Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de Lorena

PROCESSOS QUÍMICOS INDUSTRIIS I

LOQ4022 – Turma 20212N1 – Engenharia Química

Apresentação 08

VIDRO

PROF. ANTONIO CARLOS DA SILVA

HISTÓRICO

Sua descoberta é obscura. Há dúvidas sobre a descoberta por egípcios ou fenícios.

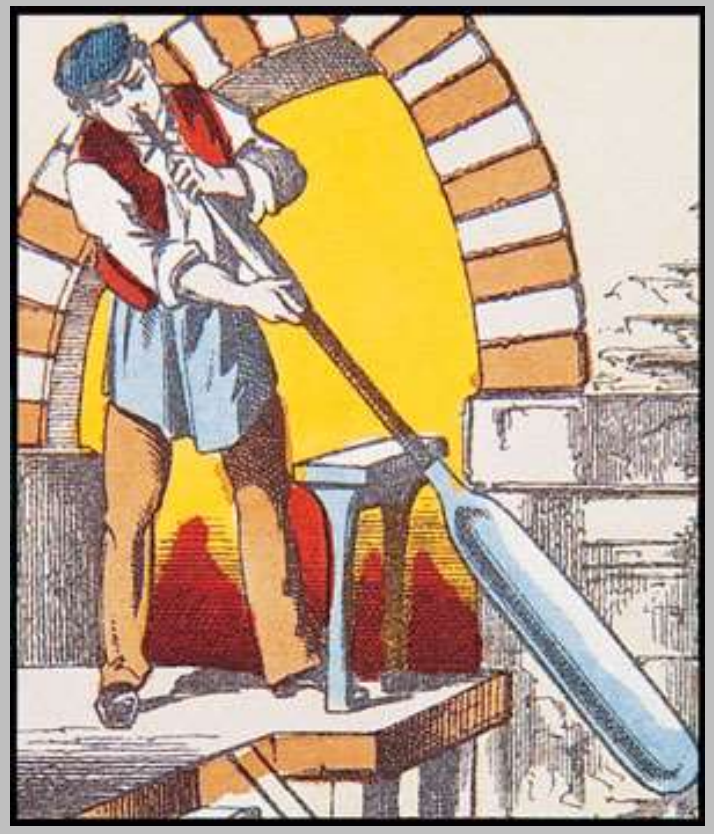
Navegadores fenícios teriam feito uma fogueira na praia e a areia e calcário combinaram produzindo vidro.

Por volta de 6000 ou 5000 a.C., os egípcios fabricavam gemas de vidro.

Acredita-se que por volta de 1400 a.C. os egípcios já sopravam o vidro.

O vidro de janela é mencionado no ano 290 d.C.

Na era medieval, Veneza era o grande centro produtor de vidro.



HISTÓRICO

Até o século XVI, não se produzia vidro na França e na Inglaterra.

O vidro laminado surgiu na França em 1688.

Em 1914, foi desenvolvido na Bélgica o Processo Fourcault de fabricação contínua de folha de vidro.

Durante os 50 anos seguintes, engenheiros e cientistas efetuaram modificações no processo de fabricação de folhas de vidro, visando reduzir distorções óticas e baixar o custo de produção.

CARACTERIZAÇÃO

Do ponto de vista físico, o vidro pode ser definido como um líquido sub-resfriado, rígido, sem ponto de fusão definido, com uma viscosidade suficientemente elevada (maior que 10^{13} P) para impedir a cristalização.

Do ponto de vista químico, é o resultado da união de óxidos inorgânicos não voláteis resultantes da decomposição e da fusão de compostos alcalinos e alcalino-terrosos, de areia e de outras substâncias, com o que se forma um produto final com uma estrutura atômica ao acaso.

O vidro é um produto completamente vitrificado, ou pelo menos um produto com um teor relativamente pequeno de material não vitroso em suspensão.

CARACTERIZAÇÃO

Apesar das milhares de novas formulações para o vidro que apareceram nos últimos anos, é bom salientar que a cal, a sílica e a soda ainda constituem cerca de 90% do vidro em todo o mundo, da mesma forma que há 2000 anos.

Na evolução da tecnologia de produção do vidro, ocorreram pequenas variações nos ingredientes maiores e grandes modificações nos ingredientes menores.

Os ingredientes principais são a areia, a cal e a barrilha e quaisquer outros materiais podem ser considerados ingredientes secundários, embora possam provocar efeitos de grande importância.

VIDROS COMERCIAIS

1. **Sílica fundida ou sílica vitrosa** – vidro feito a alta temperatura pela pirólise do tetracloreto de silício. É muito resistente térmica e quimicamente. O vidro Vycor, de alta sílica, tem algumas propriedades semelhantes à sílica fundida.
2. **Silicatos alcalinos** – vidros solúveis, usados apenas como soluções.
3. **Vidro à base de soda e cal** – tem ampla gama de aplicações em janelas, em armações transparentes e em toda espécie de vasos – 90% do vidro produzido.
4. **Vidro de chumbo** – obtido a partir do óxido de chumbo, da sílica e álcalis, usado para fins decorativos e óticos.
5. **Vidro de borossilicato** – usados em trabalhos óticos e científicos.

VIDROS COMERCIAIS

6. **Cerâmica de vidro** – para utensílios domésticos de cozer, de servir e de usar na geladeira, indistintamente.

7. **Vidros de alumina e sílica** – contêm 20% ou mais de alumina e são destinados a temperaturas mais altas.

8. **Fibra de vidro** – usada em têxteis e como reforçador, em equipamentos e tubulações, quando empregada uma resina.

9. **Vidros especiais** – vidro colorido, vidro opalino, vidro translúcido, vidro de segurança, que inclui o vidro laminado e o vidro temperado, vidro fotossensível, vidros especiais para uso químico e industrial.

SÍLICA FUNDIDA

Às vezes denominado erroneamente vidro de quartzo, é o membro terminal da série de vidros de silicatos.

Caracteriza-se pelo baixo coeficiente de expansão e pelo elevado ponto de amolecimento, o que lhe atribui grande resistência térmica e permite que seja usado além das faixas de temperatura de outros vidros.

É muito transparente à radiação ultravioleta.

Vycor® é um vidro com resistência a alta temperatura e choque térmico, fabricado pela Corning Incorporated. Vycor é composto de 96% de sílica, mas diferentemente da sílica fundida pode ser facilmente manufaturado em uma variedade de formas.

SILICATOS ALCALINOS

São os únicos vidros a dois componentes que têm importância comercial. São solúveis em água. Areia e barrilha são fundidas e os produtos são silicatos de sódio, cuja composição vai de $Na_2O.SiO_2$ até $Na_2O.4SiO_2$.

A solução de silicato de sódio, conhecida também como vidro de água, é amplamente usada como adesivo de papel, na fabricação de caixas de papelão ondulado. Outros usos incluem a proteção contra fogo e a preservação de ovos.

VIDRO DE SODA E CAL

É o que se fabrica em maior quantidade e serve para fabricação de vasos, de vidros planos e vidros de automóvel, de cálices grossos e de louça de mesa.

Não fundem a uma temperatura muito elevada e são suficientemente viscosos para não se desvitrificarem, embora não tão viscosos que impeçam o trabalho em temperaturas razoáveis.

O comércio de bebidas levou à produção de vidros com elevado teor de alumina e cal e baixo teor de álcalis.

É um vidro difícil de fundir, mas de boa resistência química.

VIDRO DE CHUMBO

Importante em aplicações óticas, em virtude do índice de refração elevado e da grande dispersão.

O brilho do vidro de boa qualidade "lapidado" se deve ao seu teor de chumbo.

Empregado também em bulbos de lâmpadas.

VIDRO DE BOROSSILICATO

Contém de 13 a 28% de B_2O_3 e 80 a 87% de sílica.

Tem baixo coeficiente de expansão, elevada resistência ao choque, excelente estabilidade química e resistência elétrica grande.

Foi inventado pelo químico alemão Otto Schott e a marca comercial mais famosa é Pyrex (Corning Glass Works, 1915).

As suas propriedades de resistência ao calor tornam este tipo de vidro útil em material de laboratório que tenha que suportar temperaturas elevadas. Outro uso comum é como utensílio de cozinha, quer pelos recipientes e pratos resistentes à temperatura dos fornos, quer pelos copos graduados para medir quantidades de ingredientes. Este vidro é também utilizado nos telescópios astronômicos devido à sua reduzida dilatação com a temperatura.

MATÉRIAS-PRIMAS

AREIA – Deve ser de quartzo quase que puro. Em muitos casos, a jazida de areia determina a localização da fábrica de vidro. O teor de ferro não deve exceder a 0,45% na areia para vidro de mesa, ou a 0,015% para o vidro ótico, pois o ferro não tem efeito benéfico para a coloração.

ÓXIDO DE SÓDIO (Na_2O) – Provém principalmente da barrilha (Na_2CO_3). Outras fontes podem ser o bicarbonato de sódio, o sulfato de sódio e o nitrato de sódio.

CAL (CaO) – São fontes importantes o calcário e a cal de dolomita calcinada ($CaCO_3.MgCO_3$).

FELDSPATOS – De fórmula geral $R_2O.Al_2O_3.6SiO_2$, onde R_2O pode ser Na_2O ou K_2O.

REAÇÕES QUÍMICAS

$$Na_2CO_3 + aSiO_2 \rightarrow Na_2O.aSiO_2 + CO_2$$

$$CaCO_3 + bSiO_2 \rightarrow CaO.bSiO_2 + CO_2$$

$$Na_2SO_4 + cSiO_2 + C \rightarrow Na_2O.cSiO_2 + SO_2 + CO$$

A última reação pode ocorrer como a seguir:

$$Na2SO4 + C \rightarrow Na2SO3 + CO$$

$$2Na2SO4 + C \rightarrow 2Na2SO3 + CO2$$

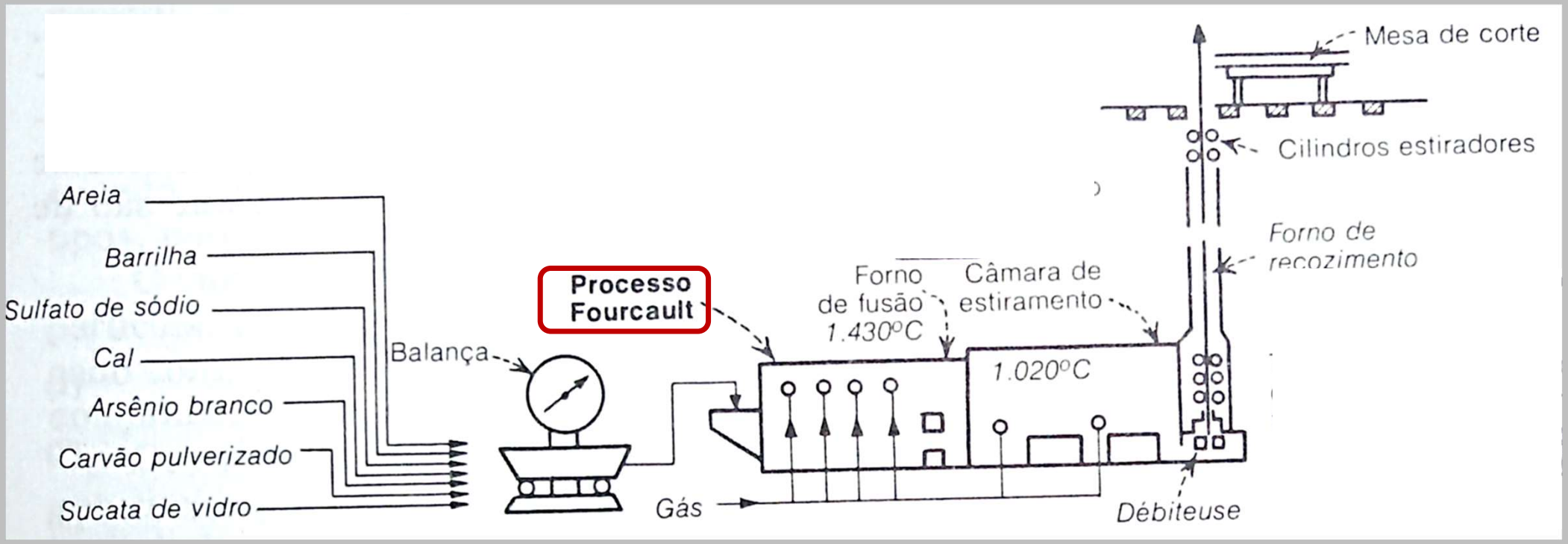
$$Na_2SO_3 + c.SiO_2 \rightarrow Na_2O.CSiO_2 + SO_2$$

FABRICAÇÃO

Os procedimentos de fabricação podem ser divididos em quatro fases principais:

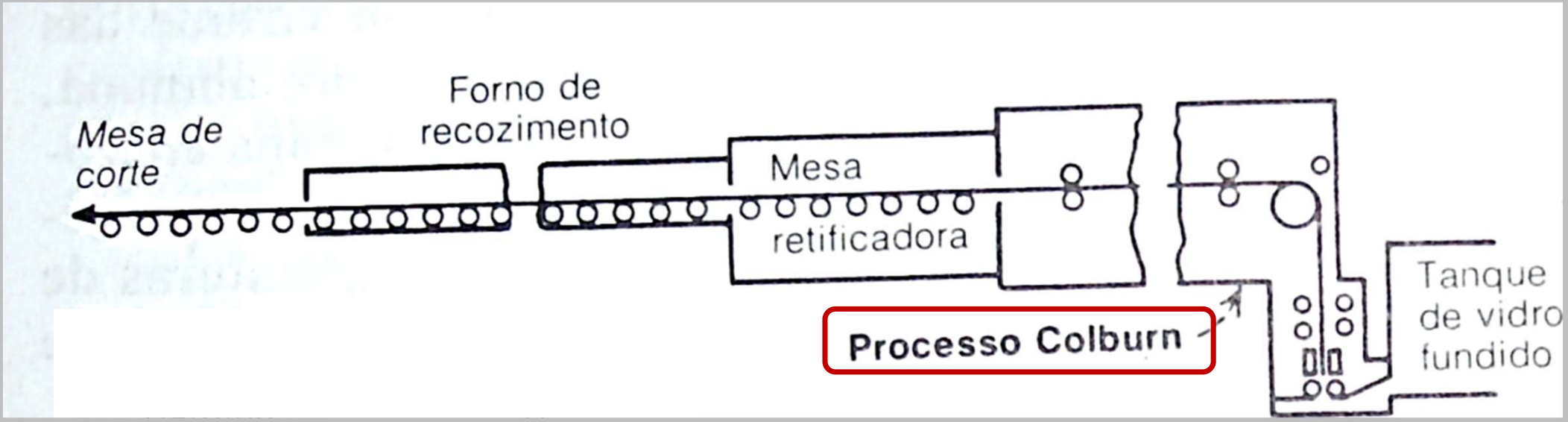
- **Fusão**
- **Conformação ou moldagem**
- **Recozimento**
- **Acabamento**

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

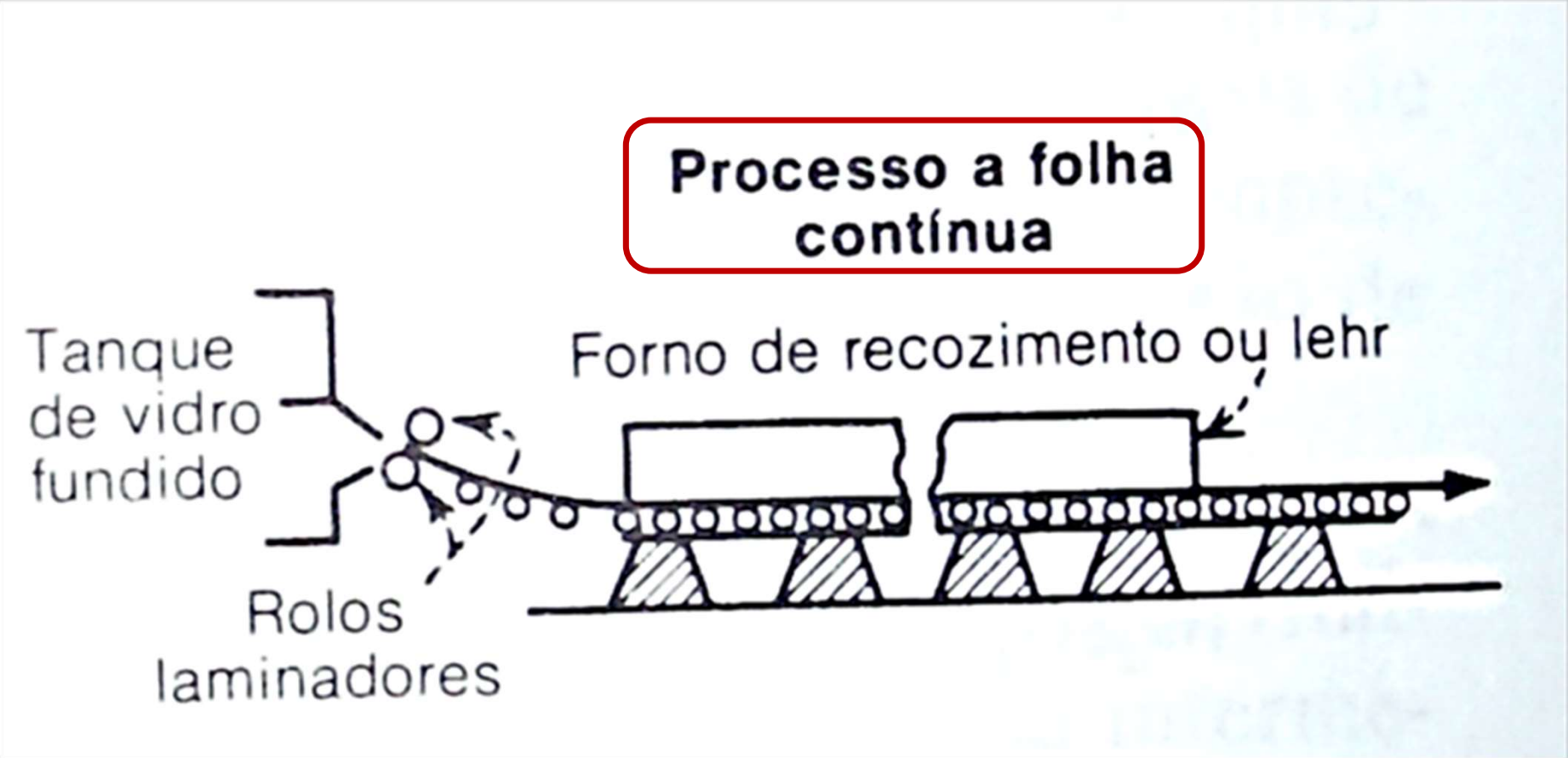


Composição aproximada da corrida				
	Areia	100 kg	Cal	15 kg
	Barrilha, densa	35 kg	Sucata de vidro	50 kg
	Sulfato de sódio	10 kg	Outros	1-2 kg
	Carvão pulverizado	0,5 kg		

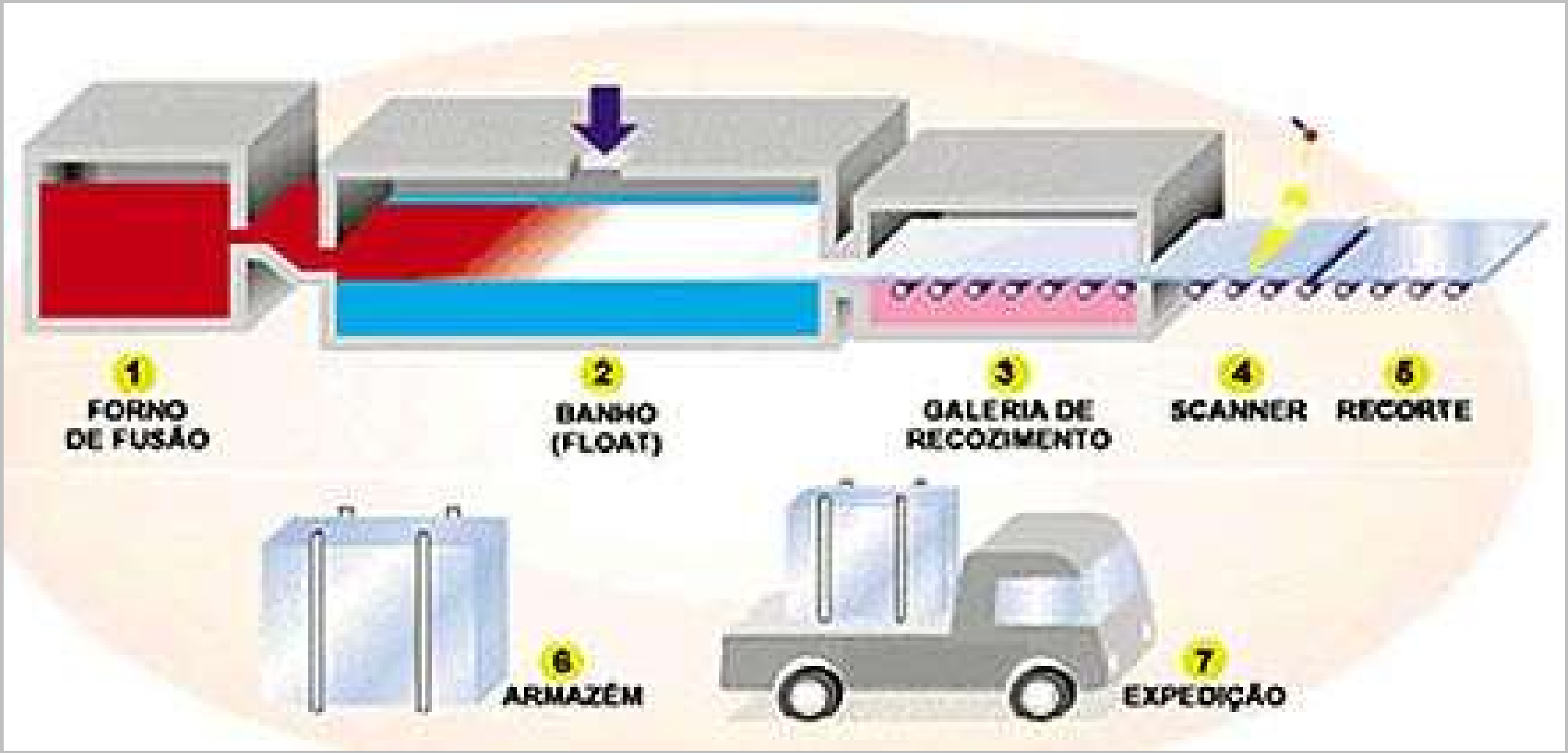
FABRICAÇÃO VIDRO PLANO



FABRICAÇÃO VIDRO PLANO



FABRICAÇÃO VIDRO PLANO



FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

Forno de fusão do vidro

https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/a-alma-do-vidro-moderno

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

http://www.newtemper.com.br

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

Produção de float na Cebrace

https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/a-alma-do-vidro-moderno

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

Corte do vidro float.

https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/a-alma-do-vidro-moderno

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

FUSÃO

Os fornos de vidro podem ser classificados como fornos de cadinho ou fornos-tanque.

Os fornos de cadinho, com capacidade de até 2 toneladas, são adotados vantajosamente na pequena produção de vidros especiais ou quando é essencial proteger o banho fundido da ação dos produtos de combustão. São empregados principalmente na manufatura de vidro ótico, de vidro artístico e de vidro plano em chapa fundida.

Os cadinhos são de argila especial ou de platina. É muito difícil fundir o vidro nesses vasos sem contaminar o produto ou fundir parcialmente o próprio vaso, exceto quando se usa platina.

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

FUSÃO

Num forno-tanque, as matérias-primas são introduzidas por uma extremidade de um grande tanque construído em tijolos refratários. O vidro se acumula numa massa líquida, onde incidem as chamas. O vidro "refinado" é retirado pela extremidade oposta, em operação contínua.

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

FABRICAÇÃO VIDRO PLANO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

O vidro pode ser conformado a máquina ou modelado a mão. O principal fator a ser considerado na conformação mecânica é o do modelo da máquina de vidro, que deve ser capaz de completar o objeto em alguns segundos.

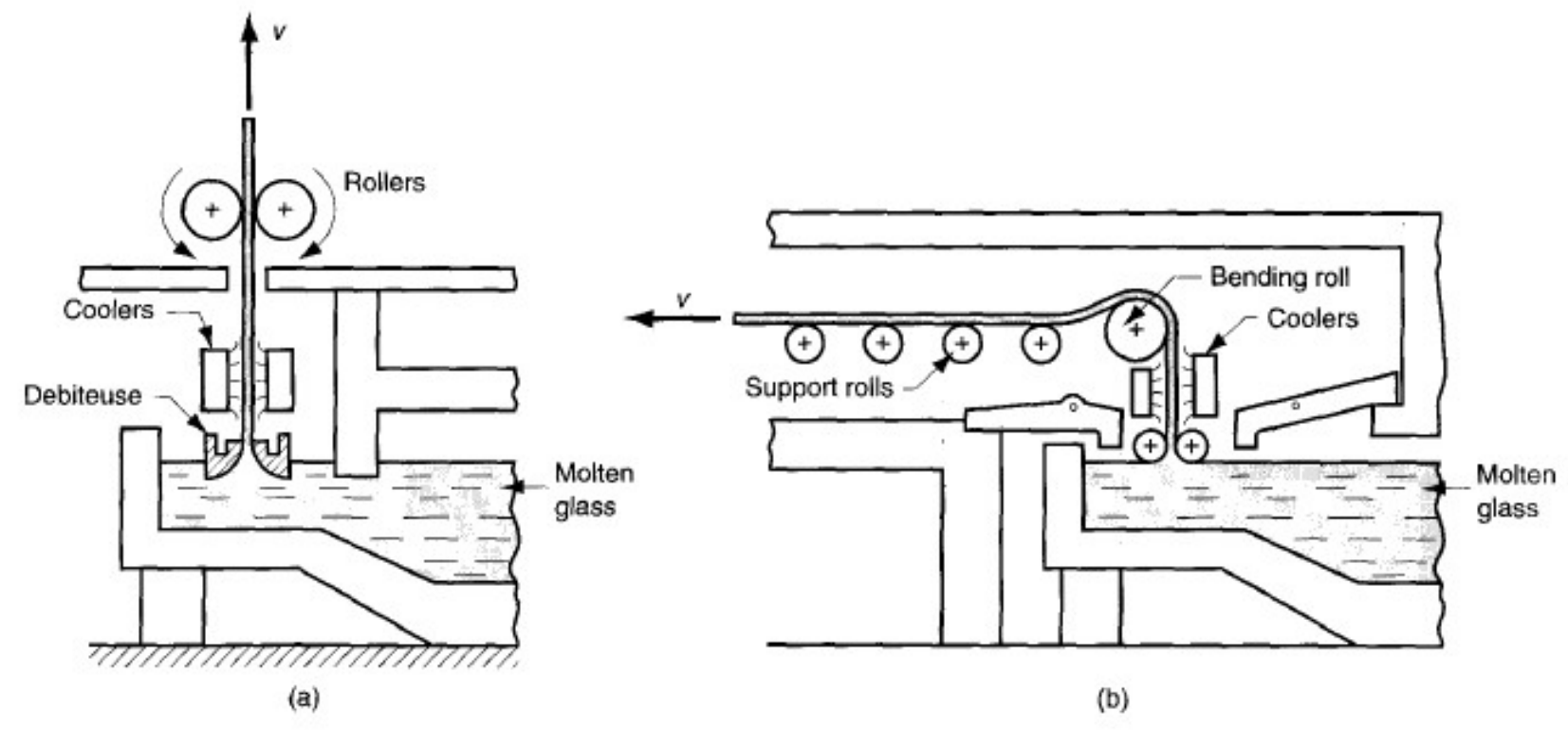
***Vidro de janela* – O vidro de janela era fabricado por um processo manual que colhia uma gota de vidro na extremidade de uma cânula e a transformava, mediante sopro, em um cilindro. As bases do cilindro eram cortadas, o cilindro partido em dois e aquecido num forno para se planificar.**

No processo Fourcault, uma câmara de estiramento é cheia pelo vidro de um tanque de fusão. O vidro é puxado na vertical, mediante uma máquina de puxar.

FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

Processos Fourcault e Colburn



FABRICAÇÃO

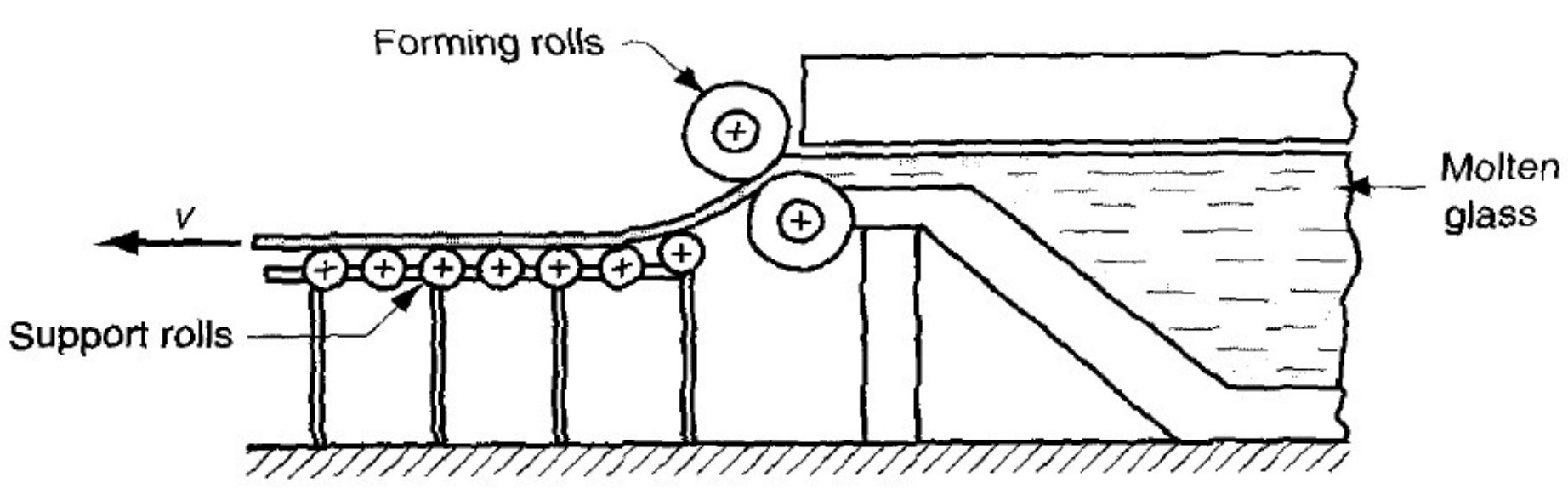
CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

***Chapas de vidro* – O vidro é fundido num forno contínuo grande. A matéria-prima entra por uma das extremidades do forno e o vidro fundido, a temperaturas tão elevadas quanto 1600ºC, passa pela zona de refinação e sai pela extremidade oposta, num fluxo contínuo. O vidro escoa entre dois cilindros laminadores resfriados a água, formando uma fita de vidro que é puxada para baixo sobre uma série de roletes menores, resfriados, que giram a velocidade ligeiramente maior que a dos cilindros laminadores. O efeito do tensionamento provocado pelas diferentes velocidades e a retração do vidro, durante o resfriamento, retifica a fita, quando ela entre no forno de recozimento. Depois de recozida a fita é cortada em folhas para esmerilhamento e polimento.**

FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

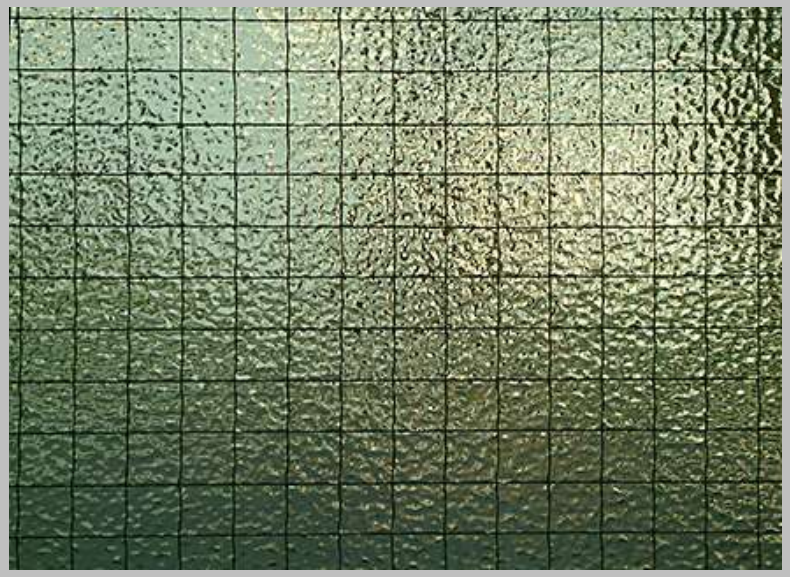
Chapas de vidro

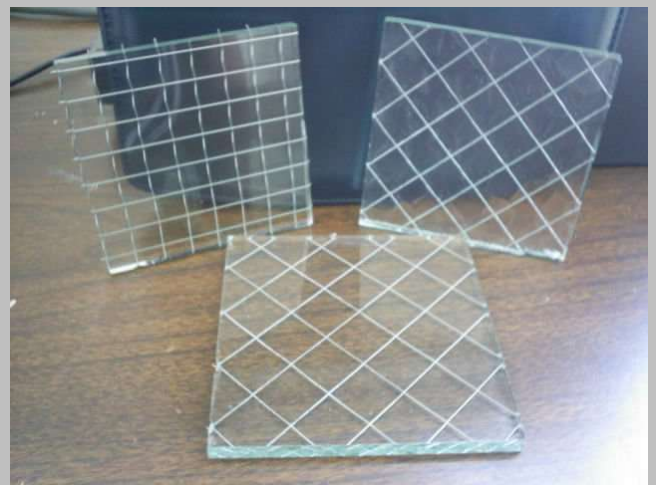


FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

***Vidro aramado e vidro fantasia* – O vidro fundido corre pelo forno e passa entre os rolos laminadores metálicos, em cuja superfície foi gravado ou usinado um desenho. Os cilindros conforma a fita de vidro, imprimindo-lhe simultaneamente um desenho (vidro fantasia). Este tipo de vidro pode ser reforçado por tela ou fio metálico, durante a etapa inicial de formação, visando uma segurança especial, por exemplo, nas janelas próximas a saídas de emergência.**





FABRICAÇÃO

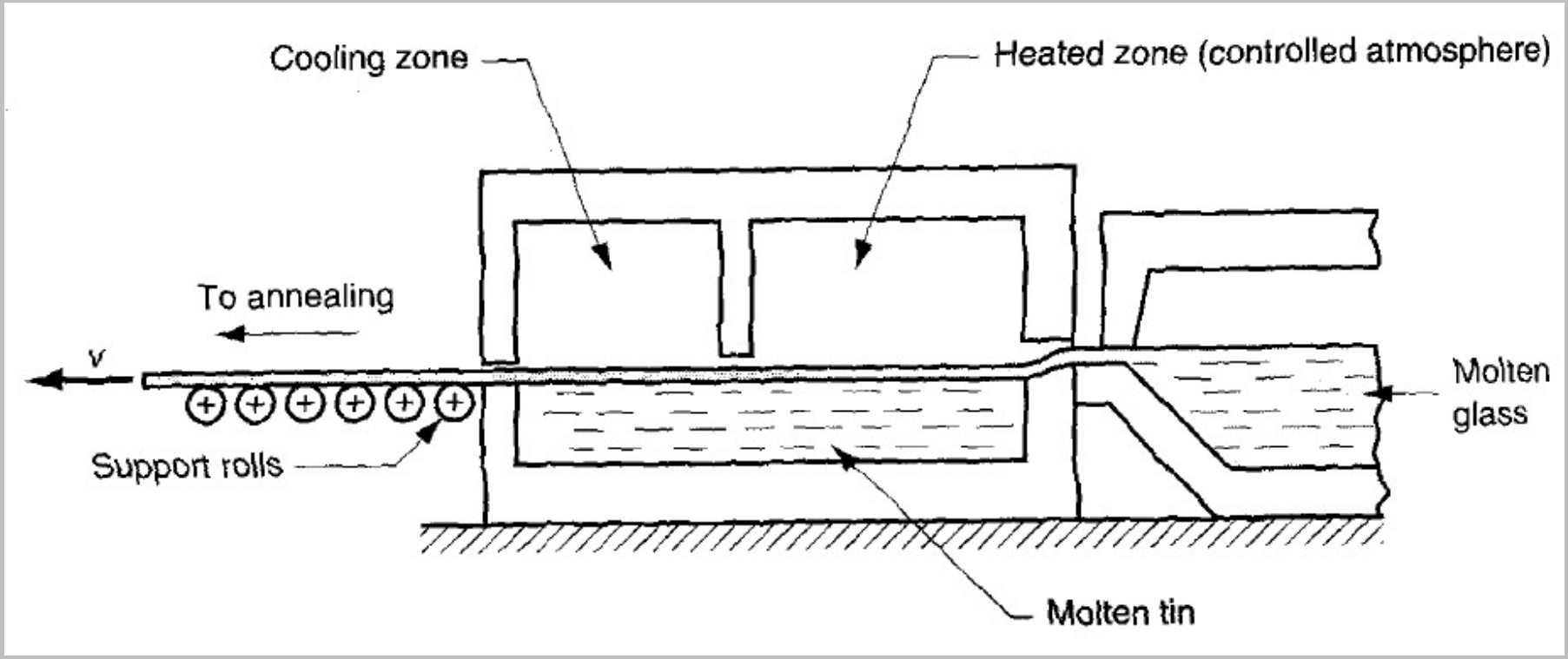
CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

***Vidro por flutuação* – Uma fita de vidro obtida por laminação flutua num banho de metal fundido, em atmosfera controlada. Na entrada da câmara de flutuação, a temperatura é suficientemente elevada para que o vidro seja bastante mole para flutuar. A superfície inferior é retificada pelo contato com o metal e a superfície superior escoa sob ação da gravidade até ser também plana. A qualidade da superfície obtida é próxima da que se obtém por esmerilhamento e polimento.**

FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

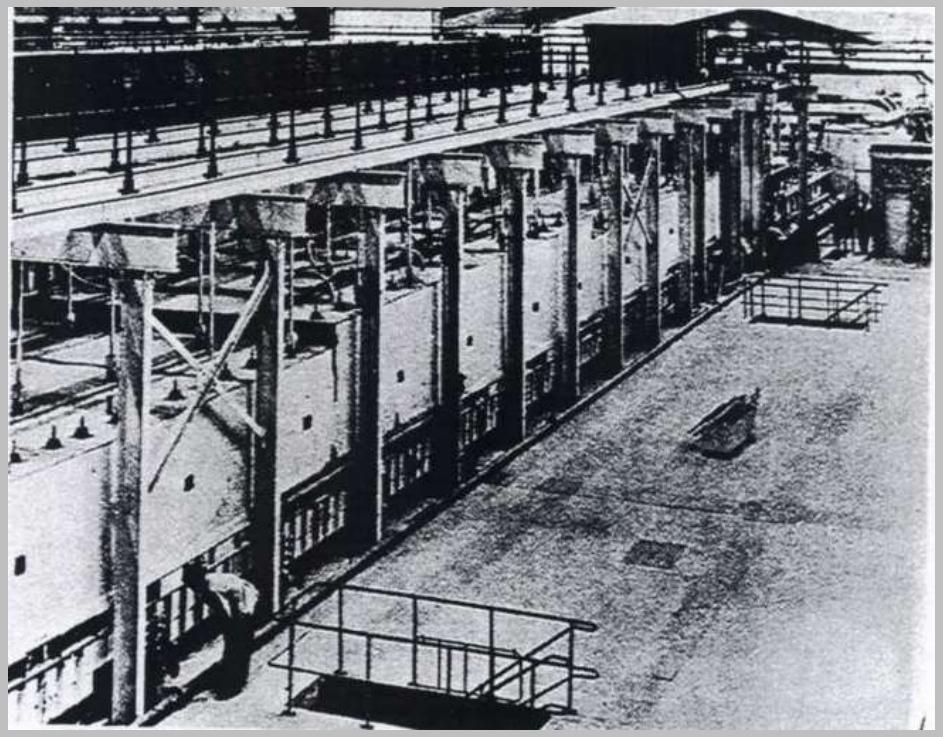
Vidro por flutuação



FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

Vidro por flutuação



FABRICAÇÃO

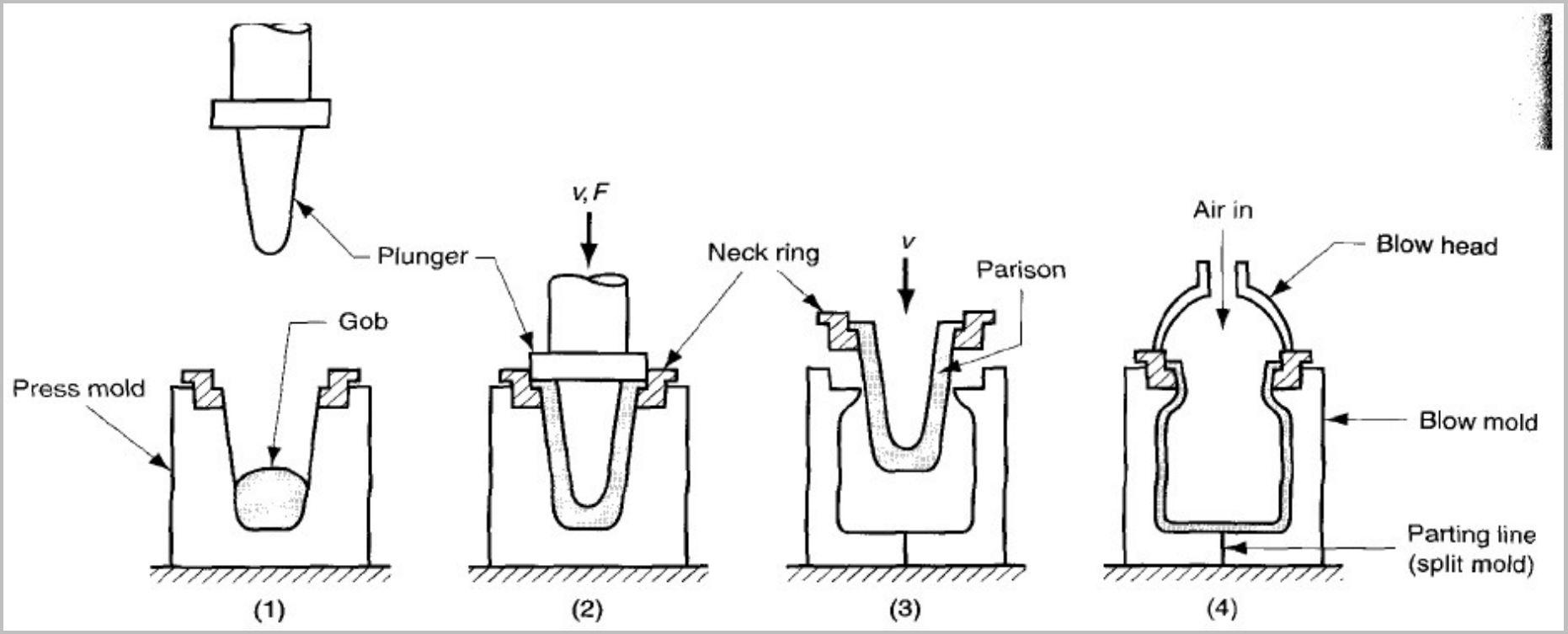
CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

***Vidro soprado* – Até o século XIX, o sopro era feito pelos artesãos. No século XX foram desenvolvidas máquinas de sopro mais rápidas e baratas. Utilização principal: máquinas de soprar garrafas, copos, bulbos.**

FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

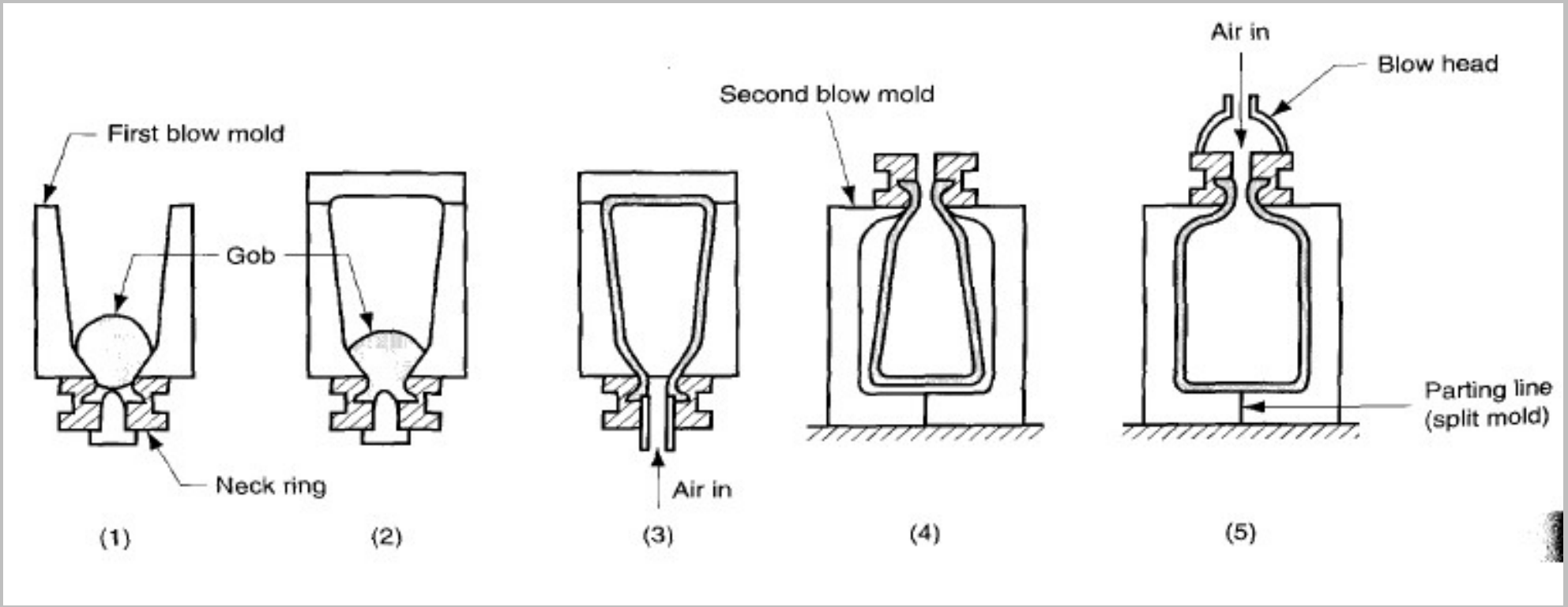
Vidro soprado – sopro simples



FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

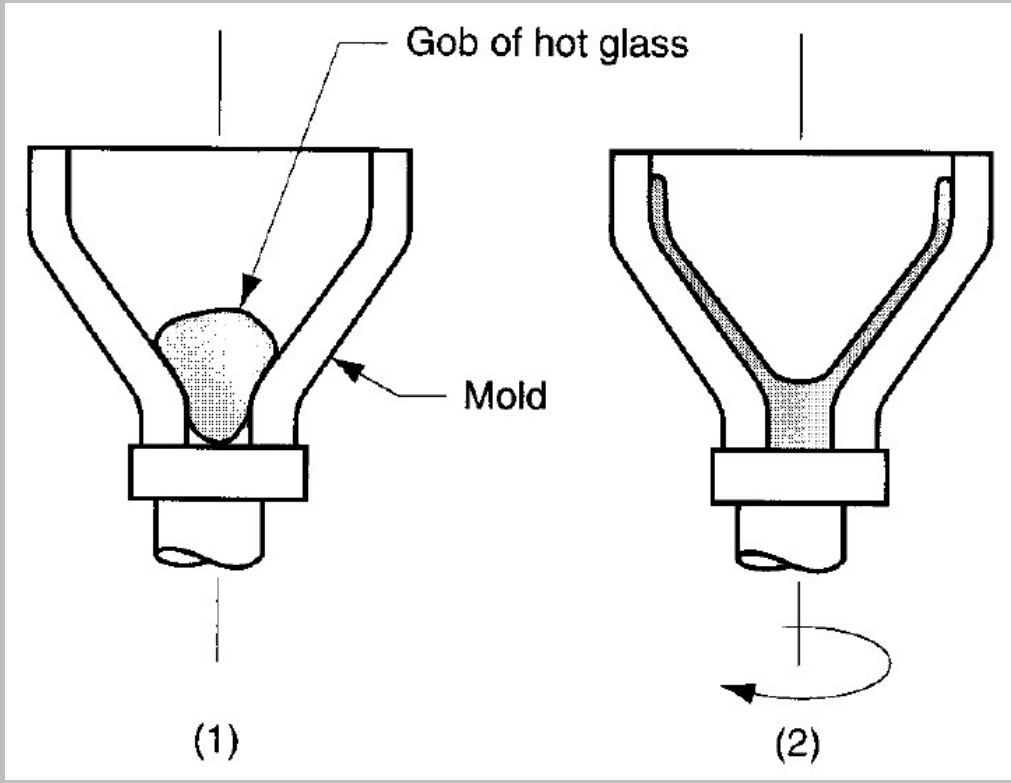
Vidro soprado – duplo sopro



FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

Moldagem por centrifugação



FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

Moldagem por fundição:

Produtos: lentes, espelhos, cristais

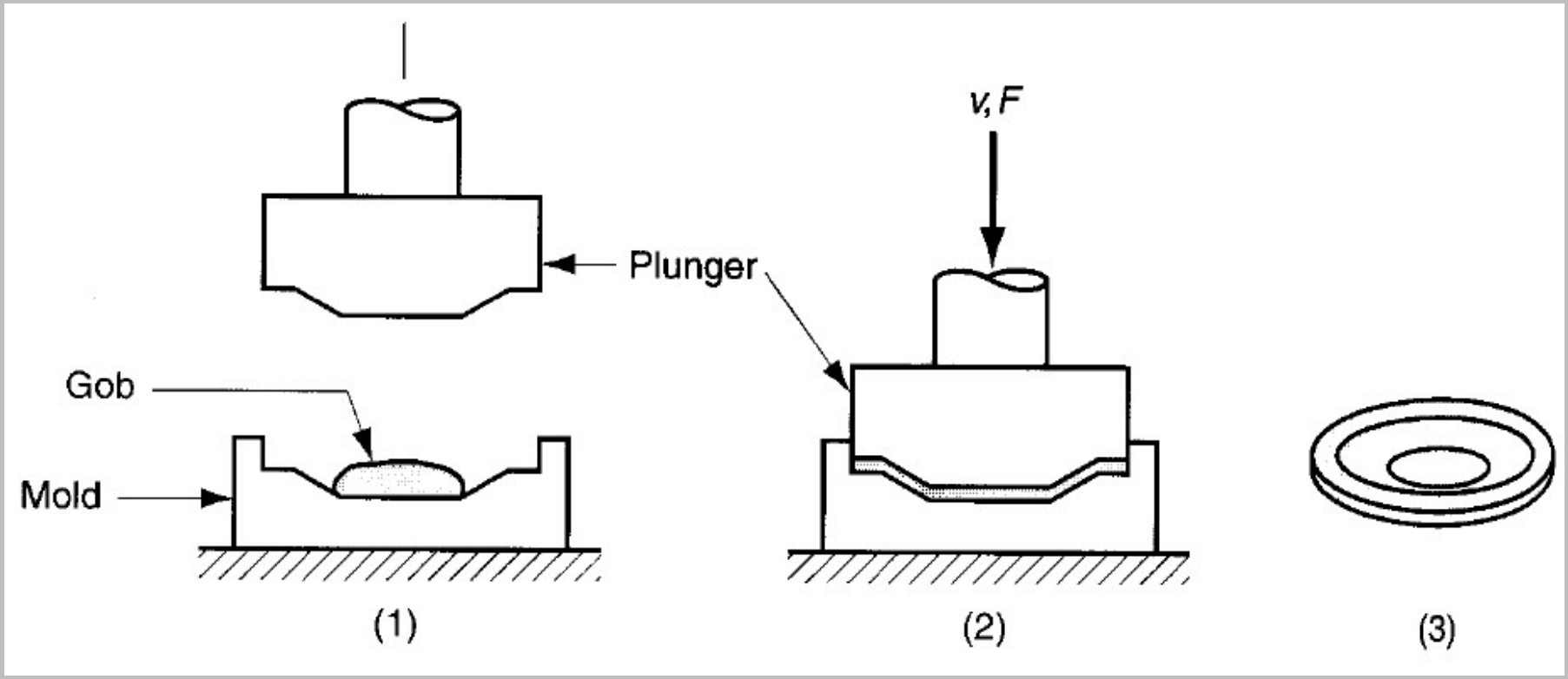
Arrefecimento controlado para minimizar tensões residuais e evitar fratura

Acabamento posterior: lapidação e polimento.

FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

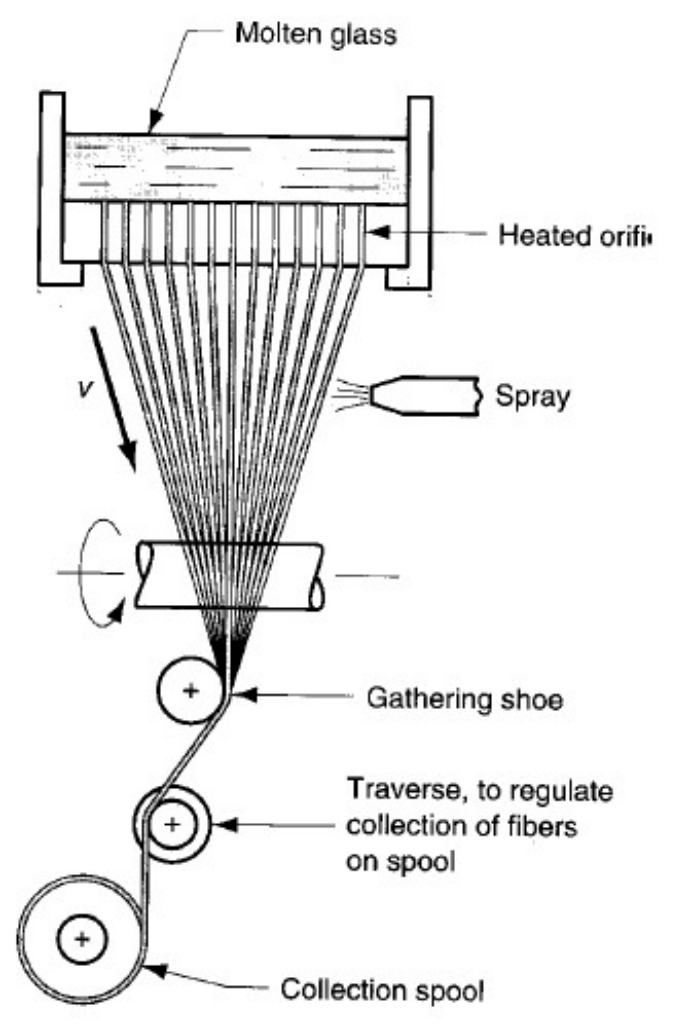
Moldagem por compressão:



FABRICAÇÃO

CONFORMAÇÃO ou MOLDAGEM

Fibras de vidro:



FABRICAÇÃO

RECOZIMENTO

Para reduzir a tensão, é necessário recozer todos os objetos de vidro, seja os que foram fabricados mecanicamente, seja os fabricados manualmente. O recozimento envolve, resumidamente, duas operações:

1) Manutenção da massa de vidro acima de uma certa temperatura crítica durante um tempo suficientemente dilatado para que as tensões internas sejam reduzidas graças ao escoamento plástico, ficando abaixo de um máximo predeterminado;

2) Resfriamento da massa até a temperatura ambiente, com lentidão suficiente para manter a tensão abaixo desse máximo.

O forno de recozimento é uma câmara aquecida, onde a taxa de resfriamento pode ser controlada.

FABRICAÇÃO

ACABAMENTO

Todos os tipos de vidro recozido devem sofrer algumas operações de acabamento que, embora relativamente simples, são muito importantes.

Essas operações incluem a limpeza, o esmerilhamento, a lapidação, o despolimento, o esmaltamento, a graduação e a calibração.

Embora nem todas sejam necessárias para todos os vidros, uma ou mais de uma sempre serão necessárias.