of pearlite taken with (a) a dry objective of $NA = 0.90$ and (b) and oil-immersion objective of $NA = 1.30$. Note the improved resolution in the micrograph taken with the oil-immersion objective. 4% picral etch. $1300\times$. Courtesy of S. Lawrence, Bethlehem Steel Corporation

Micrografias

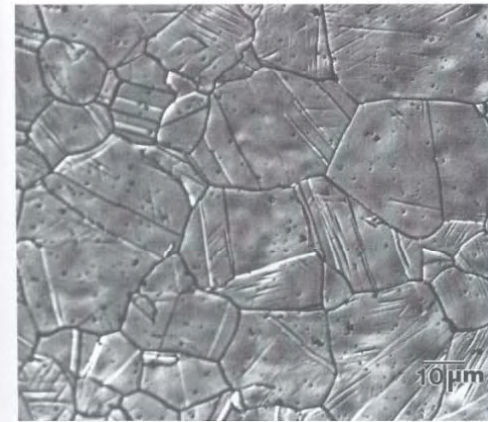


Fig. 1.2(c) Micrograph of high-carbon AISI/SAE 1095 steel showing a matrix of pearlite and some grain-boundary cementite. Etched in 4% picral. 500X

Micrografias



(a)



(b)

Fig. 3.12 Microstructure of a cold-worked AISI 304 stainless steel rod at (a) a near-surface region and (b) at the center. Differential interference contrast (Nomarski). Etched in 60 parts nitric acid in 40 parts water, stainless steel cathode, 5 V for 10 s. 800 \times

Micrografias

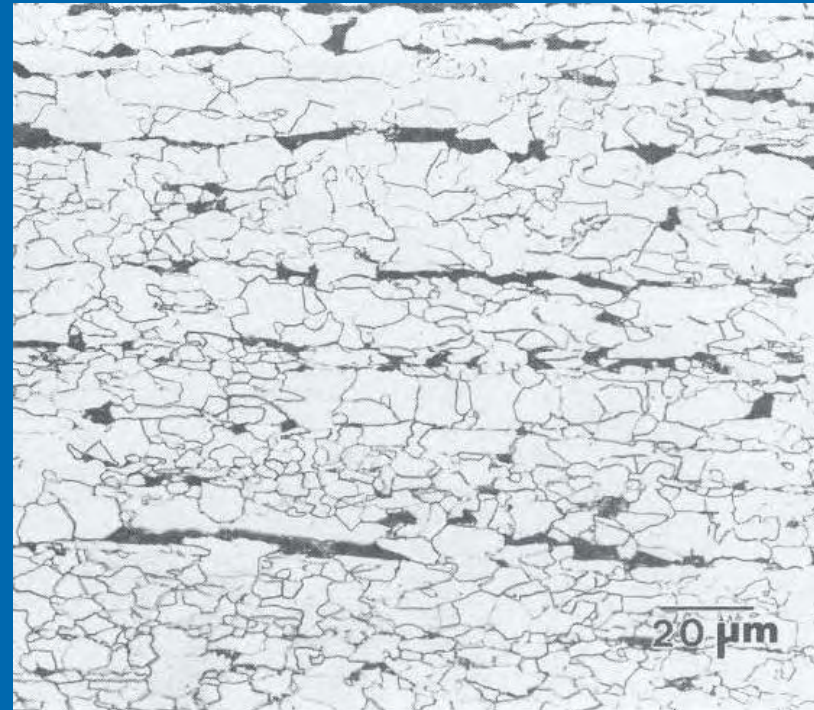


Fig. 3.13 Microstructure of a hot-rolled, high-strength microalloyed steel plate with elongated pearlite bands (dark constituent) in a ferrite matrix. 4% picral followed by 2% nital. 500×

Micrografias

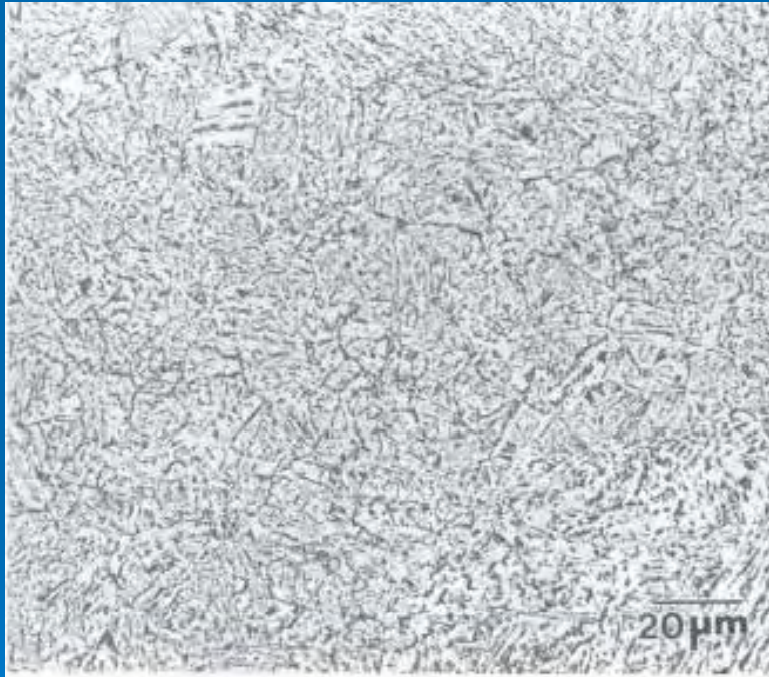


Fig. 2.33 Upper bainite in an AISI/SAE 8720 steel isothermally transformed at 425 °C (797 °F) for 90 s. 4% picral etch. 500X



Fig. 2.34 Lower bainite in an AISI/SAE 8720 steel isothermally transformed at 325 °C (617 °F) for 100 s. 4% picral etch. 800X

Micrografias

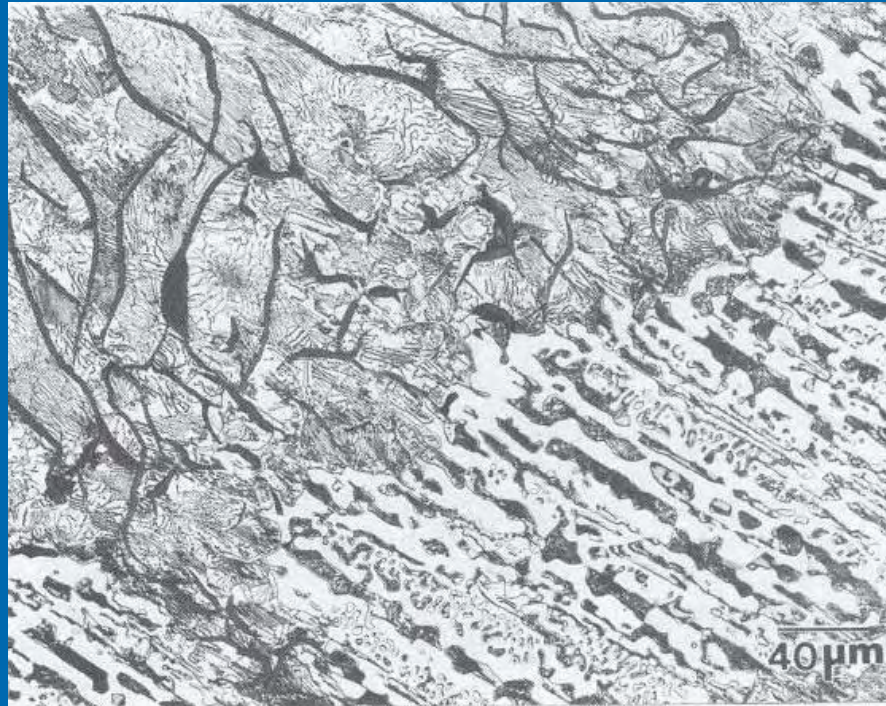


Fig. 2.50 Mottled pearlitic cast iron. Gray iron at upper left and white iron at lower right of photo. 4% picral etch. 250X

Micrografias

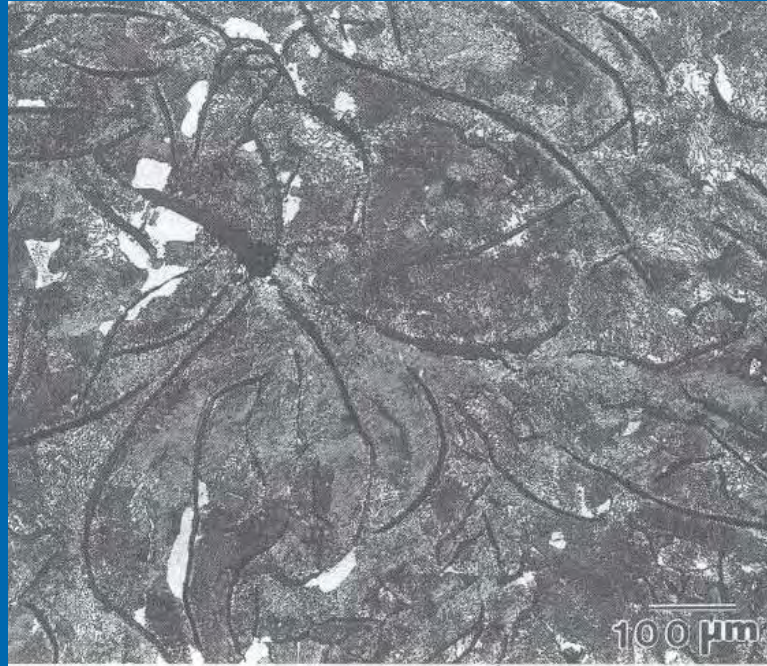


Fig. 1.24 Micrograph of a gray cast iron showing a microstructure consisting of pearlite (gray etching constituent), ferrite (light etching constituent), and graphite flakes (dark constituent). Etched in 4% picral. 100×

Micrografias

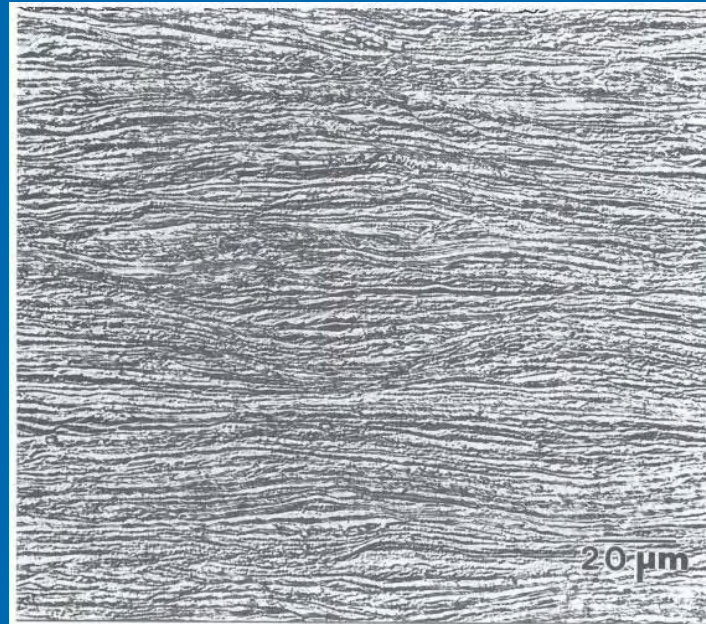


Fig. 8.45 Heavily cold-worked AISI/SAE 301 austenitic stainless steel. Electrolytically etched in 10% oxalic acid solution using a stainless steel cathode at 8 V. Enhanced by differential interference contrast illumination (also called Nomarski illumination). 500×

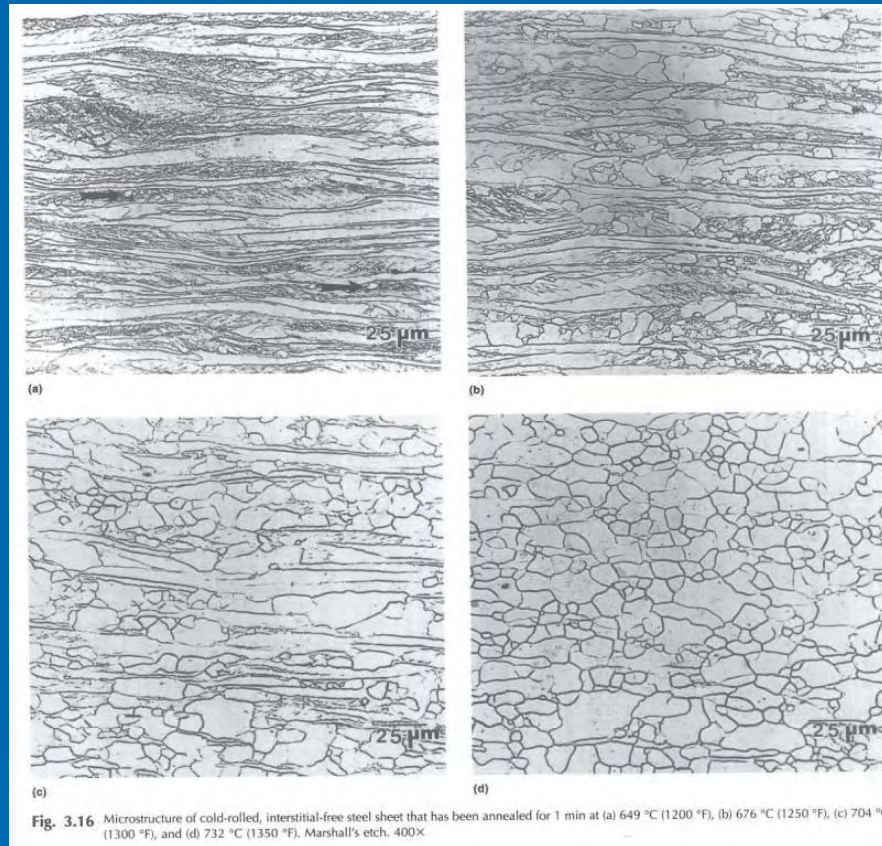
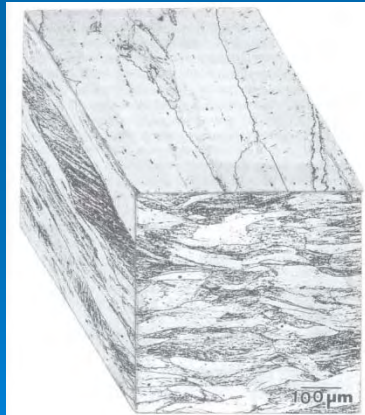
Micrografias



Fig. 8.46 Annealed AISI/SAE 316 austenitic stainless steel showing grain boundaries but the absence of twins. Ideal for grain size measurements by image analysis. Electrolytically etched with 60% nitric acid and 40% water using a platinum cathode at 5 V. 500×

4. Observação em microscopia ótica

Micrografias



Micrografias

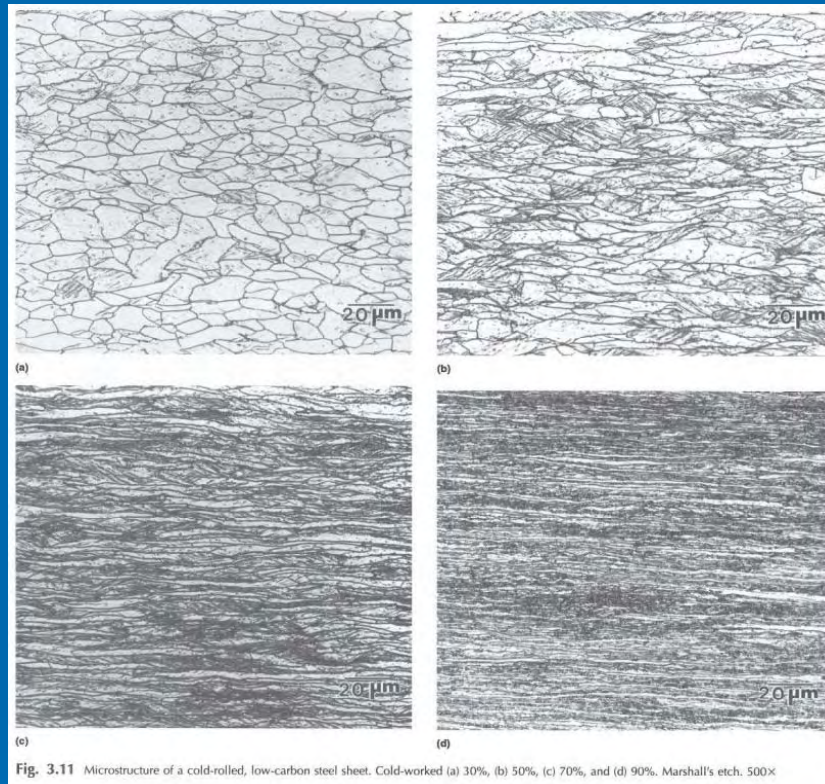


Fig. 3.11 Microstructure of a cold-rolled, low-carbon steel sheet. Cold-worked (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%, and (d) 90%. Marshall's etch. 500×

Observação em Microscopia Ótica

Forjamento

Solidificação

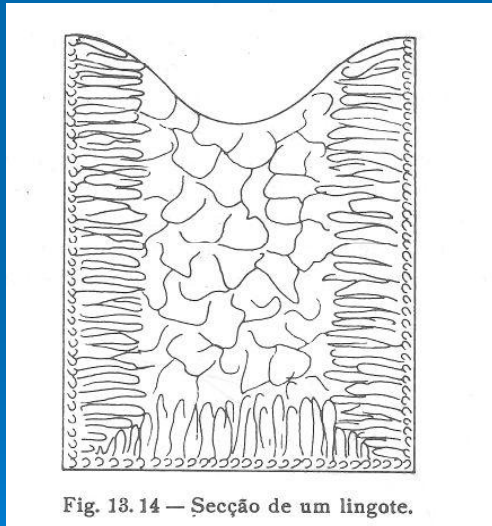


Fig. 13.14 — Secção de um lingote.

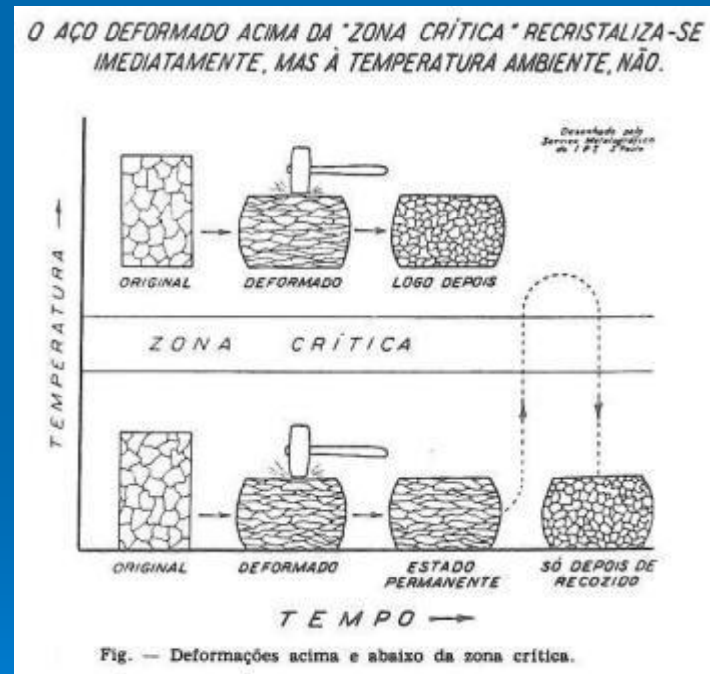


Fig. — Deformações acima e abaixo da zona crítica.

Observação em Microscopia Ótica

