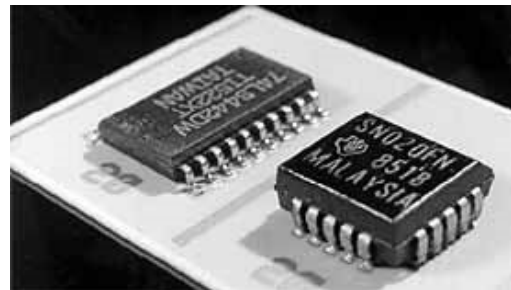
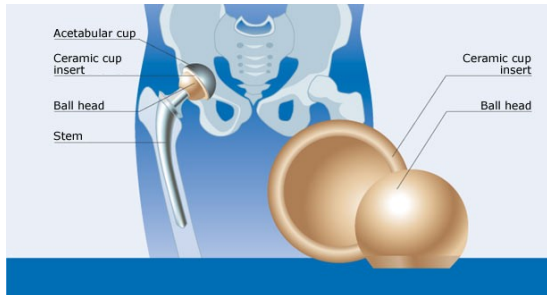
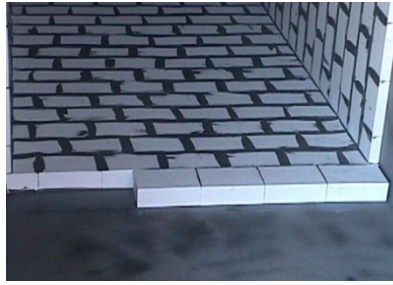


Materiais Cerâmicos

Aplicações e Processamento

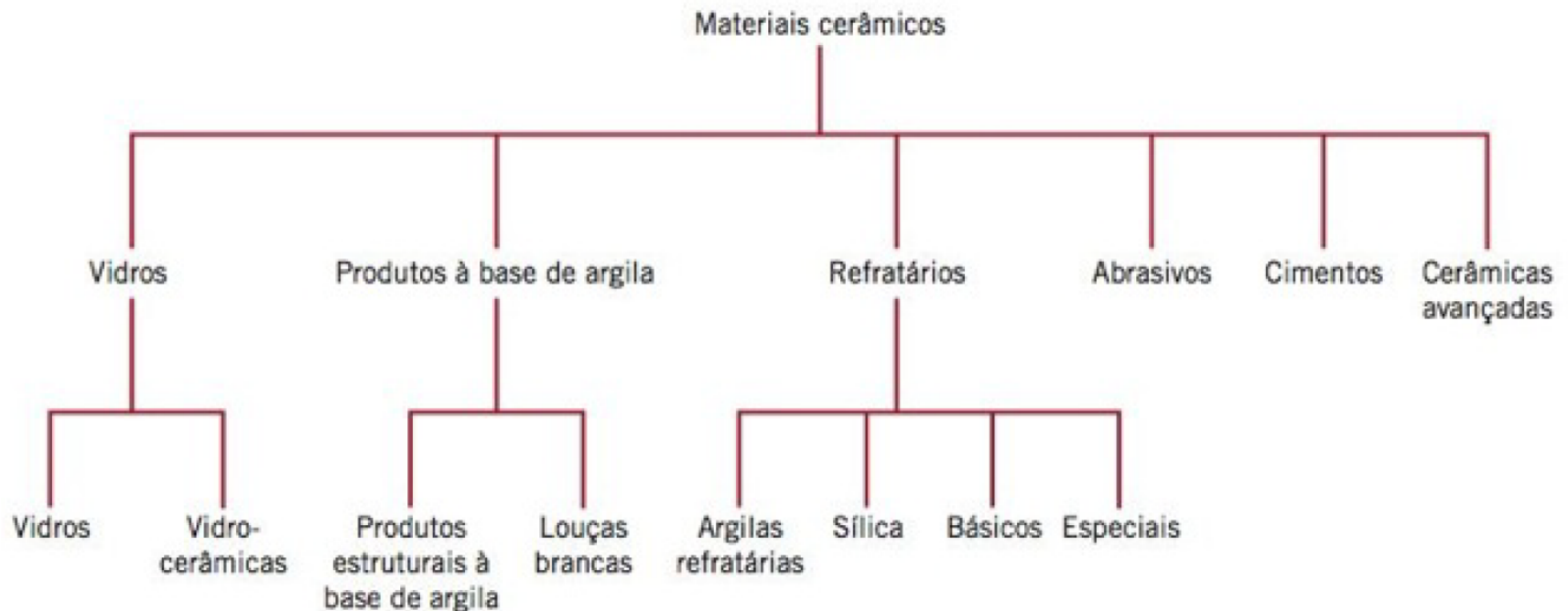


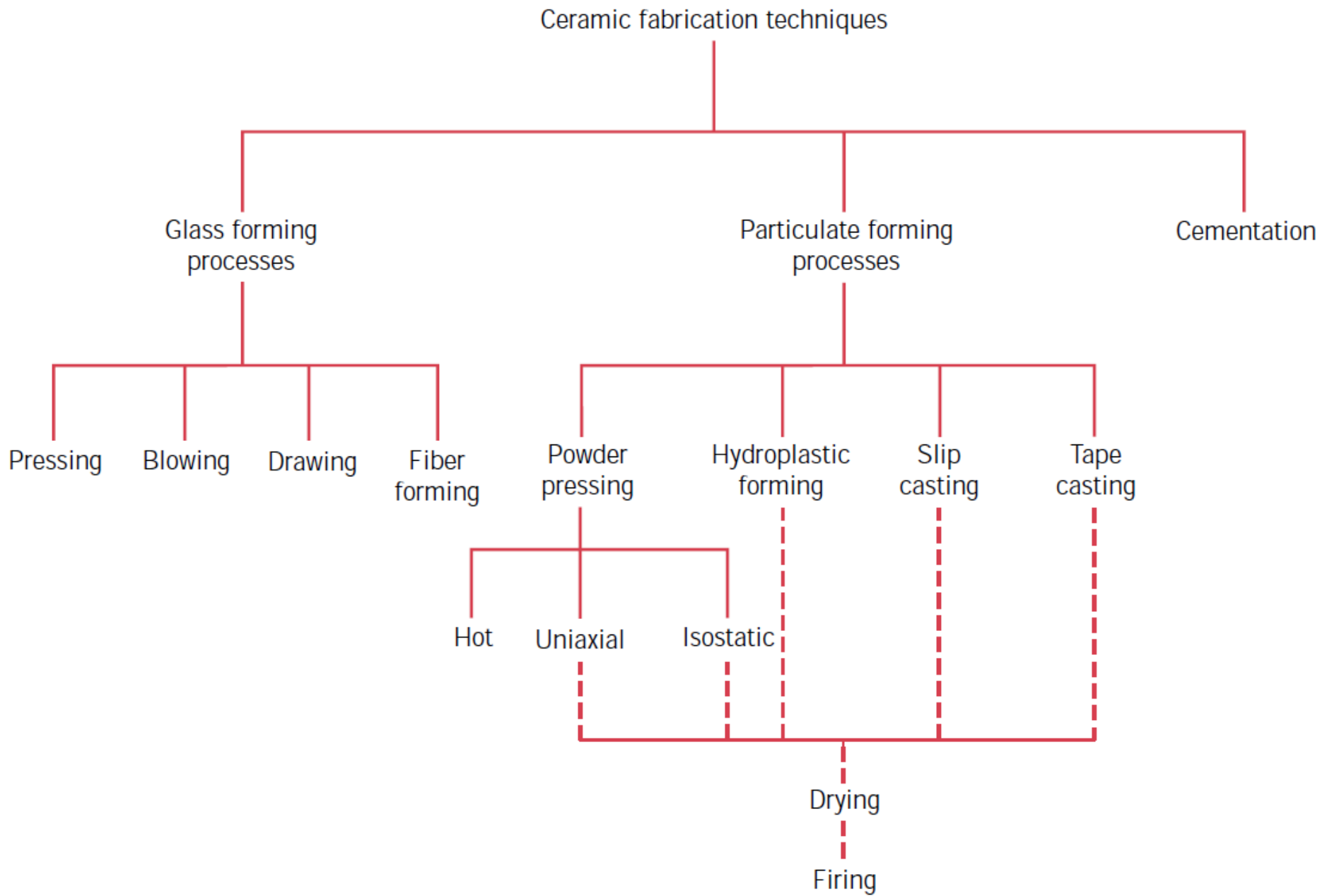
SMM0194 - Engenharia e Ciência dos Materiais 2
Prof. Eduardo Bellini Ferreira

Classificação dos materiais cerâmicos com base na aplicação

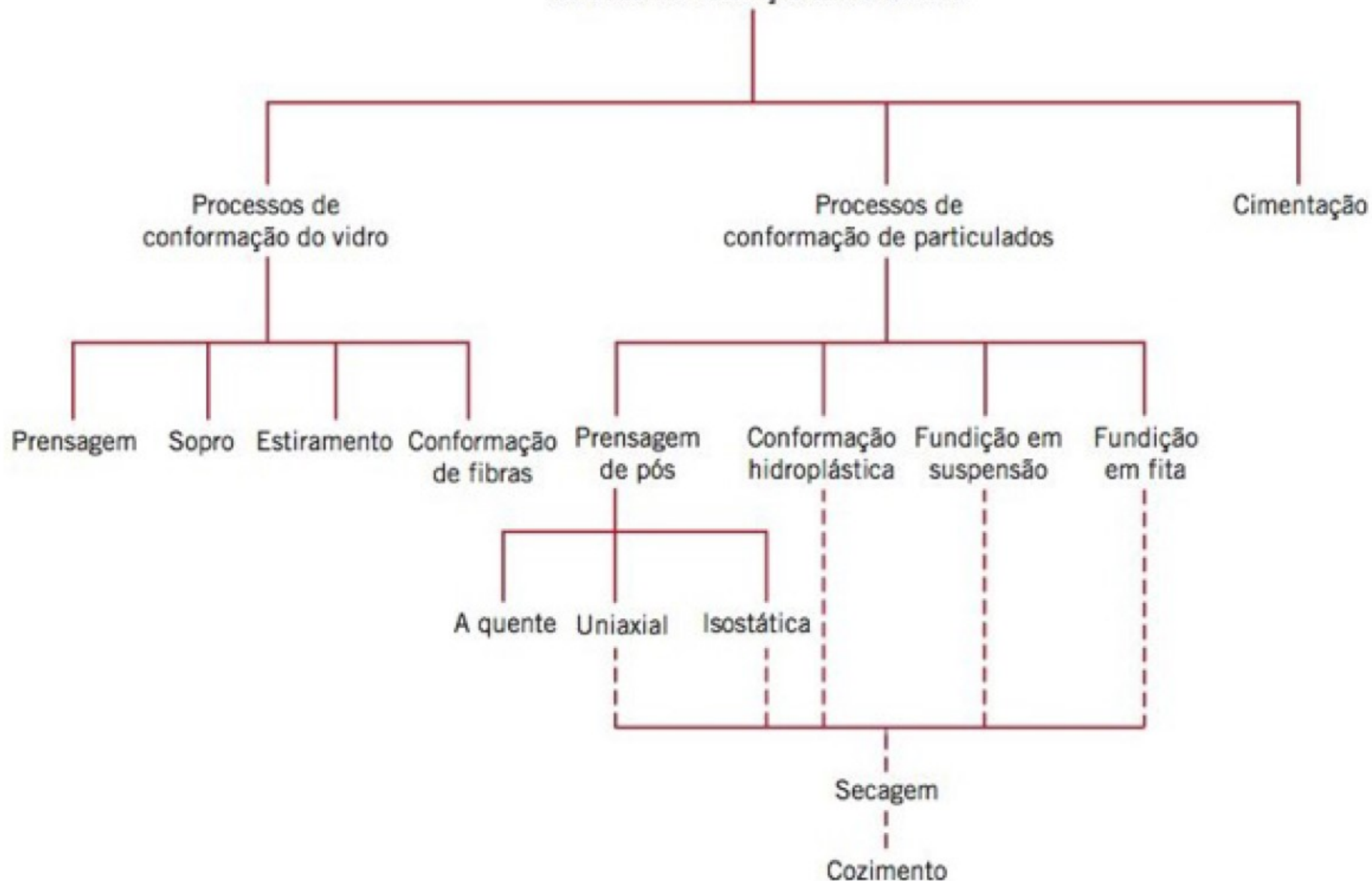
- Vidros (vidros, vitrocerâmicas)
- Produtos argilosos (produtos argilosos estruturais, louças brancas)
- Refratários (a base de argila, sílica, básico, especial)
- Abrasivos
- Cimentos
- Cerâmicas avançadas

Tipos de materiais cerâmicos

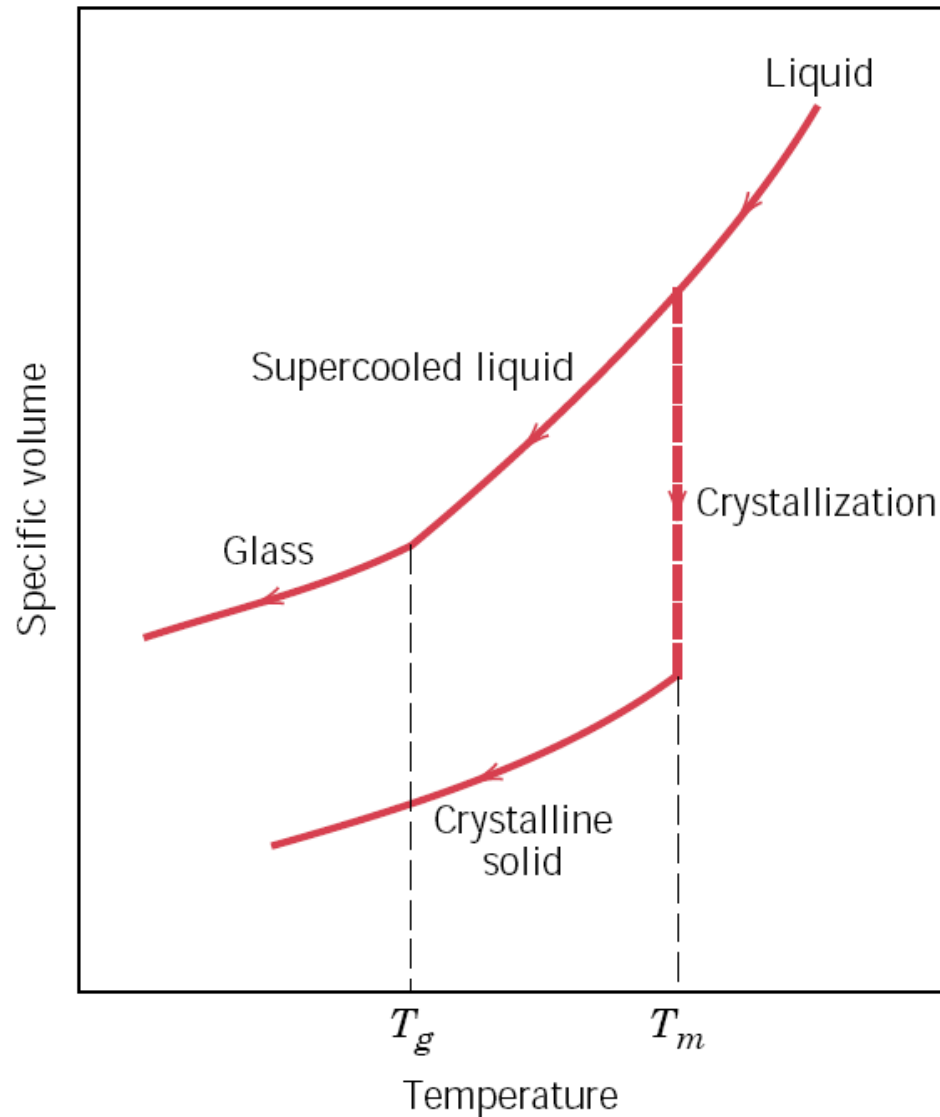




Técnicas de fabricação de cerâmicas



Técnicas de fabricação – vidros



Tipos de vidros

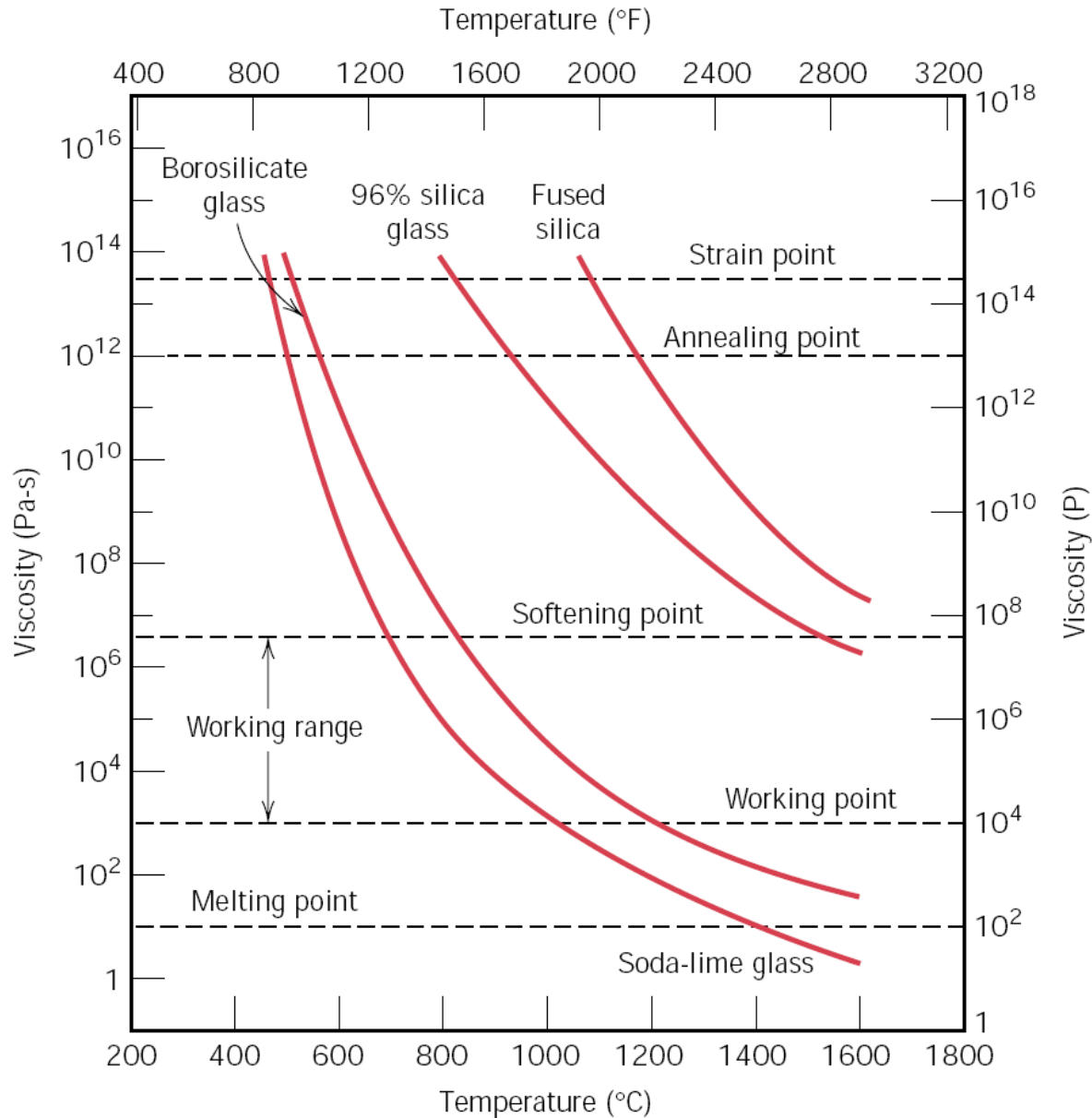
Table 13.10 Compositions and Characteristics of Some of the Common Commercial Glasses

<i>Glass Type</i>	<i>Composition (wt%)</i>						<i>Characteristics and Applications</i>
	<i>SiO₂</i>	<i>Na₂O</i>	<i>CaO</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>B₂O₃</i>	<i>Other</i>	
Fused silica	>99.5						High melting temperature, very low coefficient of expansion (shock resistant)
96% Silica (Vycor)	96				4		Thermally shock and chemically resistant—laboratory ware
Borosilicate (Pyrex)	81	3.5		2.5	13		Thermally shock and chemically resistant—ovenware
Container (soda–lime)	74	16	5	1		4MgO	Low melting temperature, easily worked, also durable
Fiberglass	55		16	15	10	4MgO	Easily drawn into fibers—glass–resin composites
Optical flint	54	1				37PbO, 8K ₂ O	High density and high index of refraction—optical lenses
Glass–ceramic (Pyroceram)	43.5	14		30	5.5	6.5TiO ₂ , 0.5As ₂ O ₃	Easily fabricated; strong; resists thermal shock—ovenware

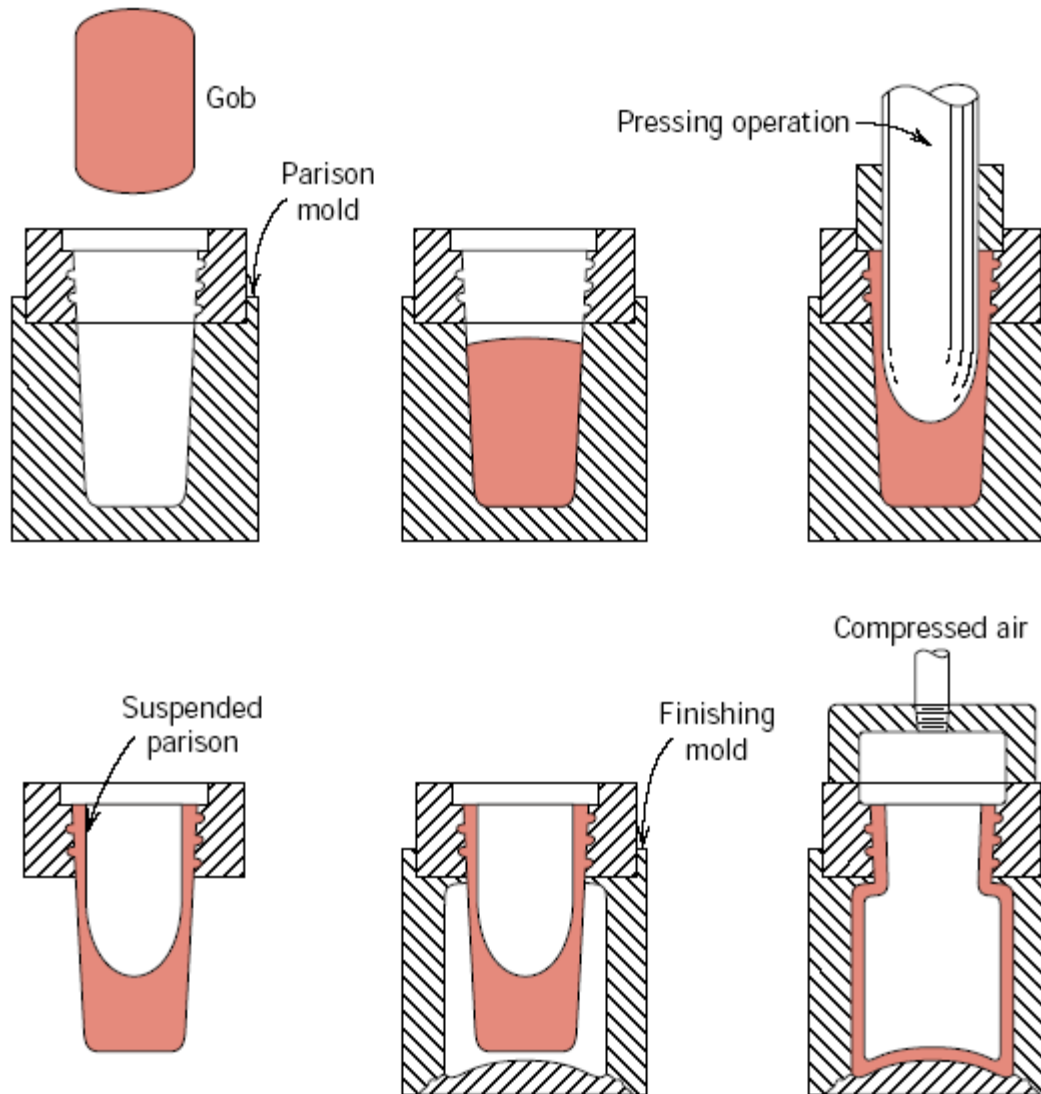
Técnicas de fabricação – vidros

- Fundição
- Conformação do vidro
 - Prensagem
 - Sopro (peças ocas, garrafas)
 - Estiramento
 - Estiramento de fibras
- Recozimento
- Cristalização e fabricação de vitrocerâmicas
- Têmpera e fabricação de vidros temperados

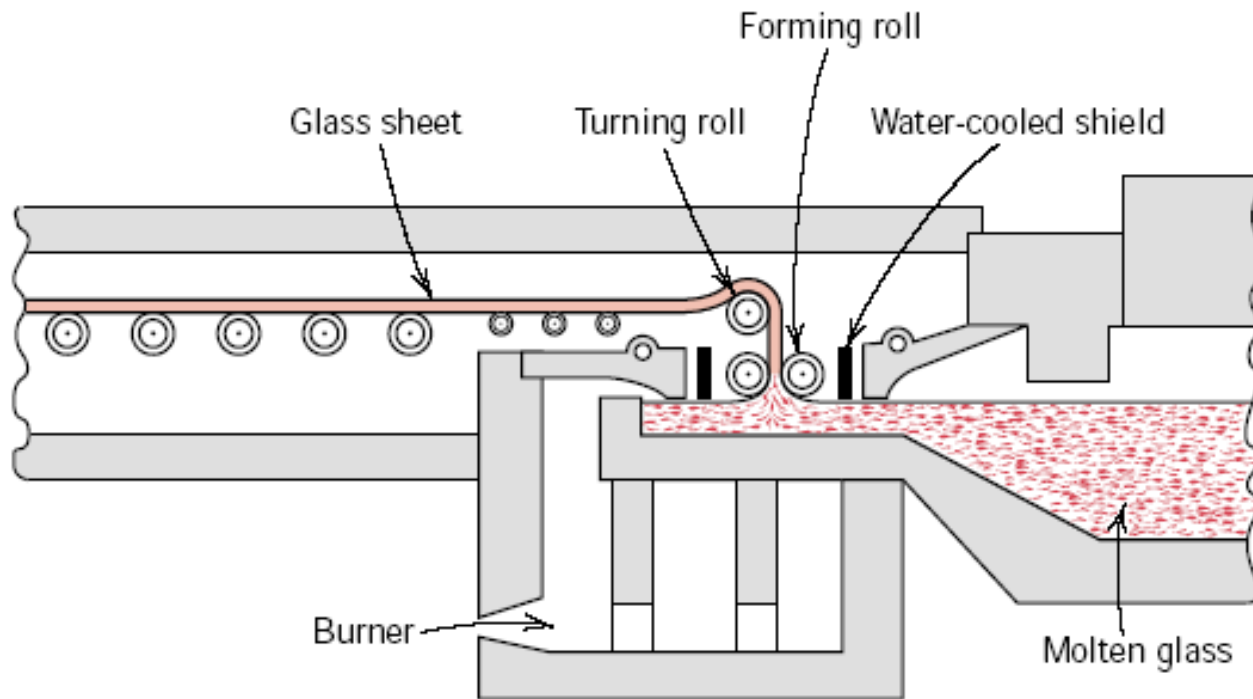
Técnicas de fabricação – vidros



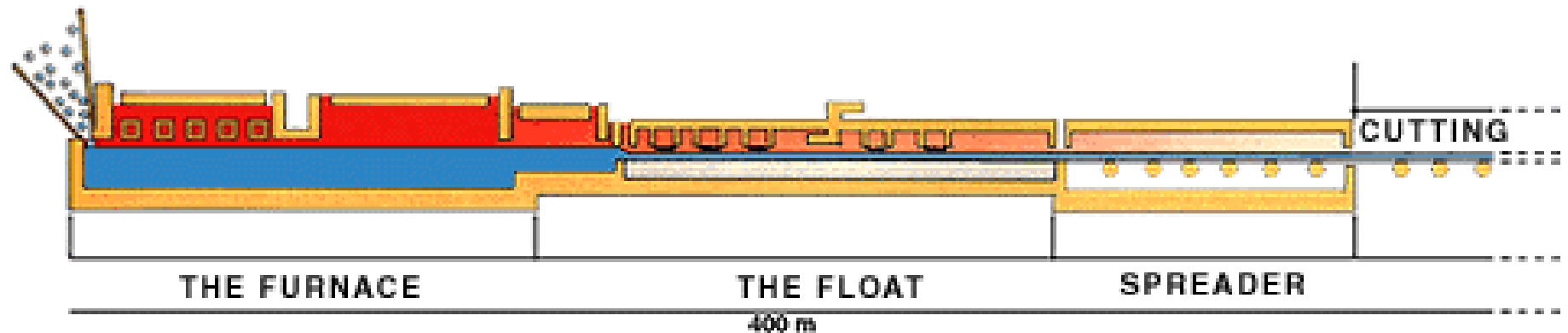
Técnicas de fabricação – vidros



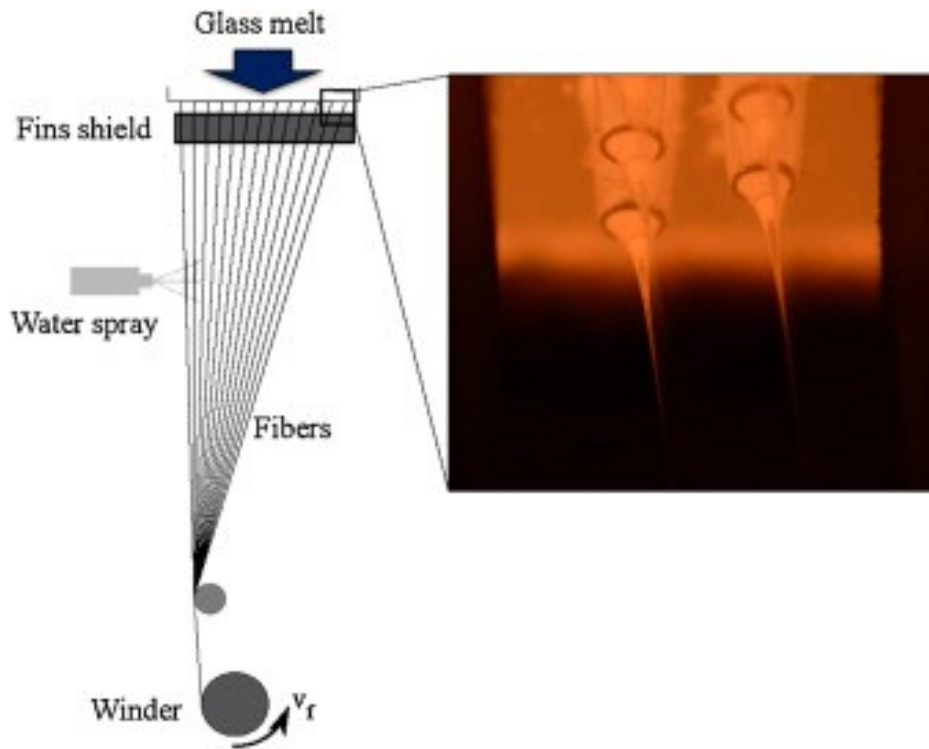
Técnicas de fabricação – vidros



CHARGING



Conformação de fibras para reforço

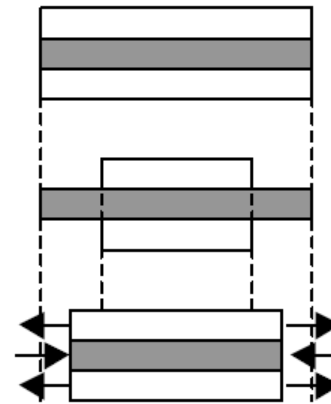


<https://www.phelpsgaskets.com/cdn/photos/1200x600/phelps-style-7700-v1-1485042817.png>

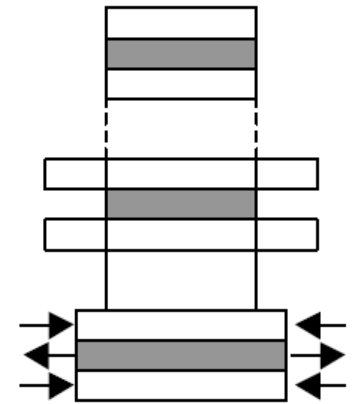
<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S092401361530234X-gr1.jpg>

https://www.valmiera-glass.com/data/glass_fiber_operator/glass-fiber-operator---copy.jpg

Tensões residuais vs. Recozimento

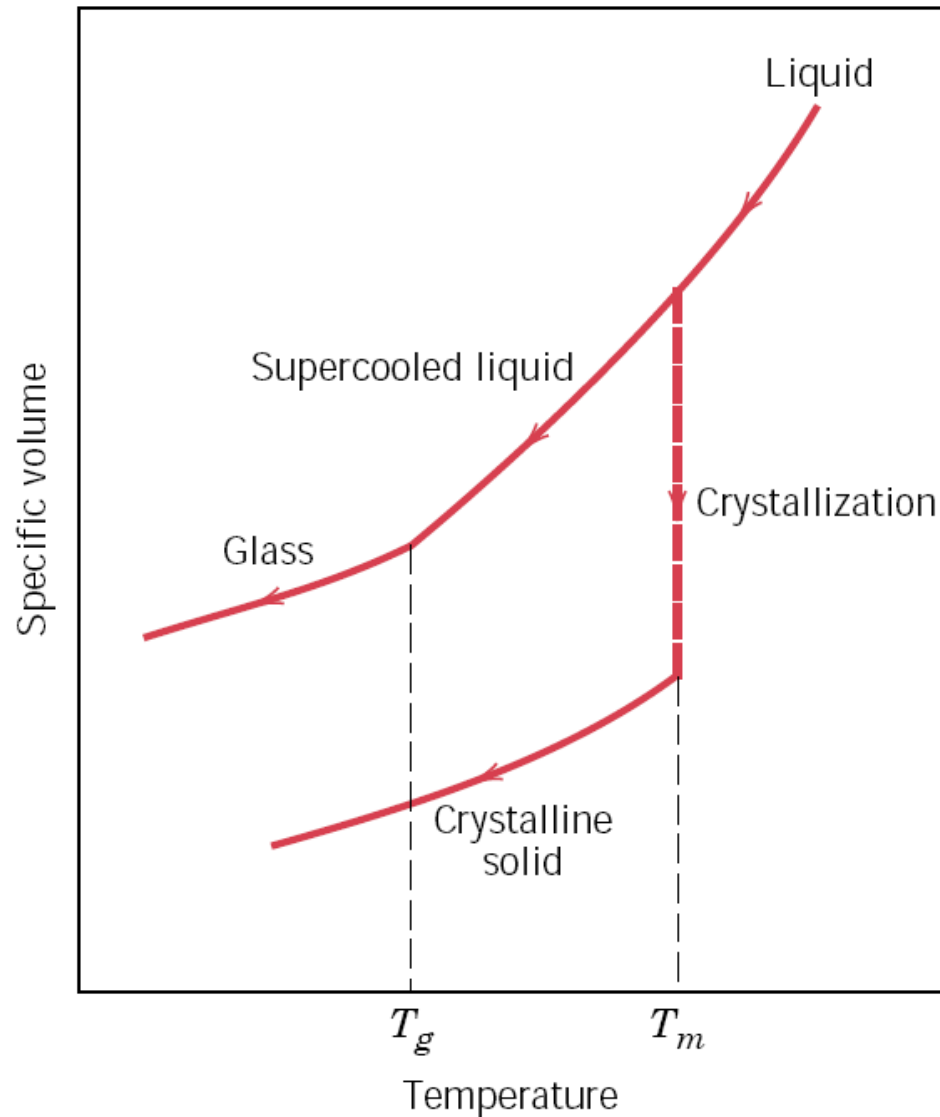


resfriamento

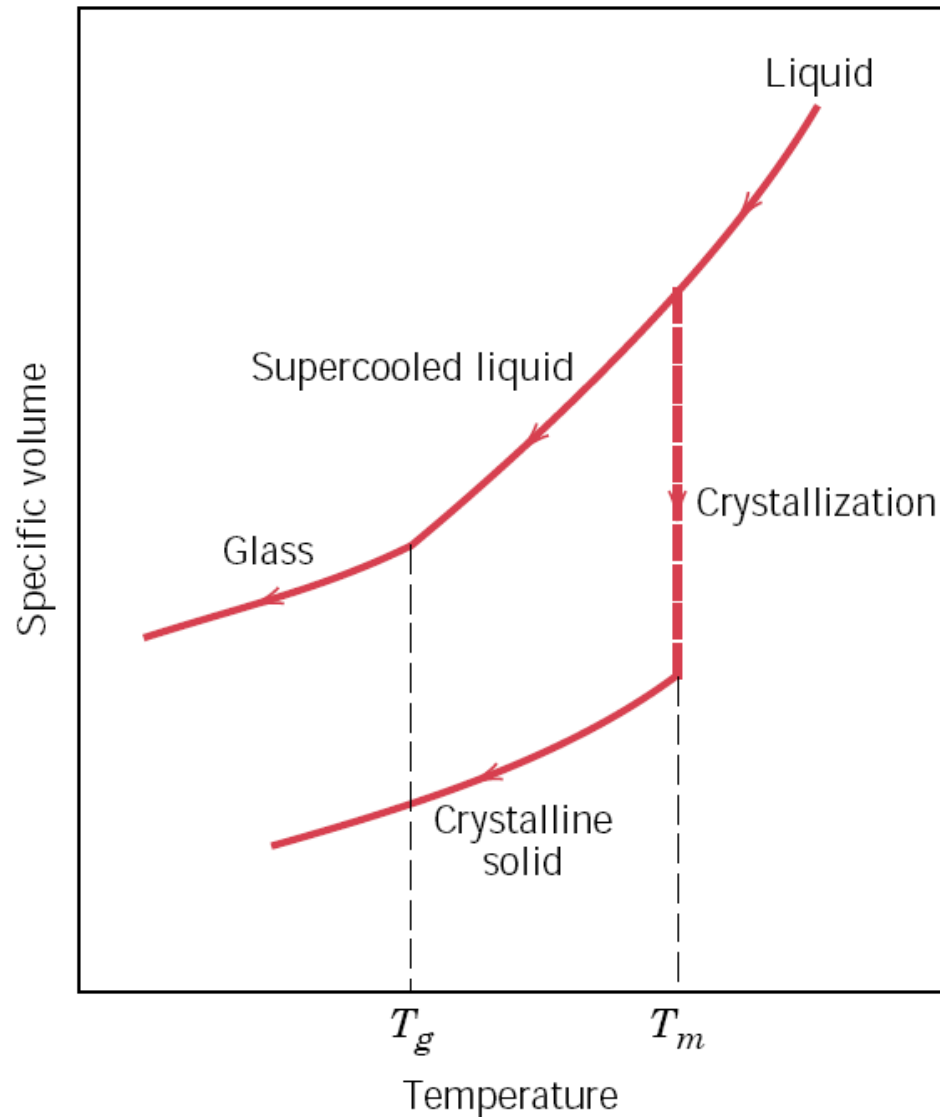


aquecimento

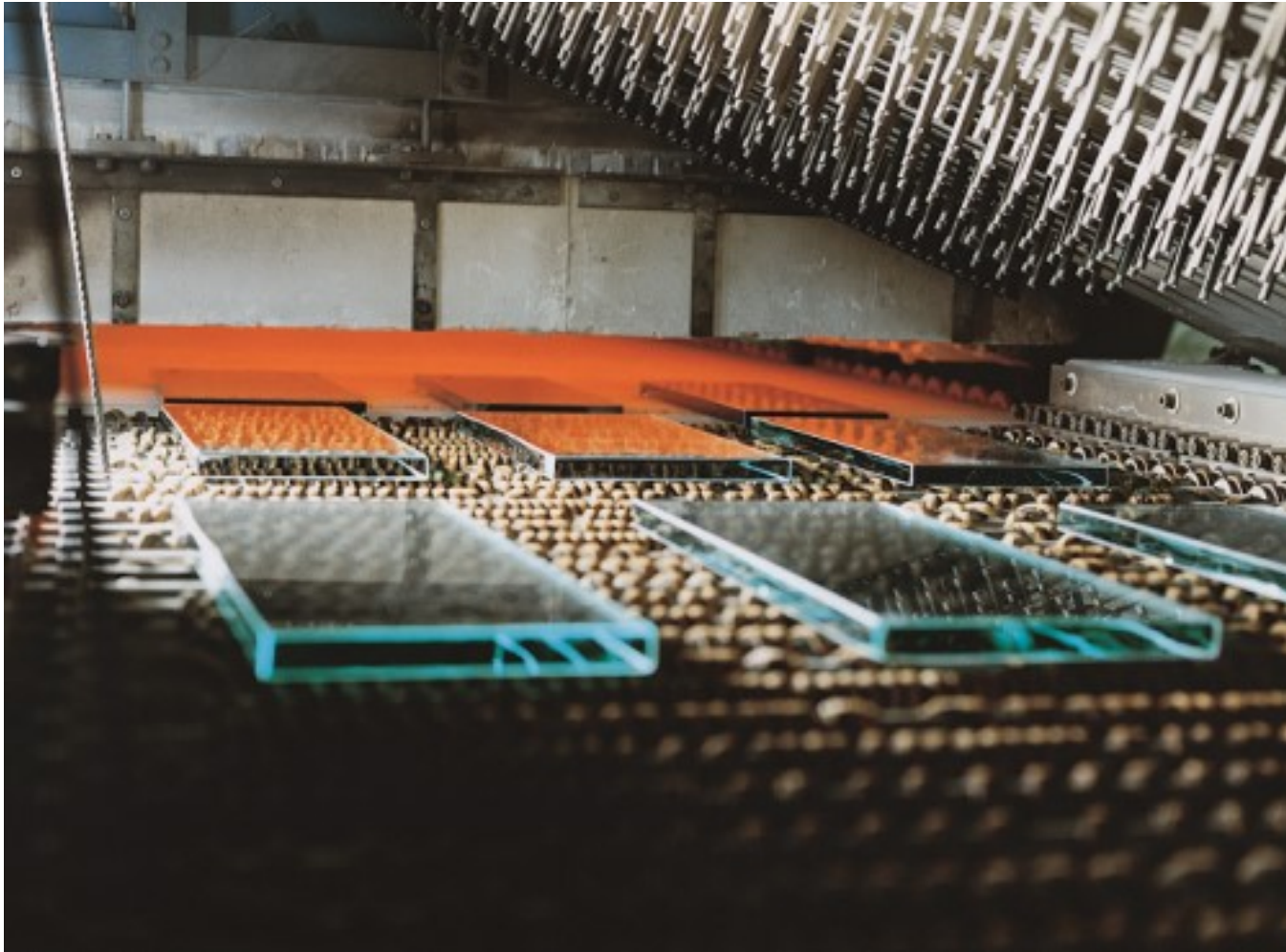
Técnicas de fabricação – vidros



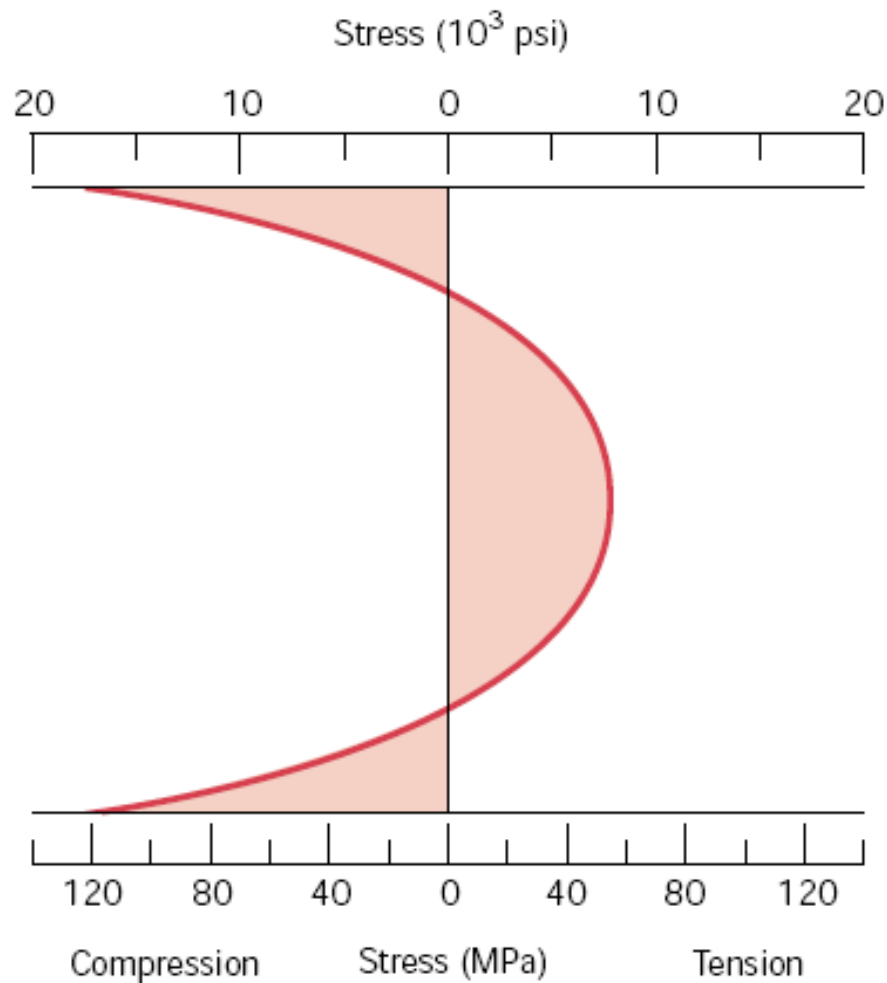
Técnicas de fabricação – vidros



Têmpera térmica

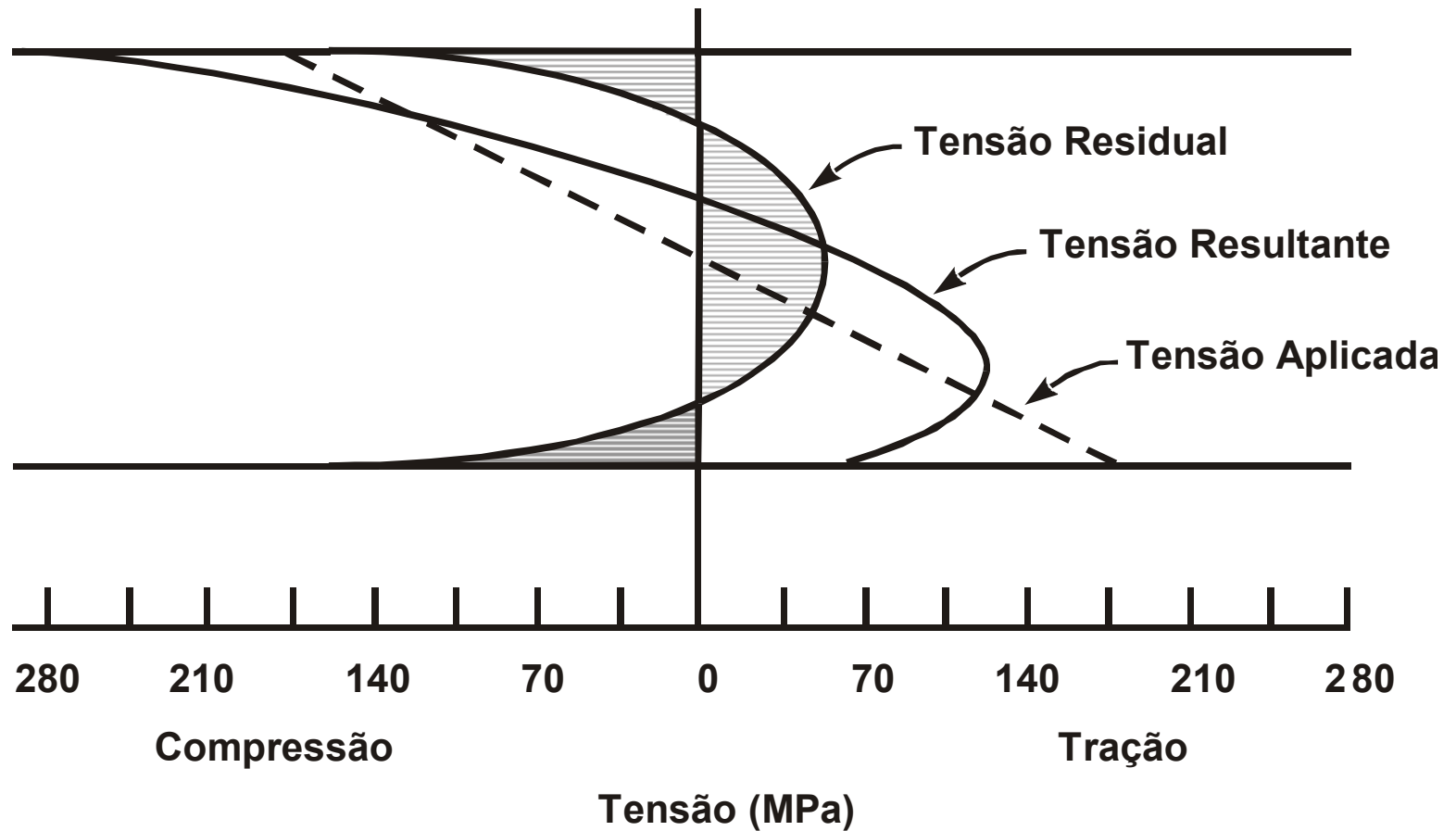


Técnicas de fabricação – vidros



Têmpera de vidros (resfriamento rápido da superfície): produz um estado de compressão superficial que aumenta sua resistência mecânica (50 a 100%)

Tenacificação de Vidros



Têmpera térmica



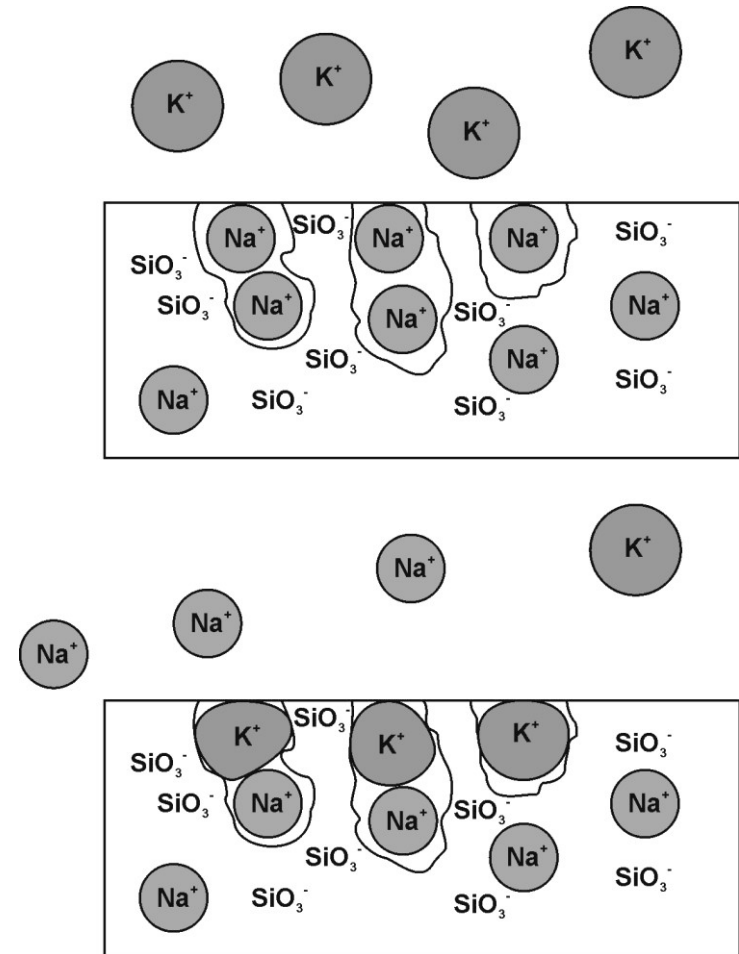
<https://www.youtube.com/watch?v=1VrdUYbHvyo>

Legal!!!

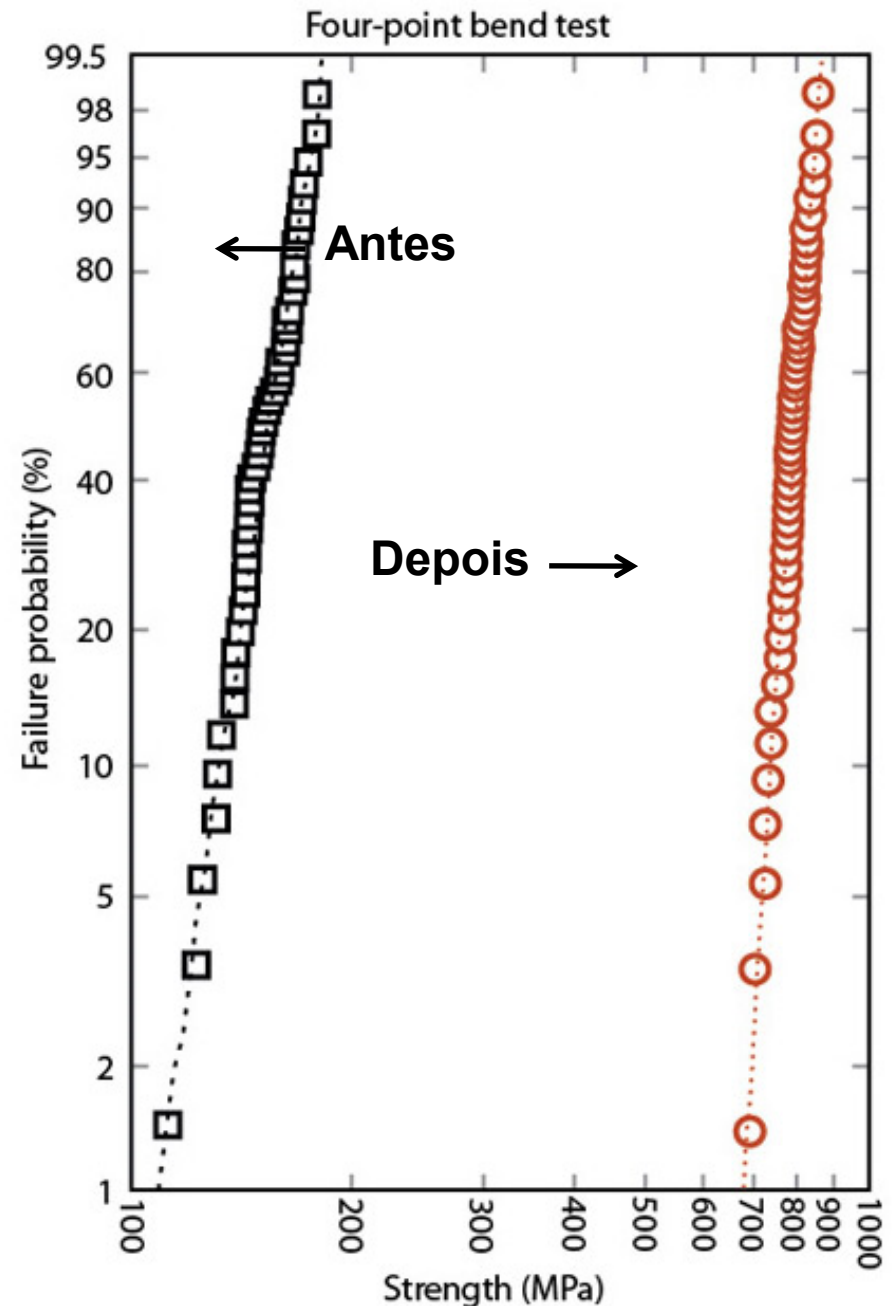
- <https://www.youtube.com/watch?v=xe-f4gokRBs>

Têmpera química

- Troca iônica na superfície por íons (álcalis) de maior raio iônico:
- Na^+ (116 pm) no lugar de Li^+ (90 pm)
- K^+ (152 pm) no lugar de Na^+ (116 pm)
- Temperatura abaixo da transição vítrea

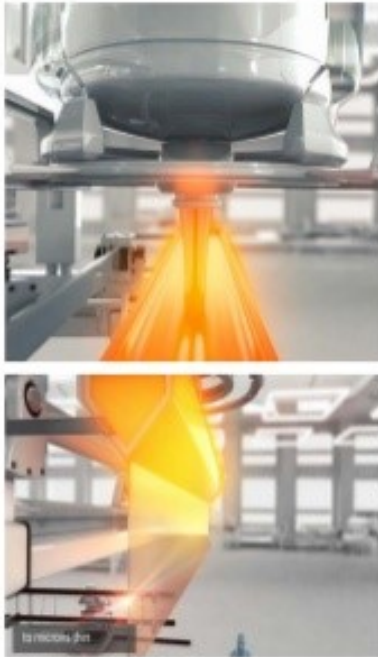


- Vidro (T_g)
 - de janela (550°C)
 - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ (800°C)
- Varshneya (SGT):
 - **650 MPa a 1 GPa**
 - **1 mm de espessura!**

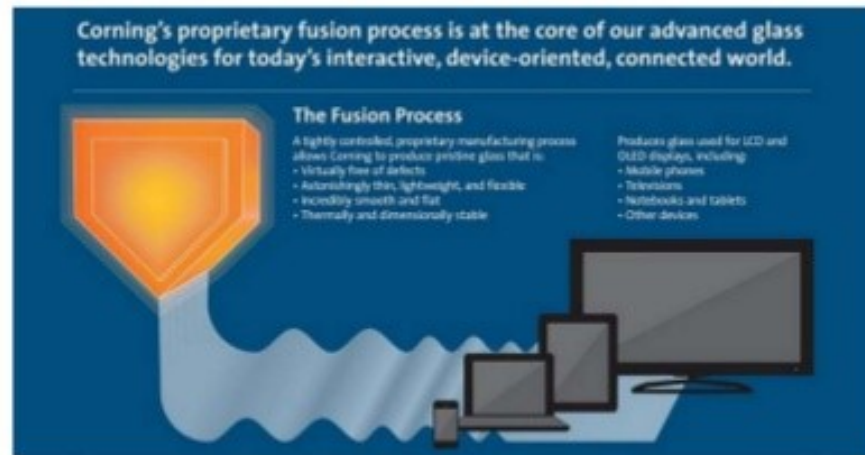


Gorilla Glass

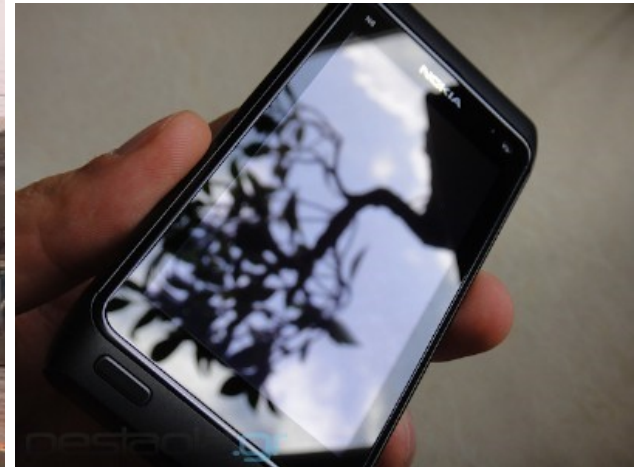
Fusion process – designed by Corning



- This same fusion process is at the heart of Corning's industry-leading LCD glass.
- The composition of Corning® Gorilla® Glass enables a deep layer of chemical strengthening through an ion-exchange process where individual glass parts are cut from the "mother sheet" & undergo an ion-exchange process.



Aplicações



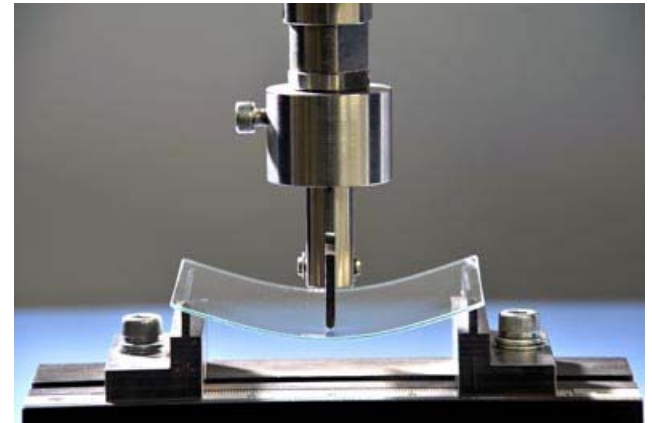
Proteção balística de alta segurança
Janelas em carros, trens, aviões
Janelas a prova de furacões



Têmpera química



Gorilla® glass – Corning/EUA



Dragontrail® glass – Asahi/Japão

USP 3.790.430 (1974): “ALKALI ALUMINOSILICATE GLASS ARTICLE HAVING AN ION-EXCHANGED SURFACE LAYER”

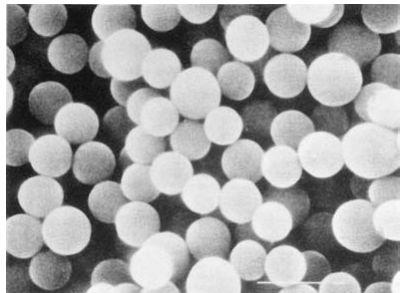
<http://www.csmonitor.com/Business/new-economy/2010/0802/Gorilla-glass-invented-in-US...>

<http://www.robaid.com/gadgets/asahi-glass-company-introduces-dragontrail-scratch-proof-glass.htm>

<http://www.youtube.com/watch?v=WpbOoQpwAFs>

Técnicas de fabricação – conformação do pó

- Formulação
- Mistura, homogeneização e dispersão das matérias-primas + aditivos
- Conformação
 - Prensagem do pó
 - À quente
 - Uniaxial
 - Isostática
 - Conformação hidroplástica
 - Colagem de barbotina (suspensão aquosa)
 - Colagem de fita (tape casting)
- Secagem
- Queima (pode haver uma etapa posterior de esmaltação ou aplicação de vidrado e nova queima)
- Acabamento, Retificação



Matéria-prima
particulada

Dispersão e homogeneização das
partículas em uma suspensão
(com posterior eliminação de
excesso de água ou outro líquido)

Conformação

Prensagem

Colagem

Conformação Plástica

Extrusão

Injeção

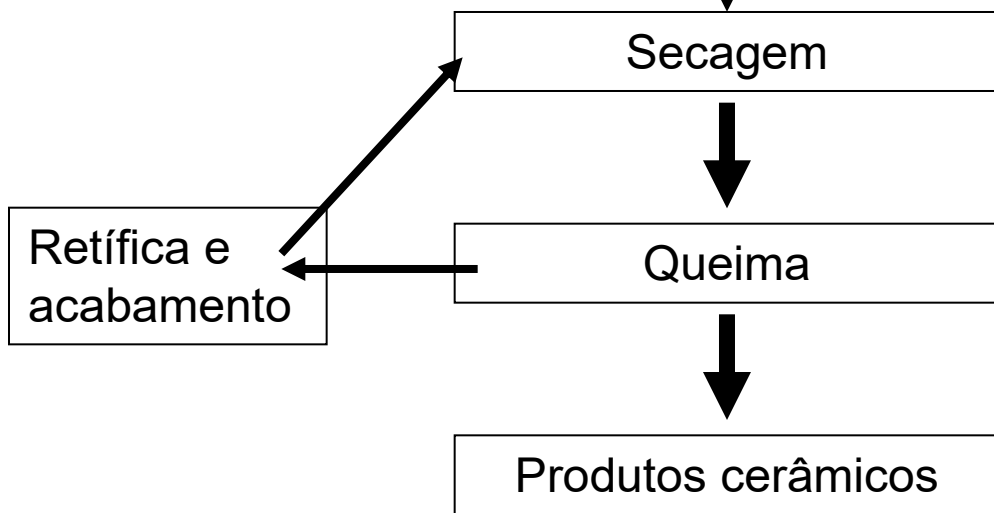
Técnicas coloidais

Secagem

Retífica e
acabamento

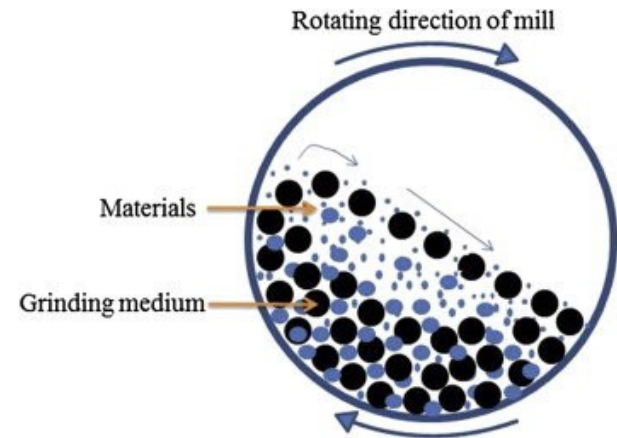
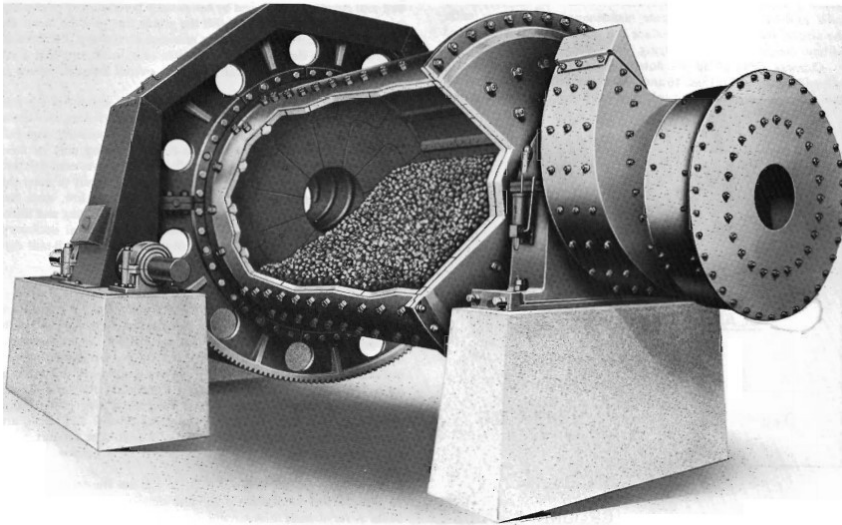
Queima

Produtos cerâmicos



Moagem

Moinho de bolas

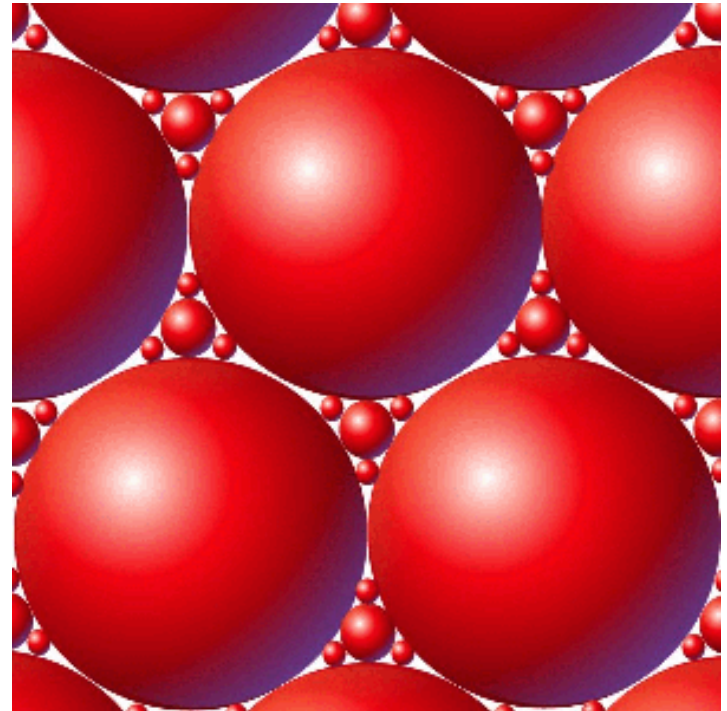
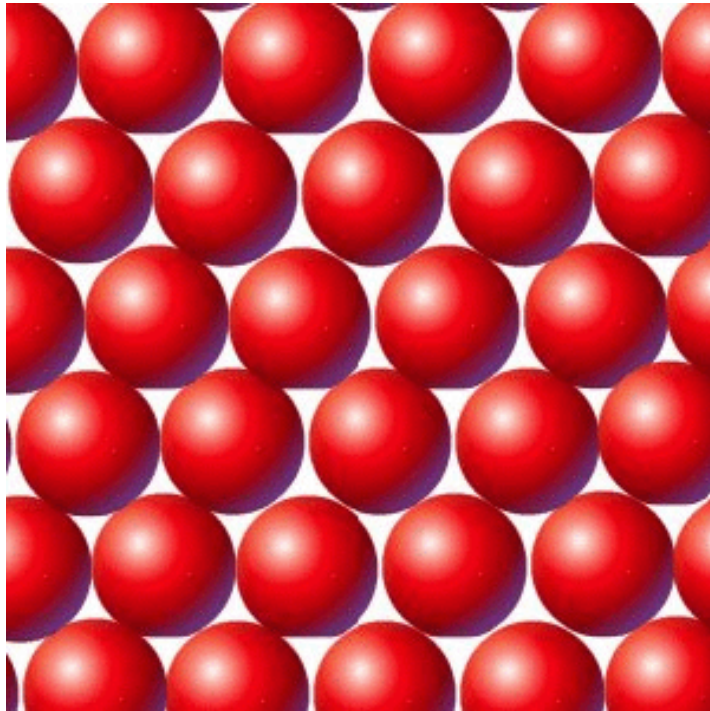


<https://www.youtube.com/watch?v=L6sgGXXYdEU#action=share>

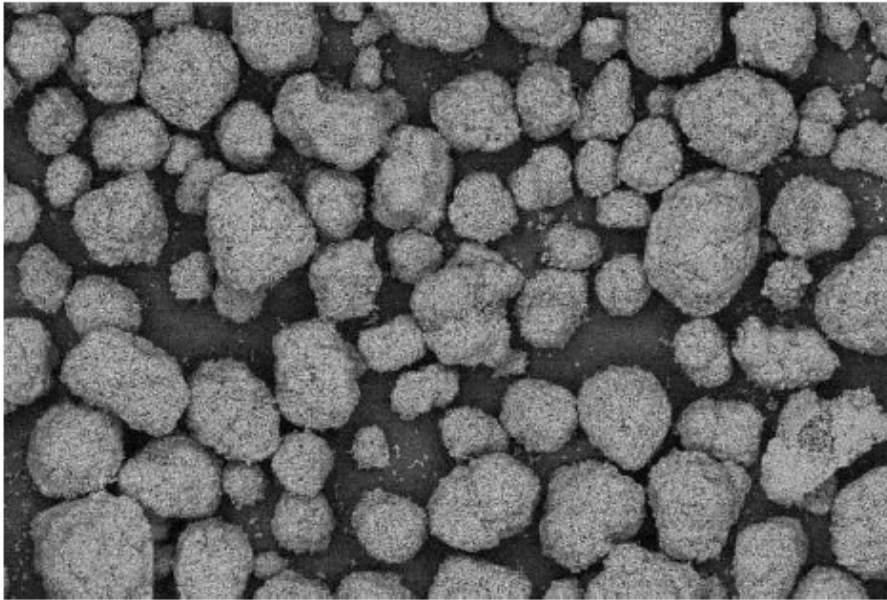
<https://www.911metallurgist.com/blog/ball-mills>

Pharmaceutical Particle Technologies: An Approach to Improve Drug Solubility, Dissolution and Bioavailability - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-ball-mill_fig2_263093092 [accessed 15 Sep, 2020]

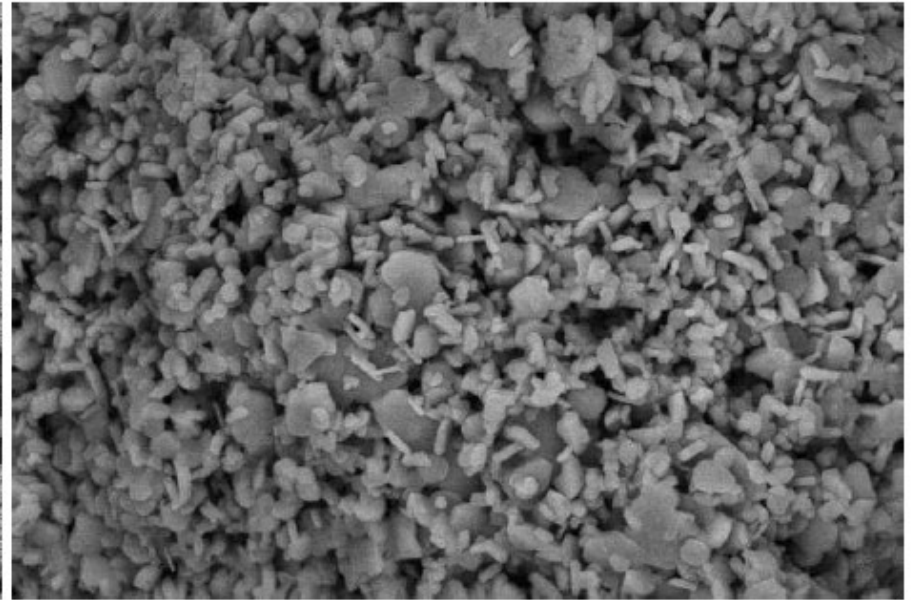
Empacotamento de partículas



Alumina calcinada APC Alcoa

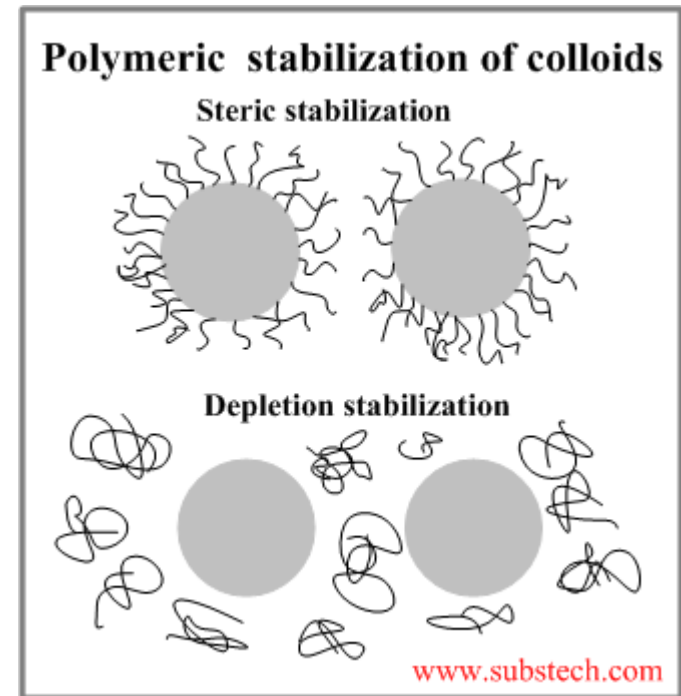
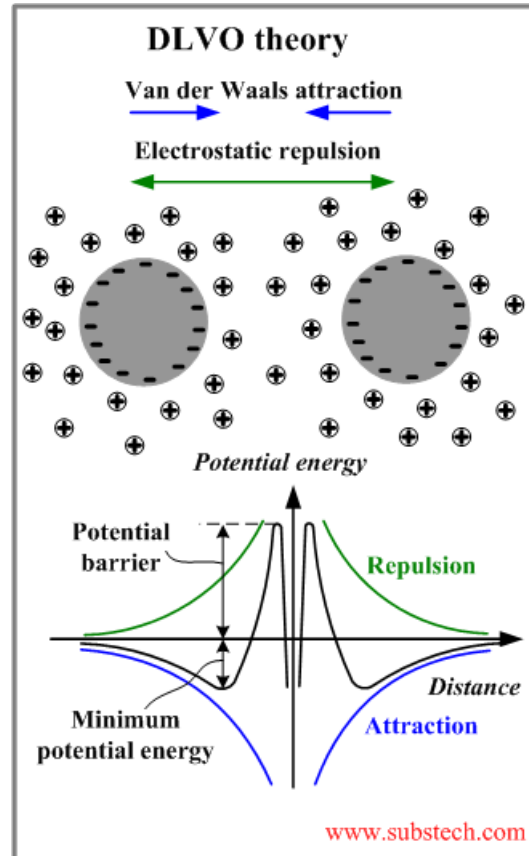
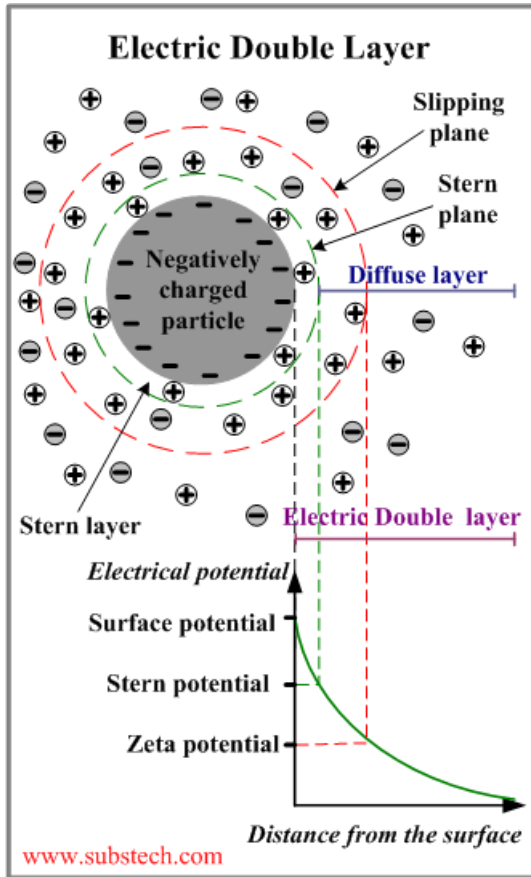


APC - MEV Ampliação de 300 X , 50 μ —|

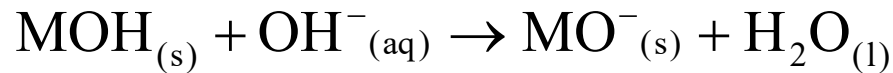
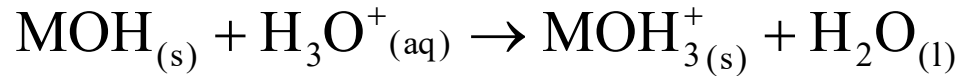
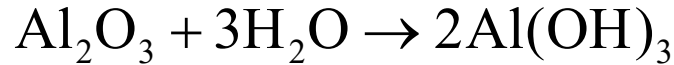


APC - MEV : -Ampliação de 3000 X , 5 μ —|

Dispersão de partículas em suspensão



Dispersão de partículas em suspensão



onde M é o cátion metálico

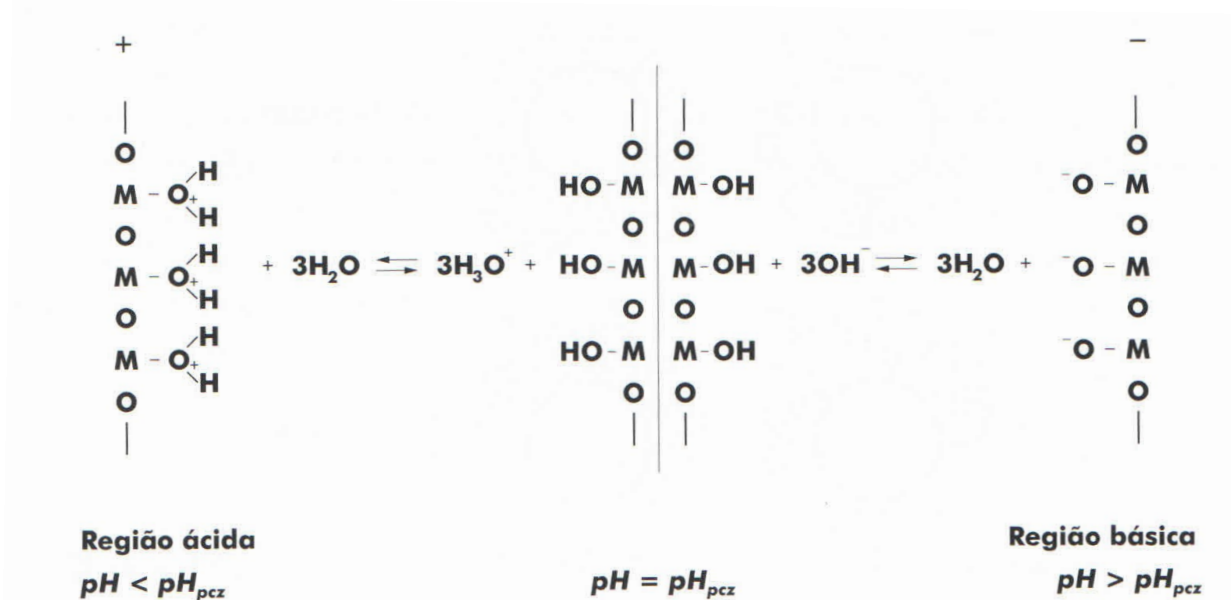


Figura 3.5: Reações entre a superfície hidratada de um óxido metálico e os íons H_3O^+ e OH^- (M representa um íon metálico, p.e. Al^{+3} , Si^{+4}) [21].

Dispersão de partículas em suspensão

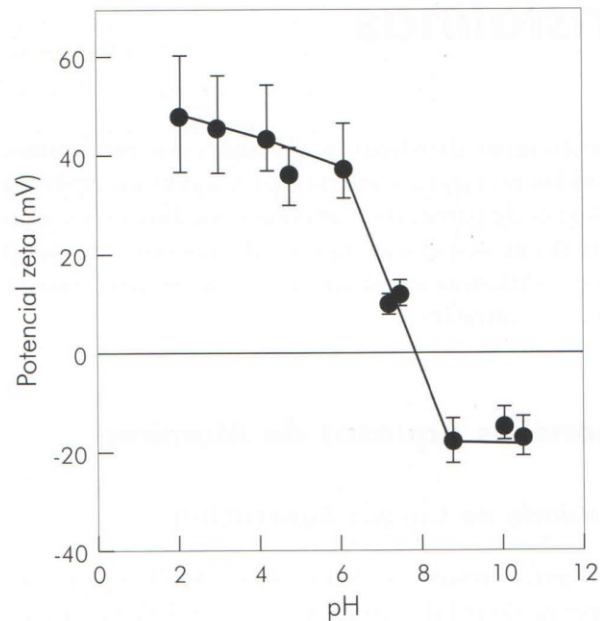


Figura 4.1: Variação do potencial zeta para suspensão de alumina em função do pH^[32].

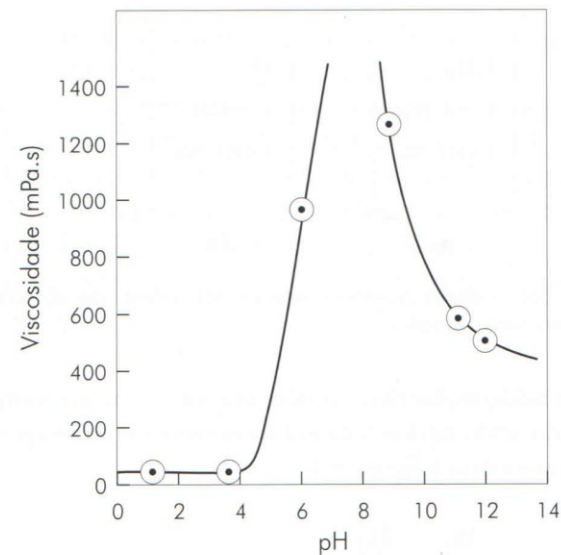


Figura 4.2: Variação da viscosidade para suspensão de alumina em função do pH^[33].

Dispersão de partículas em suspensão

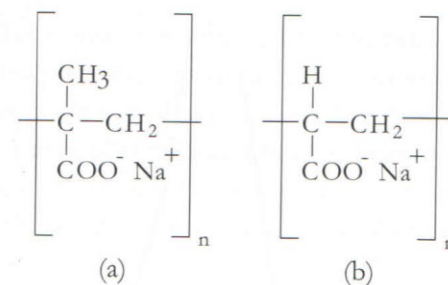
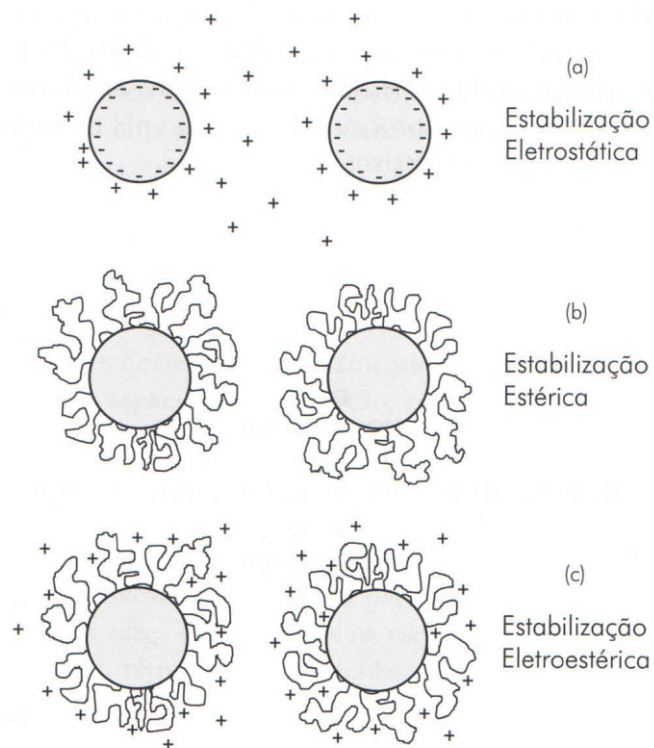


Figura 4.3: Esquema das unidades repetitivas (meros) das cadeias do (a) polimetacrilato de sódio e do (b) poliacrilato de sódio^[36].

Figura 3.4: Ilustração dos mecanismos de estabilização de suspensões: (a) através de cargas nas superfícies das partículas, (b) da adsorção de polímeros e (c) da adsorção de moléculas ionizadas ou polieletrólitos^[12].

Spray dryer ou secagem por atomização



Conformação cerâmica

- Pós adequadamente preparados (distribuição de tamanhos, dispersos, aditivados, em aglomerados moles) para a conformação nos formatos desejados
- **Objetivo:** promover a máxima aproximação entre partículas e eliminar ao máximo espaços vazios

Os principais métodos incluem

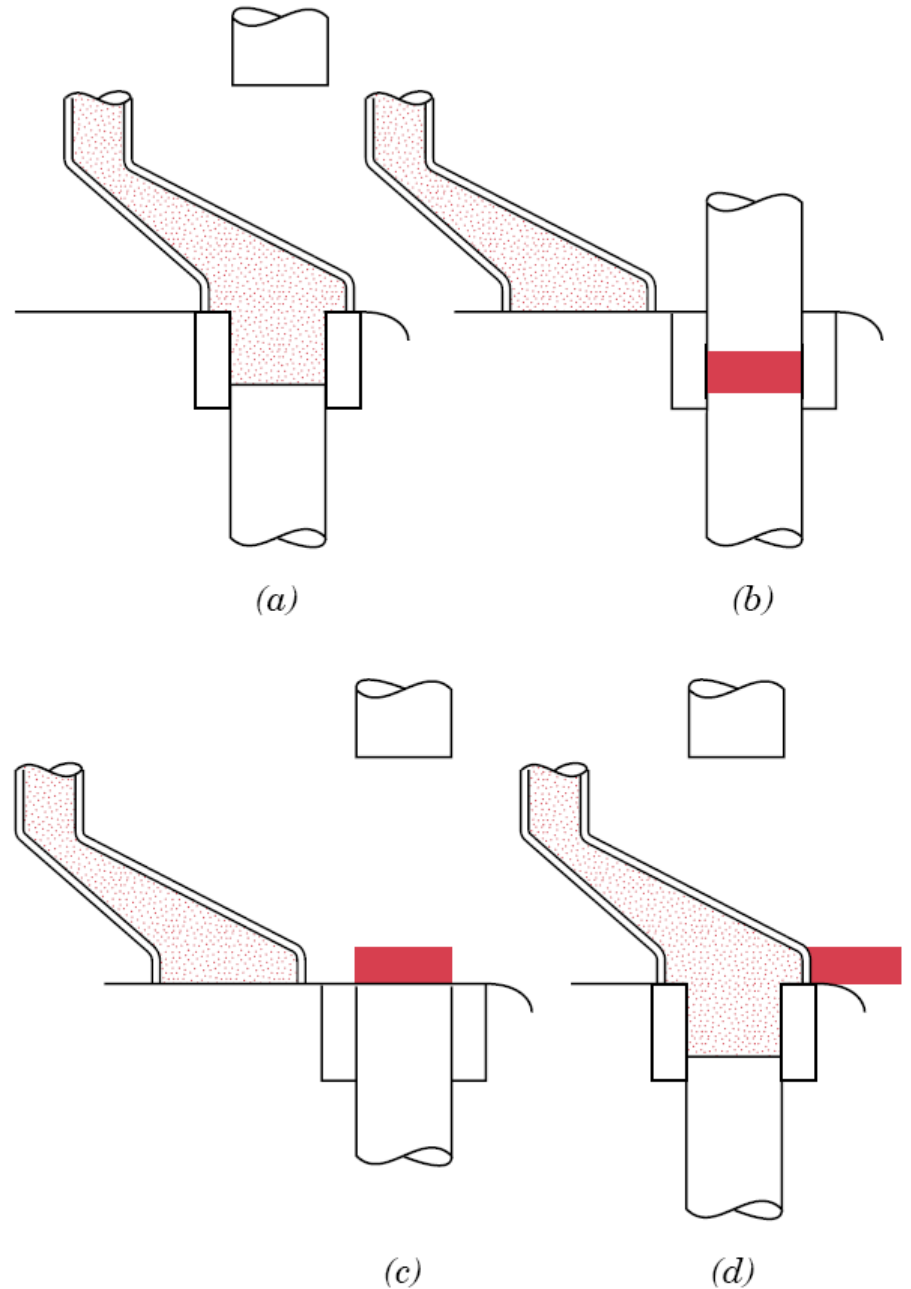
- Prensagem do pó semi-seco
- Mistura do pó com água e/ou polímeros orgânicos produzindo uma massa plástica, conformada por prensagem, deformação, extrusão ou injeção (conformação plástica)
- Vertimento de uma suspensão concentrada ou barbotina em molde poroso (colagem e “tape casting”)

Podemos relacionar os processos de conformação à consistência da massa

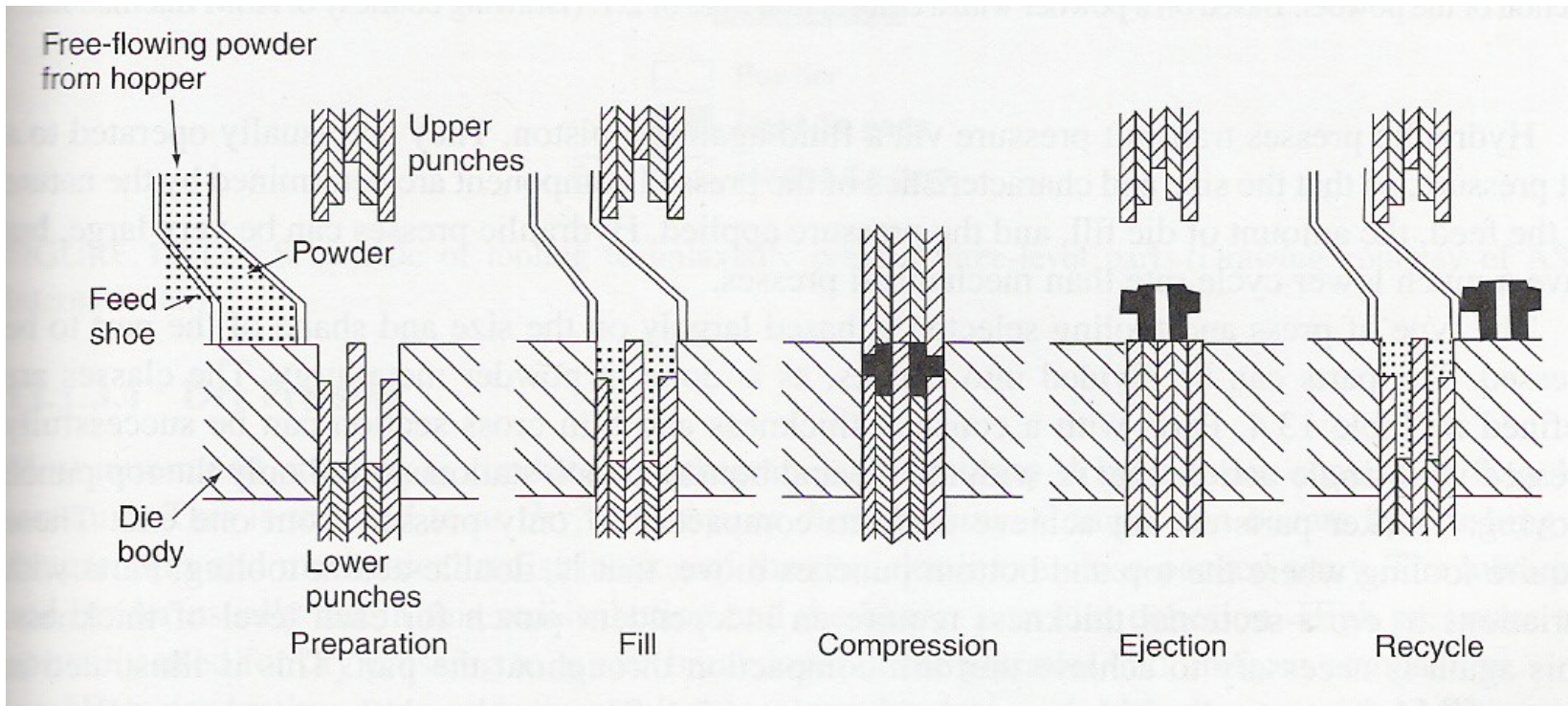
Processo	Pressão utilizada	% água
Via suspensão em meio líquido	Zero ou hidrostática	20-25%
Massa plástica	Baixa	25-30
Extrusão	Média	15-20
Prensagem à seco	Alta	5-10
Prensagem do pó	Muito alta	1-2
Prensagem isostática	Muito alta	0-17

Técnicas de fabricação – conformação do pó

Prensagem

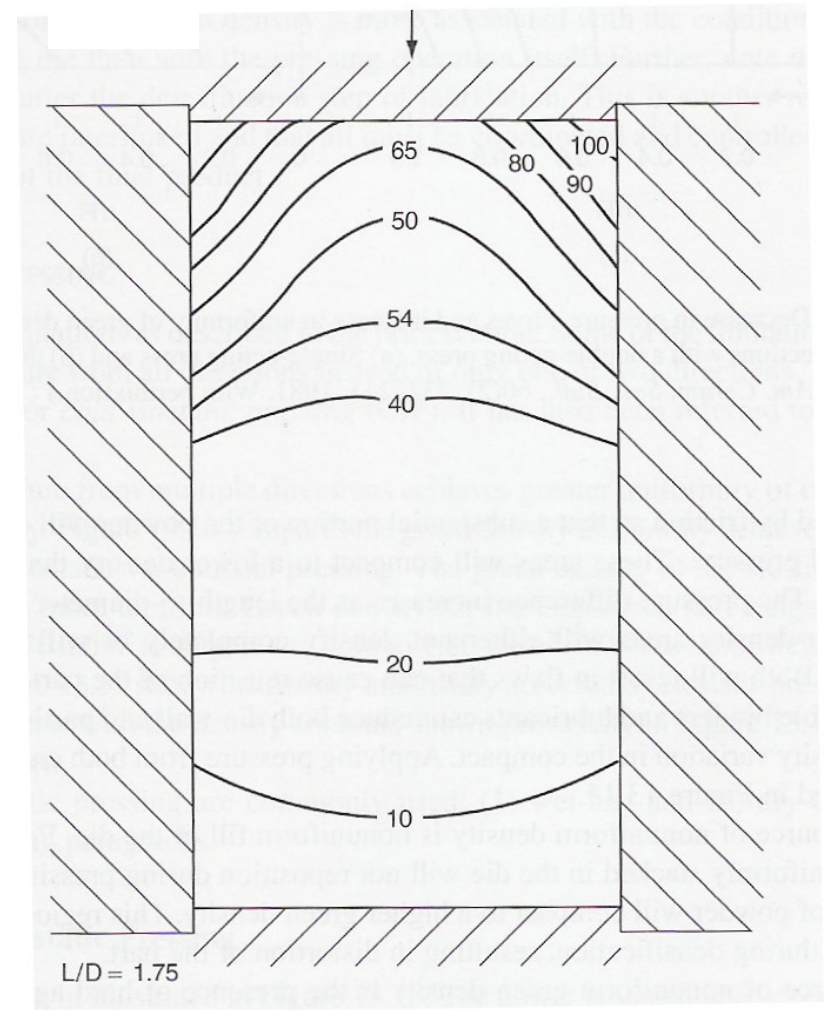
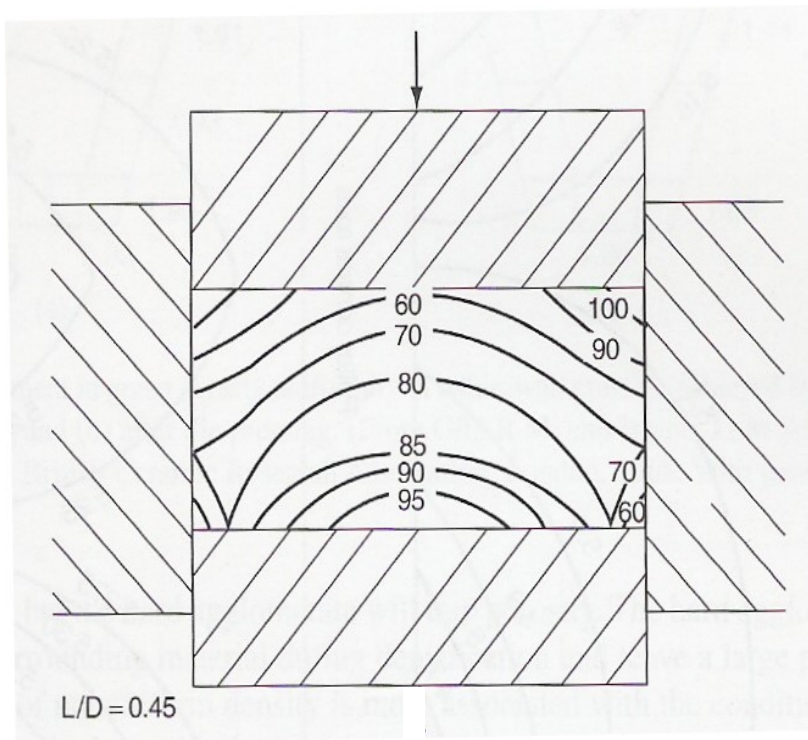


Prensagem uniaxial

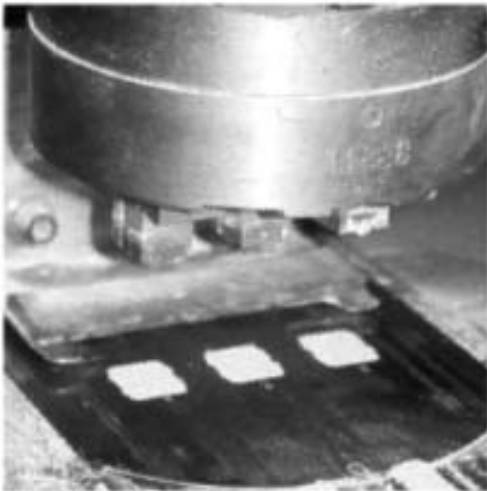


6-100/min!!

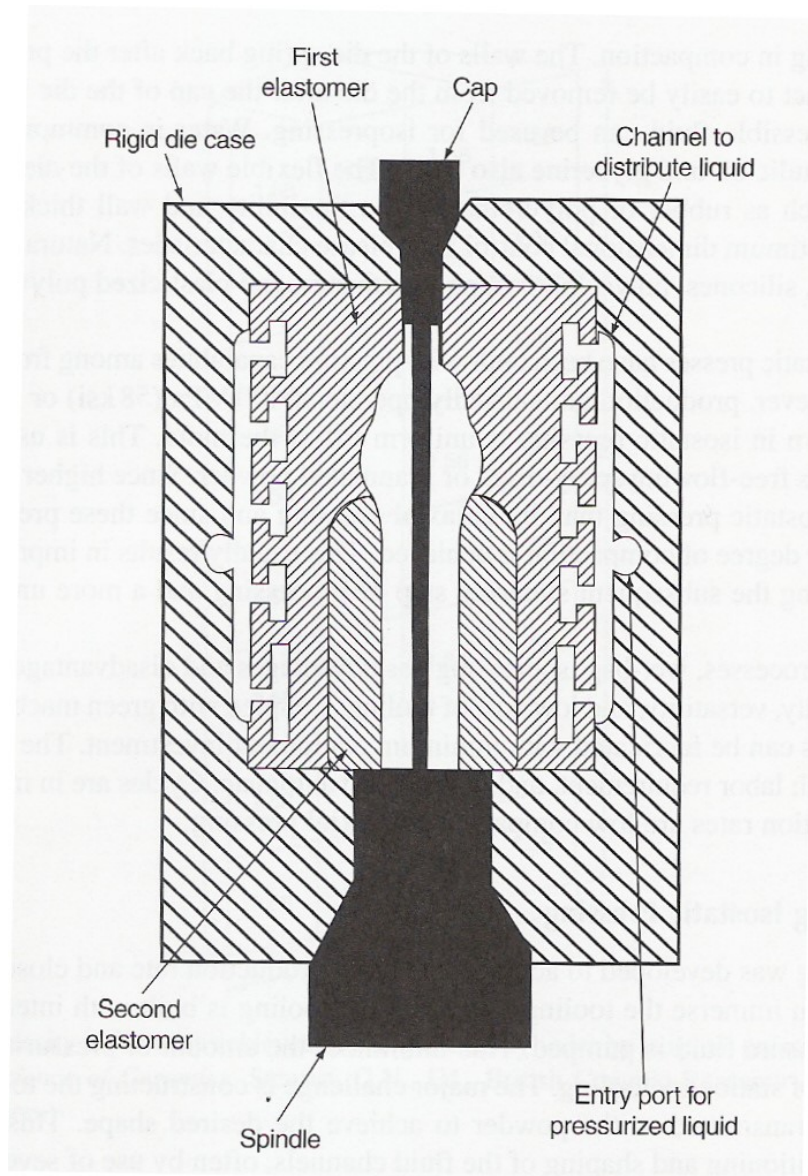
Prensagem uniaxial – efeito da espessura



Prensagem uniaxial

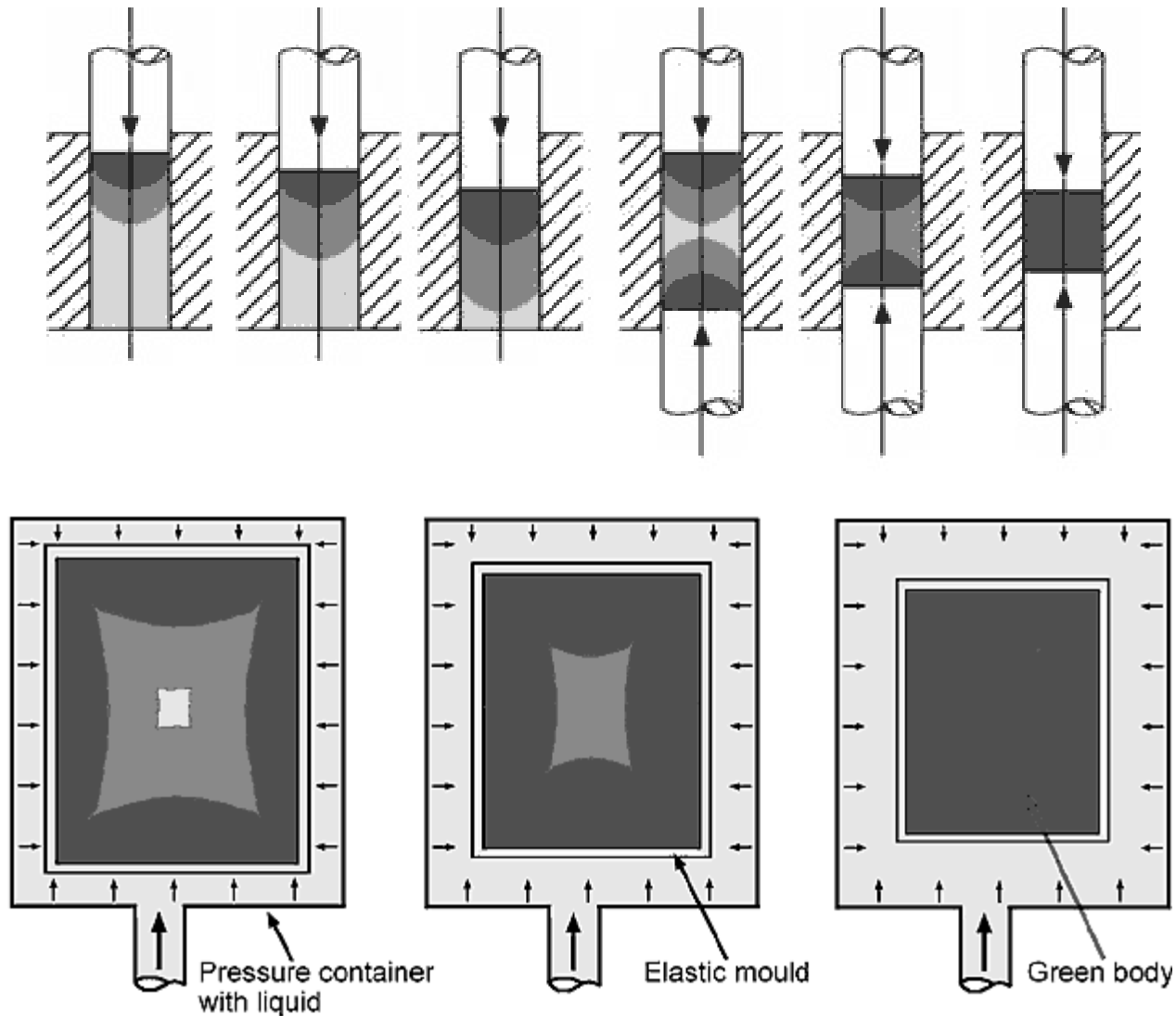


Prensagem isostática

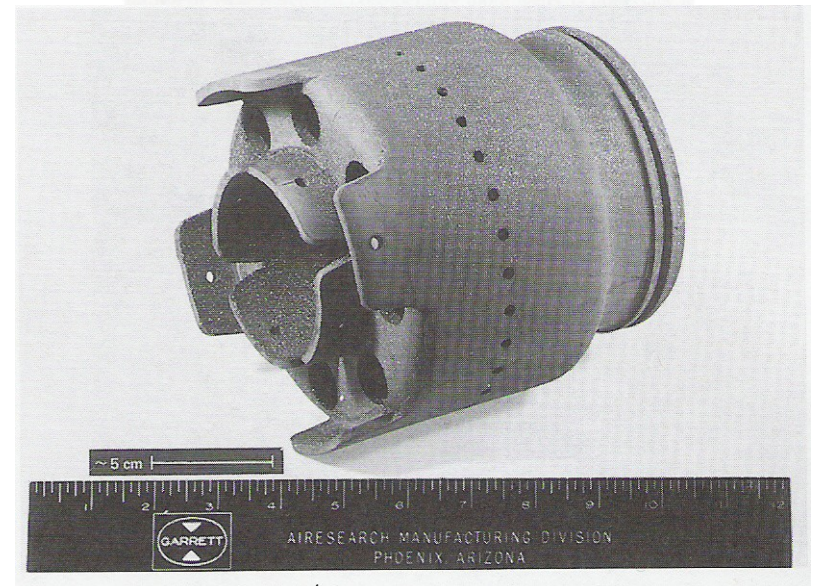
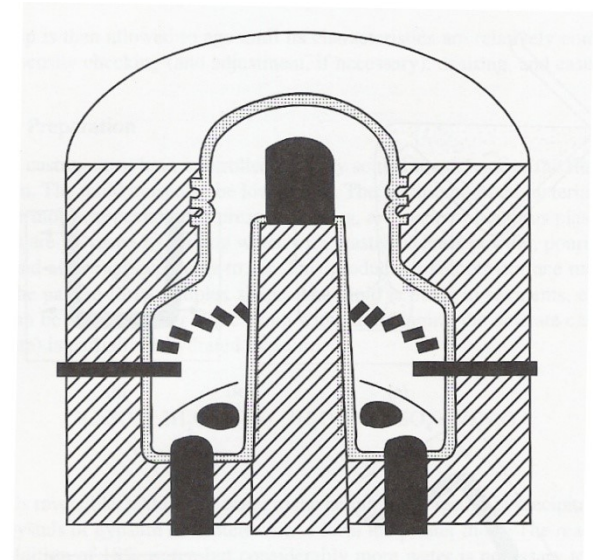
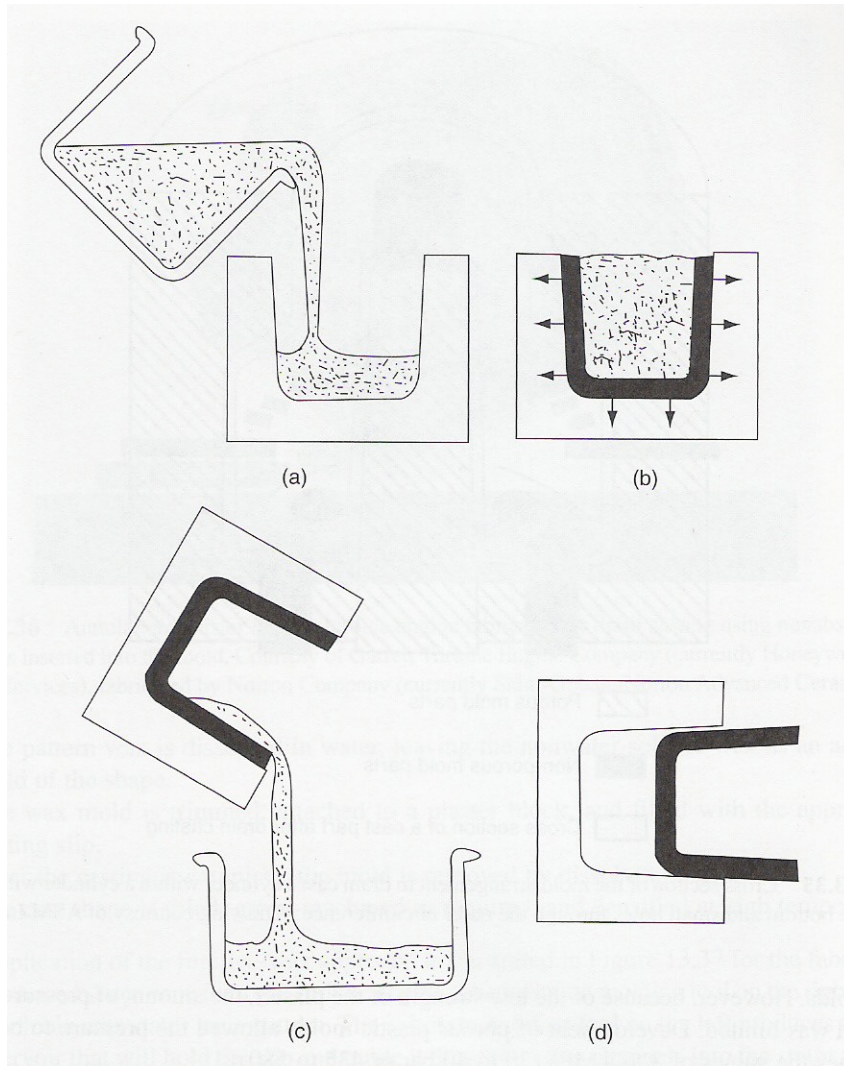


Prensagem cerâmica

uniaxial vs. uniaxial em dois sentidos vs. isostática

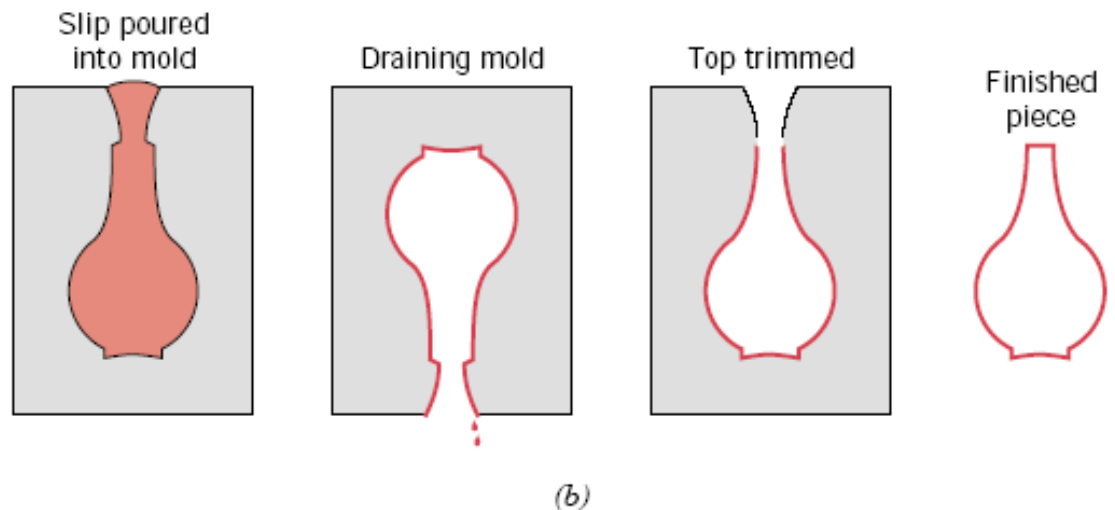
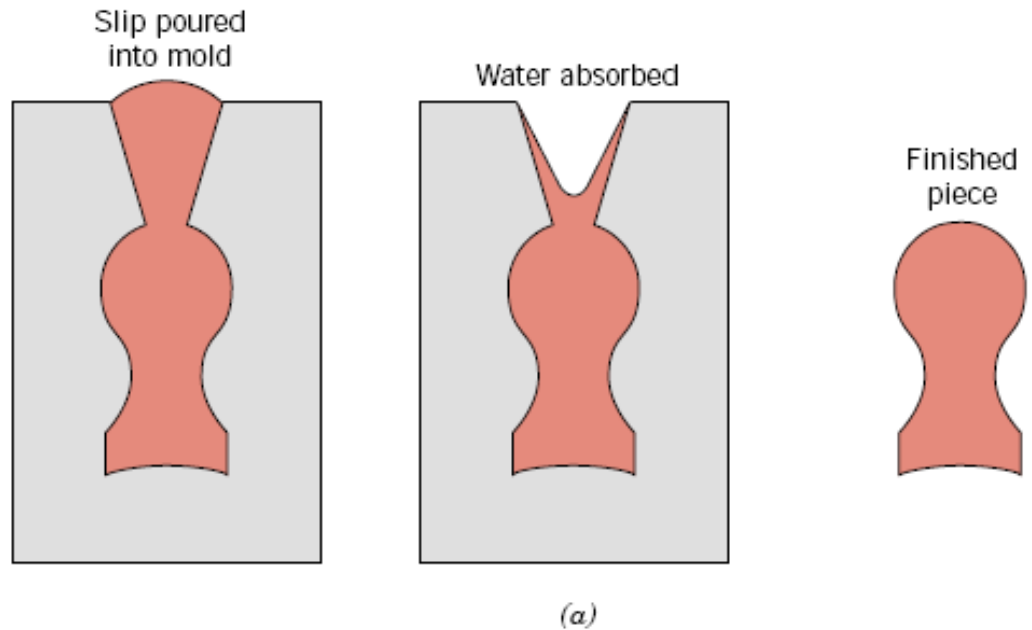


Colagem de barbotina

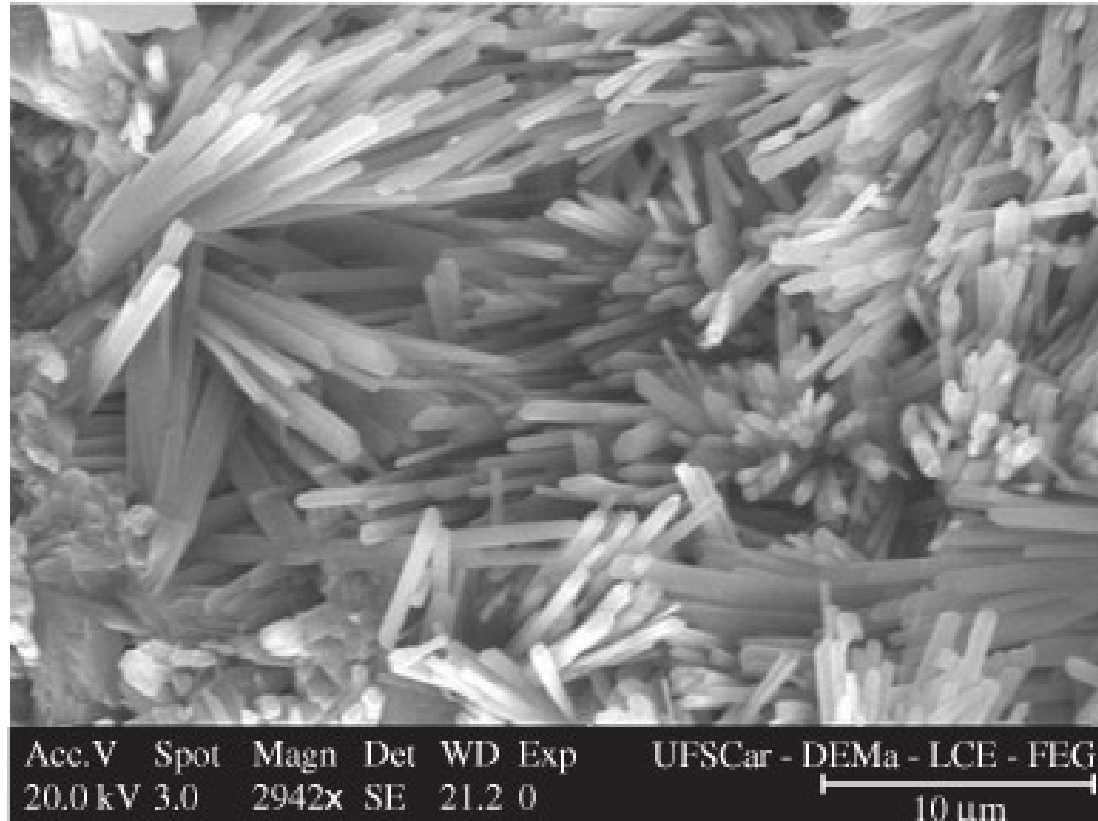


Técnicas de fabricação – conformação do pó

Colagem de barbotina



Técnicas de fabricação – colagem de barbotina



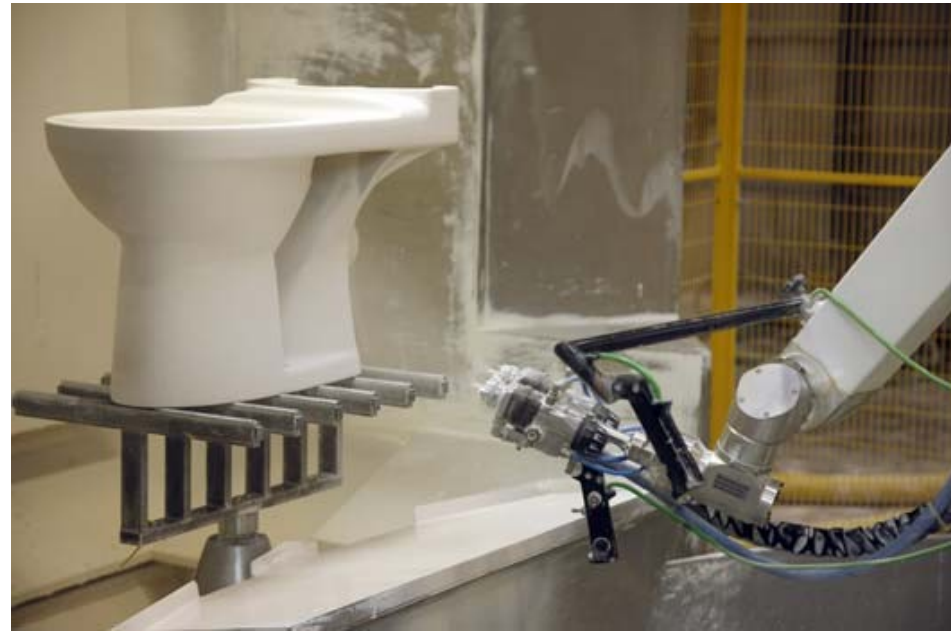
Microestrutura do gesso após a hidratação.

sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) $\rightarrow$ hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)
calcinação

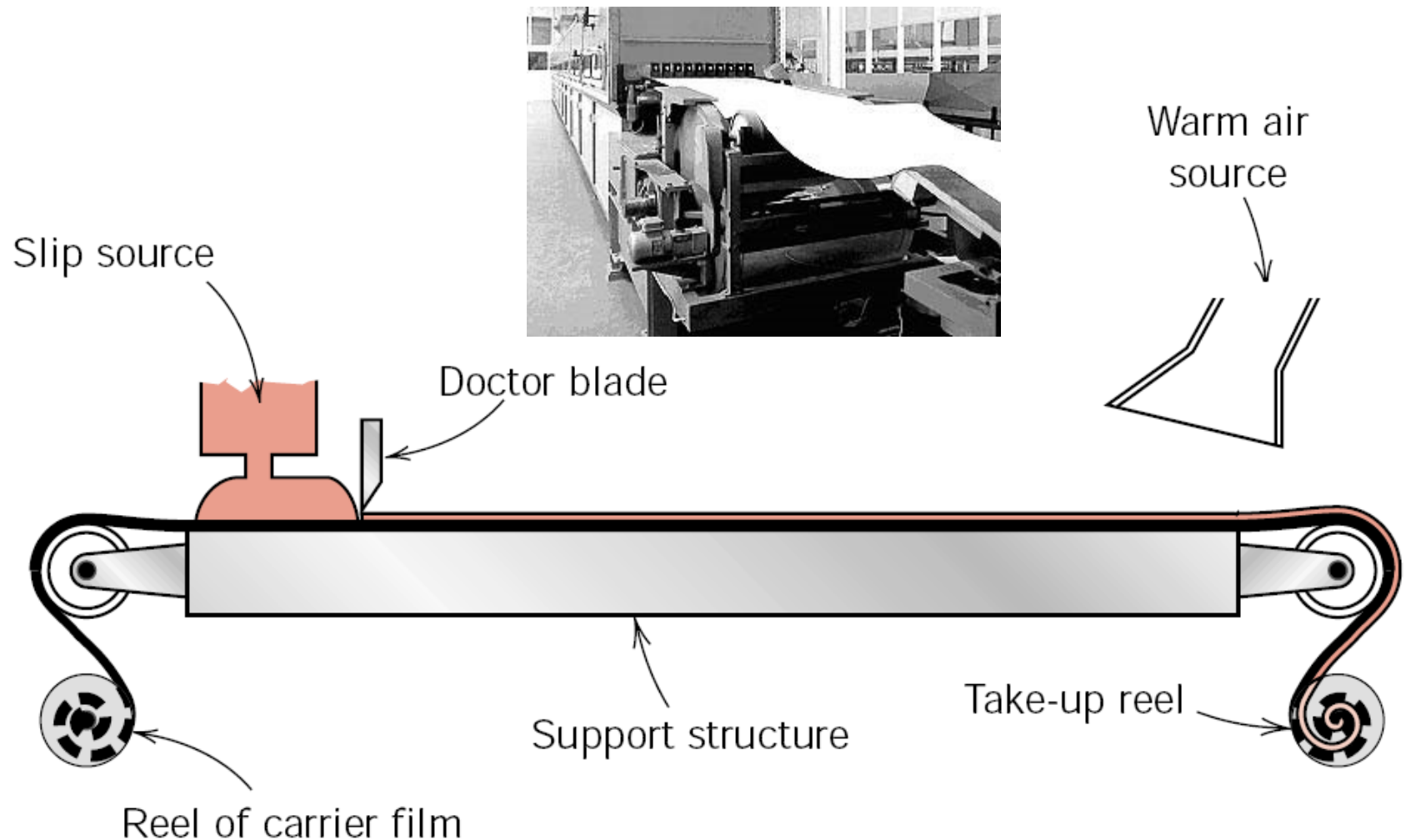
Técnicas de fabricação – colagem de barbotina



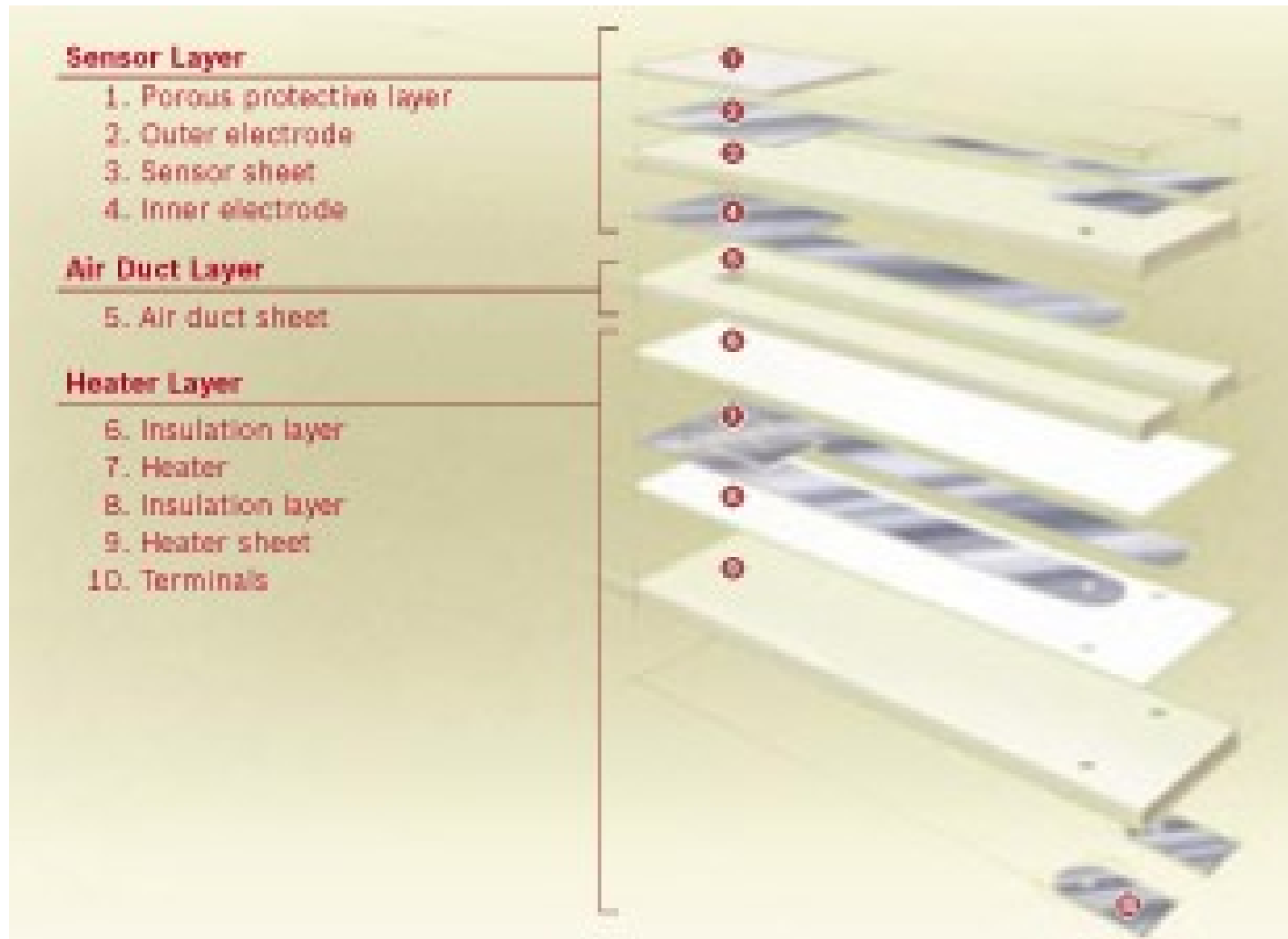
Porcelana sanitária



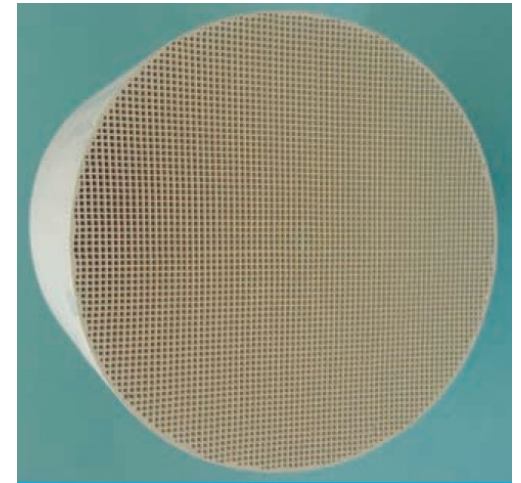
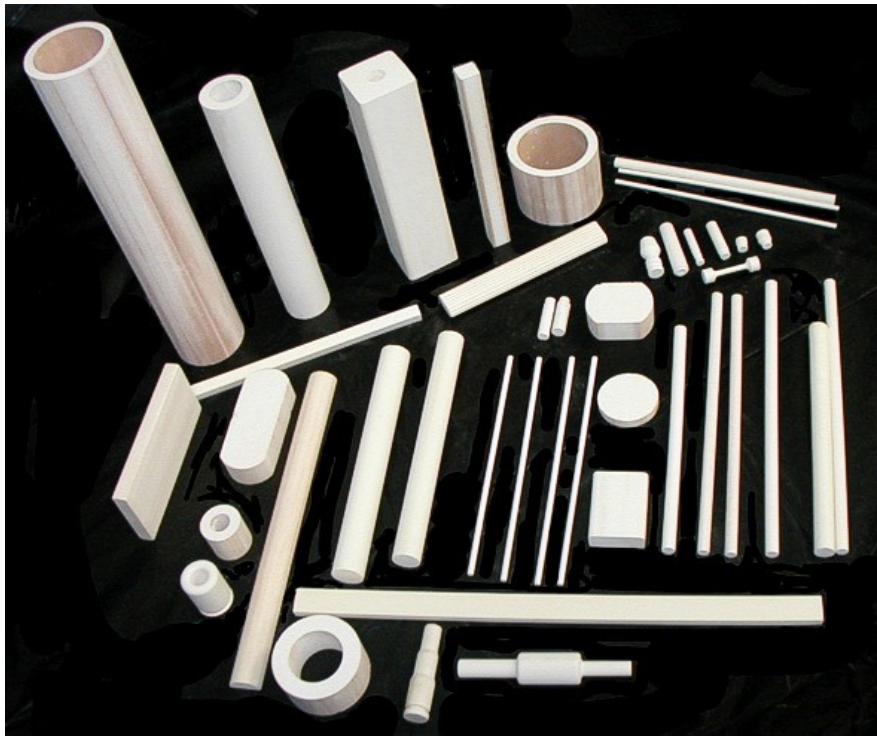
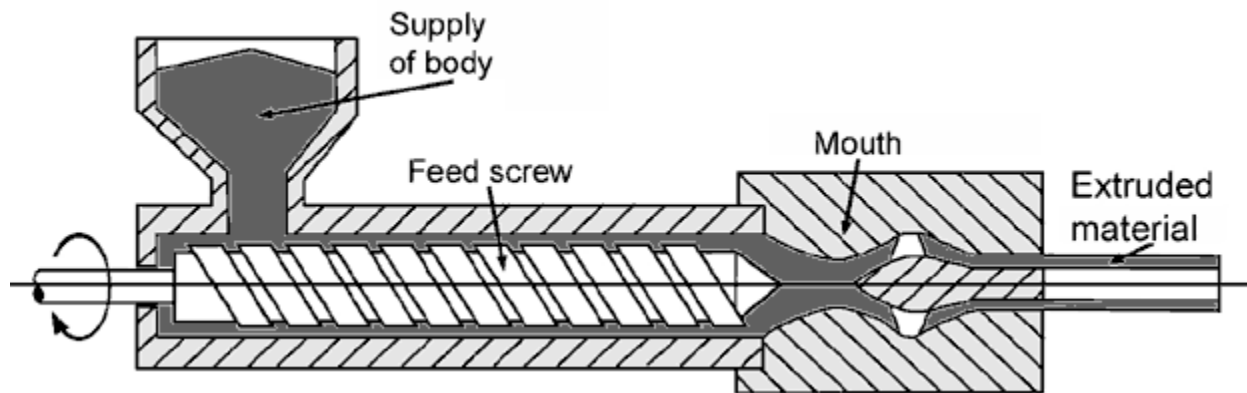
Tape casting (colagem de fita)



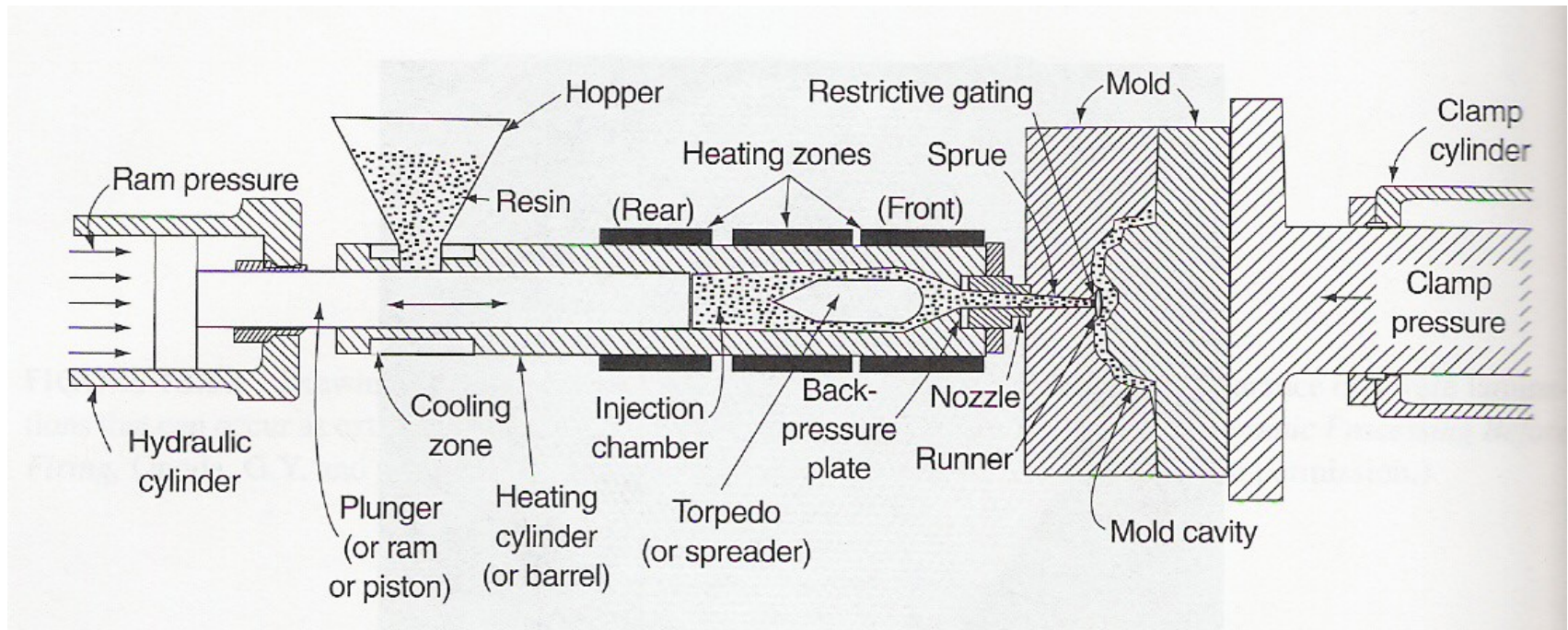
Sonda Lambda Planar



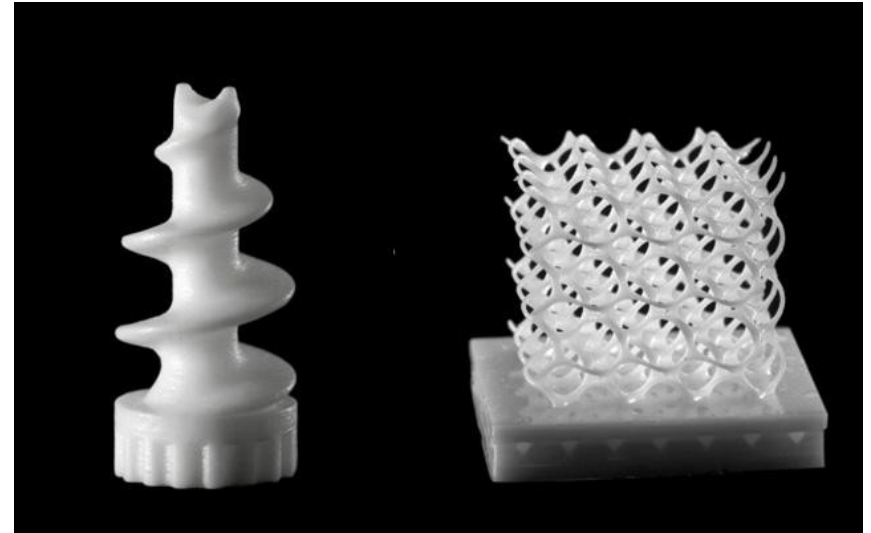
Extrusão



Injeção



Manufatura aditiva (impressão 3D)



<https://matthey.com/-/media/images-products/3d-ceramic-printing-product-lm/ceramics-3d-printing-l.jpg>

<https://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/09/lith-4.jpg>

<https://www.3dprintpulse.com/thumbs/large/4/8/1/481a4353923a3603aa7dac008fb9d2120d0d3a58.jpg>

Técnicas de fabricação – secagem

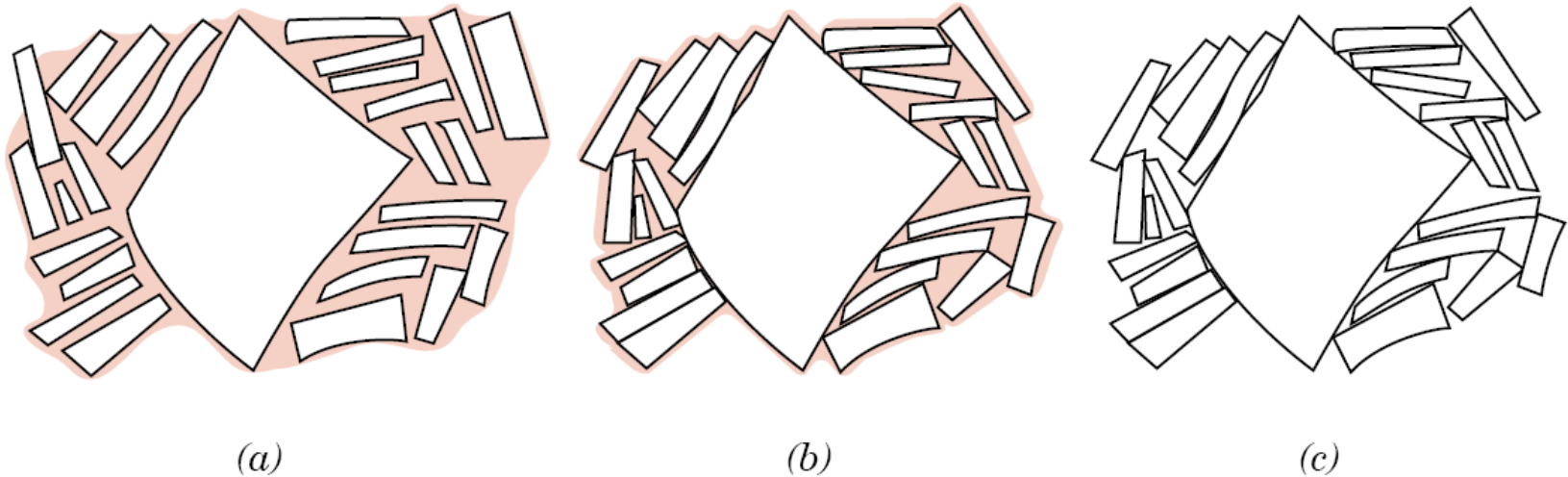
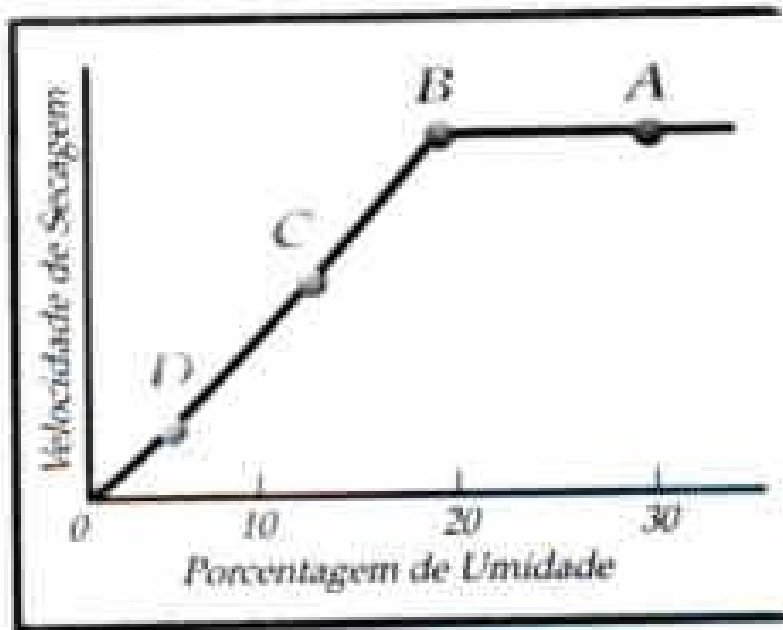
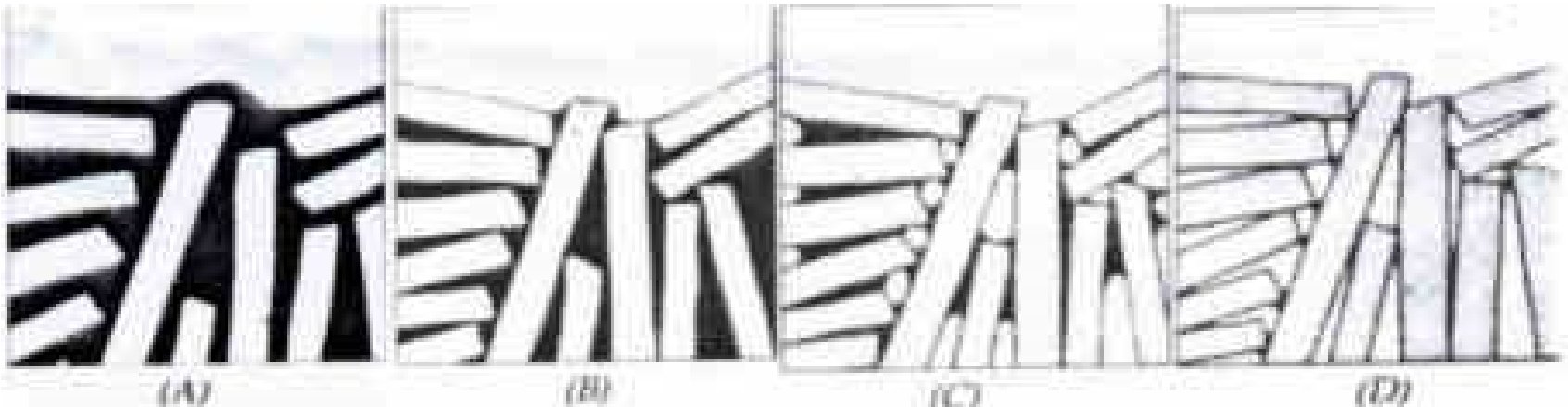


FIGURE 14.21 Several stages in the removal of water from between clay particles during the drying process. (a) Wet body. (b) Partially dry body. (c) Completely dry body. (From W. D. Kingery, *Introduction to Ceramics*. Copyright © 1960 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

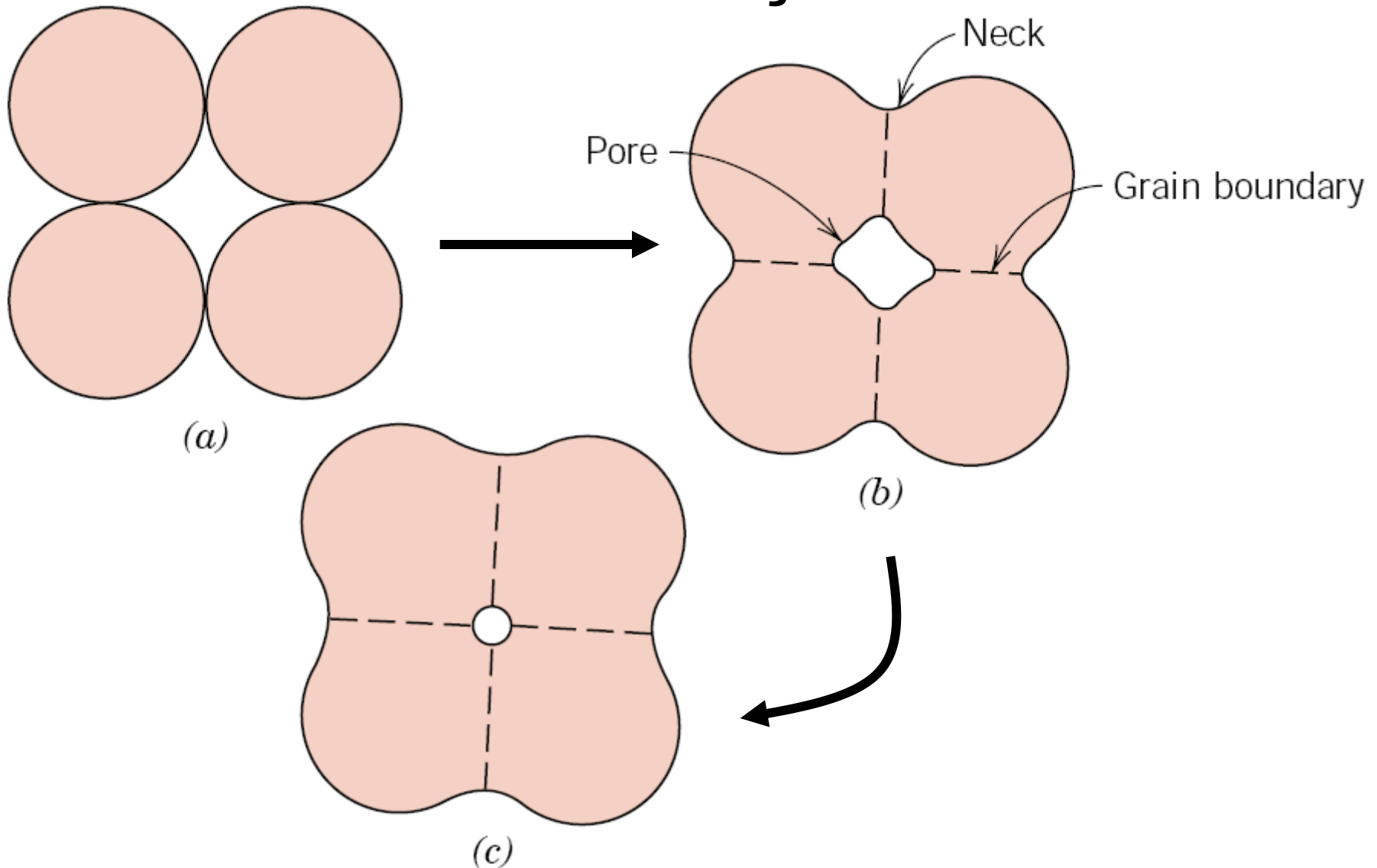
Secagem



- Enquanto houver uma película (ou filme) de água entre as partículas, a secagem é acompanhada de retração da peça (aproximação das partículas e diminuição do tamanho do corpo).
- Após a eliminação da água entre as partículas não ocorre mais retração, mas ainda há umidade para ser removida.



Técnicas de fabricação – queima ou sinterização



Microestrutura cerâmica

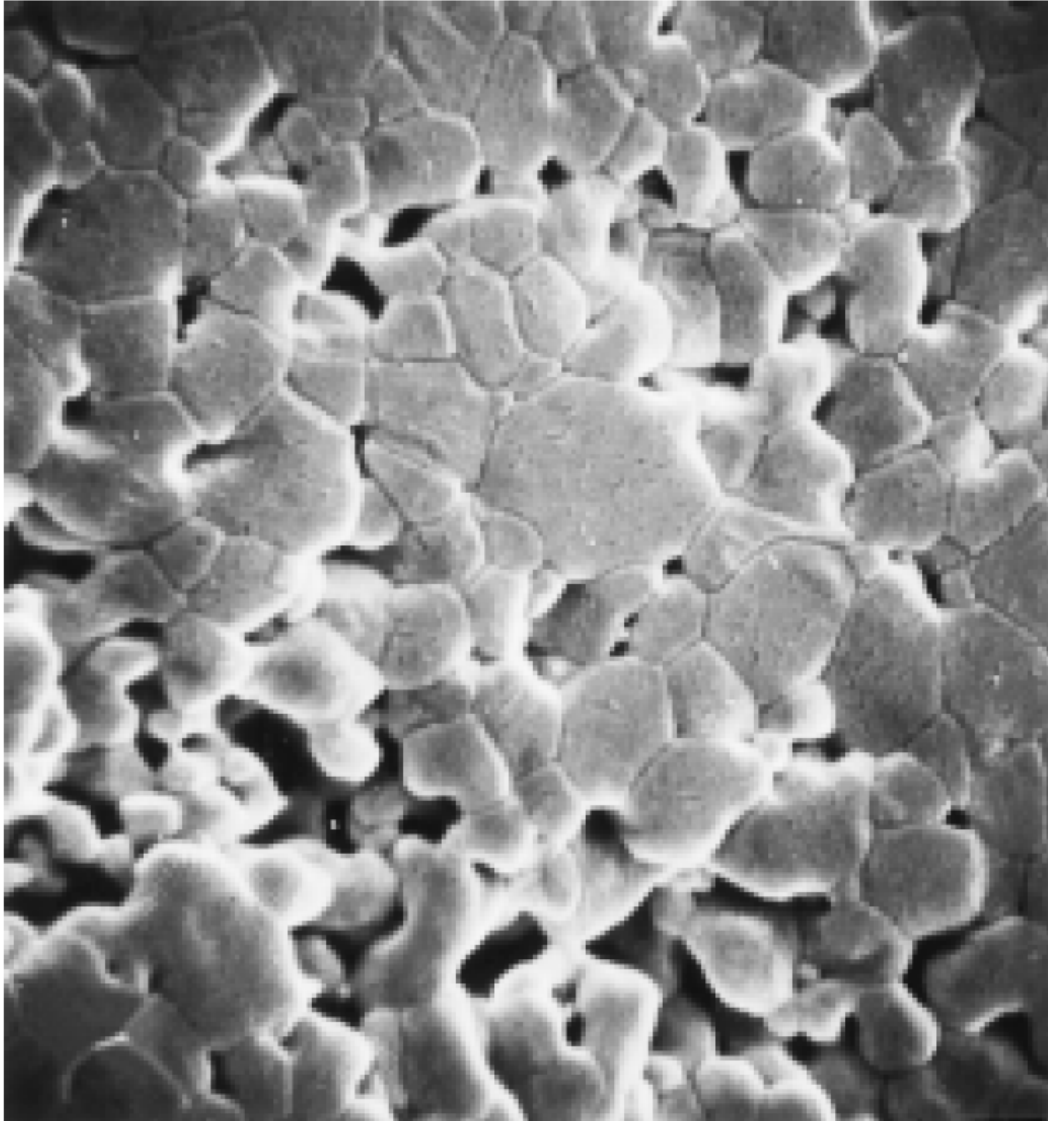


FIGURE 14.25 Scanning electron micrograph of an aluminum oxide powder compact that was sintered at 1700°C for 6 min. 5000×. (From W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition, p. 483. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Microestrutura cerâmica – porcelana

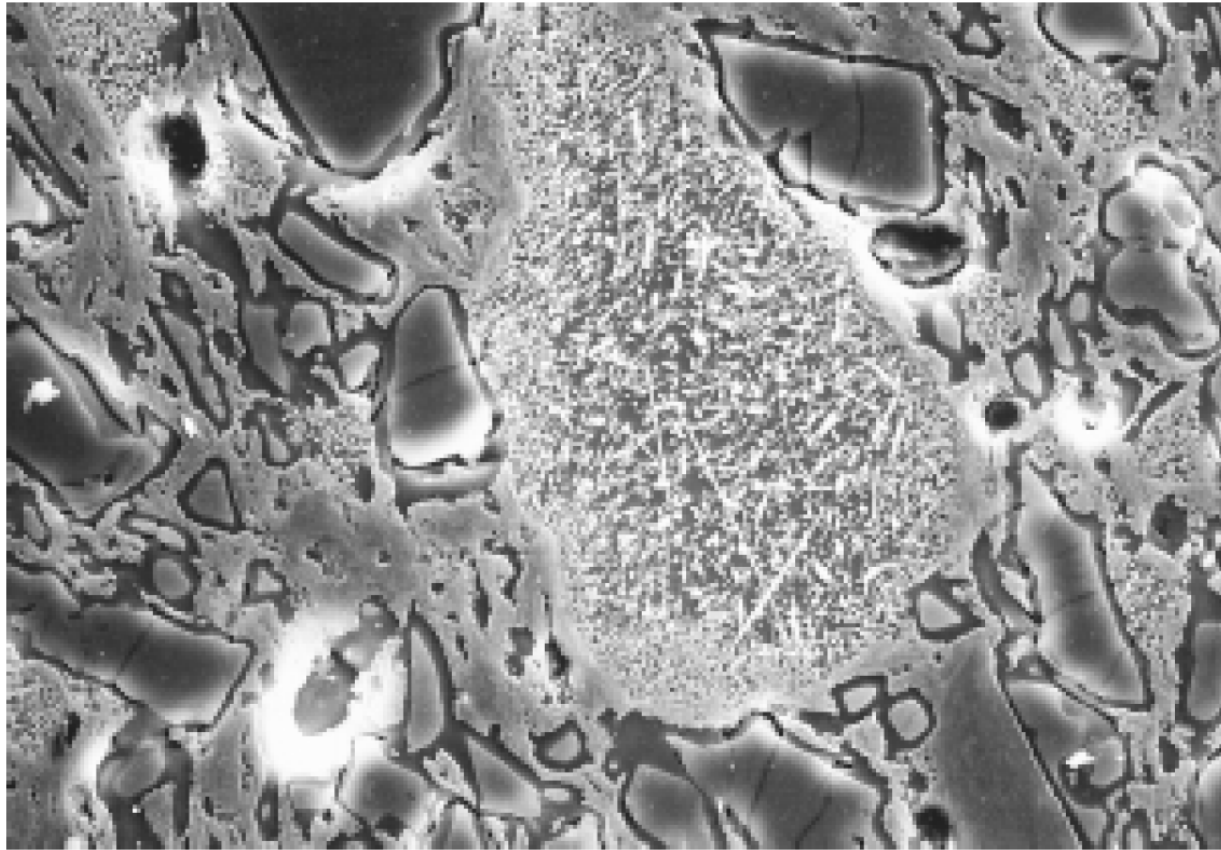


FIGURE 14.22 Scanning electron micrograph of a fired porcelain specimen (etched 15 s, 5°C, 10% HF) in which may be seen the following features: quartz grains (large dark particles) which are surrounded by dark glassy solution rims; partially dissolved feldspar regions (small unfeathered areas); mullite needles; and pores (dark holes with white border regions). Also, cracks within the quartz particles may be noted, which were formed during cooling, as a result of the difference in shrinkage between the glassy matrix and the quartz. 1500×. (Courtesy of H. G. Brinkies, Swinburne University of Technology, Hawthorn Campus, Hawthorn, Victoria, Australia.)

Microestrutura cerâmica – abrasivo

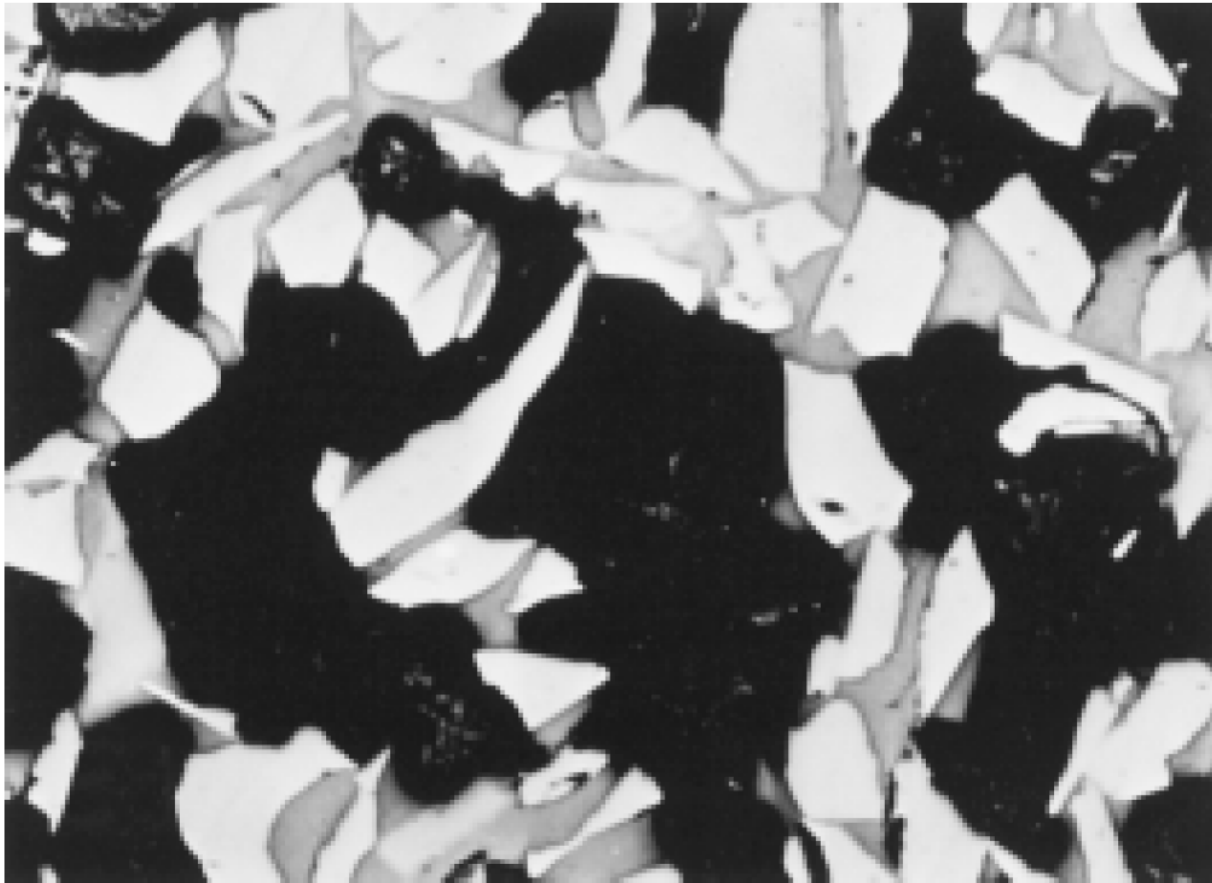
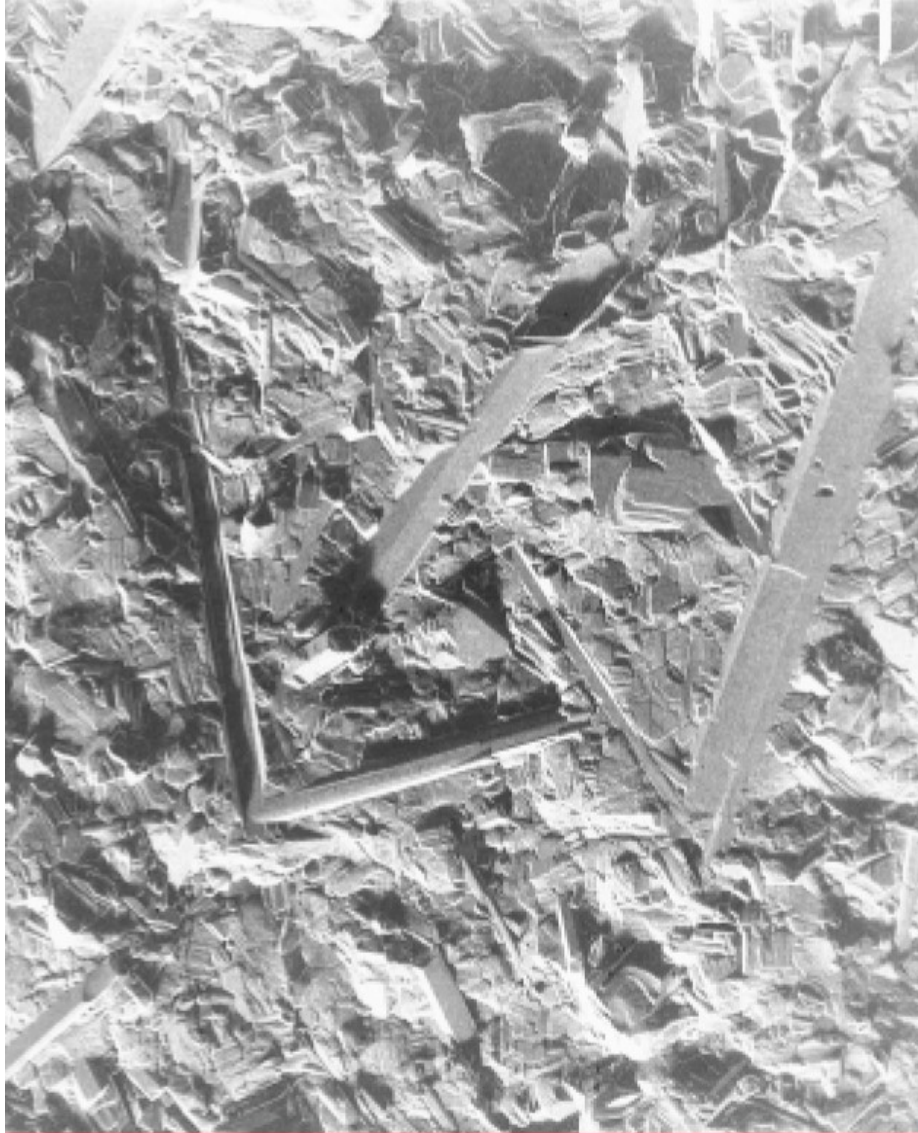


FIGURE 13.7 Photomicrograph of an aluminum oxide bonded ceramic abrasive. The light regions are the Al_2O_3 abrasive grains; the gray and dark areas are the bonding phase and porosity, respectively. 100 $\times$. (From W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition, p. 568. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Microestrutura cerâmica – vitrocerâmica



Scanning electron micrograph showing the microstructure of a glass-ceramic material. The long acicular blades yield a material with unusual strength and toughness. 65,000 $\times$. (Photograph courtesy of L. R. Pinckney and G. J. Fine of Corning Incorporated.)