

*Tradução de: Handbook of Plastic Processes - Charles A. Harper - Timonium, Maryland  
Wiley Interscience - A John Wiley & Sons, Inc., Publication  
Copyright © 2006 by John Wiley & Sons, Inc.  
Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey  
Norman C. Lee - Consultant, Greensboro, North Carolina*

---

### 3 Moldagem por sopro

#### 3.1 INTRODUÇÃO

- 3.1.1 Processo plástico
- 3.1.2 Breve história da moldagem por sopro
- 3.1.3 Mercados da moldagem por sopro e aplicações típicas do produto
  - 3.1.3.1 Mercados
  - 3.1.3.2 Produtos feitos por sopro
- 3.1.4 Matérias primas para o sopro
  - 3.1.4.1 Matérias primas
  - 3.1.4.2 Uso final físico e químico, e exigências de processo
  - 3.1.4.3 Exigências físicas e de processo
- 3.1.5 Considerações da resina para o sopro
  - 3.1.5.1 Avaliações da viscosidade do fundido
  - 3.1.5.2 Reometro de massa fundida
  - 3.1.5.3 Reologia básica do fundido
  - 3.1.5.4 Inchamento do fundido

#### 3.2 ESTÁGIOS E TIPOS DE MOLDAGEM POR SOPRO

- 3.2.1 Estágios do processo da moldagem por sopro
- 3.2.2 Tipos de moldagem por sopro
- 3.2.3 Moldagem por extrusão sopro
  - 3.2.3.1 Moldagem de extrusão sopro contínuo
  - 3.2.3.2 Método intermitente (acumulador)
  - 3.2.3.3 Moldagem de co-extrusão - sopro
- 3.2.4 Moldagem por sopro tridimensional
  - 3.2.4.1 Processos de extrusão tridimensionais
  - 3.2.4.2 Peças e recipientes de paredes duplas
- 3.2.5 Moldagem por injeção sopro
  - 3.2.5.1 Máquina de moldagem por injeção sopro
  - 3.2.5.2 Moldagem por estiramento sopro
- 3.2.6 Sistema de controle
  - 3.2.6.1 Reprogramação
  - 3.2.6.2 Universalidade
  - 3.2.6.3 Segurança
  - 3.2.6.4 Pesquisa de defeitos
  - 3.2.6.5 Controle auxiliar
  - 3.2.6.6 Controle de circuito de malha aberta e fechada

- 3.2.6.7 Estatística
- 3.2.6.8 Controle automático da qualidade
- 3.2.7 Vantagens da moldagem por extrusão sopro e por injeção sopro
  - 3.2.7.1 Moldagem por extrusão sopro
  - 3.2.7.2 Moldagem por injeção sopro
- 3.2.8 Desvantagens da moldagem por extrusão sopro e por injeção sopro
  - 3.2.8.1 Moldagem por extrusão sopro
  - 3.2.8.2 Moldagem por injeção sopro
- 3.3 EQUIPAMENTO DE MOLDAGEM POR SOPRO
  - 3.3.1 A extrusora
  - 3.3.2 A unidade de cabeçote/matriz da moldagem por extrusão sopro
    - 3.3.2.1 Matriz de alimentação central
    - 3.3.2.2 Cabeçotes/matrizes de alimentação lateral
    - 3.3.2.3 Espessura de parede
    - 3.3.2.4 Cabeçote acumulador
  - 3.3.3 A matriz e o mandril
    - 3.3.3.1 Inchamento na matriz
    - 3.3.3.2 Ajuste do Parison
    - 3.3.3.3 Usinar a matriz
  - 3.3.4 Programação do Parison
    - 3.3.4.1 Relação de Sopro
  - 3.3.5 Sistemas de bloqueio do molde
    - 3.3.5.1 Requisitos do sistema de bloqueio
    - 3.3.5.2 Operação da braçadeira
  - 3.3.6 Prensas
    - 3.3.6.1 Prensa lançadeira ou recíproca
    - 3.3.6.2 Prensa com movimento subindo ou vertical
    - 3.3.6.3 Prensa com movimento deslizante ou horizontal
    - 3.3.6.4 Válvula direcional
    - 3.3.6.5 Roda giratória contínua
    - 3.3.6.6 Roda de torre giratória (carrossel)
- 3.4 MOLDES DE SOPRO
  - 3.4.1 Materiais do molde
  - 3.4.2 Moldes de extrusão sopro
    - 3.4.2.1 Esmagamento
    - 3.4.2.2 A importância do resfriamento rápido do molde
    - 3.4.2.3 Acabamento de alta qualidade da cavidade do molde sem danos
    - 3.4.2.4 Efeitos de do ar e da umidade aprisionados no molde
    - 3.4.2.5 Injeção do ar de sopro
    - 3.4.2.6 Ejeção da peça do molde
  - 3.4.3 Entendendo a moldagem por injeção – sopro
    - 3.4.3.1 Ferramental (moldes)
    - 3.4.3.2 Parison ou anel do gargalo da pré-forma
    - 3.4.3.3 Parison ou cavidade da pré-forma
    - 3.4.3.4 Conjunto da haste do núcleo
    - 3.4.3.5 Sistemas de distribuidor de injeção
    - 3.4.3.6 Projeto do parison ou da pré-forma

3.4.3.7 Cavidades do molde para injeção sopro

3.4.3.8 Plugue inferior

### 3.5 OPERAÇÃO DA MOLDAGEM POR SOPRO

3.5.1 Aquecimento e fluxo de calor

3.5.1.1 Temperatura de fusão

3.5.1.2 Temperatura do produto

3.5.1.3 Zona de aquecimento

3.5.1.4 Ajustes de temperatura

3.5.1.5 Verificações de temperatura

3.5.1.6 Geração de calor pela rotação da rosca

3.5.1.7 Tempo de residência na extrusora

3.5.2 Programação, partida, operação, e parada programadas seguras e eficientes

3.5.2.1 Partida

3.5.2.2 Segurança na operação normal da máquina

3.5.2.3 Interrupção

### 3.6 ACABAMENTO

3.6.1 Projeto de produto

3.6.2 Engenharia do molde

3.6.2.1 Bolsas em *flash*

3.6.2.2 Pinças de remoção (extremamente importante)

3.6.2.3 Ejeção da peça

3.6.3 Planejamento do processo

3.6.3.1 Considerações específicas

3.6.3.2 Removendo abóbadas e as outras seções

3.6.3.3 Remoção do *flash*

3.6.4 Equipamento de teste e inspeção em linha

3.6.4.1 Dispositivos a laser

3.6.4.2 Medidores a ultra-som

3.6.4.3 Sistemas óticos

3.6.4.4 Teste mecânico

3.6.4.5 Correias transportadoras

3.6.5 Granulador

3.6.5.1 Moinhos

3.6.5.2 Considerações de segurança

### 3.7 PESQUISA DE DEFEITOS

#### **E.P.Is para aulas práticas:**

- óculos de proteção
- protetor auricular
- jaleco
- calças compridas
- calçado fechado
- luvas de algodão
- cabelos presos
- não usar adereços

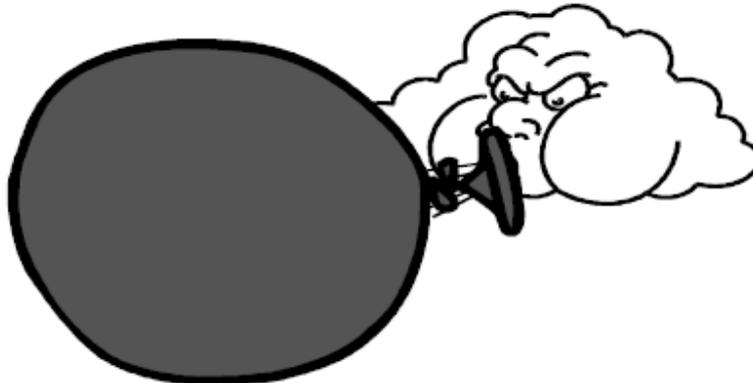
### 3 Moldagem por sopro

#### 3.1 INTRODUÇÃO

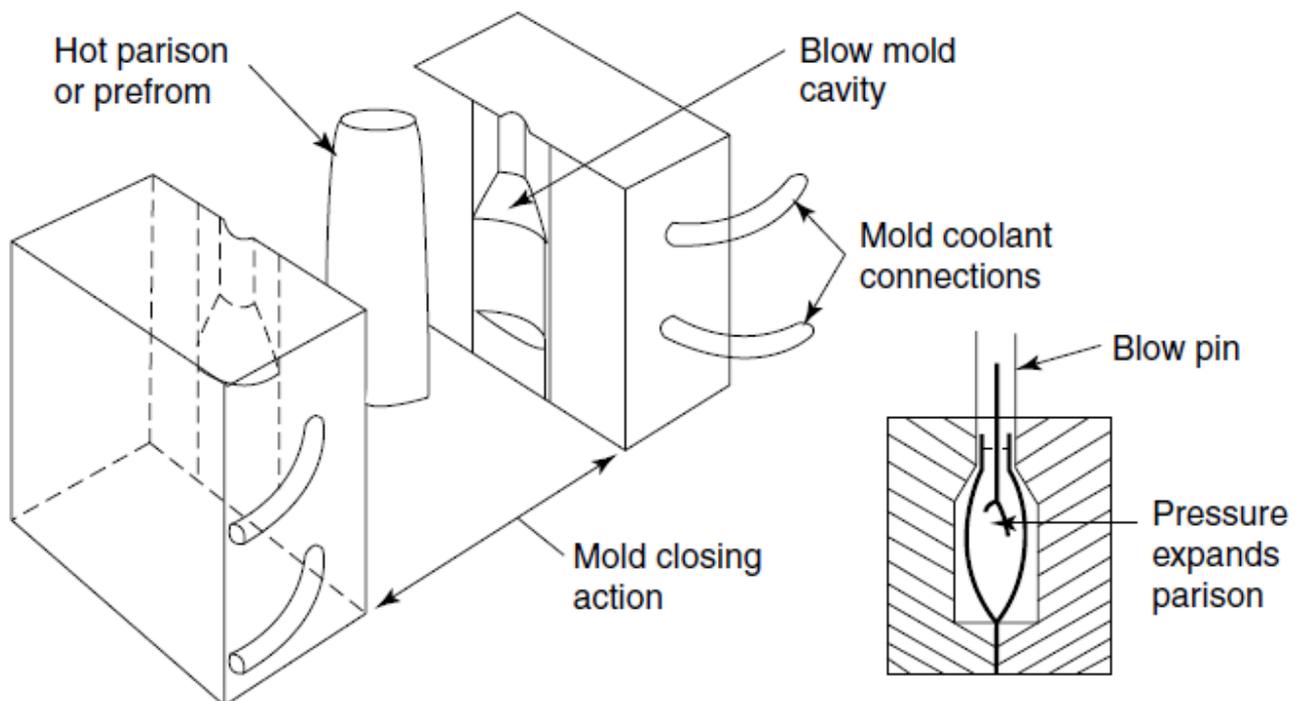
A moldagem por sopro é um processo para produzir objetos ocos, com materiais termoplásticos. Os frascos, garrafas e embalagens são as principais aplicações das peças sopradas. Como um segmento da indústria, aproximadamente 80% de polietileno (PE) e uma parcela principal de materiais de polietileno tereftalato (PET) são usados para frascos, garrafas e embalagens pela indústria de moldagem por sopro. Adicionalmente, a moldagem por sopro é usada para produzir muitos outros objetos, tais como os componentes usados no interior e exterior de automóveis. Os tanques de combustível, os painéis estruturais, os brinquedos, e caixas de paredes duplas são igualmente sopradas. Uma grande escala de materiais é usada nestas aplicações, incluindo o polipropileno, o policloreto de vinila (PVC), o policarbonato, e fluorpolímeros.

##### 3.1.1 Processo plástico

Para visualizar o processo de moldagem por sopro, imagine um tubo plástico inflável que seja esmagado em ambas as extremidades exceto em um ponto. Se o ar entra neste momento, o tubo expandirá, fazendo com que as paredes do tubo se tornem mais finas. É assim como no sopro de um balão (figura 5.1). O processo de moldagem por sopro começa com um tubo plástico fundido, macio chamado de parison ou de uma pré-forma. O parison é colocado entre duas metades de um molde que tenha uma ou várias cavidades ocos (figura 5.2). As metades do molde são então apertadas entre si. O ar é soprado no parison, expandindo-o de encontro às paredes internas do molde formando a peça plástica oca na cavidade. O molde é resfriado, geralmente com água, e o plástico fundido se solidifica e resfria pelo contato com o molde. Uma vez que a peça esfriou, o molde abre e a peça é ejetada.



**FIGURE 5.1** Inflating an expandable tube.



**FIGURE 5.2** Basic blow molding process.

### 3.1.2 Breve história da moldagem por sopro

O processo plástico de moldagem por sopro é derivado da antiga arte do sopro do vidro e transformou-se numa realidade da produção com a disponibilidade dos materiais plásticos e das resinas baratas nos anos 40. São mostrados na tabela 5.1 alguns eventos chave no desenvolvimento do processo. Hoje, a moldagem por sopro está desenvolvida em duas diferentes direções: moldagem por extrusão sopro e moldagem por injeção sopro.

### 3.1.3 Mercados da moldagem por sopro e aplicações típicas do produto

#### 3.1.3.1 Mercados

Os frascos e garrafas são a aplicação principal das peças plásticas sopradas; entretanto, a indústria de soprados faz também produtos usados em: aviões, automóveis, construção civil, eletrônica, mobiliário, gramado e jardinagem, artigos médicos, e recreação.

### **TABELA 5.1 Eventos chaves da indústria de sopro**

- A primeira patente, emitida no ano de 1850 para o sopro como um material à exceção do vidro, foi emitida para Samuel Armstrong. Os artigos eram feitos de látex de borracha natural, e principalmente eram artigos originais pela novidade de sua sensação de maciez.
- O principal avanço posterior veio em 1869 com a comercialização do celulóide, que é considerado o primeiro material termoplástico verdadeiro.
- Nos anos 1880, o nitrato de celulose foi introduzido e usado para produzir novidades e brinquedos. Este material era amolecido por vapor; uma desvantagem era sua flamabilidade elevada, que impediu de ser amplamente utilizado.

- Em 1919 um material mais estável, o acetato de celulose, se disponibilizou em maior aceitação e tornou-se um material comercial. Em 1930 foi utilizado produzindo frascos.
- Nos anos 1930, a Plax Corporation desenvolveu a primeira máquina de moldagem por sopro. Esta máquina original era rudimentar e produzia pequenas quantidades. Entretanto, deste começo original foi desenvolvida uma máquina para fazer 25.000 frascos por dia.
- Em 1939, o polietileno de baixa densidade (PEBD) foi introduzido pela I.C.I. (Indústrias Químicas Imperiais, da Inglaterra). Este material era muito mais amigável ao processo de sopro e abriu o caminho para outros materiais, processos, e para desenvolvimentos adicionais de mercado.
- Nos anos 1940, a Plax introduziu o primeiro frasco de PEBD.
- A primeira máquina de sopro por injeção foi introduzida em 1942. Esta máquina híbrida permitiu a produção de frascos plásticos com dimensões precisas e com tolerâncias de gargalo comparáveis aos frascos de vidro.
- A Continental Can emitiu uma patente para um equipamento por extrusão sopro contínuo em 1950.
- Pode ser dito que a indústria do sopro começou em 1953 com o desenvolvimento do polietileno de alta densidade (PEAD). O PEAD foi desenvolvido simultaneamente pela Phillips Petroleum Co. nos Estados Unidos e na Alemanha pelo professor K. Ziegler.
- Em 1956 a comercialização do processo de sopro estava completa, e o crescimento intensivo começou.
- Durante os anos 50, as máquinas industriais de sopro se desenvolveram na Europa, assim como a Plax e a Continental as patenteavam nos Estados Unidos.
- As máquinas européias tornaram-se disponíveis nos Estados Unidos em 1958. A Empire Plastics comprou a primeira máquina para fazer pinos de boliche de brinquedo.
- Diversos indivíduos e companhias construíram máquinas. Norman Lee e outros converteram a máquina de moldagem por injeção Reed para fazer um bastão de beisebol moldado por fusão.
- No princípio dos anos 1960, a Ideal Toy encomendou seis máquinas construídas por Walden-Hartig com um projeto de cabeçote da Empire Toys. Foram usadas para fazer corpos de bonecas.
- Em 1960, com as patentes liberadas nos E.U. A., a Zarn Inc. começou a fazer garrafas de leite em máquinas da Uniloy para a Borden Dairy de High Point, North Carolina.

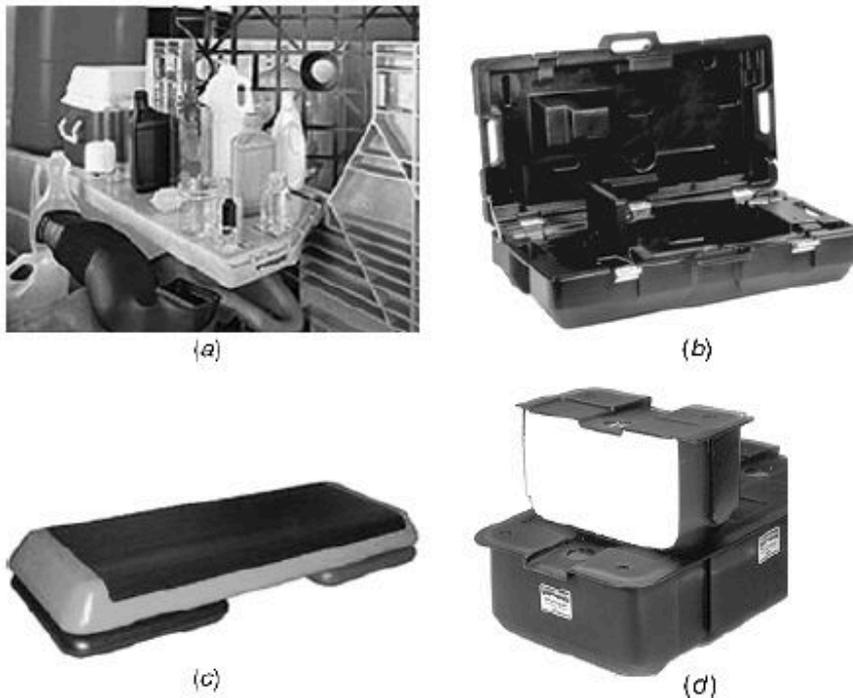
### **3.1.3.2 Produtos feitos por sopro**

Os produtos moldados por sopro são muitos e variados, porque o processo e os materiais utilizados estão sendo desenvolvidos continuamente. As aplicações incluem bolas, brinquedos, sanfonados e para choques de carro. Muitas das garrafas e jarras são usadas na indústria alimentícia para empacotamento contínuo e armazenagem de líquidos, também os recipientes plásticos para sal e molhos, são moldados por sopro. Frequentemente, tais recipientes são projetados para reutilização, com uma tampa ou um tampão, que é produzido geralmente por injeção ou moldagem por estiramento sopro. A maioria dos recipientes de empacotamento são pequenos, isto é, menos de 1,75 pints (1 litro) de capacidade. Entretanto, não se deve pensar que o molde de sopro está restrito a tais recipientes pequenos. Pranchas de surf de 13 ft (4 m) de comprimento foram feitas comercialmente, e os tanques de até 2200 gal (10.000 litros) de capacidade foram produzidos. Um recipiente grande comum é feito de polietileno de alta densidade (PEAD) e tem uma capacidade de 45 gal (180 litros). Veja a figura 5.3 para vários produtos soprados.

*Recipientes.* As funções primárias de um recipiente soprado são de proteger o produto da contaminação e evitar seu vazamento.

*Propriedades de barreira.* A permeação (movimento gradual) de gases e líquidos através das paredes de um recipiente plástico é um dos fatores principais que determinam a vida útil de produtos alimentícios. As taxas de transmissão de oxigênio, de dióxido de carbono, e de componentes de sabor são também de grande interesse. A permeação é afetada pelos materiais, pelo projeto, e pelo método de processamento usado para fazer o recipiente.

*Vazamento.* O vazamento do recipiente é controlado pelo projeto, pelo ajuste do fechamento, do revestimento do gargalo, e das tolerâncias dimensionais. O tipo de rosca, o número de fios por unidade de comprimento, e o comprimento da rosca, igualmente influenciam o vazamento. Os fios das extremidades (forma de dente de serra) são usados freqüentemente, porque forçam o fechamento para dentro uniformemente. Se o fechamento contém um material macio e resiliente (junta), isto igualmente ajudará a selar e a impedir o vazamento.



**FIGURE 5.3** (a) Assorted industrial and consumer blow-molded parts; (b) intricate blow-molded case; (c) aerobic step; (d) dock floats, foam filled for buoyancy. [(a) From Uniloy Milacron; (b) and (d) From WhiteRidge Plastics, L.L.C.; Reidsville, NC; (c) from WEK South Corp., Reidsville, NC.]

### 3.1.4 Matérias primas para o sopro

#### 3.1.4.1 Matérias primas

A indústria de sopro tornou-se conhecida em torno do polietileno de baixa densidade (PEBD). A indústria modificou então seus maquinários e processos para inserir outros materiais. Atualmente, outra poliolefina, o polietileno de alta densidade (PEAD), domina a indústria do sopro. O Polipropileno (PP) igualmente está se tornando mais amplamente utilizado. Outros materiais que são importantes para a indústria do sopro são o policloreto de vinila rígido (UPVC) e o polietileno

tereftalato (PET). Devido ao interesse da indústria automotiva, o uso de projetar plásticos tais como o nylon (PA) e o policarbonato (PC) em aplicações sopradas está igualmente em ascensão.

Os materiais termoplásticos são frequentemente apropriados para muitas aplicações sem modificação intensiva do material ou do componente, mas em outros casos não são apropriados. Uma razão é que muitos plásticos são permeáveis; isto é, um produto ou uma parte líquida do produto podem migrar através das paredes do recipiente, ou algo do ambiente, tal como o oxigênio, pode entrar no recipiente através das paredes plásticas. Para um determinado material plástico, há diversas maneiras de superar este problema. Incluem-se o aumento da espessura do produto; revestimento do produto com um material impermeável tal como o vidro, uso de PE reticulado, ou mais geralmente, do policloreto de vinilideno (PVDC); a incorporação de cargas (por exemplo, flocos de vidro); e usando uma combinação de materiais plásticos. Tais combinações, nas quais o parison é cercado por outro, são produzidas geralmente por co-extrusão. A orientação (que estira o parison) igualmente rende melhorias.

#### **3.1.4.2 Uso final físico e químico, e exigências de processo**

O PEAD é impermeável (não afetado, ou resistente) à água, ao vapor de água, aos produtos químicos inorgânicos, e aos materiais inorgânicos em meios aquosos, especialmente nas temperaturas ambientais encontradas normalmente durante o armazenamento e o transporte. Os materiais típicos nestas categorias são:

- A maioria de ácidos inorgânicos
- A maioria de bases (alcalinas)
- Minerais e produtos químicos inorgânicos como sólidos e pós secos
- Minerais e produtos químicos inorgânicos em solução ou suspensão aquosa

Sua resistência elevada à umidade faz do PEAD um material ideal para recipientes, bloqueando a umidade tanto para fora como para dentro. Entretanto, com produtos químicos e líquidos orgânicos, o PEAD deve ser usado mais seletivamente. Alguns líquidos não representam nenhum problema grave sob circunstâncias ambientais. Estes incluem:

- A maioria dos alcoóis
- A maioria dos glicóis
- A glicerina
- A maioria de ácidos orgânicos e seus derivados

Para líquidos de hidrocarbonetos, óleos, e solventes tais como aqueles listados abaixo, a absorção e a permeação através do PEAD transformam-se em fatores muito importantes.

- Hidrocarbonetos de cadeias lineares (alifáticos: butano, pentano, hexano, heptano, octano, etc.)
- Outros hidrocarbonetos (compostos aromáticos: benzeno, tolueno, xileno, etc.)
- Produtos clorados e oxigenados dos acima (cloro benzeno, solventes clorados, éteres, cetonas, ésteres)

A maioria destes compostos é inflamável e não é contida normalmente em recipientes de PEAD sem consideração especial. Seu uso como um ingrediente em todo o produto que está sendo considerado para a embalagem ou armazenamento em recipientes de PEAD exige o teste

apropriado para determinar realmente se a permeação e a absorção excessivas ocorrerão. Outro aspecto das exigências químicas da utilização final que devem ser consideradas envolve a propriedade de determinados produtos químicos, em meios aquosos ou orgânicos, para causar “o esforço ambiental de ruptura,” que enfraquece o material e pode causar a falha acelerada. Geralmente, determinados detergentes e produtos químicos alifáticos forçam a ruptura do PEAD. Para resistir a este efeito, as resinas de PEAD de alta performance, principalmente copolímeros, foram desenvolvidas.

#### **3.1.4.3 Exigências físicas e de processo**

As resinas de PEAD usadas em extrusão sopro têm um elevado peso molecular (MW) para fornecer viscosidade elevada do fundido exigida para a extrusão apropriada e para a resistência do fundido no parison. Igualmente têm uma distribuição de peso molecular larga (MWD) para permitir um fluxo livre nas temperaturas e taxas de fluxo de processamento.

#### **3.1.5 Considerações da resina para o sopro**

##### **3.1.5.1 Avaliações da viscosidade do fundido**

As resinas de PEAD de uso geral na extrusão sopro têm geralmente um índice de fluidez (MI) de 0,9 g/ 10min ou menores. Entretanto, os baixos valores do índice de fluidez indicativos de peso molecular elevado, são enganadores ao comparar a habilidade no processo de fusão de uma resina com outra. As medidas do índice de fluidez são feitas em um instrumento capilar simples de laboratório chamado de plastometro de extrusão (figura 5.4). Ele avalia o peso de extrudado (gramas coletados em 10 minutos) que é forçado através de um orifício padrão sob uma pressão estática de 43,3 lbf/pol<sup>2</sup> (0,290 MPa) a uma temperatura de 374°F (190°C). Sob estas circunstâncias, o esforço de cisalhamento do fundido que passa através do orifício é somente 0,019 MPa. Embora 190°C possa representar uma temperatura de processamento real para o PEAD, a pressão aplicada e o esforço de cisalhamento do fundido resultante são consideravelmente mais baixos do que aqueles encontrados no processamento real.

As condições de teste acima são especificadas pela ASTM D1238, método E. Para fornecer uma visão melhor de como as resinas de PEAD para sopro se comportarão sob circunstâncias de processamento reais, modificações a este procedimento são fornecidas por outros procedimentos especificados na D1238 usando o mesmo instrumento na mesma temperatura de fusão, mas com pressões estáticas aplicadas mais altas. A tabela 5.2 lista estas circunstâncias. As determinações do fluxo através do método N, chamado de fluxo do fundido (MF), e o método F, chamado de índice de fluidez de carga elevada (HLMI), são fornecidos freqüentemente em fichas de especificação, particularmente para resinas de elevados pesos moleculares de polietileno de alta densidade com as medidas de índice de fluidez inferiores ou iguais a 0,1 g /10 min.

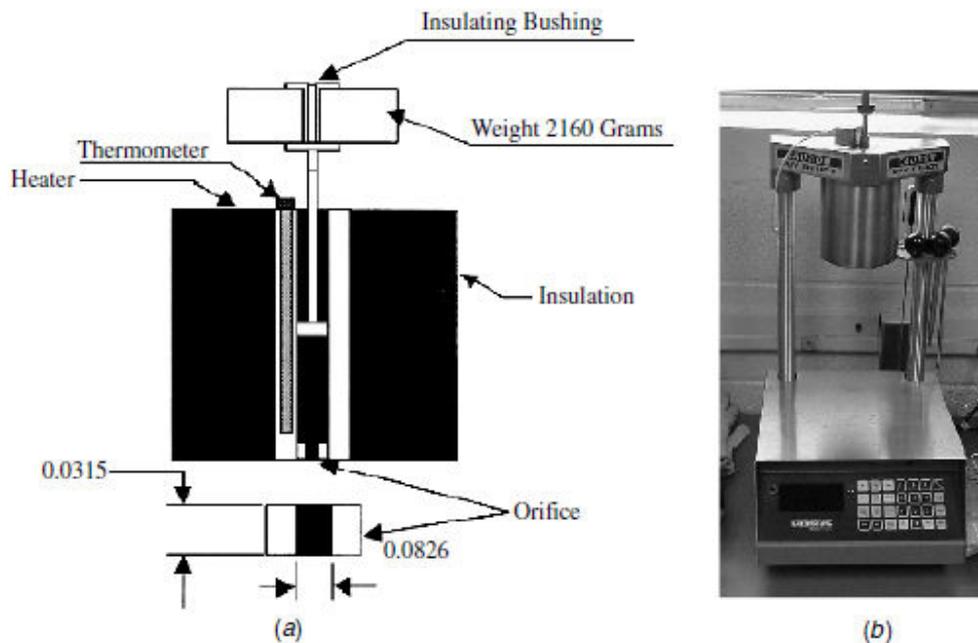


FIGURE 5.4 (a) Melt indexer; (b) Kayness melt index tester. [(b) (Courtesy of Davidson County Community College, Lexington, NC.)]

TABLE 5.2 ASTM D1238 Test Method Conditions<sup>a</sup>

Method	Weight (g)	Static Pressure (MPa)	Shear Stress (Pa)
E	2,160	0.30	19,000
N	10,000	1.38	89,000
F	21,600	2.98	190,000

<sup>a</sup>All at 190°C.

### 3.1.5.2 Reometro de massa fundida

A medida da fluidez do fundido pode igualmente ser feita usando um reometro pressurizado a gás sob as circunstâncias estabelecidas por Canadian Industries Ltd. [190°C, mas com uma pressão efetiva de 10,3 MPa (1500 lbf/pol<sup>2</sup>)]. As dimensões do orifício deste instrumento são menores do que aquelas do plastometro (o diâmetro é 0,489 milímetros e o comprimento é de 4,470 milímetros). A pressão acima induz a um esforço de cisalhamento de  $0,283 \times 10^6$  dyn/cm<sup>2</sup>. Esta avaliação é chamada de índice de fluidez CIL, e como nos métodos precedentes, mede as gramas extrudadas coletadas em 10 minutos.

### 3.1.5.3 Reologia básica do fundido

Três resinas comerciais de PEAD com índices de fluidez equivalentes de 0,2 g/10min foram avaliadas pelo método do índice de fluidez de carga elevada e demonstraram variação em uma larga escala, como indicado na tabela 5.3. Tais diferenças em propriedades do fundido são de grande importância no projeto de desempenho e do equipamento de sopro. A relação mais elevada de HLMI/MI indica o maior fluxo do fundido sob uma pressão equivalente. Embora o índice de fluidez indique pesos moleculares médios equivalentes (MWs), a resina X é mais sensível ao cisalhamento devido a uma distribuição mais larga do peso molecular (MWD), especialmente na parte inferior do

espectro da MWD. Esta proporção aumentada de algumas moléculas lineares mais curtas atuam como um lubrificante. A relação de HLMI/MI pode assim ser usada como um guia na avaliação da MWD; a relação mais elevada indica sempre uma distribuição mais larga.

As ações de fusão e de bombeamento do processo de extrusão, mantidas pelo calor e pela pressão, atuam na resina através de dois mecanismos reológicos: viscoso e elástico. A energia viscosa é dissipada no trabalho de encontro à resistência do sistema, sendo que a energia elástica é armazenada. Este componente armazenado causa um “inchamento” no parison extrudado. A capacidade do PEAD fundido se submeter à deformação elástica, e desta armazenar energia, aumenta com o alargamento da MWD, especialmente com uma proporção aumentada de moléculas maiores na parte superior do espectro de MWD.

**TABLE 5.3 Melt Properties for Three Resins**

Resin	MI	HLMI	HLMI/MI
X	0.2	32	160
Y	0.2	20	100
Z	0.2	16	80

### 3.1.5.4 Inchamento do fundido

Como já notado, o efeito do inchamento é o resultado da recuperação elástica da energia armazenada na fusão. As cadeias moleculares longas estão estiradas e alinhadas durante a extrusão e tentam retomar a sua origem enovelada e desordenada, circunstância que ocorre assim que as forças que atuam nelas forem removidas. O inchamento do fundido, a partir das dimensões exatas da matriz (fêma) e do mandril (macho), estabelecem as dimensões finais (diâmetro e espessura de parede) do parison. O controle do inchamento, pela seleção da resina ou pela reologia, e sua predição são essenciais em operações de sopro de precisão. Os dados no inchamento do fundido podem ser desenvolvidos usando instrumentos de laboratório tais como o plastometro (ASTM D1238) e empregando pesos diferentes na escala de 2160 a 21600 gramas. O reometro a gás usado no método de índice de fluidez CIL e o reometro de massa Instron podem fornecer a orientação em características de predição do inchamento do fundido em temperaturas e circunstâncias de cisalhamento que combinam com aquelas experimentadas nos equipamentos comerciais de moldagem por sopro. As diferenças básicas nas relações de L/D (comprimento/diâmetro) do orifício do reometro e do equivalente na matriz do parison, devem ser tomadas em consideração ao desenvolver tais dados comparativos.

A relação do inchamento (diâmetro do extrudado dividido pelo diâmetro do orifício) aumenta com a taxa de cisalhamento. Algumas resinas tendem a estabilizar no inchamento em determinadas faixas de taxa de cisalhamento, enquanto para outras o inchamento continua a aumentar enquanto a taxa de cisalhamento aumenta. Os tipos anteriores fornecem o melhor controle da dimensão do parison e são os preferidos.

## **3.2 ESTÁGIOS E TIPOS DE MOLDAGEM POR SOPRO**

### **3.2.1 Estágios do processo da moldagem por sopro**

Há muitas maneiras de produzir as peças plásticas sopradas, mas todas têm os seguintes estágios em comum:

1. Plastificação (fusão) da resina
2. Produção do parison (extrusão) ou da pré-forma (injeção)
3. O sopro do parison ou da pré-forma seguido de resfriamento no molde
4. Ejeção da peça moldada
5. Desbaste ou acabamento da peça (a etapa de desbaste é executada freqüentemente enquanto as outras quatro etapas continuam o ciclo)

Deve-se notar que quando diversas peças são feitas ao mesmo tempo em moldes múltiplos em uma máquina, as primeiras quatro etapas podem se sobrepor. Também, note que a etapa 3 de sopro do parison ou da pré-forma e o resfriamento da peça tomam o maior tempo e controlam o ciclo da máquina.

### **3.2.2 Tipos de moldagem por sopro**

Os tipos de moldagem por sopro incluem a extrusão, a injeção, e o estiramento. A figura 5.5 descreve estes tipos.

### **3.2.3 Moldagem por extrusão sopro**

Há dois tipos básicos de moldagem de extrusão sopro: o método contínuo e o método intermitente.

#### **3.2.3.1 Moldagem de extrusão sopro contínuo**

No método contínuo, o parison é extrudado continuamente por um cabeçote ou matriz da unidade. A extrusora produz um parison infinito, que é esmagado subseqüentemente e cortado após o fechamento das metades do molde. Em uma variação do método contínuo, uma lançadeira ou carrossel rotativo carrega uns ou vários moldes, que podem ser do tipo de multi cavidades e são alimentados por um ou vários parisons. Assim que o molde se fecha, ele se afasta e um molde aberto ocupa seu lugar enquanto o parison ou parisons continuam a ser extrudados. Quando o molde se fecha, o ar é soprado no parison para inflá-lo na forma da cavidade. Em alguns moldes, o lado inferior prende um pino de sopro. No caso dos frascos e garrafas, o ar é soprado através de um furo da parte superior. Em outros casos, uma agulha de sopro é montada ao lado ou no molde e atuada para penetrar no parison. Uma vez que o parison expandiu, a pressão de ar o mantém de encontro ao molde até a peça solidificar e resfriar.

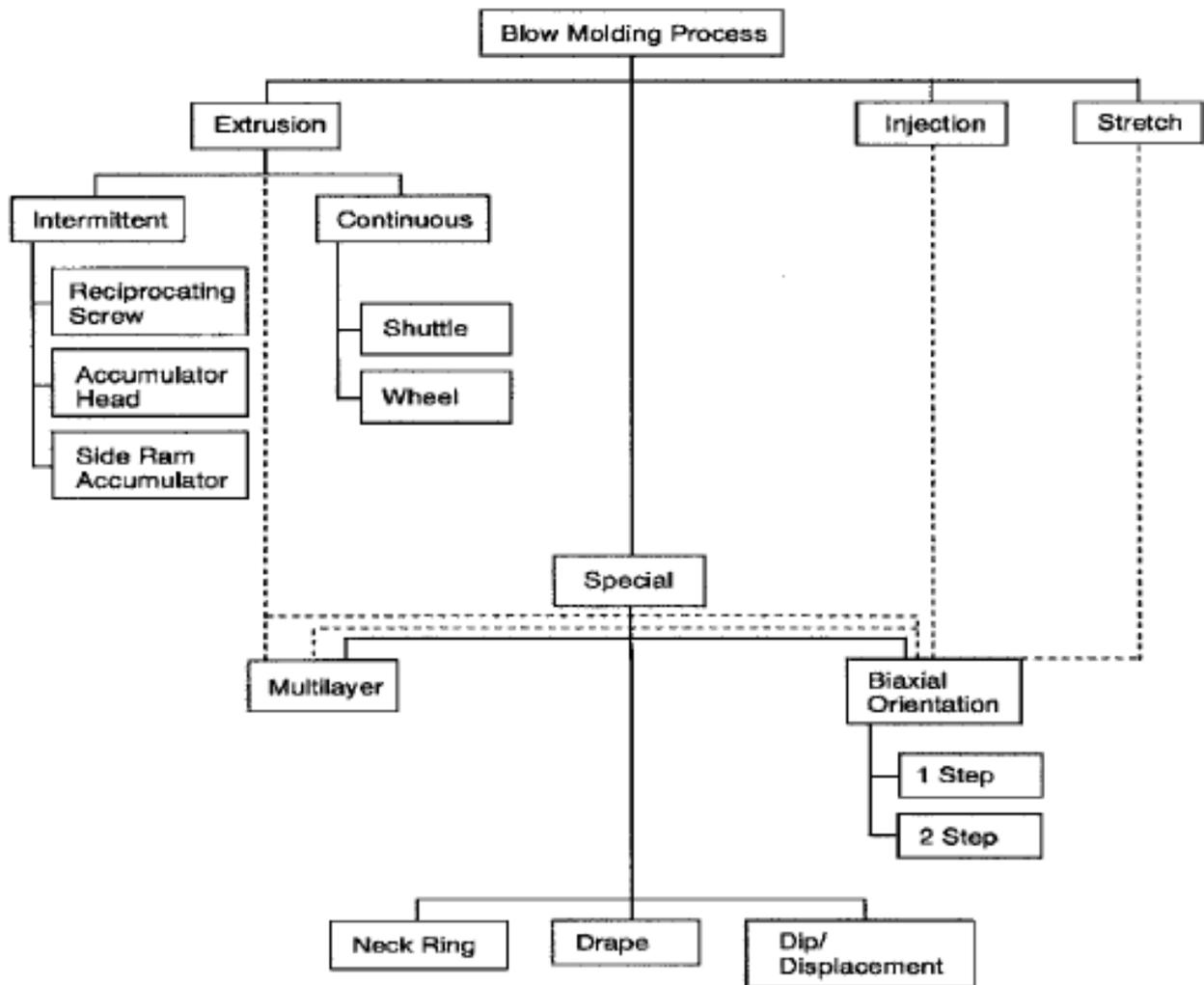


FIGURE 5.5 Types of blow molding processes.

### 3.2.3.2 Método intermitente (acumulador)

Neste método, a extrusora funciona continuamente. Uma câmara, chamada de acumulador, recolhe e retém (acumula) um volume substancial de massa plastificada que é entregue pela extrusora enquanto a peça precedente está sendo soprada e resfriada. Uma vez que a quantidade exigida de plástico fundido acumulou e o molde está pronto, um pistão ou rosca recíproca força o fundido para fora do acumulador através da matriz do cabeçote para dar forma ao parison (figura 5.6).

O método intermitente ou de acumulador é amplamente utilizado para produzir grandes peças industriais, variando dos recipientes de coleta de lixo municipais às carcaças de sopradores de folhas de jardim (figura 5.7). Um benefício do método intermitente ou de acumulador é que permite que a taxa da entrega de plástico quente da matriz do cabeçote seja independente da taxa da entrega da extrusora. A extrusão da resina na câmara do acumulador é relativamente lenta comparada à taxa da extrusão do parison pela rosca recíproca. A capacidade do acumulador determina o tamanho máximo das grandes peças sopradas. Um grande acumulador pode armazenar bastante plástico fundido para produzir um parison para uma peça de 150 libras (68 kg).

As vantagens de um acumulador são:

- Armazena um grande volume de fundido para os grandes artigos que exigem a moldagem e ciclos de resfriamento muito longos (até diversos minutos).
- Permite taxas de produção elevadas.
- Permite a extrusão rápida de grandes parisons (tempo curto da formação do parison) e conseqüentemente de uma estadia curta do parison em suspensão, permitindo comparativamente pouca queda (escoamento) e melhor controle da espessura de parede.
- Fornece um tamanho mais uniforme de “tiro” (peso de plástico), que minimiza o desperdício.
- Diminui o tempo inativo do molde ao mínimo.

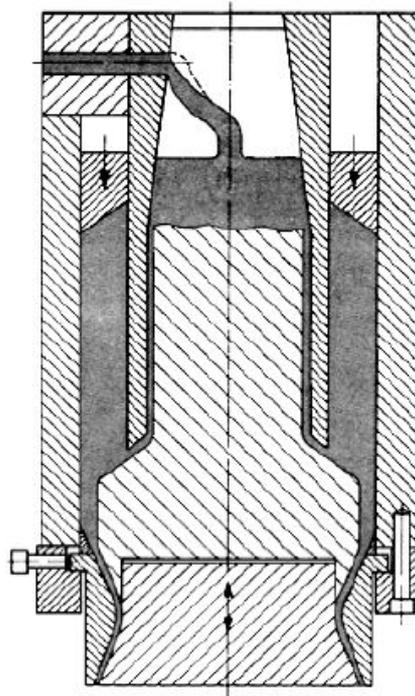


FIGURE 5.6 One type of accumulator.



FIGURE 5.7 John Deere lawn blower.

### 3.2.3.3 Moldagem de co-extrusão - sopro

A co-extrusão é a tecnologia usada para fabricar produtos que contêm camadas múltiplas em suas estruturas de parede. Tais produtos são co-extrudados. As camadas podem ser feitas do mesmo ou de diferentes materiais, material colorido e incolor, ou materiais reciclados e virgens. As embalagens de vários tipos é a aplicação principal de produtos co-extrudados, bem como as melhores propriedades de barreira são a razão principal para a estrutura multicamadas. A estrutura multicamada de produtos co-extrudados é criada combinando duas ou mais camadas do fundido em uma matriz antes de sua extrusão como um parison. A diferença principal entre a moldagem por sopro de multicamada e a de extrusão de material único está no sistema de extrusão. Na co-extrusão, cada material é extrudado de sua própria extrusora. Os exemplos dos produtos feitos com este processo são frascos de ketchup e tanques de combustível automotivos.

*Arranjo das extrusoras para a co-extrusão.* Um arranjo das extrusoras de produtos co-extrudados, com estruturas multicamadas é ilustrado na figura 5.8.

*Estruturas multicamadas.* Uma estrutura co-extrudada, multicamada (figura 5.9a) pode ser criada para fornecer uma ou várias características que não podem ser fornecidas por um produto de camada única. Estas podem ser baseadas em uma exigência física: por exemplo, uma melhor barreira ao calor ou uma resistência aumentada à permeação. Também, as considerações de custo podem exigir que um material de parede virgem seja substituído por material recuperado, ou que uma cor cara seja usada em somente uma camada da estrutura em vez de em toda a espessura da parede inteira.

*Sistemas da co-extrusão.* O sistema de extrusão na moldagem por sopro de co-extrusão deve fornecer diversos canais do material fundido ao cabeçote simultaneamente. Alguns canais, pelo projeto, são de menor volume do que outros, a fim de produzir camadas mais finas. As condições de processamento podem igualmente diferir de um material a outro. Veja a figura 5.9b que mostra um cabeçote/matriz típico de co-extrusão, e a figura 5.9c, que ilustra recipientes para embalagem com camadas múltiplas.

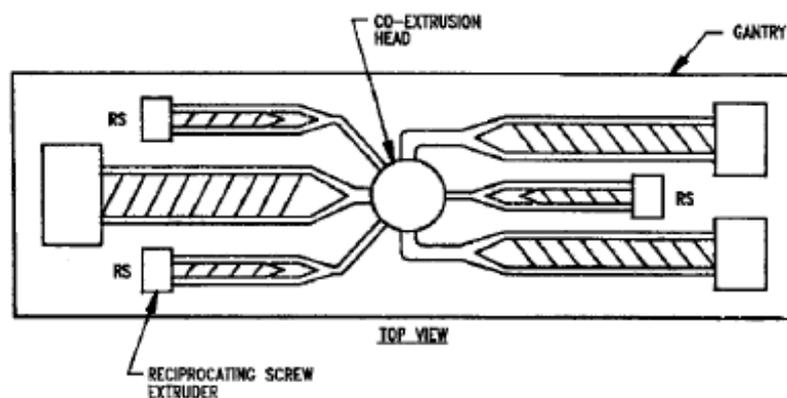
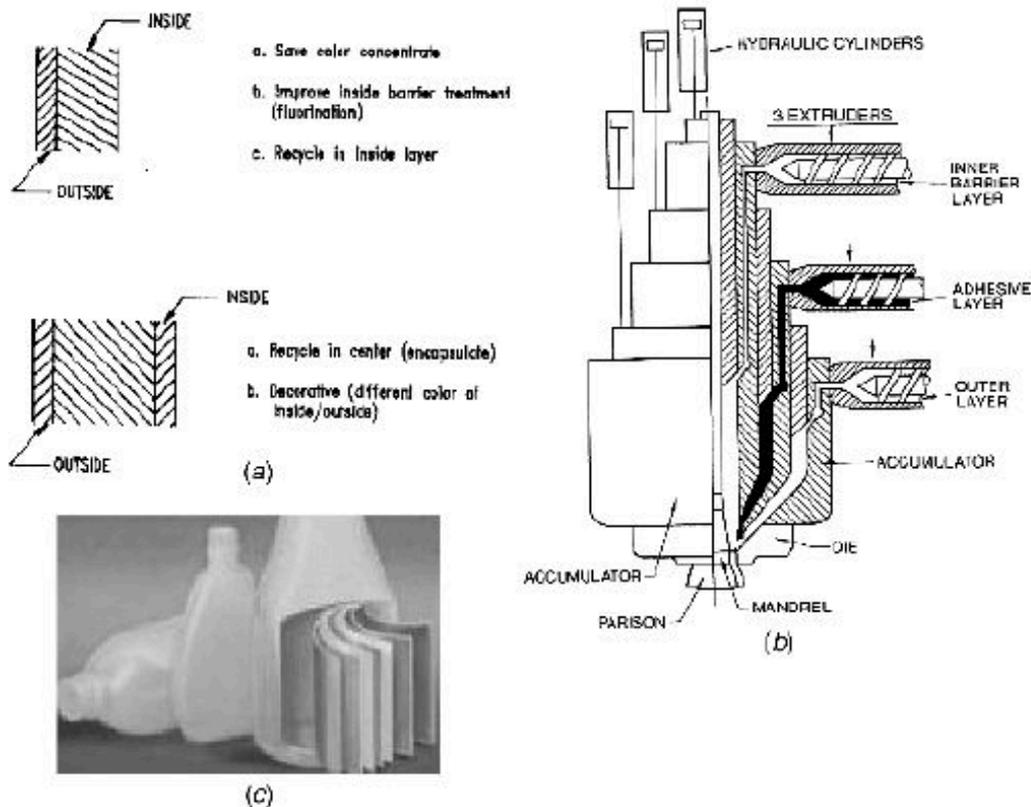


FIGURE 5.8 Co-extrusion blow molding.



**FIGURE 5.9** (a) Multilayer structures; (b) multilayer extrusion die and manifold delivery system; (c) multiple layers used in packaging applications. [(c) Courtesy of Bekum America Corporation, Williamston, MI.]

### 3.2.4 Moldagem por sopro tridimensional

A moldagem por sopro tridimensional foi desenvolvida há diversos anos no Japão e mais refinada na Alemanha nos últimos anos. As peças com formas irregulares convencionalmente moldadas por sopro criam áreas extensas de *flash* (do esmagamento), enquanto que uma peça moldada sem emenda tem *flash* somente na suas partes superior e inferior (veja o exemplo de um duto de ar na figura 5.10). As vantagens da redução de *flash* são que permitem o uso de uma extrusora menor, de menor potência, também válido para o equipamento de granulação, sendo assim menor a manipulação de reciclado. Outras vantagens incluem a espessura de parede; a força mecânica otimizada, e nenhum trabalho de acabamento necessário no exterior da peça, tendo por resultado a qualidade de produto elevada e o uso de menores forças de fechamento.



**FIGURE 5.10** Air duct parts. Top, three-dimensional blow-molded part; bottom, conventional blow-molded part. (Courtesy of SIG Kautex, Inc., North Branch, NJ.)

### 3.2.4.1 Processos de extrusão tridimensionais

Três tipos de métodos da tecnologia tridimensional estão disponíveis: (1) a moldagem por sopro com sucção, (2) manipulação vertical de fechamento do parison, e (3) manipulação horizontal de moldagem segmentada do parison.

*Moldagem por sopro com sucção.* A figura 5.11 mostra as quatro fases do processo da moldagem por sopro com sucção.

*Manipulação do Parison.* No método vertical de fechamento o molde abre verticalmente, a metade inferior desliza para fora, o parison é colocado na cavidade inferior, a metade inferior retorna, o molde fecha verticalmente e ocorre o sopro (figura 5.12). Este método é ideal para aplicações multicamadas: por exemplo, tubulações de abastecimento de combustível. As metades convencionais de molde fornecem menor custo. O molde é também muito acessível, e estações de fechamento duplo podem ser usadas para volumes mais elevados (figura 5.13).

Na moldagem segmentada com processo horizontal de fechamento (figura 5.14) o parison é extrudado, e quando o molde começa a se fechar, o parison é soprado. O parison é transportado então à configuração da cavidade e o molde termina o fechamento, esfria-o, e abre-o com ejeção da peça. O transporte do parison é realizado com um robô de seis eixos. Formas complexas podem ser produzidas usando a tecnologia segmentada de moldagem, com a incorporação de características de valor agregado de projeto utilizando uma função de fechamento e pinçamento externo para os tubos duplos, suportes, e assim por diante. A qualidade da peça é altamente influenciada pelo mínimo contato entre as peças e o molde.

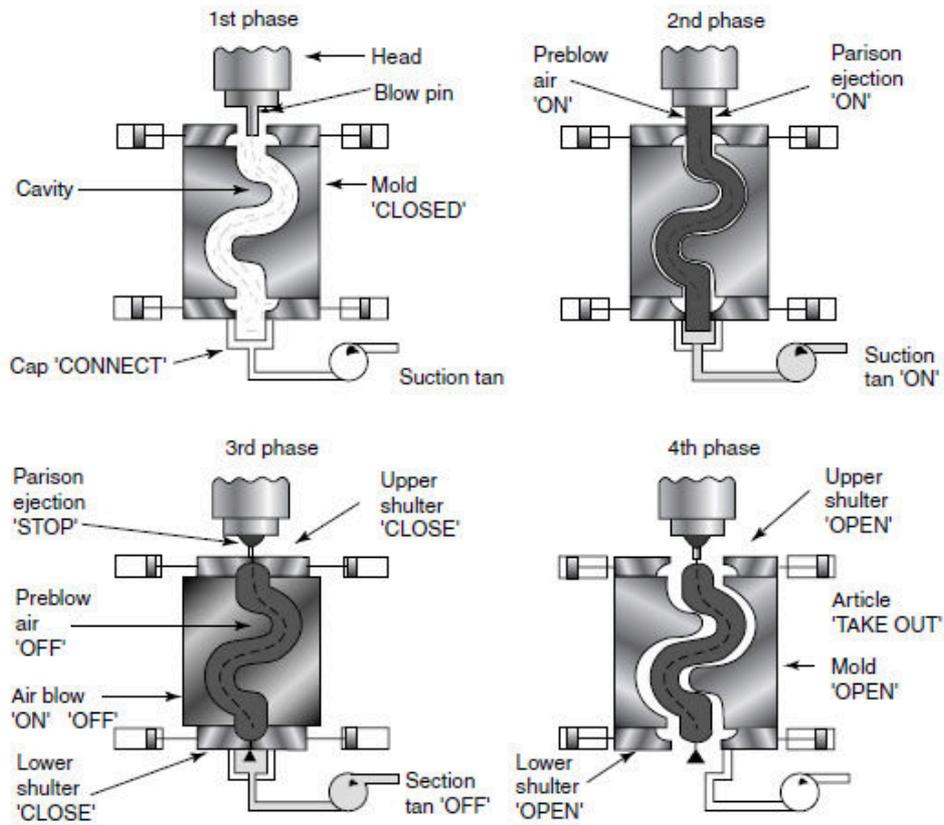


FIGURE 5.11 Suction blow molding.

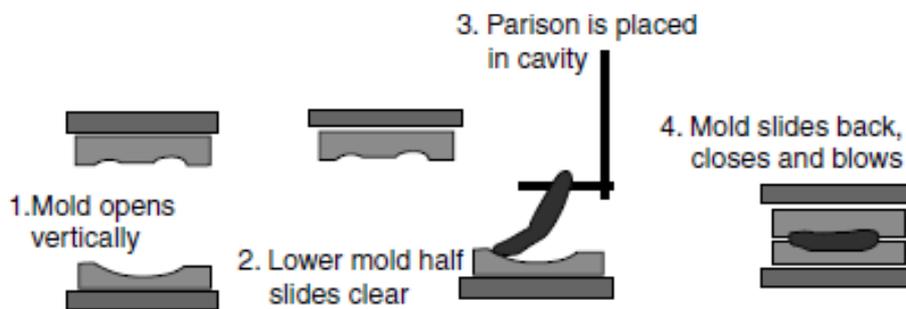
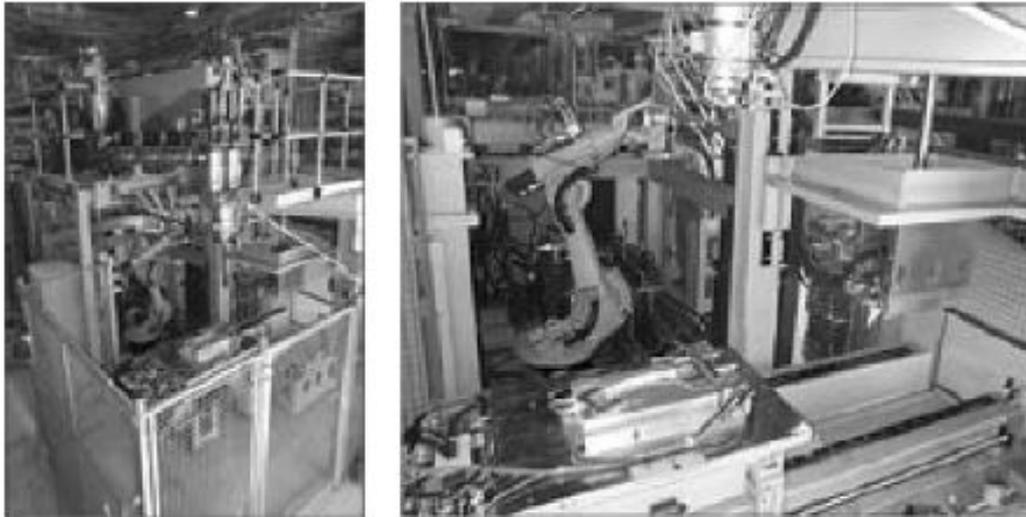
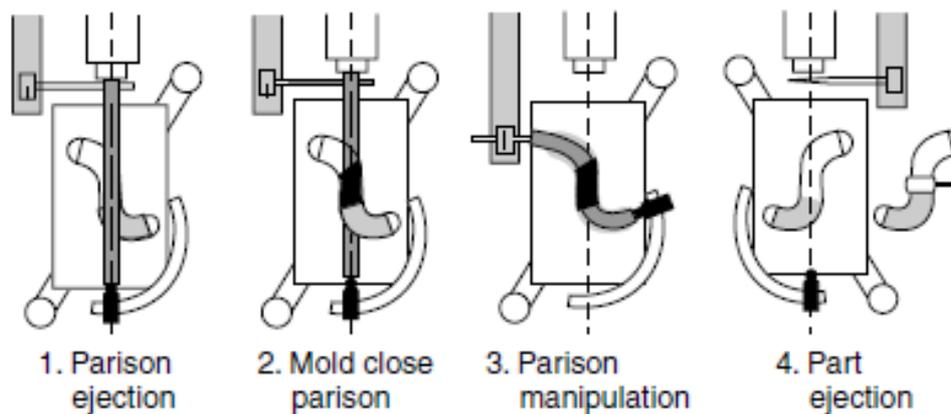


FIGURE 5.12 Vertical clamp method. (Courtesy of SIG Kautex, Inc., North Branch, NJ.)



**FIGURE 5.13** Integrated mounting. (Courtesy of SIG Kautex, Inc., North Branch, NJ.)



**FIGURE 5.14** Horizontal clamp.

### 3.2.4.2 Peças e recipientes de paredes duplas

As peças de dupla parede, na maior parte dos casos com ângulos de inclinação rasos, foram desenvolvidas no princípio dos anos 70 com pivôs, travas, e um sistema modular de molde bem como com máquina especial de sopro com as patentes emitidas para Peter Sherman, que desenvolveu diversos moldadores em regiões diferentes dos Estados Unidos e da Europa. Uma peça típica é mostrada na figura 5.15a.

O parison é produzido geralmente em uma máquina contínua de extrusão com a transferência do parison para um molde ou para uma lançadeira ou carrossel rotativo (figura 5.15b). Na figura 5.15c o parison é pré-esmagado na parte inferior. É pré-soprado com baixa pressão dando forma a uma bolsa. Enquanto o molde vai fechando, o parison cria *flash* e conforma sobre o macho. O lado e a parte superior do parison começam a ser presos em torno das bordas, essencial para o sucesso da peça de parede dupla (figura 5.15d). O molde fecha-se mais, com o ar impedindo que as paredes sofram colapso (figura 5.15e). Resfriamento e ar de alta pressão são usados para conformar o núcleo e a cavidade do molde (figura 5.15f). O ar de alta pressão é soprado geralmente através de uma agulha oca.

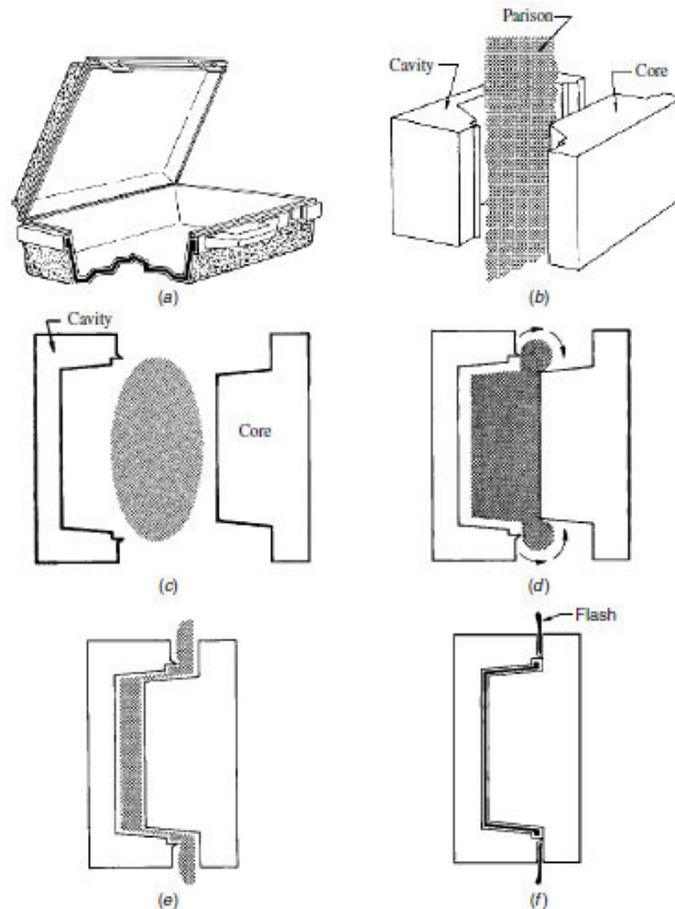


FIGURE 5.15 Process sequence double-walled case.

### 3.2.5 Moldagem por injeção sopro

A moldagem por injeção sopro é usada para produzir um parison moldado chamado de pré-forma. A moldagem por injeção sopro é preferida geralmente sobre a moldagem de extrusão sopro para fazer peças pequenas que exigem volumes elevados de produção e um controle mais próximo das dimensões. O processo ocorre em duas etapas: (1) moldagem por injeção executada em um pino ou em um núcleo de sustentação, que fornecem as linhas do gargalo que já são formadas com as dimensões requeridas; e (2) sopro da pré-forma ainda no pino de sustentação (núcleo), a sua forma final em um molde separado (figura 5.16).

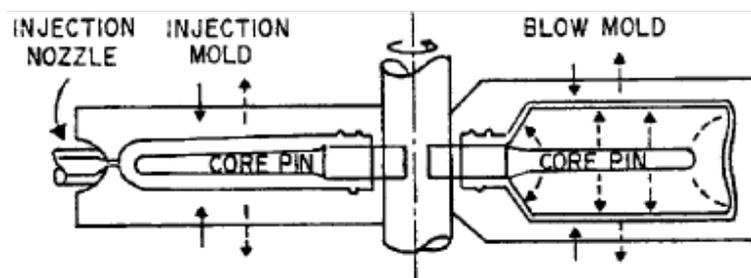


FIGURE 5.16 Basic injection blow molding process.

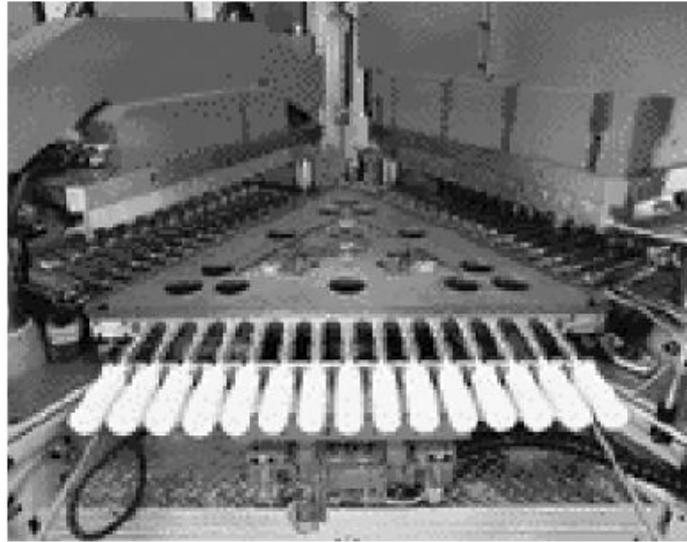
### 3.2.5.1 Máquina de moldagem por injeção sopro

As máquinas de moldagem por injeção com unidade de rosca de plastificação que incorporam espaço para a acumulação do fundido na parte dianteira do cilindro foram desenvolvidas nos meados de 1950. A adaptação destas unidades ao processo de moldagem por sopro conduziu à máquina de moldagem recíproca de sopro com rosca (figura 5.17). A rosca plastificadora é projetada para movimento recíproco (para frente e para trás) no cilindro. No início da plastificação, a ponta da rosca está próxima à extremidade do cilindro. Enquanto o plástico é fundido, um colchão deste fundido se acumula e força gradualmente o deslocamento da rosca para trás. Quando a quantidade correta de plástico fundido acumulou no cilindro na frente da rosca, ela para de girar e a resina fundida é forçada sob a alta pressão como um jato e com a abertura do bico de injeção na cavidade do molde.

Na fase 1 deste processo, as pré-formas são moldadas injetando o material plástico em um molde de liga metálica, consistindo na parte superior e nas cavidades bi-partidas inferiores, sobre um núcleo que dê forma ao interior da pré-forma tubular. As pré-formas são resfriadas somente o suficiente para reter sua forma. Na fase 2 o molde abre e as pré-formas quentes, semi-viscosas são posicionadas à estação seguinte (figura 5.18), onde as cavidades bi-partidas na forma da peça são fechadas sobre as pré-formas. Aqui, as pré-formas quentes são sopradas à forma das cavidades e a seguir resfriadas. Na fase 3 os moldes de sopro abrem e as peças são posicionadas à estação seguinte para a ejeção. Neste processo trifásico, todas as três fases ocorrem ao mesmo tempo (figura 5.19).

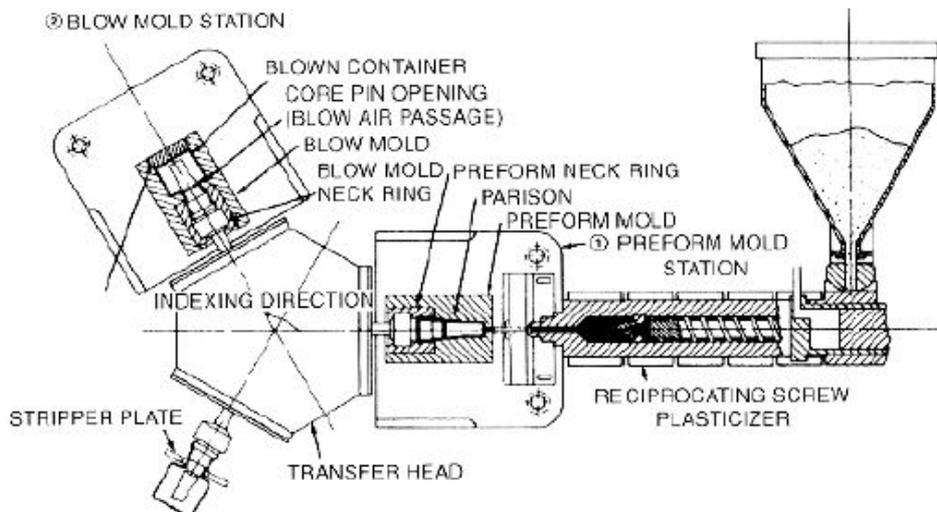


FIGURE 5.17 Injection blow molding machine. (Courtesy of Jomar Corporation.)



**FIGURE 5.18** Uniloy Milacron transfer turret, indexing injection-molded preforms on cores to blowing station.

Neste tipo de máquina, as hastes de núcleo são montadas em um mecanismo da torre, girando em ordem da estação de injeção para a estação de sopro e desta para a estação da ejeção. O custo dita o uso de combinar moldes de injeção e de sopro de múltiplas cavidades. A maioria das máquinas é do tipo de três estações descrita, com os moldes de injeção, de sopro e setor de ejeção, deslocados de 120°. As máquinas especiais de quatro estações são posicionadas com deslocamento a 90°, com a quarta estação sendo usada para o acondicionamento especial da haste de núcleo do parison após o desbaste (interceptador) e antes de fundir (figura 5.20). As máquinas de quatro estações são usadas frequentemente para duas cores ou frascos multicolor.



**FIGURE 5.19** Three-station injection blow molding machine.

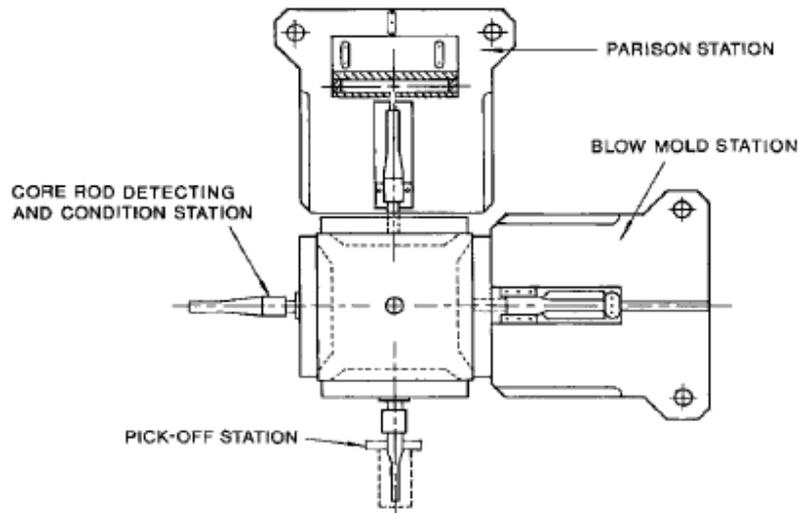


FIGURE 5.20 Four-station injection blow molding machine turret.

### 3.2.5.2 Moldagem por estiramento sopro

A moldagem por estiramento sopro é uma modificação da moldagem por injeção sopro [referida anteriormente como moldagem por injeção estiramento sopro (ISBM)] ou moldagem por extrusão sopro. Envolve condicionar (aquecer) uma pré-forma moldada e de resfriar a uma temperatura específica, fechando-a no molde de sopro, então estirando-a rapidamente em dois sentidos, no comprimento e no diâmetro. Isto orienta bi-axialmente as moléculas do polímero. Frequentemente, uma haste é usada para estirar a pré-forma quente no sentido axial, com pressão de ar a seguir usada para estirá-la no sentido radial. Fazendo isto melhora a resistência ao impacto, a transparência, o brilho de superfície, a barreira de gás, e as propriedades de rigidez. Os quatro plásticos de uso geral são o polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC), o polietileno tereftalato (PET), e as poliácridonitrilas (PAN), com a demanda mais comum para a moldagem por estiramento sopro que são as garrafas de refrigerantes feitas transparentes ou coloridas de PET (figura 5.21). Uma máquina é mostrada na figura 5.22.

### 3.2.6 Sistema de controle

Os sistemas de controle modernos micro processados para as máquinas de moldagem não são novidade. Tais sistemas são capazes de executar não somente a função de controle, mas também da pesquisa de defeitos e de funções estatísticas. Os controles em base micro processadas não produzem necessariamente melhores produtos, mas produzem-nos mais rapidamente e mais consistentemente (figura 5.23).



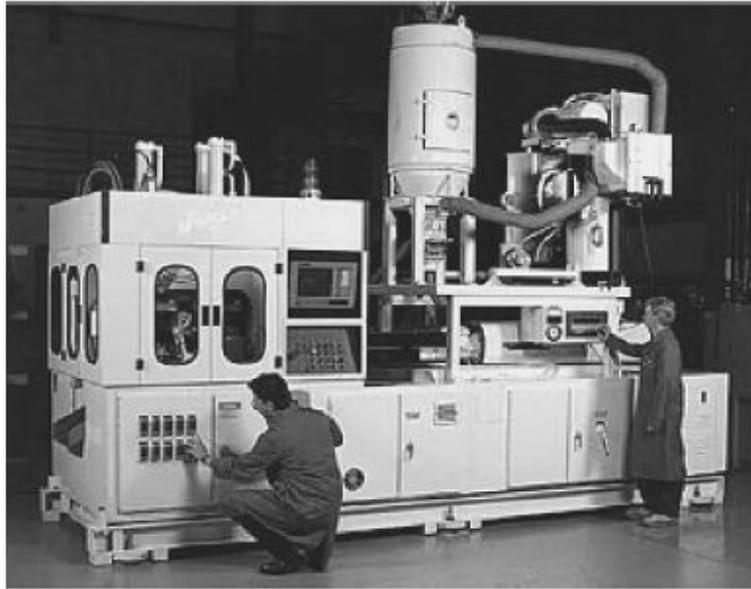
FIGURE 5.21 PET carbonated beverage bottles made by Amcor Twinpak, Canada.

### 3.2.6.1 Reprogramação

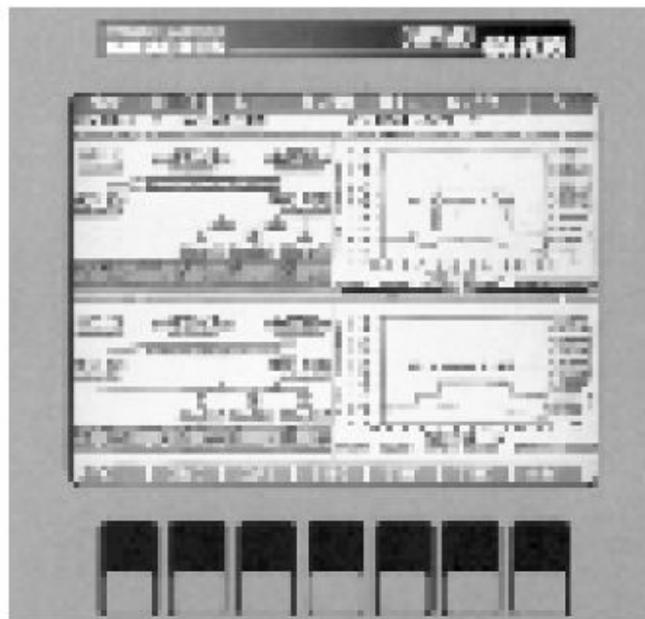
Com controles em base micro processada, a reprogramação de seqüências da máquina para inserir circunstâncias especiais é mais fácil do que seria com controles por relés ou por relés de estado sólido. As seqüências da máquina podem ser alteradas por um dispositivo de programação de campo para incorporar movimentos ou seqüências especiais da máquina. Os usuários podem modificar os programas para adotar modificações e mesmo processos novos. Parâmetros da máquina, parâmetros ajustados de processo, e as suas seqüências, podem ser carregadas no controlador por cartão magnético, por exemplo, fazendo o *set-up* da máquina mais fácil e mais consistente. Mesmo que a máquina não produza peças idênticas àquelas produzidas em um funcionamento precedente, porque as máquinas e os materiais diferem, a nova produção estará tão perto quanto possível à produção original. Somente será necessário um ajuste fino.

### 3.2.6.2 Universalidade

O fabricante da máquina pode incorporar o mesmo controlador a todas as máquinas em suas diversas escalas, variações são obtidas variando a programação. Fazendo isto, os processos de manufatura são simplificados e os custos são reduzidos. Uma máquina mais versátil é obtida mesmo se os custos são similares àqueles de sistemas de controle alternativos.



**FIGURE 5.22** Injection stretch blow molding machine manufactured by Jomar Corporation, Pleasantville, NJ.



**FIGURE 5.23** Uniloy Milacron Carmac 486 process controller for extrusion blow molding machines.

### 3.2.6.3 Segurança

Este é um benefício muito importante do controle micro processado, porque mais características de segurança podem ser incorporadas. O status dos protetores, dos bloqueios, e outros dispositivos de segurança podem ser determinados, e só será permitido da máquina iniciar o processamento em plena segurança. Além disso, o sistema pode ser atualizado cumprindo com as novas exigências de segurança incorporadas.

#### **3.2.6.4 Pesquisa de defeitos**

Um controlador em base micro processada pode pesquisar defeitos próprios e de outros componentes no sistema. Os resultados deste exame podem ser indicados em linguagem formal, ou em diagrama de máquina, junto com as soluções sugeridas.

#### **3.2.6.5 Controle auxiliar**

A memória de muitos sistemas micro processados é grande o suficiente para aceitar arranjos em seqüência do equipamento auxiliar. Os robôs, ajustadores, e os alimentadores de materiais, por exemplo, podem ser incorporados ao ciclo da máquina, sincronizando assim equipamento a jusante com a máquina de moldagem e tornando mais barato o controle. Mesmo o controlador de temperatura simples pode agora comunicar-se com o sistema de controle da máquina de moldagem e com outros computadores. Por exemplo, o computador mestre pode ajustar a temperatura, alterar as características de controle ou os termos do controlador de temperatura, e manter um registro da temperatura real.

#### **3.2.6.6 Controle de circuito de malha aberta e fechada**

Um processo de controle é dito de circuito de malha fechada se, quando um comando é dado, os monitores do sistema de controle sentem o que acontece e reajustam a força de resposta, caso necessário, para conseguir o que é desejado. O controle de circuito de malha aberta é o termo dado a um sistema de controle que não monitora o que acontece quando um comando de controle é dado. Na moldagem por sopro, a malha fechada do termo é aplicada freqüentemente a alguma função do sistema hidráulico: por exemplo, à velocidade de programação do parison.

#### **3.2.6.7 Estatística**

Um sistema de controle moderno é capaz de aceitar grandes quantidades de dados, de rearranjar e de apresentar os dados de uma maneira que informe o usuário da máquina do que está acontecendo ou do que irá acontecer. Isto somente pode ser feito por uma aplicação apreciável da estatística. Tais procedimentos estatísticos poderiam ser feitos à mão, mas antes que os cálculos fossem terminados, o ciclo de moldagem teria acabado. Para que o teste em linha seja bem sucedido, uma decisão deve ser tomada no momento da medição, assim que os cálculos sejam executados, e que se obtenha uma resposta. Coletando os dados de várias medições (por exemplo, velocidade da rosca, velocidade do parison), o micro processador pode executar os cálculos estatísticos rapidamente e indicar a resposta de imediato.

#### **3.2.6.8 Controle automático da qualidade**

Devido ao poder do microprocessador, é agora relativamente fácil incorporar características em uma máquina de moldagem que tornam possível verificar a qualidade de produto durante o ciclo de moldagem. A verificação da qualidade do produto no ponto de manufatura pode ser documentada em registros de controle estatístico de processo (CEP). O valor médio ou ajustado de um valor monitorado pode ser indicado automaticamente em uma UEV (*display*), junto com os limites de controle apropriados: por exemplo, um limite de controle superior e um limite de controle inferior. Durante o ciclo real de moldagem, os dados são recolhidos e indicados na UEV. Fazendo isto, a produção deriva ou as tendências podem facilmente ser corrigidas e as peças fora de especificação serão rejeitadas completamente ou desviadas para inspeção.

### 3.2.7 Vantagens da moldagem por extrusão sopro e por injeção sopro

#### 3.2.7.1 Moldagem por extrusão sopro

É um processo de produção natural para recipientes e peças ocas. É o processo preferido para recipientes de grande volume para aplicações de embalagem tais como alimentos, artigos de higiene pessoal, e os produtos de uso doméstico, assim como para aplicações industriais de grande resistência tais como os tanques de combustíveis automotivos e agrícolas, os vasos de pressão, e os dutos de ar. As figuras 5.24 a 5.27 mostram diversos exemplos de peças moldadas. O investimento de capital nas máquinas e no trabalho feito com moldes é na maior parte dependente das quantidades de produção.

#### 3.2.7.2 Moldagem por injeção sopro

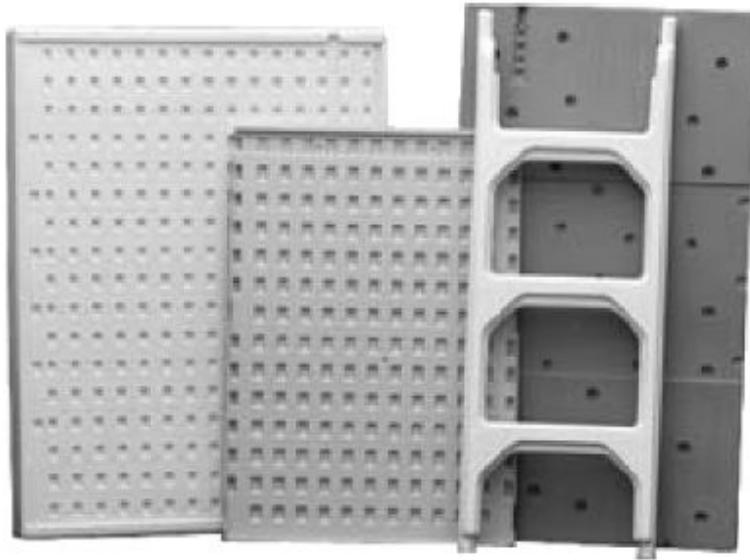
As vantagens principais são:

- Não há nenhum sucata ou *flash* para aparar e recuperar.
- O revestimento e os detalhes do gargalo são exatos e de alta qualidade.
- Não há nenhuma variação de peso no processo.
- O molde oferece tipicamente o menor custo para os frascos de grande volume que pesam 12 oz (37 g) ou menos.

É importante compreender que muitas resinas diferentes são processadas através deste método. Entre elas estão o PEBD e o PEAD (polietilenos de baixa e alta densidade), o polipropileno, o polietileno tereftalato, a poliacrilonitrila, o estireno-acrilonitrila, e outras.



**FIGURE 5.24** Cannondale bike bellows. (Courtesy of Blow Molded Specialties, Providence, RI.)



**FIGURE 5.25** Panels. (Courtesy of Blow Molded Specialties, Providence, RI.)



**FIGURE 5.26** Assorted bottles and containers. (Courtesy of Blow Molded Specialties, Providence, RI.)



**FIGURE 5.27** Medical prescription containers. (Courtesy of the Kerr Group.)

### **3.2.8 Desvantagens da moldagem por extrusão sopro e por injeção sopro**

#### **3.2.8.1 Moldagem por extrusão sopro**

Uma desvantagem da moldagem por extrusão sopro é a espessura de parede desigual. Embora isto possa ser minimizado com programação, a parede é geralmente mais grossa nas áreas esmagadas e mais fina nos cantos. A tendência de paredes mais grossas contraírem mais no centro da peça tem que ser compensada no projeto do produto. Por exemplo, os recipientes retangulares têm geralmente superfícies externa curvas. Outra desvantagem é que as tolerâncias dimensionais próximas são difíceis de conseguir, a exceção é a moldagem de sopro que produz linhas de garrafas com gargalo roscado por injeção. A exatidão dos detalhes de superfície de acabamento em produtos moldados por extrusão sopro é igualmente relativamente baixa.

#### **3.2.8.2 Moldagem por injeção sopro**

As desvantagens do processo de moldagem por injeção sopro são:

- O custo do trabalho feito com moldes é mais elevado do que para o molde da extrusão sopro.
- Os tamanhos e as formas do frasco são limitados a uma relação oval de 2:1 e uma relação de sopro não maior que 3:1.
- Os gargalos ligeiramente deslocados são possíveis com este processo, mas alças não são.

### 3.3 EQUIPAMENTO DE MOLDAGEM POR SOPRO

Os componentes básicos da moldagem por extrusão sopro são mostrados na figura 5.28.

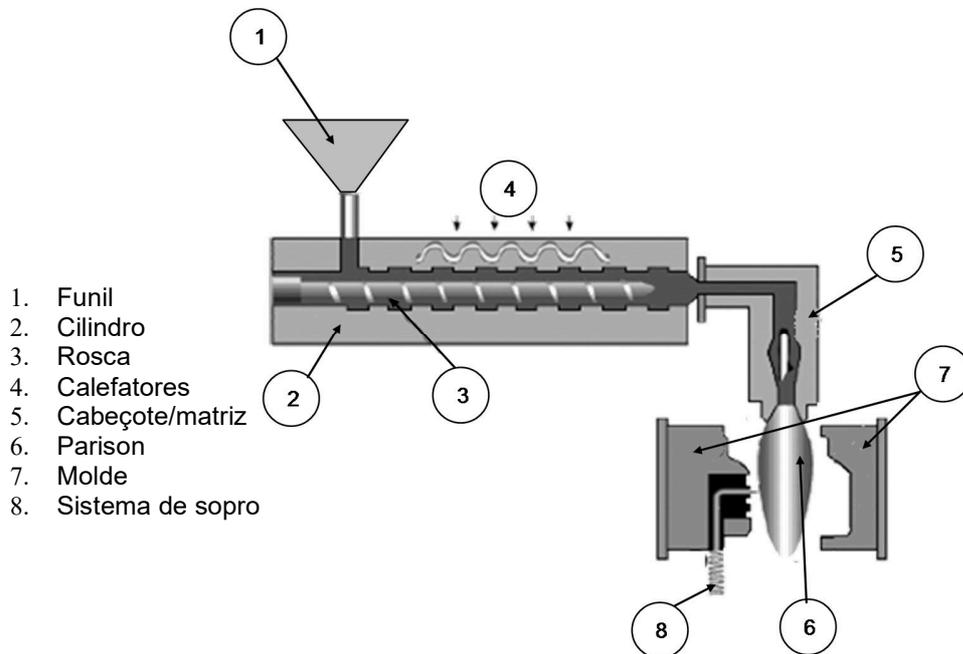


Figura 5.28 Componentes básicos da extrusão sopro

#### 3.3.1 A extrusora

A extrusão é o processo de aplicar calor e pressão à resina, fundi-la e forçá-la através de uma matriz com orifício calibrado ou aberto para um formato desejado. Para a moldagem por extrusão sopro, a forma do orifício da matriz que forma o parison é um entalhe circular. Há diversas peças numa máquina de moldagem por extrusão sopro e o conjunto principal da matriz, incluindo (1) a rosca (com alimentação, transição, e seções de dosagem) e o cilindro, (2) o acionamento da rosca, (3) o funil de alimentação do material, (4) o cabeçote da matriz, e (5) o núcleo da matriz e o mandril da ponta da matriz. Os componentes típicos de uma extrusora de rosca simples são mostrados na figura 5.29. O material plástico é fundido (plastificado) no cilindro da extrusora e entregue ao cabeçote em uma taxa uniforme girando a rosca na velocidade apropriada (RPM).

O tamanho de uma extrusora é dado pelo diâmetro do cilindro e pela relação do comprimento (L) da rosca com o seu diâmetro (D). Esta relação do comprimento ao diâmetro é chamada L sobre D e escrita como L/D ou L:D. Na moldagem por sopro, a relação L/D é geralmente 20:1, 25:1, ou 30:1, dependendo da aplicação. Para alimentar a extrusora, a resina é dirigida ao funil. O carregamento do funil é realizado geralmente com um dispositivo automático de alimentação a vácuo. O funil é mantido cheio com a resina, e uma janela de observação no lado do funil permite que o operador monitore seu nível. Uma tampa na parte superior do funil previne contra a contaminação, como poeira ou sujidades, assim como outro corpo estranho, tal como ferramentas ou parafusos, que poderiam danificar a rosca, cilindro, ou matriz. Além disso, na base do funil há uma válvula ou *flap* que fecha o fluxo da resina quando a alimentação ao cilindro deve ser parada ou o funil esvaziado. Um jogo de ímãs permanentes de barras com espaços entre eles é colocado freqüentemente dentro do funil perto da garganta de alimentação, para atrair e travar os objetos de aço que porventura possam estar na resina ou que caíam no funil.

A seção da garganta da alimentação do cilindro, imediatamente abaixo do funil, é refrigerada com água para impedir que a resina funda demasiado cedo, se aglutinando e “construindo uma ponte” na garganta de alimentação antes de alcançar a rosca. A ponte pode causar uma parada da produção, que pode conduzir à oxidação ou à degradação térmica da resina no cilindro. Se a degradação ocorre, pontos pretos e material manchado aparecerão nas peças. A degradação geralmente exige uma limpeza completa da rosca da extrusora e do cabeçote/matriz para remover completamente o plástico queimado.

Nota: O plástico degradado aprisionado no cilindro pode apresentar um perigo sério ao pessoal operacional. Pode desprender um grande volume de gás no espaço confinado do cilindro, tendo por resultado um acúmulo rápido e perigoso da pressão. Se continuar aprisionado, este acúmulo da pressão pode desenvolver bastante força para quebrar os parafusos de montagem do cabeçote ou do funil e para literalmente explodir o cabeçote ou o funil fora da máquina e no ar. Ao mesmo tempo, o plástico e o gás quentes pulverizarão para fora. Estes eventos podem causar danos graves ou ferimentos a qualquer um que ocorra de estar próximo. Para impedir um acidente deste tipo se exige a atenção cuidadosa do operador tendo certeza que a água de resfriamento da garganta da alimentação está ligada e resfriando, que a pressão do cabeçote/matriz está normal, e que o plástico fundido está sendo transportado para frente através do cilindro e extrudado para fora da matriz.

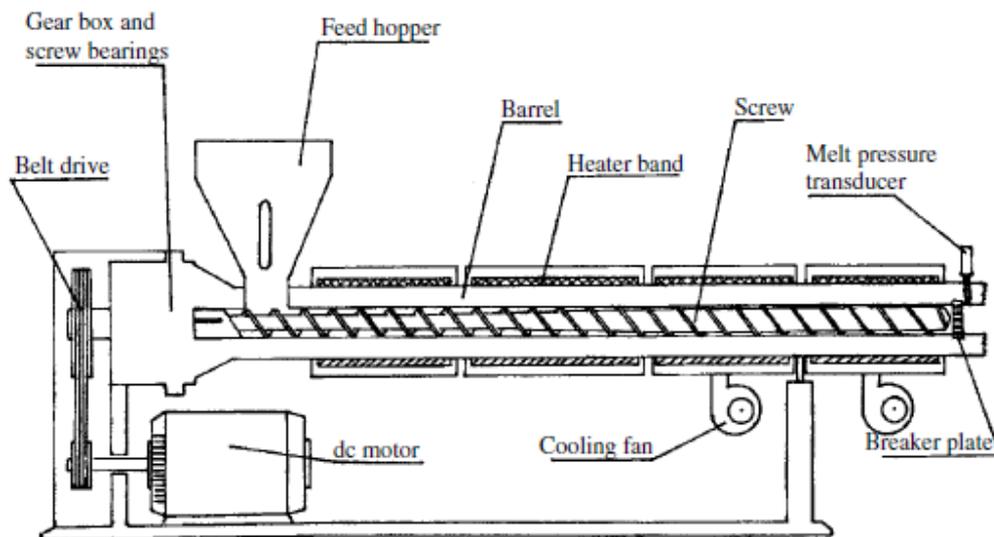


FIGURE 5.29 Single-screw extruder.

Na operação, a resina entra na garganta da alimentação e cai na rosca. A rosca é acionada com velocidade variável e gira dentro de um cilindro de aço termicamente endurecido. Enquanto a rosca gira, a resina é transportada para frente e é comprimida, fundida, e homogeneizada. Uma rosca bem projetada com grande L/D melhorará a fusão e a mistura, junto com o fornecimento de melhor aparência do parison e de menor variação na espessura de parede. Com roscas de grande L/D, a temperatura do fundido é igualmente mais fácil de controlar e a taxa de produção é melhorada. As desvantagens das roscas de grande L/D são o custo mais elevado, uma exigência de maior potência, e um tempo de residência maior do material no cilindro, que deve ser evitado com materiais altamente sensíveis tais como o PVC que facilmente se degradam.

A rosca cria uma grande quantidade de calor de fricção. Se demasiado calor é desenvolvido, a temperatura do fundido pode tornar-se demasiado elevada para o bom processamento, ou a resina plástica pode termicamente degradar. Para impedir que isto ocorra, o calor adicional é removido resfriando o cilindro. Em extrusoras pequenas, de aproximadamente 2pol. (50mm) e menores, o resfriamento é feito geralmente com ventoinhas comandadas por um controlador de temperatura. Em extrusoras maiores, o calor adicional é removido mais eficazmente circulando água ou óleo com temperatura controlada, através de canais que envolvem o cilindro e às vezes também através do centro da rosca.

O aquecimento externo pelas cintas de calefação do cilindro é exigido sempre durante a partida para fundir o material, mas uma vez que a rosca começa a girar, o calor de fricção (de cisalhamento) transforma-se na fonte primária de calor para manter o processo de fusão. Durante a operação normal, aproximadamente 80% do calor para fundir o plástico vem da ação de aquecimento pela fricção ou cisalhamento da rosca, com aproximadamente 20% oriundo da calefação. Depois que o plástico fundido alcança a extremidade do cilindro, passa através do conjunto de telas, placa perfurada e matriz. O conjunto de telas serve para filtrar todo o corpo estranho que possa ter entrado na extrusora com a alimentação do plástico. Para impedir as “listras quentes” na peça acabada, que são causadas pela degradação térmica do material aprisionado, a superfície interior do cabeçote é projetada polida, sem cantos vivos ou bordas afiadas. Para manter a temperatura apropriada do fundido, o conjunto do cabeçote/matriz é aquecido na parte externa por cintas de calefação.

### **3.3.2 A unidade de cabeçote/matriz da moldagem por extrusão sopra**

A função do cabeçote/matriz é manter o fundido a uma temperatura e viscosidade constantes dando forma consistente ao parison em taxa e espessura desejada de parede. (Nota: a taxa e a espessura de parede podem ser variadas intencionalmente enquanto o parison está sendo formado.) Na maioria de moldes de sopra, a unidade do cabeçote/matriz desvia o fundido através de um ângulo de 90° da horizontal para a vertical, extrudando o parison para baixo. No caso de algumas “máquinas tipo carrossel,” o parison pode ser extrudado para cima. Há dois tipos de cabeçotes do parison: de alimentação central e de alimentação lateral.

#### **3.3.2.1 Matriz de alimentação central**

Na matriz de alimentação central, o fluxo é verticalmente descendente em torno do núcleo (figura 5.30). A vantagem principal da matriz de alimentação central é que o fundido flui uniformemente para baixo em torno do núcleo. Não há nenhuma razão para uma porção do fundido fluir mais rapidamente do que outra. Uma desvantagem é que o núcleo deve ser suportado dentro da unidade do cabeçote/matriz por uma sustentação perfurada ou uma configuração de “aranha”. A sustentação perfurada ou a aranha mantêm o núcleo centrado dentro do cabeçote, proporciona ao parison uma espessura de parede uniforme na saída da matriz. As perfurações na sustentação ou as aberturas entre os braços da aranha permitem do fundido escoar completamente. A sustentação perfurada é geralmente o método escolhido porque mantém o fluxo do fundido mais uniforme.

Ambos os tipos de sustentação causam linhas de fluxo (linhas de solda) no parison, porque o escoamento do fundido deve se dividir para passar em torno das porções sólidas contínuas da sustentação e depois tornam a se reunir. As linhas de fluxo podem conduzir a uma peça moldada com aparência pobre e reduzem a força na área das linhas de fluxo. Determinados projetos de matrizes de alimentação central e lateral, chamados cabeçotes de fluxo em espiral, podem reduzir

extremamente ou eliminar linhas de fluxo ou de solda no parison e são amplamente utilizados por este motivo.

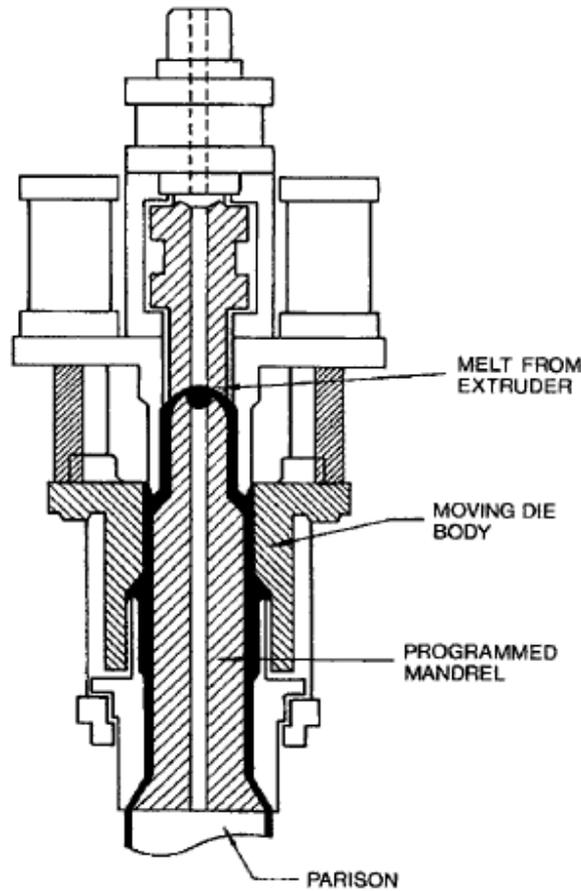


FIGURE 5.30 Center-feed die.

### 3.3.2.2 Cabeçotes/matriz de alimentação lateral

Com cabeçotes/matriz de alimentação lateral, o fluxo do fundido entra em um lado do núcleo (figura 5.31) e é guiado em torno do núcleo através de canais para dar forma a um tubo uniforme a ser extrudado. Não há nenhuma linha de solda múltipla, mas é mais difícil conseguir uma taxa de fluxo uniforme em toda abertura em torno da matriz porque uma parcela do fundido deve passar em torno do núcleo enquanto outra parcela flui diretamente à abertura da matriz. Cada construtor de moldes utiliza projetos próprios para conseguir um fluxo uniforme.

### 3.3.2.3 Espessura de parede

A espessura de parede em torno da circunferência do parison é ajustada por um jogo de parafusos no orifício da matriz. O controle da espessura de parede ao longo do comprimento do parison é possível com uma matriz de forma apropriada e um mandril que possa ser movido axialmente dentro do corpo da matriz.

### 3.3.2.4 Cabeçote acumulador

As máquinas com cabeçote acumulador são usadas para soprar grandes peças ou recipientes. A resina é fundida na extrusora e bombeada ao acumulador, onde permanece de prontidão para o ciclo seguinte, como discutido na seção 3.2.3.2. A máquina de rosca recíproca, em que a resina fundida é acumulada e preparada na extrusora é mostrada na figura 5.32.

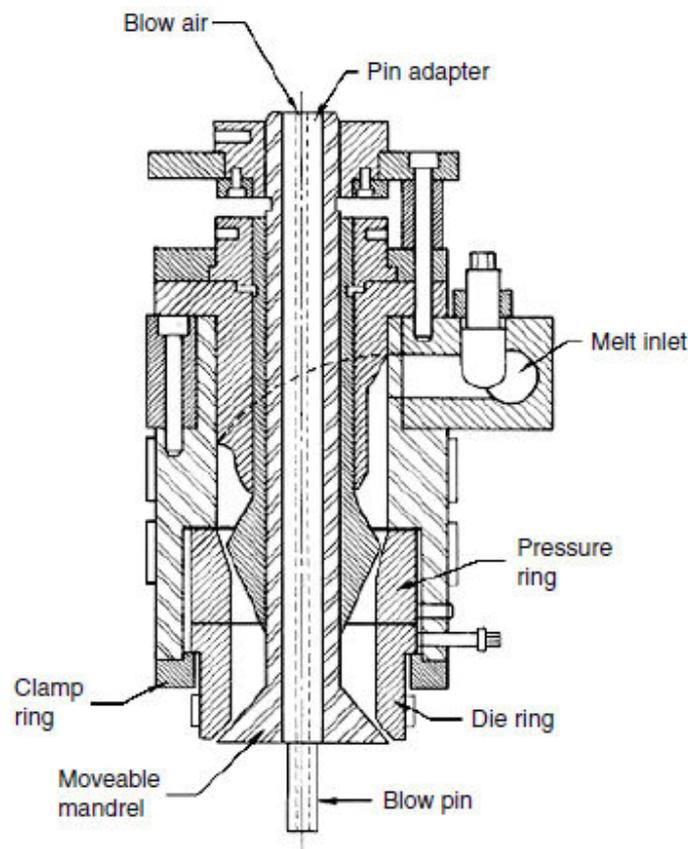


FIGURE 5.31 Side-feed die.

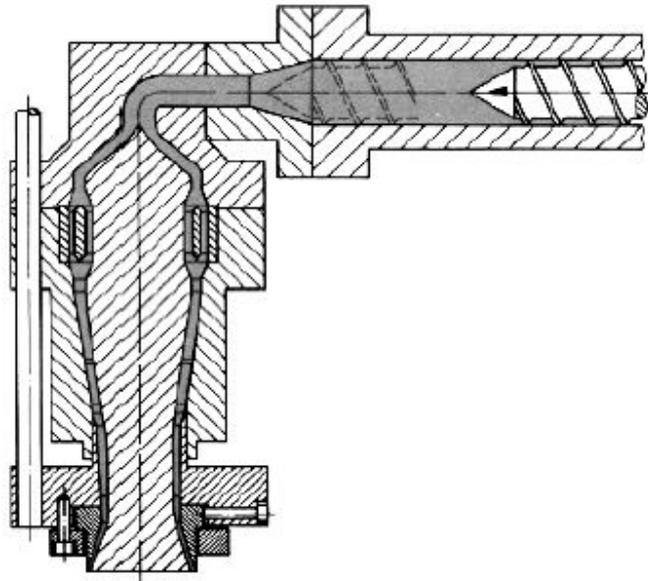


FIGURE 5.32 Reciprocating screw transfer.

### 3.3.3 A matriz e o mandril

A matriz (fêmea) e o mandril (chamado também de macho, ou pino) são feitos sob medida de acordo com a espessura desejada do diâmetro e da parede do parison. Na face da matriz, o fundido deve fluir em uma taxa consistente em torno de toda a matriz para fornecer a espessura de parede uniforme. O corpo da matriz é de seção de formato em anel (anular) em sua extremidade. É igualmente a área de funcionamento onde o volume é mantido constante. O comprimento do corpo da matriz deve ter entre 10 a 40 vezes as dimensões da sua abertura (ou do entalhe da matriz). Um corpo relativamente longo da matriz reduzirá o inchamento do parison e os defeitos de superfície causados pela fratura do fundido, mas aumentará a pressão anterior do fundido na extrusora. Isto pode melhorar a mistura, mas pode igualmente aumentar a temperatura do fundido e pode reduzir a produção máxima da extrusora, possivelmente limitando a taxa de produção ou aumentando o tempo de queda ou escoamento (tempo da formação do parison). Uma matriz de comprimento de corpo menor, conjuntamente com uma taxa elevada de extrusão, pode conduzir à aspereza de superfície exterior no parison e na peça soprada. A determinação do comprimento correto do corpo da matriz exige uma combinação de experiência e de tentativa e erro. A figura 5.33 mostra os dois tipos de mandril e matriz: convergente, que reduz o mandril, e divergente, que amplia o mandril. Se um projeto convergente ou divergente será usado depende do projeto do cabeçote/matriz e do tipo de máquina.

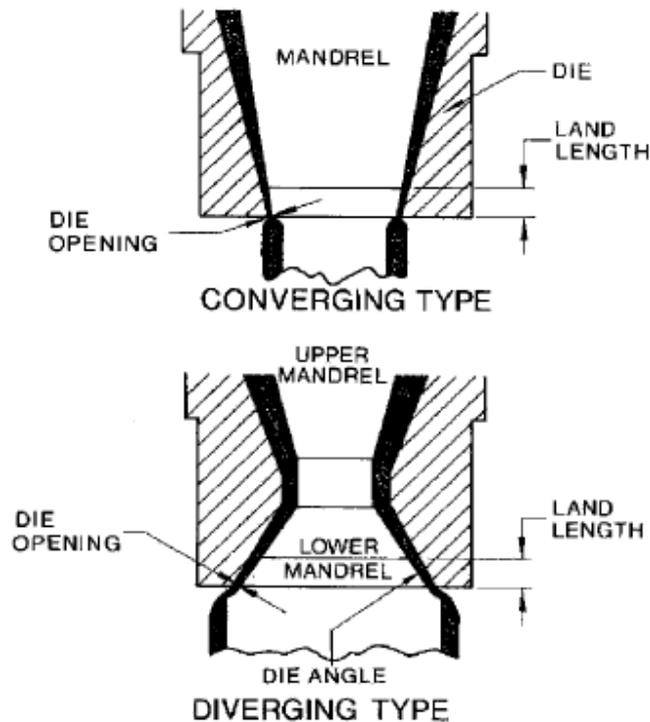


FIGURE 5.33 Converging and diverging dies.

### 3.3.3.1 Inchamento na matriz

Quando a resina fundida sai da abertura da matriz, incha, crescendo em diâmetro e espessura e diminuindo no comprimento. O termo para este fenômeno é inchamento da matriz, que é um nome impróprio desde que é o plástico fundido que incha e não o metal da matriz. A quantidade de inchamento depende do tipo da resina, tipo da máquina, temperatura do fundido, temperatura da matriz, projeto da matriz, e a taxa de formação do parison. O tamanho e a forma da abertura ou do entalhe da matriz devem ser projetados para compensar ou para corrigir este inchamento.

### 3.3.3.2 Ajuste do Parison

A finalidade do anel de ajuste na matriz é ajustar de um lugar para outro um fluxo plástico desigual em torno do parison. Uma causa é o mandril descentralizado; outras são variações nas temperaturas do fundido ou na superfície da matriz ou variações no material. O anel de ajuste é um anel móvel na base (saída) da matriz. Pode ser movimentado com os parafusos de ajuste. Mover este anel de ajuste muda a folga da abertura da matriz por onde o plástico flui. Se o fluxo do fundido através da abertura da matriz é desigual, a parede do parison será mais grossa em um lado do que em outro. Isto faz com que o parison curve-se para o lado mais quente, que será o lado mais grosso. Para corrigir o fluxo, isto é, para conseguir a espessura de parede uniforme, os parafusos do anel de ajuste devem sempre ser apertados no lado oposto ao sentido da curvatura (figura 5.34).

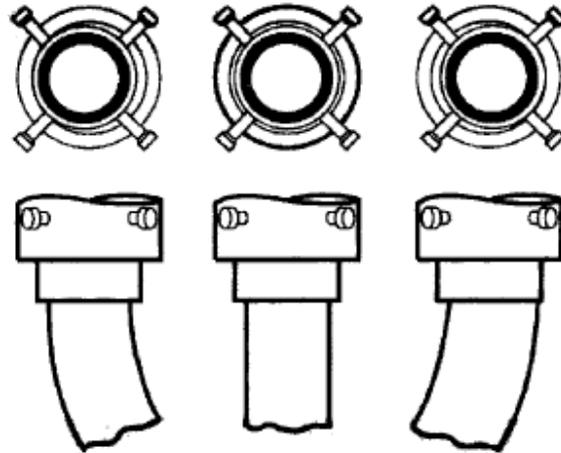


FIGURE 5.34 Head adjustment to achieve uniform parison wall gauge.

### 3.3.3.3 Usinar a matriz

Usinar a matriz é uma técnica usada para melhorar a distribuição da espessura de parede no perímetro de uma peça moldada por sopro. Usinar a matriz é também conhecido como formatação oval, e pode ter outros nomes descritivos. É um trabalho que consiste em abrir mais a folga da matriz para acrescentar a espessura em uma porção longitudinal específica do parison. Isto deixa a seção mais grossa no parison extrudado na área de problema da peça, que é geralmente onde foi difícil manter a espessura de parede adequada, assim aumentando a espessura. Abrir o orifício da matriz é feito usinando uma área no lábio da matriz segundo as indicações da figura 5.35.

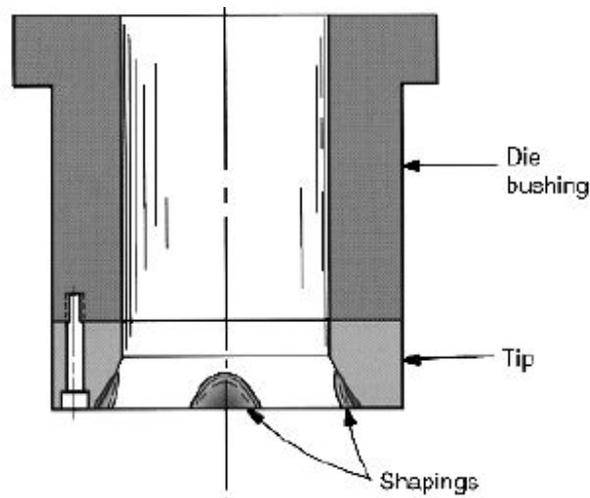


FIGURE 5.35 Die shaping.

### 3.3.4 Programação do Parison

A menos que a temperatura for demasiado elevada, o parison permanecerá em uma peça como foi formado, mas quando é extrudado está sujeito à gravidade e conseqüentemente fica com menor espessura na parte superior. Esta diminuição da espessura é conhecida como escoamento, queda, extração para baixo, garganta para baixo, ou estiro para fora. Tal parison terminara por ser mais grosso na parte inferior e mais fino na parte superior, tendo por resultado uma peça com espessura de parede não uniforme. A queda do Parison é afetada pelos mesmos fatores que aqueles que afetam o inchamento, isto é, pelo tipo da resina, tipo da máquina, temperatura do fundido, temperatura da superfície da matriz, projeto da matriz, e a taxa de formação do parison. Quando o inchamento e a queda tenderem a trabalhar um contra o outro (isto é, o extrudado expande e encurta com inchamento enquanto dilui e estica com a queda), o resultado final é geralmente um parison (e uma peça final) mais grosso na parte inferior e mais fino na parte superior. O escoamento transforma-se ainda mais em um problema quando a formação do parison é demorada, tendo em vista que a gravidade tem mais tempo para atuar no parison, resultando em mais estiro e diminuição de espessura na parte superior.

Quando o parison alcança um comprimento crítico ele parece extrudar mais rapidamente, indicando que a parte superior está sendo estirada e diluída. Esta circunstância pode ser superada gradualmente aumentando a espessura da parede durante a extrusão movendo o mandril dentro da matriz, num processo chamado de programação do parison. É feita com um dispositivo cronometrado automático que levante o mandril a alguma distância predeterminada em um tempo apropriado, para expulsar mais fundido quando o parison estiver sendo formado. Quando o molde se fecha, o mandril retorna a sua posição original (figura 5.36).

A programação de parison pode igualmente ser usada para alterar deliberadamente a espessura da parede da peça em posições selecionadas. Movendo o mandril para cima ou para baixo durante a extrusão, a espessura da parede do parison pode ser aumentada ou diminuída para compensar configurações irregulares da peça além do que somente para correção da queda. A folga da abertura da matriz é o fator importante que afeta a espessura da parede do parison (figura 5.37).

Os dispositivos de programação modernos do parison usam um microprocessador para controlar o movimento inconstante do mandril (controlar até 100 pontos é comum). Um método adicional de controlar a espessura da parede é variar a pressão da extrusão com abertura fixa da matriz, mudando a rotação da rosca (RPM). A maior rotação da rosca aumenta a pressão e a saída do fundido; a rotação menor reduz a pressão e a saída. Um exemplo de um controlador de programação do parison onde as pressões possam ser monitoradas é mostrado na figura 5.38.

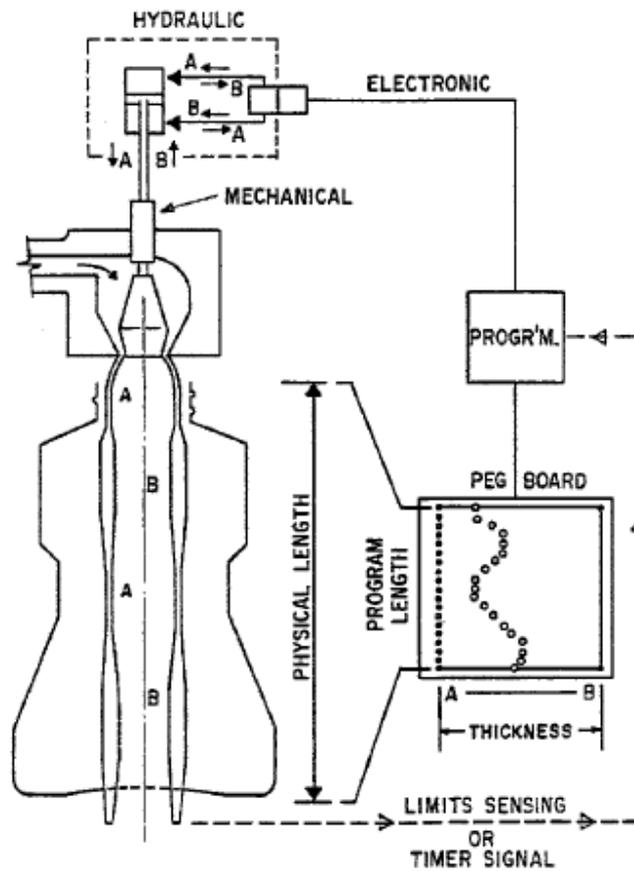


FIGURE 5.36 Parison programming.

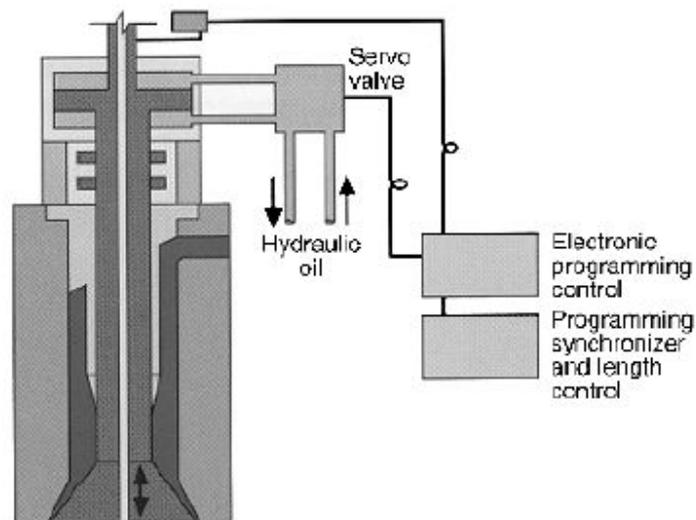


FIGURE 5.37 Programmed mandrel movement to achieve desire parison and part wall thickness.



**FIGURE 5.38** Parison programmable controller. (Courtesy of WEK South Corp., Reidsville, NC.)

#### **3.3.4.1 Relação de Sopros**

A relação de sopros é definida como a relação do diâmetro médio da peça acabada pelo diâmetro médio do parison (Figure 5.39). A maior relação para aplicações com paredes espessas é de 5:1. Para a maior parte das aplicações, 3:1 é o preferível.

#### **3.3.5 Sistemas de bloqueio do molde**

Os moldes de sopros são montados em molduras estruturais que são movimentadas pelo sistema de bloqueio. Molduras estruturais de alumínio são usadas frequentemente. São leves e duras e podem ser movimentadas rapidamente pelo sistema de bloqueio. Sistemas de bloqueio podem ser do tipo pneumático, de alavanca, ou hidráulico. Não importa qual o sistema utilizado, a pressão deve ser aplicada de forma consistente e uniforme para obter a abertura, o fechamento, e o aperto consistentes. Se a pressão de fechamento não é consistente, pode haver problemas (por exemplo, não comprimir externamente a guarnição na área da alça de um recipiente). Para obter o controle exigido muitos usuários preferem as máquinas que têm sistemas de bloqueio baseados na hidráulica proporcional.

Os sistemas de bloqueio variam baseados na configuração da peça. Basicamente, há três tipos. O tipo de formato em L tem a linha divisora em um ângulo de 90° à linha central da extrusora. O tipo de formato T tem a linha divisora em linha com a linha central da extrusora. A abertura do molde é perpendicular à linha central da máquina. O terceiro tipo é o tipo de pórtico, no qual a extrusora e matriz são arranjadas de forma independente da unidade de bloqueio. Este arranjo permite a braçadeira ser posicionada na forma de L ou de T sem ser amarrada diretamente ao conjunto da extrusora. Não obstante o arranjo, suficiente abertura na área da moldura estrutural do molde é exigida para acomodar os sistemas do parison.

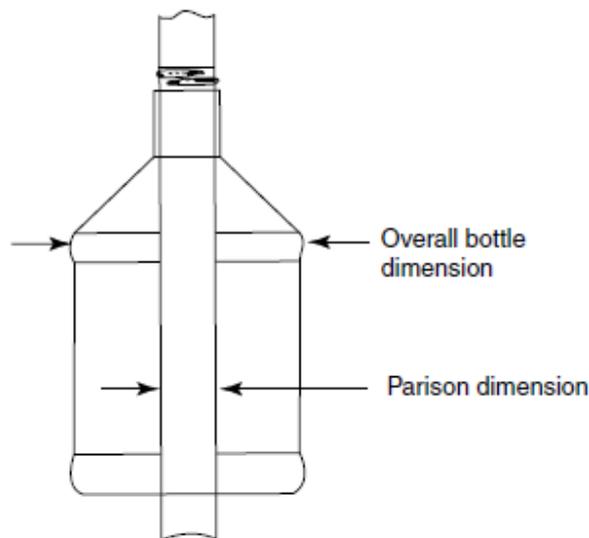


FIGURE 5.39 Dimensions used to determine the average blow-up ratio.

### 3.3.5.1 Requisitos do sistema de bloqueio

Ao sistema de bloqueio é exigido realizar diversas tarefas. Por exemplo:

- Fechar e apertar o molde. Mesmo em grandes moldes, a velocidade de fechamento do molde deve ser de 10 pol/sec. (250 mm/s). A quantidade de força exigida na braçadeira mantendo o molde fechado durante o processo de sopro dependerá da área de superfície projetada da peça e da pressão de sopro necessária para expandir completamente o parison fundido dentro da cavidade de molde. Geralmente, para cada polegada quadrada da área de superfície da peça, aproximadamente 145 lb/pol<sup>2</sup> (1Nm/m<sup>2</sup>) de força de aperto são normalmente necessários.
- Para esmagar o material na base para dar forma a uma solda e (quase) separar o *flash* 2 a 20 ton/ft (0,6 a 6 Nm/m) da seção de bloqueio podem ser exigidas.
- Mover o molde em velocidades diferentes para minimizar choques, reduzir o rasgamento do produto, e para obter soldas mais fortes. O fechamento a alta velocidade final pode melhorar a força da solda.
- Moldar e dar forma à parte superior do produto.
- Abrir o molde de modo que o produto possa ser ejetado.

### 3.3.5.2 Operação da braçadeira

É extremamente importante que a abertura máxima e mínima sejam facilmente ajustadas para compensar vários tamanhos de moldes. O fechamento da moldura estrutural deve estar sincronizada e paralela para produzir peças aceitáveis. Se este não é o caso, haverá um desgaste excessivo nas buchas, e resultarão peças inaceitáveis. O fechamento total das molduras deve ser suave, sem hesitação ou recuos, especialmente durante o fechamento final, caso contrário resultará num esmagamento ineficiente.

### 3.3.6 Prensas

O método de acumulador usa geralmente uma prensa estacionária, às vezes em trilhos que são movimentados somente para a instalação do molde. No método contínuo, há diversos sistemas alternativos de prensa.

### 3.3.6.1 Prensa lançadeira ou recíproca

A prensa recíproca usada freqüentemente com moldes de cavidades múltiplas, têm vários parisons que estão sendo extrudados da matriz enquanto as metades do molde sobem ou se movem lateralmente. Um pino de sopro ou uma agulha oca incorporam o parison quando as metades do molde forem de levantamento ou deslizantes lateralmente.

### 3.3.6.2 Prensa com movimento subindo ou vertical

Um cilindro hidráulicamente operado nas molduras estruturais aperta um molde em torno do parison e separa-o do parison extrudado. O molde se move para trás e para baixo para o ciclo de sopro e resfriamento. Após a ejeção da peça, a braçadeira levanta-se outra vez para receber outro parison que está sendo extrudado neste mesmo tempo. (figura 5.40).

### 3.3.6.3 Prensa com movimento deslizante ou horizontal

Neste tipo de máquina o conjunto da braçadeira move o molde para o lado para sopro e resfriamento enquanto um segundo conjunto de braçadeira fecha um outro molde sobre o parison continuamente extrudado. Após resfriamento, a primeira peça é ejetada, e o conjunto da braçadeira se move de volta e fecha em outro parison enquanto o segundo conjunto de braçadeira se move para o lado (figura 5.41).

Ambos os métodos, de subida e de deslizamento reduzem o tempo de ciclo desde que nenhum tempo se perca quando o sopro e o resfriamento terminam. A taxa de extrusão do parison é ajustada de modo que combine com a duração exigida para o estágio de sopro e resfriamento do ciclo.

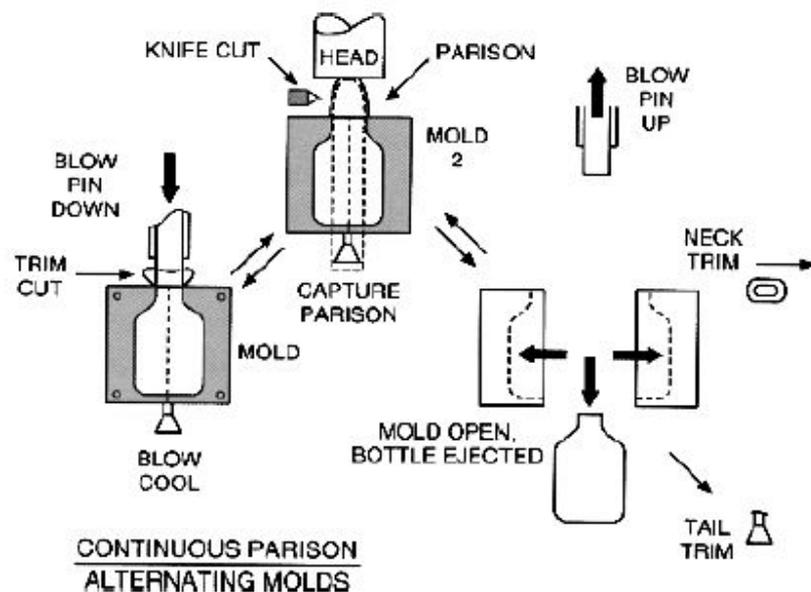


FIGURE 5.40 Rising (vertical) press.

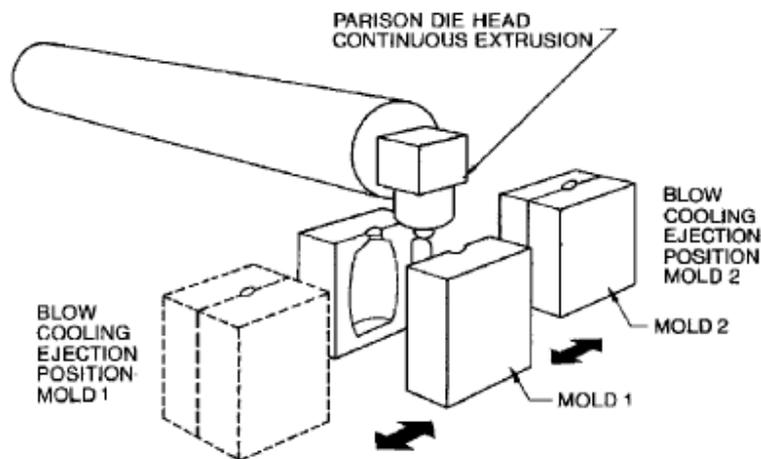


FIGURE 5.41 Sliding horizontal moving press.

### 3.3.6.4 Válvula direcional

Neste tipo de máquina, uma válvula direcional montada na extremidade da extrusora desvia a massa fundida de um conjunto de cabeçote/matriz de um lado, para outro conjunto de cabeçote/matriz do outro lado. Um lado está em sopro e resfriamento enquanto um parison está sendo extrudado no outro conseqüentemente. Como com outros métodos contínuos, o tempo da extrusão tem que ser combinado ao tempo de sopro e resfriamento. Estes cabeçotes/matriz podem igualmente ter diversos canais de parisons de modo que múltiplas cavidades possam ser usadas para produzir ao mesmo tempo diversas peças. Uma agulha do pino do sopro é posicionada no molde, preferivelmente perto do esmagamento, para penetrar eficazmente o parison para sopro. No caso dos moldes de garrafas, um pino de sopro é montado no conjunto da braçadeira.

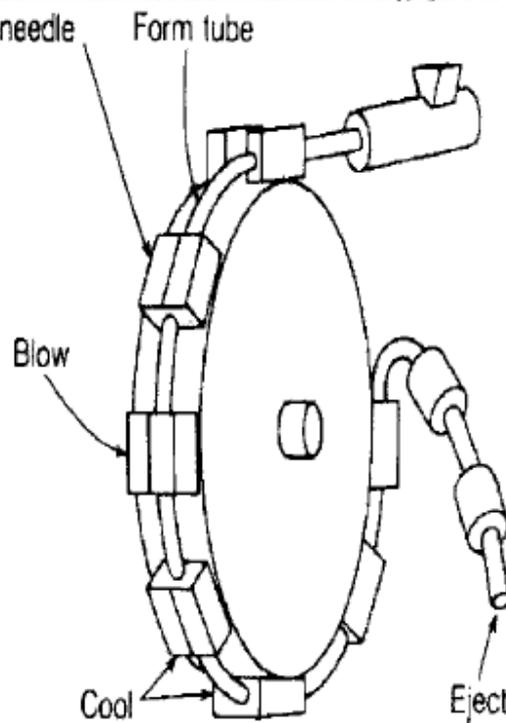
### 3.3.6.5 Roda giratória contínua (roda gigante)

Para produção muito elevada e de longo período de tempo, como para produtos de higiene pessoal, uma roda giratória é o método de produção preferido. Uma roda vertical é montada ao lado da matriz. Os moldes de sopro múltiplos bi-partidos são montados na roda. Cada um dos moldes é operado independente, hidraulicamente ou pneumaticamente. Quando a roda girar, um molde passa de cada vez sob a matriz para receber e fechar-se em torno do parison. O movimento é contínuo. O ar de sopro é introduzido através de uma agulha oca e penetra o parison quando o molde fecha ou um pouco depois (figuras 5.42 e 5.43). O ar é alimentado através do eixo da roda, assim como a água usada para resfriar os moldes. Os cames giratórios, situados no eixo da roda, controlam: a abertura do molde, o fechamento do molde, o começo do sopro do ar, e a inserção da agulha de sopro.

As máquinas deste tipo podem extrudar o parison para baixo ou para cima, onde é puxado longitudinalmente conforme necessário. Estas rodas podem carregar até 20 ou mais moldes. A rotação do transportador de moldes é ajustada para fornecer o tempo certo para que cada molde sobre, esfrie, e ejet o produto. A velocidade da extrusão do parison é coordenada com a velocidade de rotação da roda. As peças ejetadas são conectadas por seções do parison, que exige etapa de desbaste e de acabamento em ambas as extremidades das peças. O peso, e conseqüentemente a espessura da parede das peças fundidas, podem ser reduzidas ou aumentadas (dentro de limites) variando a velocidade da extrusora ou a velocidade de rotação da roda.



**FIGURE 5.42** Uniloy Milacron vertical wheel blow molding system.



**FIGURE 5.43** Continuous rotary wheel.

### 3.3.6.6 Roda de torre giratória (carrossel)

Este tipo de máquina combina as vantagens da roda e tecnologias da torre e pode ter quatro ou mais estações. O parison é extrudado continuamente. O molde fecha-se e o parison é cortado; então a roda gira trazendo o molde seguinte na posição para fechar sobre o parison. Este processo é repetido continuamente, com ocorrência de sopro e resfriamento em estações não ativas. Na

última estação, a peça é ejetada. Este método é usado para taxas de produção elevadas com recipientes maiores e é mais flexível para mudanças do molde (figura 5.44).

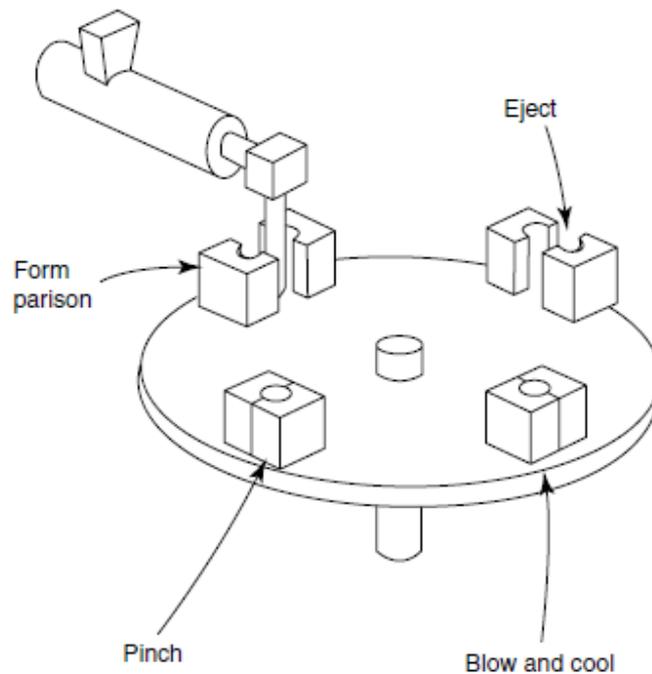


FIGURE 5.44 Shuttle rotary wheel.

### 3.4 MOLDES DE SOPRO

Um molde de sopro consiste em diversas peças, contando seus vários inserts, mas é feito geralmente de duas metades. Quando o molde é fechado, estas metades dão forma a uma ou várias cavidades, que encerram um ou vários parisons para soprar. As duas metades são geralmente semelhantes para recipientes, mas para as peças industriais são freqüentemente diferentes. Por exemplo, um molde para uma caixa de parede dupla tem uma cavidade fêmea em uma metade e um núcleo macho na outra.

#### 3.4.1 Materiais do molde

Por causa das pressões comparativamente baixas de aperto e de sopro, um molde de sopro não precisa ser feito por exemplo de um material de elevada força elástica, com a exceção dos moldes para muito longo tempo de produção. As matérias-primas predominantes para moldes de sopro são o cobre berílio, ligas de alumínio fundido, ligas de zinco, e ocasionalmente, bronze. O berílio é um metal leve que oferece excelente condutibilidade térmica. Grande cuidado deve ser tomado usando ligas de cobre berílio por causa da natureza tóxica do berílio.

Das ligas acima, o alumínio é o mais macio. Os moldes de alumínio desgastam facilmente e são danificados mais facilmente no seu alojamento. Por outro lado, são os mais fáceis de usar. Os moldes de alumínio e de cobre berílio podem ser ligeiramente porosos. Ocasionalmente, os moldadores de sopro experimentaram alguma permeabilidade de tais moldes à resinas viscosas. Isto pode afetar a aparência da peça soprada. A solução é revestir o interior das metades do molde com um selante (tal como um selante para radiador) que não afete a transferência térmica entre a resina fundida de encontro ao molde e as paredes do molde.

Enquanto os moldes de aço duram por mais tempo e estão menos propensos ao desgaste ou a danos do que os moldes de ligas leves, são mais pesados, mais caros, e mais difíceis de usar do que aqueles feitos de liga não-ferrosa. Um peso mais elevado significa mais tempo de instalação no seu alojamento. Além disso, a condutibilidade de calor do aço é inferior àquela dos três materiais não ferrosos principais para moldes. Isto conduz a uma velocidade de arrefecimento mais lenta e a um ciclo de resfriamento correspondentemente mais longo e conseqüentemente, uma taxa de produção mais baixa para moldes de aço. As taxas de transferência térmica e diversas outras propriedades de vários materiais para molde são dadas na tabela 5.4.

TABLE 5.4 Properties of Common Mold Materials

	Thermal Conductivity (Btu-in./ft <sup>2</sup> hr-°F)	Density (lb/in <sup>3</sup> )	Hardness <sup>a</sup>	Tensile Strength (lb/in <sup>2</sup> )	Composition
Beryllium- copper alloy					
CA 172	770	0.298	37 RC	150,000	1.8% Be
CA 824	750	0.304	34 RC	135,000	1.65% Be
Aluminum alloy 7075 T6	900	0.101	150 BR	72,000	1.6% Cu, 0.23% Cr, 5.6% Zn, 2.5% Mg
AISI P-20 steel	200	0.282	30-60 RC, 290-330 BR	120,000	0.35% C, 1.0% Ni, 1.0% Cr
AISI 420 stainless steel	166	0.28	50 RC	213,000	0.38% C, 0.8% Si, 13.6% Cr, 0.5% Mn, 0.3% V
Kirksite A	640	0.25	100 BR	35,000	Contains Cu, Al, Mg

<sup>a</sup>RC, Rockwell C; BR, Brinell.

### 3.4.2 Moldes de extrusão sopro

Um molde de sopro consiste em diversas peças, contando seus vários insertos, mas consiste geralmente em duas metades (figura 5.45). Bordas de esmagamento são fornecidas geralmente em ambas metades finais do molde. Um pino de sopro pode ter a função adicional de formatar e dar acabamento ao interior do gargalo. Ambas as metades do molde devem ter as canais internos para a água de resfriamento. Os jogos dos pinos de guia e das buchas ou das placas laterais em ambas metades do molde asseguram o perfeito alinhamento da cavidade e o fechamento do molde. Os dispositivos exatos de guia em ambas as metades do molde reduzem o tempo de instalação.

Em alguns processos de sopro, o fechamento do molde é realizado em duas etapas, primeiramente (ao redor de 6 a 13 mm) em alta velocidade com mais baixa pressão enquanto estão com a maior separação, e então quando se aproximam, mais lento, com pressão mais elevada. A baixa pressão e a baixa velocidade ajudam a proteger o molde de danos pelas ferramentas ou por qualquer outra coisa que possa ter caído entre as metades (que, entretanto, nunca deve acontecer em uma boa montagem no alojamento). Embora a baixa velocidade e a baixa pressão possam

impedir dano ao molde, não protegem o operador de ser severamente ferido se ficar exposto entre as suas metades de fechamento. Acidentes com travamento entre as metades de fechamento do molde são geralmente um resultado de alguém que desativa uma porta ou outro dispositivo de segurança durante a instalação do molde, ou realizando manutenção da máquina, ou pesquisando defeitos, enquanto pressiona a operação. Nunca se deve desativar um dispositivo de segurança ou iniciar a operar uma máquina que tenha um ou vários mecanismos de segurança desativados. Além do perigo de ferimento pessoal, a desativação de mecanismos de segurança da máquina é ilegal sob o aspecto da segurança ocupacional e da saúde (OSHA) e pode conduzir a multas pesadas para a empresa.

Os moldes não são posicionados necessariamente para serem verticais, isto é, na linha do parison. Ocasionalmente, podem ser inclinados intencionalmente. Isto conduzirá a uma distribuição não uniforme da resina, que possa ser útil, por exemplo, quando peças irregulares, tais qual um jarro com uma alça está sendo soprado. Pode igualmente conduzir a alguma economia de comprimento do parison.

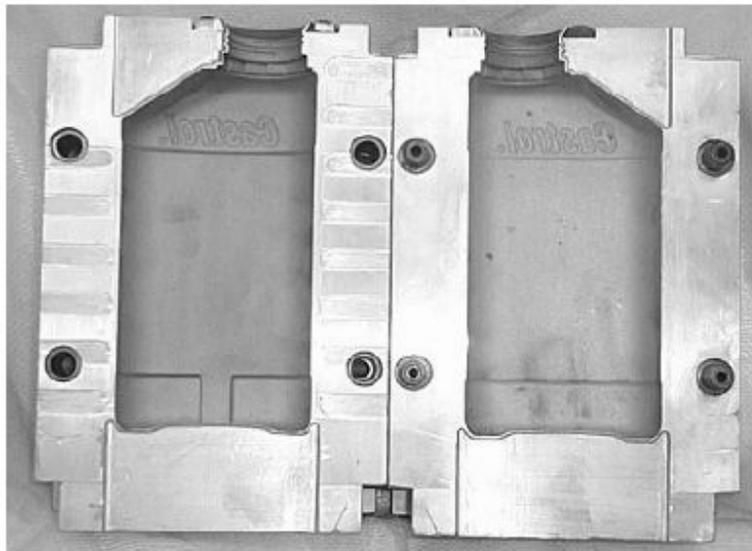


FIGURE 5.45 Quart-size bottle mold cavities for Castrol motor oil.

### 3.4.2.1 Esmagamento

Devido ao esforço de alta pressão e mecânico exercido na parte inferior do molde durante o fechamento quando ele esmaga junto uma extremidade do parison, a peça de esmagamento em um molde de metal não ferroso é freqüentemente um inserto feito de aço duro e resistente. O efeito na peça soprada aparece sempre como uma linha de solda. A seção de esmagamento não elimina a “cauda” adicional do parison. Seus finais de *flash* são cortados bem próximos, mas não completamente para poder proporcionar um fechamento hermético esmagado do parison fundido ao longo de uma linha reta. Isto é realizado depois mais facilmente cortando ou de alguma outra maneira removendo o excesso de cauda adicional da peça (figura 5.46). Um esmagamento de alta qualidade em um parison de parede espessa é mais difícil de obter do que em um parison de parede fina. Entretanto, muito depende da construção do inserto de esmagamento.

O formato do esmagamento não deve ser de um final de fio de faca, mas, de acordo com alguns moldadores, deve ser formado por acabamento de comprimento aproximado de 0.05 a 0,015 pol. (0,1 a 0,5 mm). O ângulo total externo do esmagamento deve ser agudo, de até 15°. Estas duas

características combinam para criar uma linha de solda que seja rasa na parte externa e dê forma a uma linha contínua com pequena protuberância no interior ou com muito pequeno sulco (figura 5.47). Um sulco, que enfraqueça a parte inferior ao longo da solda, pode ser formado quando faltam estas duas características de esmagamento. Um método de obter linhas de solda mais uniformes é construir “reentrâncias” nas metades do molde nas áreas de esmagamento do parison. As reentrâncias forçam parte da resina fundida para dentro das cavidades do molde produzindo linhas de solda fortes (figura 5.48).

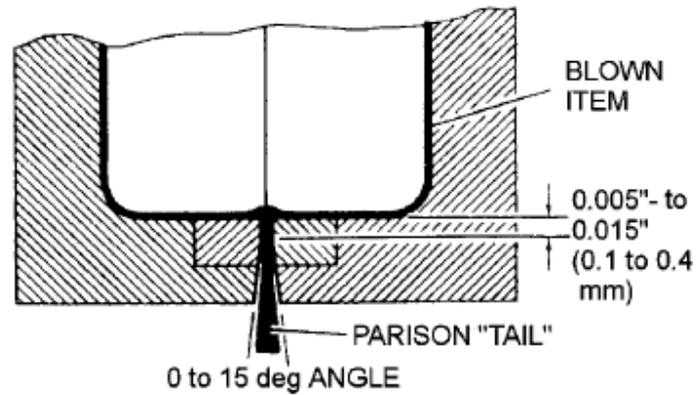


FIGURE 5.46 Pinch-off.

## PARISON WELD LINE

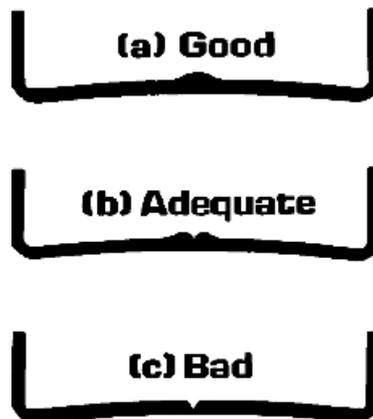


FIGURE 5.47 Weld lines.

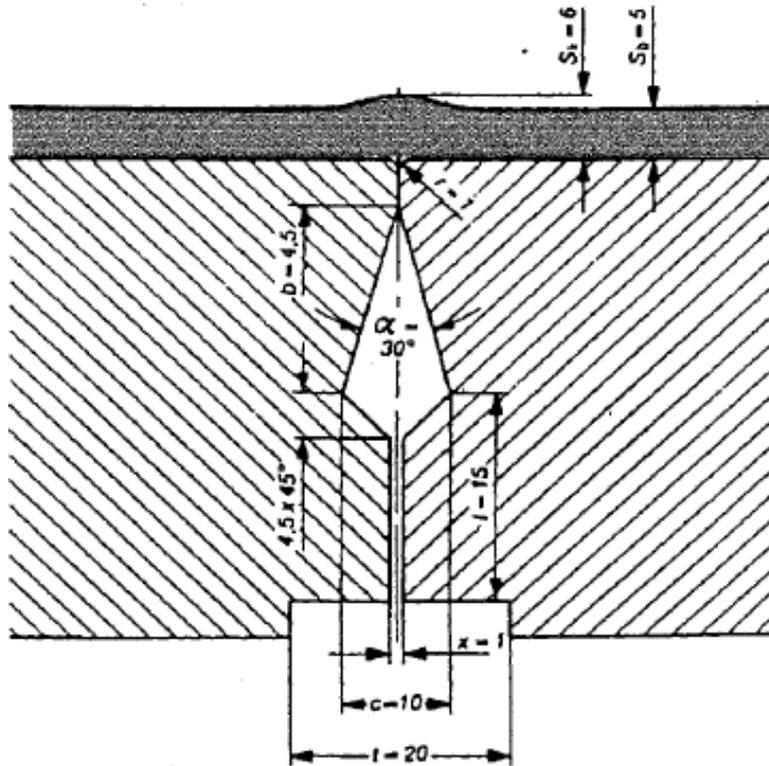


FIGURE 5.48 Pinch-off dam.

### 3.4.2.2 A importância do resfriamento rápido do molde

A transferência térmica rápida através do material do molde é de importância máxima porque, como mencionado, a etapa de resfriamento controla o tempo de ciclo da moldagem por sopro. O resfriamento é de aproximadamente 2/3 ou 66% do tempo de ciclo inteiro do sopro. A boa transferência térmica significa resfriar mais rapidamente, e isto significa mais artigos soprados por hora, isto é, produção mais barata. Esta é a razão principal que para moldes de sopro, as ligas acima mencionadas são preferidas ao invés do aço, mesmo que este seja geralmente mais durável.

Considerando somente sua taxa de transferência térmica, os materiais principais do molde de sopro seguem em ordem da mais alta à mais baixa condutibilidade térmica: (1) cobre berílio, (2) alumínio, e (3) de aço. Devido aos materiais diferentes de molde terem taxas de transferência térmica diferentes, um molde de sopro, à exceção do aço dos insertos de esmagamento, deve ordinariamente ser feito de somente um material. Os materiais diferentes com condutibilidade de calor conseqüentemente diferente em vários pontos do molde conduzirão a resfriamento não uniforme. Isto, por sua vez, pode gerar áreas de tensão diferenciada na peça acabada, deste modo peças que são mais suscetíveis ao empenamento, rachadura, ou falha no uso. Entretanto, algumas peças tirarão proveito das velocidades de arrefecimento diferentes em determinadas áreas da peça, assim que diversas ligas diferentes podem ser usadas no mesmo molde.

As metades do molde de sopro devem sempre ser resfriadas adequadamente para solidificar rapidamente a peça e imediatamente depois do parison ter sido soprado de encontro às paredes do molde. A água de resfriamento pode ser água da rede pública. Se a água tem um índice mineral elevado que possa permitir que sedimentos se estabeleçam nos canais de resfriamento estreitos, um sistema fechado para circular a água tratada deve ser usado. A menos que a água de resfriamento esteja fria o bastante, como no inverno, deve ser resfriada de 40 a 70°F (4 a 20°C) por

um trocador de calor. Uma temperatura tão baixa pode, entretanto, causar a condensação da água nas paredes do molde na parte externa. Alguns moldadores usam água da rede pública não resfriada. Geralmente, a água de resfriamento é re-circulada, isto é, reusada repetidamente durante um longo período. Às vezes, em parte é re-circulada e misturada com a água fresca da rede pública, para manter a temperatura desejada e para economizar.

A água circula geralmente nas metades do molde oco. Às vezes, um sistema de tubulação de cobre é agregado no molde. Entretanto, para criar o fluxo mais útil, canais de água são usinados nas metades do molde. Os canais bem situados asseguram de que a água de resfriamento circule tão perto à cavidade do molde quanto praticável. Os canais devem igualmente estar tão próximos longitudinalmente quanto possível das linhas divisoras causadas pelas linhas da separação das duas metades do molde. As linhas divisoras estão quase sempre ao longo das linhas da separação do molde. Resfriar estas áreas conduzirá ao melhor acabamento de superfície da peça ao longo das linhas divisoras.

Geralmente, os canais de resfriamento são posicionados nas áreas das partes superior e/ou inferior, isto é, em torno do gargalo do frasco ou do esmagamento inferior, ou ambos, e nas áreas de molde onde as maiores massas da resina exigem mais do que em outras áreas. Tais áreas, assim como nas seções de parede mais grossas, exigem frequentemente resfriamento adicional. Caso contrário, o plástico nestas seções pode ainda estar viscoso quando a peça é ejetada, enquanto as seções de parede mais finas já solidificaram. Isto pode conduzir a uma peça deformada que o cliente rejeite devido à contração não uniforme e ao empenamento resultante. Para obter resfriamento e contração uniformes, um sistema de resfriamento simples é usado para cada metade. A linha de resfriamento padrão do molde típico é mostrada na figura 5.49.

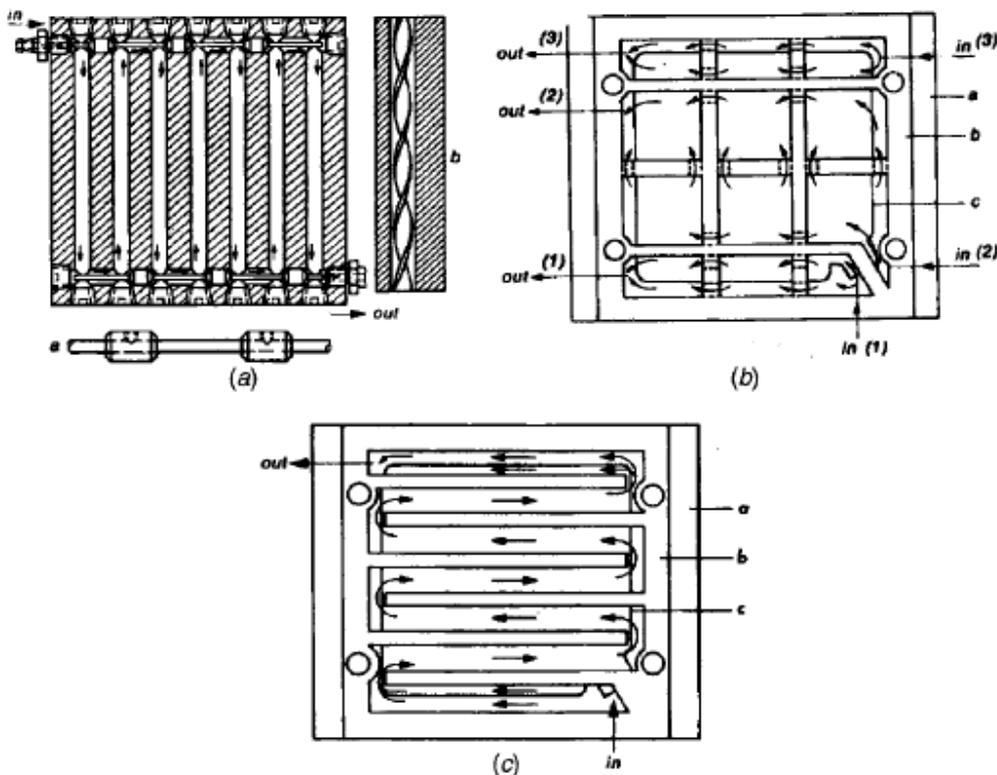


FIGURE 5.49 Mold cooling line patterns.

Ocasionalmente, o pino de sopro é igualmente resfriado. Às vezes, resfriamento com ar na parte externa é fornecido para a cauda esmagada do parison que fica para fora da parte inferior do molde. A cauda é muito mais espessa do que a parede e resfria correspondentemente mais lento. O ar pode igualmente circular no interior da peça fundida para acelerar seu resfriamento. O tempo de resfriamento é afetado fortemente pela temperatura do parison soprado. Mais elevada a temperatura do soprado e mais espessas as paredes, maior o tempo de resfriamento exigido para fazer uma peça.

#### **3.4.2.3 Acabamento de alta qualidade da cavidade do molde sem danos**

Um acabamento de alta qualidade da cavidade de molde e superfícies interiores sem danos são essenciais no molde de sopro para evitar as imperfeições de superfície no produto acabado. Se possível o polimento mais elevado para o produto acabado é desejado, a cavidade de molde deve ser jateada com areia e ter assistência de vácuo para a remoção do ar aprisionado. Se outros acabamentos do produto final são desejados, a cavidade do molde deve ser acabada de acordo. Mesmo um trabalho de usinagem de 1ª linha dentro da cavidade do molde não pode impedir a ocorrência de linhas divisoras, especialmente se o artigo soprado tem uma parede muito fina.

#### **3.4.2.4 Efeitos de do ar e da umidade aprisionados no molde**

Em moldes altamente polidos, o ar pode ficar aprisionado entre as paredes do molde e a peça quente, ainda macia, estragando a superfície da peça. Isto pode acontecer especialmente quando as grandes peças de paredes espessas são sopradas. Nesses casos o molde deve ser ventado, jateado grosseiramente um pouco mais do que com a areia fina, conduzindo a um exterior de superfície fosca, ou por sulcos nas linhas de separação, ou, em casos extremos, por válvulas no molde.

Geralmente, metade periférica da linha divisora é ventada a uma profundidade de 0,002 a 0,004pol. Em áreas de ventagem difíceis, tais como as alças ou os insertos roscados, geralmente furos são usinados nestas áreas de modo que ventem para a atmosfera. Os furos de ventagem são de aproximadamente 0,008 a 0,010pol. no diâmetro. Cuidado deve ser tomado ao perfurar para evitar os canais de resfriamento do molde (figura 5.50). A umidade no ar de sopro pode conduzir a marcas no interior da peça soprada. Isto pode conduzir a taxas elevadas de rejeição, especialmente se a peça é transparente ou translúcida. A umidade no ar de sopro pode ser removida por meio de um trocador de calor que refrigere o ar comprimido, ou usando separadores de umidade nos encanamentos.

#### **3.4.2.5 Injeção do ar de sopro**

A injeção do ar de sopro pode ser feita por vários meios, tais como para baixo com o núcleo, através de uma agulha de sopro introduzida lateralmente através da parede do molde, ou de baixo através de um pino de sopro que se mova para cima na extremidade do parison que se transformará no gargalo (freqüentemente roscado) de um frasco (figura 5.51). Às vezes, dispositivos de sopro diferentes são usados em combinação. Como para cada etapa no ciclo de moldagem por sopro, o tempo e a duração de sopro devem bem ser coordenados com todas as partes restantes do ciclo. Comparado com o tempo de resfriamento, o tempo de sopro é muito curto.

Para obter o insuflamento rápido da peça oca, o volume de ar de sopro injetado deve ser tão grande quanto possível. A abertura com que o ar entra no molde deve, naturalmente, ser adequada. Com o afinamento da parede e o rebaixamento das temperaturas do fundido e do molde, mais rápida a taxa e mais elevada a pressão de sopro deve ser, até aproximadamente 150 lb/in<sup>2</sup> (10,5 kg/cm<sup>2</sup>)

para moldes muito frios e peças de paredes finas. A pressão de sopro elevada exige correspondentemente força elevada da braçadeira para manter firmemente o molde fechado durante a etapa de sopro.

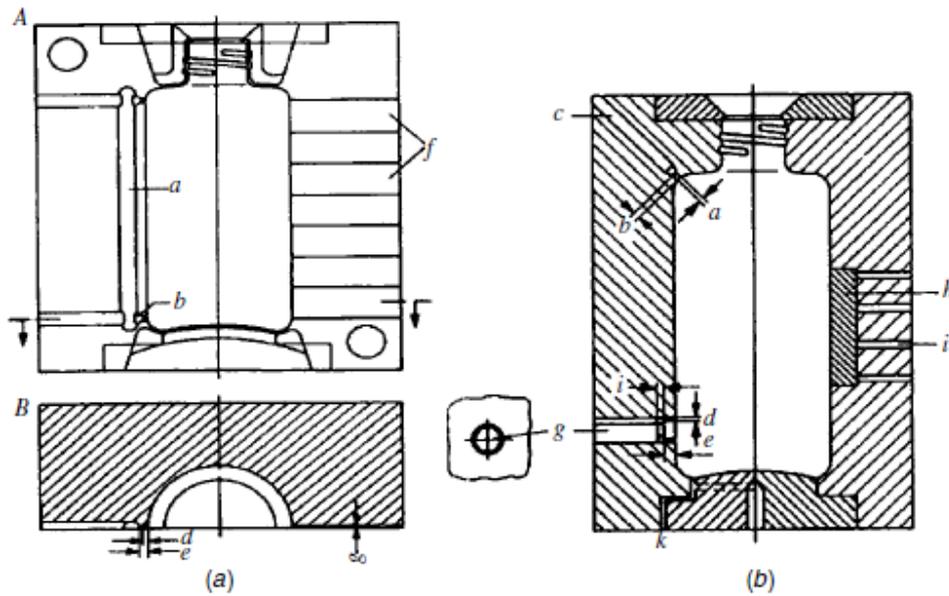


FIGURE 5.50 Mold venting methods.

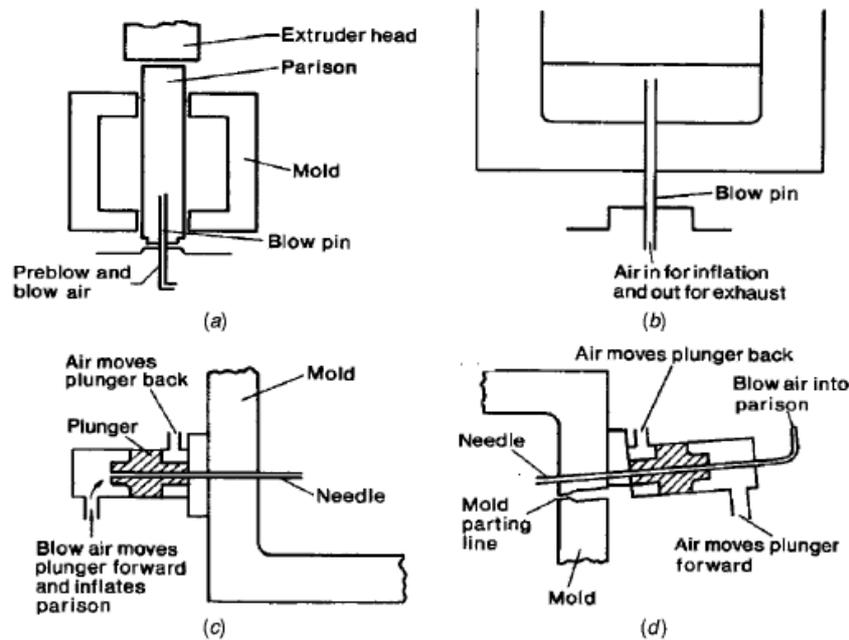


FIGURE 5.51 Blowing methods.

### 3.4.2.6 Ejeção da peça do molde

A ejeção da peça soprada pode ser efetuada para a frente entre as metades do molde ou para baixo, contanto que a prensa seja construída de tal modo que uma queda livre entre as metades abertas do molde seja possível. Muitas máquinas têm um ejetor automático, ou o conjunto de extração. Os ejetores, ou os pinos e as placas de ejeção, empurram a peça para fora com um

movimento rápido, batendo preferivelmente em uma área da guarnição de modo que a peça propriamente não seja distorcida. A ejeção da peça soprada é parte do ciclo de sopro automático.

Se a peça não é demasiado grande, pode ser soprada para fora diante do molde por um jato de ar detrás. As peças muito grandes são removidas manualmente do molde pelo operador. Para alcançar a peça, o operador deve primeiramente empurrar de lado a porta ou o protetor, que para cada movimento do molde ou da moldura estrutural automaticamente de modo que o operador não esteja em perigo de acidente por um molde em movimento.

O desbaste automático, sendo uma operação muito rápida, exige um sistema pneumático, como no processo de sopro, no corte na matriz, no funcionamento de válvulas automáticas no cabeçote, e outras funções. Devido a serem muitas peças em movimento atuadas pelo ar, recomenda-se que o ar no sistema pneumático seja levemente lubrificado.

### **3.4.3 Entendendo a moldagem por injeção – sopro**

#### **3.4.3.1 Ferramental (moldes)**

Os componentes do ferramental para o molde de injeção sopro devem ser usinados para obter tolerâncias precisas por causa de sua função crítica no ciclo total do molde. Os moldes para formação do parison devem ser mais exatos e robustos do que os moldes de sopro desde que estão sujeitos a pressões hidráulicas elevadas da braçadeira e a pressões plásticas elevadas de injeção. As hastes de núcleo estão sujeitas às mesmas circunstâncias que o molde da pré-forma e devem ser concêntricas para fornecer uniformidade da parede e a facilidade de sopro das pré-formas. Os moldes de sopro estão sujeitos somente a um terço da força de aperto da cavidade da pré-forma. Devido a diversos elementos comporem uma ferramenta completa de moldagem por injeção sopro, devem todos ser precisamente usinados. As variações dimensionais excessivas entre componentes do ferramental não podem ser toleradas.

#### **3.4.3.2 Parison ou anel do gargalo da pré-forma**

O anel do gargalo da pré-forma formata a seção rosqueada ou de gargalo do recipiente. Igualmente centra e retém a haste do núcleo firmemente dentro do parison para minimizar a deflexão da haste do núcleo durante a injeção da peça no ciclo. O anel do gargalo é um componente ou um segmento separado do molde que cabe precisamente na cavidade do parison na moldagem por injeção. Um ajuste de tolerância, de entalhe livre impede que o plástico fundido incorpore os espaços entre os segmentos do molde, que, se permitidos, conduziriam aos cumes de superfície visíveis ou mesmo protuberâncias. O encaixe imperfeito ou os segmentos danificados do molde conduzem a rejeição das peças. O anel do gargalo do parison tem seus próprios canais de controle térmico independentes para conseguir o acabamento do gargalo moldado e é feito geralmente de aço ferramenta endurecido indeformável.

#### **3.4.3.3 Parison ou cavidade da pré-forma**

A pré-forma de injeção ou o molde do parison consiste de metades estacionárias e móveis, com as dimensões da cavidade determinadas pela espessura desejada de parede e peso da pré-forma e do tipo de resina a ser moldada. O número de cavidades de molde que caberão em uma máquina específica é limitado pelo tamanho da moldura estrutural, pela força de fechamento da braçadeira da máquina, pela capacidade da extrusora, e pelo tamanho das cavidades individuais (figuras 5.52 e 5.53).

O controle de temperatura (condicionamento) é uma parte essencial do projeto da cavidade. As zonas de temperatura são criadas pelos canais perfurados no corpo do molde para a circulação

de um meio de condicionamento líquido. Estes canais são conectados para dar forma a zonas de temperatura individualmente controladas. O número e a posição das zonas dentro da cavidade do parison são considerações críticas do projeto porque afetam diretamente a eficiência de sopro do formato do parison. Cada canal de controle de temperatura é posicionado ao longo do perfil da cavidade do parison de uma maneira que permita a temperatura ser variada ao longo do perfil do parison, assim assegurando o sopro uniforme da parede do parison. Dependendo do tipo de material plástico que é moldado por injeção, as cavidades da pré-forma são feitas de aço ferramenta endurecido por ar ou de aço pré-endurecido.

#### 3.4.3.4 Conjunto da haste do núcleo

A haste de núcleo dá forma ao diâmetro interno do revestimento do gargalo e à forma interna do parison. Igualmente incorpora o canal e as válvulas de ar usadas para soprar o plástico fundido na forma final do frasco. As hastes de núcleo são feitas geralmente de aço ferramenta endurecido a óleo. Uma porca coroa, uma mola, e uma porca estrela são montadas em conjunto na parte traseira do núcleo da válvula da haste que sopra o ar para fluir, mas puxa a válvula fechada antes da injeção (figura 5.54). As hastes de núcleo de temperatura não controlada, são aquecidas pelo fundido, fornecendo a habilidade de sopro; entretanto, não mantêm um perfil de temperatura consistente ao longo da superfície do parison como fazem as hastes de núcleo com controle de temperatura. Com o advento de resinas termoplásticas de engenharia de altas temperaturas de fusão e das sensíveis ao calor, as hastes de núcleo de temperatura controlada são as mais indicadas pois fornecem um perfil de temperatura mais exato e mais consistente ao longo da superfície da haste de núcleo do molde.

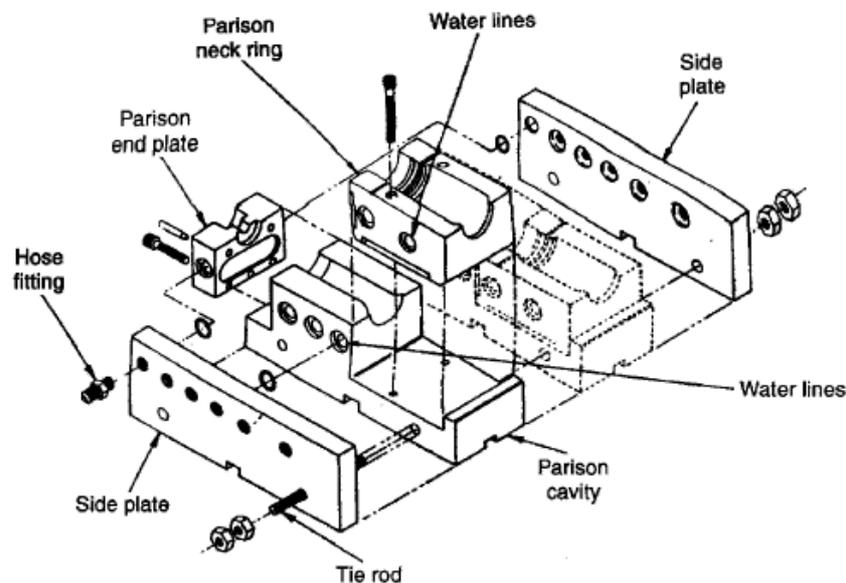
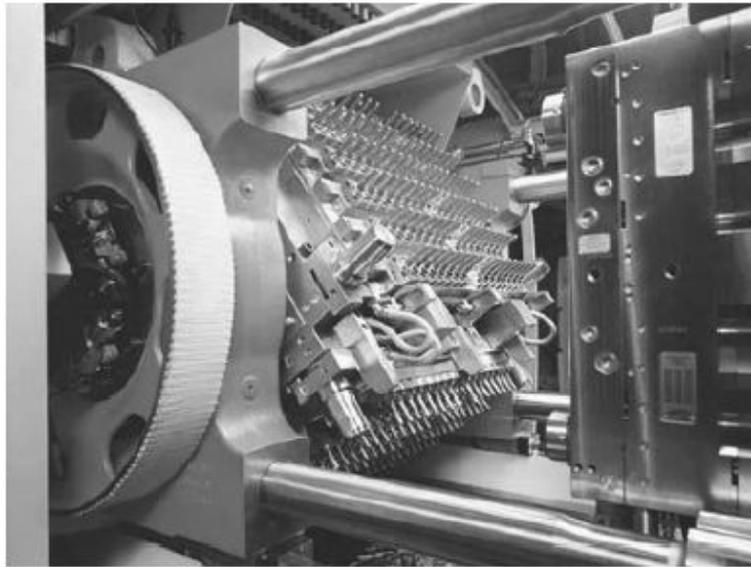


FIGURE 5.52 Injection parison mold assembly.



**FIGURE 5.53** High-cavitation high-productivity 96-cavity Husky PET preform mold-matched with 96 cores on each of four indexing mold faces. (Courtesy of Husky Corporation.)

#### **3.4.3.5 Sistemas de distribuidor de injeção**

O conjunto múltiplo é preso ao conjunto estacionário da matriz da pré-forma. É composta da base, das braçadeiras do bocal, e dos bocais múltiplos. As braçadeiras do bocal com parafusos de retenção prendem os bocais de injeção e são acessíveis na parte traseira do distribuidor para a facilidade da desmontagem do conjunto. O fundido quente é injetado do bico da máquina em um distribuidor que executa a mesma função que um distribuidor de canal quente na moldagem por injeção regular. O projeto em escala do distribuidor pode ser simples, quando o molde processa materiais plásticos de fácil processamento tais como o polietileno, ou complexo, como no caso de moldes de cavidades múltiplas e para moldar materiais altamente sensíveis ou termoplásticos de engenharia de alta temperatura tal como o policarbonato.

Os bicos de injeção permitem a passagem do fundido do distribuidor às cavidades. Os orifícios dos bicos são geralmente variáveis no diâmetro de cavidade em cavidade em uma matriz para fornecer a alimentação equilibrada de todas as cavidades, isto é, para assegurar-se de que cada cavidade se preencha ao mesmo tempo e com a mesma pressão. A alimentação equilibrada é exigida ao produto moldado por injeção que tem características similares: por exemplo, pesos e taxas similares de contração. As variações nestas características de uma pré-forma a outra podem conduzir a variações nas dimensões, na aparência, e na resistência das peças sopradas finais.

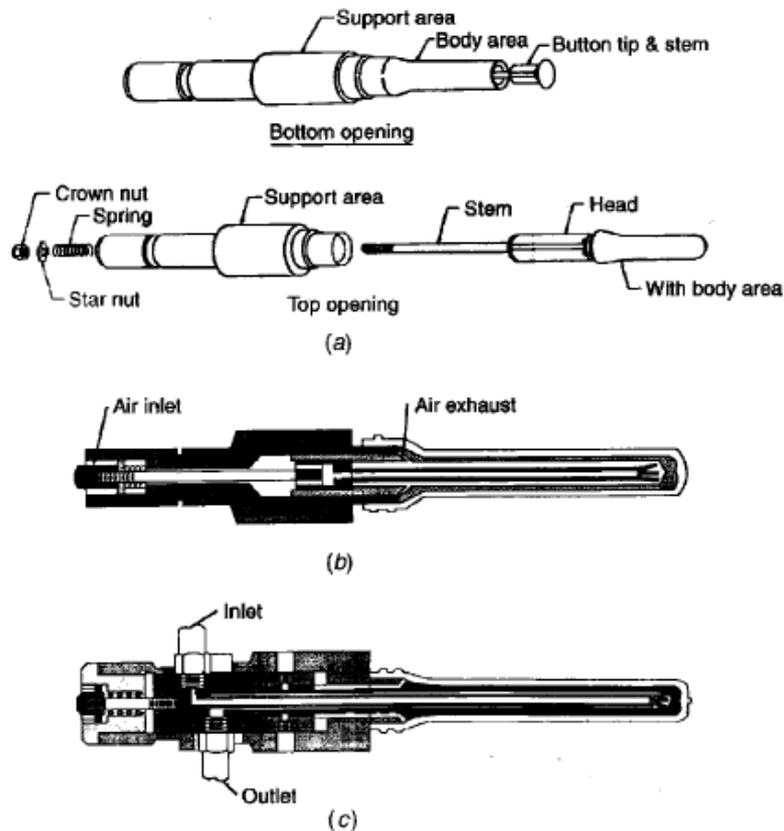


FIGURE 5.54 Core rods.

#### 3.4.3.6 Projeto do parison ou da pré-forma

Um elemento crucial da moldagem por injeção sopro é a configuração da haste do núcleo e a pré-forma ou o parison moldado por injeção. Cada forma de recipiente tem sua própria haste do núcleo e projeto original do parison. Se o projeto inicial da pré-forma e da haste do núcleo não é específico para que um frasco particular seja moldado, uma produção com problemas continuará até que o projeto seja corrigido.

O projetista deve sempre ter em mente a habilidade de sopro máxima quando selecionar a pré-forma e a haste do núcleo. Sob nenhuma circunstância a processabilidade pode ser sacrificada por capacidade máxima. Deve considerar a força de fechamento da injeção relativa à área projetada da forma do parison, a limitação física da área da moldura estrutural original da máquina, o comprimento da barra do disparador da máquina, e a capacidade de injeção total da máquina. Pense sempre em construir uma ferramenta simples ou de cavidade única antes de produzir em definitivo as ferramentas de produção. Muito pode ser aprendido sobre as características do molde, de uma haste do núcleo e de um projeto particular do parison com a amostragem da cavidade única. Se o projeto é difícil de processar durante o estágio de cavidade única, você pode estar certo que a janela de processamento será estreita na produção, o que não é uma situação desejável. As mudanças de projeto são feitas normalmente durante o estágio da cavidade única buscando produzir peças especificadas com uma janela de processamento tão larga quanto possível. Normalmente, a ferramenta de cavidade única pode se transformar em ferramenta de produção.

### 3.4.3.7 Cavidades do molde para injeção sopra

Os moldes para injeção sopra são usados para dar a forma final do recipiente. Devido a que soprar é um processo de baixa pressão, ele não está exposto a grande esforço de fechamento e a elevada injeção como visto na injeção da pré-forma. O molde de sopra está sujeito somente à prensa que aperta com pressão necessária para formatação (1034 kPa), e a pressão de ar 150 lb/in<sup>2</sup> necessária para soprar o parison (figura 5.55). Uma consideração muito importante no projeto de molde do sopra é assegurar o resfriamento adequado. Desde que o tempo de resfriamento é a maior parte do ciclo do processo, o tempo gasto em projetar o molde para fornecer resfriamento eficiente é pouco, considerando o ganho com a redução do tempo de ciclo e de produtividade. Aqui outra vez, como na moldagem do parison, os canais periféricos devem ser fornecidos para o máximo resfriamento, ajudando a reduzir o tempo de ciclo total. As cavidades do molde do sopra para fazer garrafas de água de 1 litro são mostradas na figura 5.56.

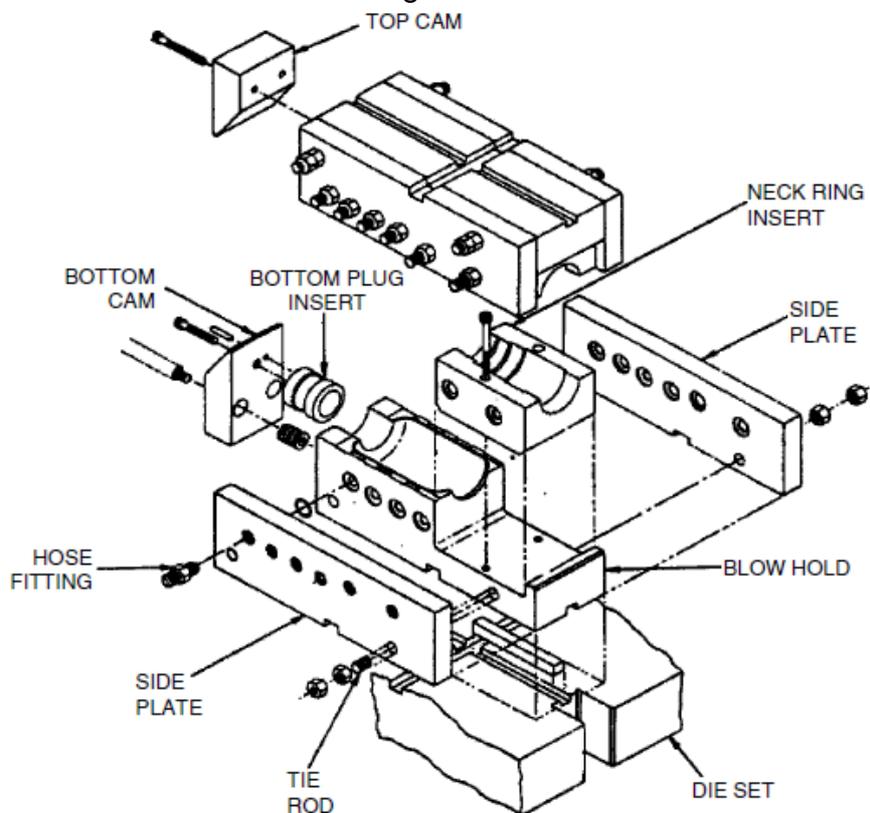


FIGURE 5.55 Injection blow mold assembly.



**FIGURE 5.56** Mold cavities for a 1-liter water bottle. (Courtesy of Roa Designs International, Schiller Park, IL.)

#### **3.4.3.8 Plugue inferior**

O plugue inferior é uma parte independente da cavidade do molde de sopro e dá forma à configuração inferior do recipiente (figura 5.57). Geralmente é feito em metades, pode ser de posição fixa ou retrátil, e pode ser resfriado com água. A maioria de recipientes de poliolefinas (por exemplo, polietileno ou polipropileno), são flexíveis e podem ser desbastados sobre o plugue inferior fixo quando o molde está aberto. Com poliestireno, policarbonato, e outros materiais plásticos rígidos, um mecanismo inferior de retração é necessário. Quando um mecanismo inferior de retração é usado, o movimento ascendente da metade superior do molde permite que uma garrafa soprada, por exemplo, possa ser removida da cavidade do molde do sopro sem desbaste ou distorção. O mecanismo de retração pode ser operado por um excêntrico, ou em casos difíceis, por ar ou por cilindros hidráulicos.

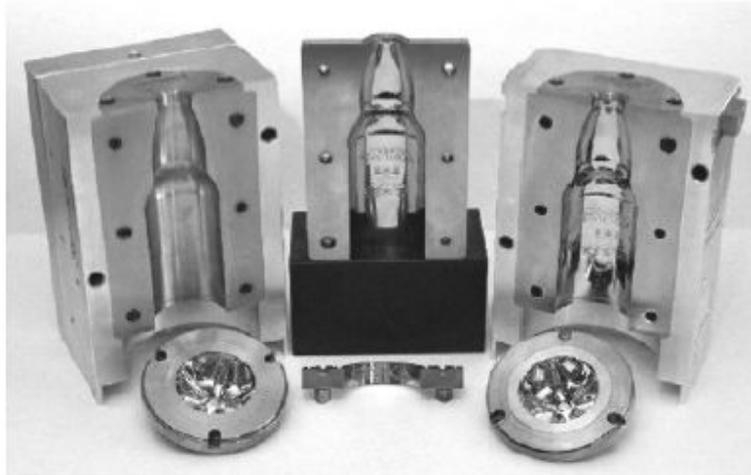


FIGURE 5.57 Bottle cavity inserts with independent bottom plugs. (Courtesy of Ryka Blow Molds Ltd., Mississauga, Ontario, Canada.)

## 3.5 OPERAÇÃO DA MOLDAGEM POR SOPRO

### 3.5.1 Aquecimento e fluxo de calor

Os materiais plásticos são pobres condutores de calor, e têm calor específico elevado. Isto significa que é difícil remover o calor dos plásticos mesmo colocando-os de encontro a uma superfície fria. Este fato tem um efeito forte em como os plásticos devem ser processados se um tempo de ciclo rápido é importante, o que quase sempre é.

#### 3.5.1.1 Temperatura de fusão

Para uma máquina e um material dados, a temperatura real de fusão do plástico depende dos ajustes de temperatura das zonas da extrusora e também na maior parte das vezes da velocidade da rosca e da pressão do cabeçote/matriz. A temperatura do fundido deve ser verificada periodicamente, porque tem um efeito significativo na viscosidade do fundido e na pressão do cabeçote/matriz. A temperatura plástica do fundido é medida na matriz, ou no bico, ou tomada de uma extrusão, ou de uma injeção do material no ambiente. Ao medir a temperatura do fundido introduzindo o material no ambiente para obter uma amostra, tome o cuidado para evitar queimaduras. O plástico fundido está quente o bastante para causar queimaduras severas, e igualmente adere à pele.

#### 3.5.1.2 Temperatura do produto

As temperaturas do fundido e do produto devem ser medidas e registradas. A temperatura do produto variará de um lugar para outro, assim que o ponto mais quente, geralmente a cauda na moldagem por extrusão sopro, deve ser selecionada como o ponto de referência. Durante a produção, esse ponto deve ser verificado com um pirômetro infravermelho ou uma ponta de prova. Como em toda a medição de temperatura, tome cuidado para coletar leituras exatas e consistentes, porque as decisões são baseadas nelas.

### **3.5.1.3 Zona de aquecimento**

O cilindro de uma extrusora ou de uma máquina de moldagem por injeção é dividido em zonas ou em regiões. Cada uma destas tem seu próprio sistema de aquecimento e resfriamento. As zonas são controladas com sensores de temperatura e equipamento associados (por exemplo, um controlador em base micro-processada). O controle de temperatura exato é importante para o processo, assim que calibração deve ser executada. Os amperímetros devem ser previstos nos circuitos dos calefadores de modo que a falha do calefator possa ser notada; isto é, quando um calefator falha ou se queima, o amperímetro mostrará que a quantidade apropriada de corrente não está fluindo. A falha do calefator pode causar diversos problemas, e pode não ser reconhecida se os amperímetros não forem colocados nos circuitos dos calefadores.

### **3.5.1.4 Ajustes de temperatura**

Com uma peça ou um material novo, é aconselhável partir ajustando as temperaturas do cilindro nos mais baixos ajustes recomendados para uma classe particular de material até que a experiência do processo seja obtida. Embora cada material e cada processo tenha suas próprias exigências, é comum ajustar a primeira temperatura da zona no mais baixo valor, enquanto as temperaturas das outras zonas são ajustadas progressivamente mais elevadas. Enquanto o produto é moldado, as temperaturas podem ser ajustadas para conseguir a qualidade desejada do tempo de ciclo e da peça. Uma vez que boas peças são feitas e o processo se estabilizou, as temperaturas são registradas para uso continuado.

### **3.5.1.5 Verificações de temperatura**

Esteja sempre certo que a máquina está ajustada e funcionando nas temperaturas especificadas pela folha de registros. Isto é muito importante porque as temperaturas do cilindro e do fundido afetam as dimensões, o acabamento da superfície, e a produtividade. Na moldagem por extrusão sopro, a temperatura da superfície interna da matriz é igualmente importante. Deve ser medida usando uma ponta de prova de temperatura. As temperaturas da matriz e do fundido devem ser verificadas durante o funcionamento real e as temperaturas dos calefadores ajustadas para manter a temperatura desejada.

### **3.5.1.6 Geração de calor pela rotação da rosca**

Durante a partida, ou quando a rosca de uma extrusora ou de uma injetora não está girando, todo o calor necessário para fundir o plástico e manter a temperatura do fundido vêm das cintas de calefação. Quando a rosca está girando em produção, ingressam aproximadamente 80% do calor pela fricção gerada pelo giro da rosca, com acionamento esporádico das cintas de calefação. Em muitas extrusoras, de funcionamento contínuo, os calefadores quase nunca ligam uma vez que a extrusora está em serviço na velocidade operacional. De fato, como mencionado mais cedo, os ventiladores de resfriamento é que são exigidos freqüentemente para manter as temperaturas do cilindro e do fundido nos padrões ajustados. Este não é o caso quando pré-formas são moldadas por injeção. As injetoras não têm ventiladores de resfriamento.

### **3.5.1.7 Tempo de residência na extrusora**

A decomposição térmica da resina depende da temperatura e do tempo. Uma resina pode ser degradada pela exposição curta a uma alta temperatura ou por uma exposição longa a uma temperatura mais baixa. O tempo que a resina está exposta à alta temperatura no cilindro da extrusora ou da injetora é conseqüentemente importante. Se o tempo de residência é demasiado

curto, o material pode não estar inteiramente fundido e não estar na temperatura desejada. Se o tempo de residência é demasiado longo, pode degradar. O objetivo deve conseqüentemente ser manter o tempo de residência uniforme com uma rotação constante na rosca e um ciclo consistente, impedindo variações bruscas e paradas não programados de produção.

### **3.5.2 Programação, partida, operação, e parada programadas seguras e eficientes**

*Nota:* Estes procedimentos representam a boa prática. Em um ambiente de produção real, siga sempre os procedimentos da planta.

#### **3.5.2.1 Partida**

Durante a partida de uma máquina de moldagem por sopro, precauções devem ser tomadas como a de ninguém ficar exposto na frente da matriz ou do bico e que o funil esteja firme no lugar de modo que a rosca não possa ser acessada. A partida é o tempo mais perigoso no processo porque o material que ainda ficou no cilindro do último funcionamento pode superaquecer e degradar, espirrando plástico degradado e gás quente da matriz ou bico a alta pressão. Outro perigo potencial é que muitas etapas devem ser realizadas rapidamente.

*Preparações de programação.* Uma compreensão dos ajustes é necessária para pôr em funcionamento uma máquina de moldagem de sopro. Obtenha treinamento com alguém que tenha familiaridade com o equipamento, ou, melhor ainda, consulte os procedimentos escritos. Segue um procedimento geral básico:

1. Ligue os interruptores de alimentação principal e então selecione e ajuste as temperaturas.
2. Assegure-se de que a água de resfriamento esteja ligada e verifique se está circulando através da garganta de alimentação.
3. Pré-aqueça o óleo hidráulico a sua temperatura de funcionamento correta. Isto pode ser feito bombeando o óleo de novo no tanque ou usando um pré-aquecedor concebido com esta finalidade.

Uma vez que a máquina alcançou a temperatura exigida, aguarde um tempo antes que todo o material seja introduzido na extrusora. O tempo de equilíbrio é o necessário para estabilizar as temperaturas para o cilindro, a rosca, a placa perfurada, a matriz ou o molde, próximo aos pontos ajustados de temperatura. O tempo de equilíbrio dependerá do tamanho e do tipo de máquina. Pode ser de 20 minutos para uma máquina pequena e pode ser de diversas horas para uma máquina maior. Este tempo deve ser usado preparando-se para o funcionamento de produção.

Outras etapas de preparação incluem:

- Verificar os lábios da matriz e os moldes para ver se estão limpos e operacionais.
- Reveja a ordem da produção para a cor, a quantidade, e outras exigências.
- Verificar para ver se há ferramentas e os equipamentos necessários e esteja certo que estão no lugar e trabalhando corretamente.
- Certifique-se de que todo o equipamento auxiliar está limpo e operacional, incluir carregadores do funil, transportes, moedores, bombas de vácuo, e testes de vazamento.

*Temperatura do fundido.* Dois métodos são de uso geral medir a temperatura do fundido em uma máquina de moldagem do sopro: (1) extrusão ou injeção do material em uma superfície apropriada, medindo então a temperatura da massa plástica com uma ponta de prova de par termoeletrônico; e

(2) leitura direta por um par termoelétrico que seja colocado no cilindro e esteja em contato direto com a massa fundida. Quando a temperatura do fundido é medida com uma ponta de prova, cuidado deve ser tomado durante a medição para assegurar-se de que a remoção do plástico quente não cause um acidente. Como foi mencionado, o material derretido causará queimaduras sérias porque está muito quente, ele adere à pele e é muito difícil remover. As queimaduras são um ferimento comum em operações de moldagem, assim que luvas, as luvas de cano longo, e os protetores faciais devem ser utilizados ao segurar o material quente ou onde há um perigo de espirro com o plástico quente derretido, particularmente durante a partida ou a desmontagem. Utilize o equipamento protetor pessoal, e siga as exigências da planta.

*Aquecendo uma máquina vazia.* O ciclo de aquecimento da máquina deve ser programado de modo que os picos térmicos não ocorram e tempos de aquecimento sejam mantidos razoavelmente breves. Uma vez que a máquina está na temperatura ajustada, deve ser permitido o tempo de equilíbrio antes que o material seja introduzido no cilindro. É aconselhável manter este tempo tão curto quanto possível de modo que toda a resina que permaneceu no cilindro após a última purga não degrade. Verificar a máquina para ver se as temperaturas estão corretas, momentaneamente girando (movimentando ou “avançando”) a rosca. Se a rosca exige corrente elevada do motor ou não gira, então aguarde maior tempo de equilíbrio. As instruções de preparação devem mostrar o tempo normal de equilíbrio térmico.

Antes de ligar a máquina, esteja certo que as circunstâncias ajustadas são satisfatórias removendo um pouco da resina fora da matriz (ou do bico) em velocidades lentas da rosca. Verificar a temperatura do fundido com uma ponta de prova de temperatura e verificar a aparência geral do fundido. Deve ser liso e livre de salpicaduras escuras, de raias, de bolhas, ou de outros sinais de degradação. Se nenhum material é extrudado quando a rosca está girando, verificar se a alimentação de plástico está disponível para a rosca, verificar se há cintas defeituosas de calefadores, e determinar se a alimentação construiu uma ponte no funil.

*Nota:* Verificar se há a construção de uma ponte ou bloqueio de material na garganta da alimentação da máquina exige cuidado, atenção e a perícia de pessoal treinado utilizando o equipamento de segurança apropriado. Isto é por causa do potencial para ferimento pessoal sério com gases quentes e de plástico degradado e superaquecido que podem esguichar violentamente para trás, através do funil.

*Aquecendo uma máquina cheia.* Quando o material está na extrusora ou na matriz, se diz que a máquina está cheia. Uma máquina fria e cheia pode ocorrer quando há uma falha de energia ou quando a máquina é interrompida deliberadamente devido a deterioração do material pela oxidação ou pela despolimerização. A máquina deve ser aquecida de uma maneira segura porque a decomposição produz gás sob pressão e pode causar acidentes sérios. Para aquecer uma máquina fria, ajuste todas as temperaturas apenas abaixo das temperaturas de fusão do material, por exemplo, em 275°F (135°C) para o LDPE. Permita que a máquina alcance e equilibre nestas temperaturas, a seguir levante a temperatura do cabeçote/matriz para o ponto de ajuste de processo. Para reduzir o potencial do acúmulo perigoso de pressão na extrusora, espere mais um período de tempo para permitir a fusão do plástico que está na matriz, a seguir aumente as outras temperaturas da extrusora para o ponto de ajuste. Permita que a máquina equilibre a estas temperaturas antes de começar a purgar.

*Operação inicial e purga.* Quando a máquina estiver com as temperaturas desejadas, e equilibrada, colocar uma pequena quantidade de material no funil, certificando-se de que a tampa do funil está na posição e o *flap* do funil está aberto, e ligar a rosca com 10 a 15 RPM. Não permita que a rosca gire com a máquina vazia, porque isto pode danificar o cilindro e a rosca. Verificar que as condições de ajuste do processo estão corretas funcionando por um minuto ou mais em uma extrusora ou funcionando alguns ciclos de purga em uma máquina de injeção. Uma máquina com cilindro ranhurado pode exigir a alimentação cuidadosa do material por pessoal treinado, porque é fácil sobre alimentar a máquina.

Após um curto período de operação, verificar a temperatura do fundido com uma ponta de prova de temperatura e igualmente a aparência geral do fundido. Dispor do fundido plástico quente, pegajoso de uma maneira segura após certificar-se que o material está alimentando bem e a verificação do fundido se mostrar satisfatória. Em uma extrusora, igualmente verificar a corrente do motor de acionamento da rosca. Deve estar dentro da escala normal de partida. Se estiver demasiado elevada, há provavelmente algum material não fundido na extrusora. Se estiver demasiado baixa, pode haver algum problema de alimentação. Em uma máquina da moldagem por injeção, o material deve fluir livremente do bico. Se isso não ocorrer, o bico pode estar obstruído por plástico não fundido. Não tente desbloquear girando a rosca ou injetando sob alta pressão. Se tudo estiver bem, encha o funil ao nível normal para funcionar. Verificar que o equipamento de monitoração esteja funcionando, e no molde de extrusão sopro, quando o material começar a extrudar da matriz, providenciar o resfriamento da extrusora..

*Início da moldagem: Operação manual.* Quando a purga está completa e o fundido satisfatório está sendo produzido, a moldagem pode iniciar. O processo de moldagem começa geralmente com operação manual, na qual o operador inicia cada etapa do ciclo de moldagem acionando botões de acordo com a seqüência da operação. Quando o molde é fechado, a pressão deve ser verificada. Para começar a moldagem de extrusão sopro, produza um parison e verifique suas temperatura e a aparência. O parison deve ser suficientemente longo para alcançar a parte inferior do molde para poder ser esmagado. Comece a moldar, e realize os ajustes necessários para obter gradualmente uma RPM satisfatória da rosca de funcionamento normal, e constantemente verifique as peças. Uma verificação periódica deve ser feita para assegurar-se de que o funil tenha bastante material e que o fundido não escape em torno da matriz, ou áreas do adaptador. Deve ser prestar atenção à qualidade do produto verificando que as peças estejam livres de marcas ou de partículas não fundidas da resina, e quando o ciclo está estável e as peças são boas, a produção pode começar.

*Nota:* Se por qualquer motivo um material diferente foi usado na purga, deve ser removido da extrusora antes que a moldagem inicie, de acordo com os procedimentos exigidos pelo fabricante do material.

*Início da moldagem: Operação automática.* A operação automática é iniciada somente depois que um fundido satisfatório é obtido, depois do procedimento de purga e depois que os ajustes da máquina foram estabelecidos, baseado em registros da experiência ou do processo, ou como determinado nas condições de funcionamento dos manuais, se este é um produto novo. Comece a moldar em um ciclo automático ou semi-automático (no qual o operador abra e feche a porta da segurança para começar o ciclo) que usa tempos de ciclo predeterminados. Estes podem ser calculados, baseado na experiência, ou ser determinados das condições de funcionamento dos manuais. Ajuste gradualmente até que o produto da qualidade exigida seja obtido em uma taxa

melhor. Após cada ajuste, permita que a máquina estabilize (aproximadamente seis ciclos) antes de fazer mais ajustes adicionais. Com as máquinas intermitentes de extrusão, ajuste o tempo de resfriamento até que o moldado seja ejetado sem distorção.

*Mudando condições e verificação dimensional.* Todas as mudanças devem ser pensadas para melhorar a produtividade e qualidade e devem ser feitas gradualmente. Como um exemplo, o aumento na RPM da rosca pode causar não somente um aumento na saída, mas igualmente um aumento na temperatura. As mudanças devem ser feitas uma de cada vez. Deve ser permitida a estabilização do processo até o efeito da mudança ser notado; caso contrário, ninguém saberá o que está atuando e causando o efeito. As mudanças freqüentes ou incorretas no processo podem causar perda de tempo e geração de grande quantidade de sucata.

*Registro das condições de produção.* O objetivo da moldagem é produzir peças na especificação exigida de qualidade e custo. Para fazer isto, é essencial manter registros exatos. Em muitas máquinas, os dados são gravados pelo computador. Os dados devem ser preservados. As peças críticas tais como aquelas para aplicações médicas devem ter código de barras e os dados armazenados. Quando isto não é possível, uma folha de registros apropriada deve ser utilizada inicialmente e então atualizada periodicamente durante todo o funcionamento. É igualmente uma boa prática manter amostra das peças moldadas. Os registros dos eventos, das razões, e das observações chaves são igualmente úteis.

### **3.5.2.2 Segurança na operação normal da máquina**

*Operação.* Uma vez que a máquina se estabeleceu em regime normal de trabalho, os controles e os calefadores devem operar dentro de limites superior e inferior. Isto permite que as peças sejam feitas dentro das especificações. A maioria das máquinas possuem controles de processo que advertem quando uma circunstância está fora de limite. O operador deve recomendar o técnico do processo de modo que a causa possa ser encontrada rapidamente e o problema corrigido, para minimizar a produção de peças ruins e para reduzir a probabilidade do superaquecimento perigoso ou da pressão excessiva do fundido.

*Considerações de segurança.* As máquinas que são ajustadas para funcionar automaticamente ejetam geralmente as peças em uma correia transportadora ou container para as posteriores operações de acabamento de modo que o operador não tenha que manusear na prensa. Para algumas grandes peças industriais, uma máquina de desbaste ou um robô automatizado recolhem a peça da prensa e entregam-na às operações de acabamento. Frequentemente, em particular em pequenas produções e ao usar um ciclo semi-automático da prensa, o operador remove as peças manuseando na prensa e removendo a peça do molde. Os interruptores e os dispositivos redundantes de segurança devem estar no lugar e trabalhando para impedir que a prensa se feche no operador inadvertidamente.

Em todos os casos, o operador deve usar luvas (as peças plásticas estão extremamente quentes ao toque quando ejetadas), óculos de segurança, e geralmente, tampões de ouvidos. Nas plantas com diversos tipos diferentes de equipamentos, o ruído gerado poderia danificar a audição se a proteção não é utilizada. As entradas nas áreas da planta que exigem proteção para os olhos, para audição, com uso obrigatório de capacete, estão identificadas às vezes por meio de sinais que indicam o tipo de proteção exigida, alertando as pessoas antes que entrem na área.

Em setembro de 2000, o *American National Standards Institute (ANSI)* emitiu um padrão novo de segurança, ANSI/SPI B151.15-2000 (efetivo em setembro de 2003) para as máquinas de moldagem de extrusão sopro que se operam nos Estados Unidos (veja a tabela 5.5). As cláusulas numeradas na tabela são desta especificação.

### 3.5.2.3 Interrupção

Muito dinheiro pode ser poupado usando os procedimentos apropriados de parada programada. Por exemplo, se o material puder ser impedido de degradação ou de queima, uma grande quantidade de rejeito pode ser eliminada. Dinheiro adicional seria poupado se uma parada corretiva com limpeza completa da máquina for desnecessária, e a partida será certamente mais fácil.

*Parada provisória.* É uma boa idéia durante uma parada provisória purgar o material do cilindro ou periodicamente, passando o material através da máquina. Se o material plástico se apresentar um bocado descolorido, aumente a frequência de purga. Quando um reparo menor da máquina é exigido, ajuste os calefatos no cilindro para valores mais baixos [ao redor de 302°F (150°C)] para minimizar a degradação térmica.

*Paradas noturnas.* Para paradas noturnas com plásticos termicamente estáveis tais como o polietileno em temperaturas de moldagem de sopro, feche o *flap* na base do funil de alimentação e desligue os calefatos da extrusora. Com a matriz aquecida, purgue todo material da máquina até a rosca e o cilindro ficarem vazios. Assim que nada mais sair da matriz, pare a extrusora e ajuste seu resfriamento ao máximo. Quando a máquina estiver fria, desligue tudo.

*Trabalho com alta temperatura.* Quando trabalhar com moldagem de extrusão sopro em muito altas temperaturas (com materiais que não plastificam até 265°C), a oxidação e purga do material podem ser um problema. Dependendo do tipo de material, ele pode ser purgado com um HDPE úmido (aproximadamente 2% da água é adicionada ao HDPE antes de usar). A água reduz a viscosidade. Em polímeros de condensação tais como o nylon e o policarbonato, a água reduz a viscosidade mais porque causa a despolimerização. A água igualmente atua como um lubrificante com o nylon.

Para purgar, feche o *flap* na base do funil de alimentação e funcione a máquina até que esteja livre do material de alta temperatura. Com uma máquina de moldagem de extrusão sopro com acumulador, abra a saída da matriz e mantenha as temperaturas da máquina e do cilindro em um valor elevado [518°F (270°C)]; funcione com PEAD úmido através do sistema de enchimento do acumulador. O fundido espumará e haverá ruídos de crepitação e de esguicho. Mantenha a purga, reduza as temperaturas a 419°F (215°C), e abra a saída da matriz inteiramente. Introduza o PEAD seco e purgue então a extrusora bombeando até a rosca ficar vazia. Desligue os calefatos quando não saia mais material da matriz, ajuste o resfriamento da extrusora para o máximo, e então quando a máquina estiver fria, desligue tudo. [Nota: Uma máquina com acumulador de 7 kg (15 lb) pode exigir 90 kg (200 libras) de PEAD úmido e 45 kg (100 libras) do PEAD seco para purga apropriada de uma resina de alta temperatura.

*Materiais altamente sensíveis.* Um problema grave com materiais altamente sensíveis é a decomposição ("se queimando") do plástico na máquina. Os resultados podem ser a descoloração e rejeição da peça moldada. Quando a decomposição ocorre, uma parada completa programada é

geralmente necessária, embora seja possível remover o material com outro material mais estável limpando a máquina da resina contaminada.

**TABLE 5.5 Safety Standards for Extrusion Blow Molding Machine**

Clause	Safety Caution
6.2.1 Operator's gate	Operator's gate, window, and mounting hardware to keep the operator away from hazards associated with moving parts and hot parison(s), including electric, hydraulic, and pneumatic interlocks.
6.2.1.1 Power operated	Leading edges mounted with pressure-sensitive switches gates to stop or open the gate. Closure of the gate should not initiate cycle start
6.2.2 Operator's gate electrical interlock with monitoring	To prevent all clamp, carriage, calibration, or takeout motions when the gate is open.
6.2.3 Operator's gate hydraulic and pneumatic interlock with monitoring	To prevent hydraulic- or pneumatic-powered motions when the gate is open, including monitoring and alarm.
6.2.4 Emergency stop button	At least one emergency button is provided near the point of operation.
6.2.5 Reset	Resetting a safety interlock should not directly initiate a cycle.
6.2.6 Rear guard	A fixed guard for the molding area opposite the point of operation.
6.2.7 Top guard	A fixed guard to prevent reaching over another gate or guard.
6.2.8 Additional safety requirement for large machines only	Presence-sensing device; mechanical latch; double acknowledge system.
6.2.8.1 Emergency stop	At least one emergency stop button in a walk-in mold area.
6.2.8.2 Blow air release	Monitoring of blow air to prevent mold opening under full blow pressure.
6.2.9 Part discharge opening	Guarding required near conveyor openings.
6.2.10 Windows to molding area	All windows to conform to ANSI Z97.1.
6.3.1 Guards	Fixed guards (or movable guards with interlocks) at all other hazardous points.
6.3.2 Guarded feed throat opening	Guarding where access to the rotating feed screw is a hazard.
6.3.4 Extruder barrel covers	Cover or barrier to prevent inadvertent contact with high voltage or high temperature.
6.3.5 Window	All windows to conform to ANSI Z97.1.
6.4 Safety signs	Safety sign kit to current standard.

*Materiais de purga.* Os compostos de purga são materiais usados para limpar o cilindro e podem ser comprados com esta finalidade. Em vez de um composto comercial de purga, uma resina tal como o PEBD (polietileno de baixa densidade) pode igualmente ser introduzido na extrusora para eliminar um material termicamente instável tal como o PVC. Muitos materiais de purga e remoção não fundem e não fluem como as resinas ordinárias fazem, assim que podem bloquear e é aconselhável remover o conjunto de cabeçote/matriz antes da purga. O cabeçote deve ser

desmontado e limpo completamente. Uma vez que o composto de purga fluiu completamente, o procedimento da parada programada deve ser seguido.

Quando o PE é usado como uma purga, pode ser armazenado em um funil pequeno ao lado do funil principal, de onde pode ser introduzido rapidamente na máquina por uma eletro- válvula. Quando o PVC degrada, a introdução rápida de material de remoção é freqüentemente necessária. Com uma parada de mais do que uma hora com o funcionamento de PVC, a extrusora deve ser purgada com PE. Purgar, limpar, e remover deve ser feito ao reiniciar um funcionamento com PVC após uma queda de energia ou alguma outra parada não programada.

*Interrompendo uma máquina de moldagem por injeção sopro.* Para máquinas de moldagem por injeção sopro, retraia a extrusora longe da bucha do canal de injeção do molde do parison. Funcione a rosca vazia permitindo que gire apenas até não haver mais saída de fundido no bico. Não permita que a rosca continue a girar porque pode causar desgaste desnecessário e possivelmente danificando a rosca e o cilindro. Siga com uma pequena quantidade de material de purga, que dependerá do tipo de material que tenha funcionado antes. No caso do PE, remover não é geralmente necessário. É geralmente seguro simplesmente deixar a rosca na posição adiantada e desligar o aquecimento da extrusora.

Outros materiais podem exigir materiais e procedimentos de remoção diferentes. Para PETG, um material usado para fazer garrafas de soda e muitos outros tipos de garrafas de bebida, poliestireno, PEAD de baixo índice de fluidez, ou laminado acrílico são os materiais de remoção típicos. Os policarbonatos são removidos geralmente com um PEAD de baixo índice de fluidez ou uma resina de laminado acrílico. As resinas de poliéster amida, que são moldadas em muito altas temperaturas [na escala 700 a 750°F (370 a 398°C)], são removidas em processo de uma ou duas etapas. No processo de uma etapa, o PEAD da classe de extrusão (com um baixo índice de fluidez, na escala de 0.3 a 0.35 g/10min) é colocado em funcionamento através da máquina depois que toda resina possível foi bombeada para fora. As temperaturas da extrusora são restauradas ao normal de processo para o PEAD uma vez que o PEAD começa a extrudar da extrusora. O PEAD é passado através da máquina até que a purga que sai pelo bico esteja clara e limpa. A rosca é deixada em sua posição adiantada dentro do cilindro, os calefadores são desligados, e também a máquina.

No processo de duas etapas, um material que seja intermediário na temperatura de fusão entre o material de alta temperatura e o material de purga de baixa temperatura é usado. Por exemplo, um policarbonato, que processe normalmente na escala 560 a 590°F (293 a 310°C) pode ser um material de temperatura intermediária que seja usado para uma remoção inicial. Uma vez que o PC começa a parar de sair do bico, as temperaturas da extrusora podem ser reduzidas daquela para o PC de moldagem. A etapa seguinte é remover o PC, outra vez com um HDPE de baixo índice de fluidez ou uma resina de laminado acrílico. Os acrílicos e os poliestirenos não devem ser usados como materiais da remoção para as resinas que são processadas em altas temperaturas, isto é, em temperaturas acima de 590°F (310°C).

Compostos químicos de purga que são projetados para trabalhar com determinadas famílias de materiais são usados geralmente em conjunto com um material plástico de purga. Verificar sempre com seu supervisor ou líder da equipe para ver se há recomendações do fabricante do material a respeito de purgar materiais e os procedimentos seguros para seu uso.

*Nota:* Ao remover os materiais de um cilindro de injeção, utilizar sempre um protetor, sempre mover a extrusora para sua posição recuada, nunca injetar ou purgar através de um molde aberto, e certificar-se sempre de que o protetor de segurança de purga está funcionando e fechado para evitar um sério acidente de queimadura.

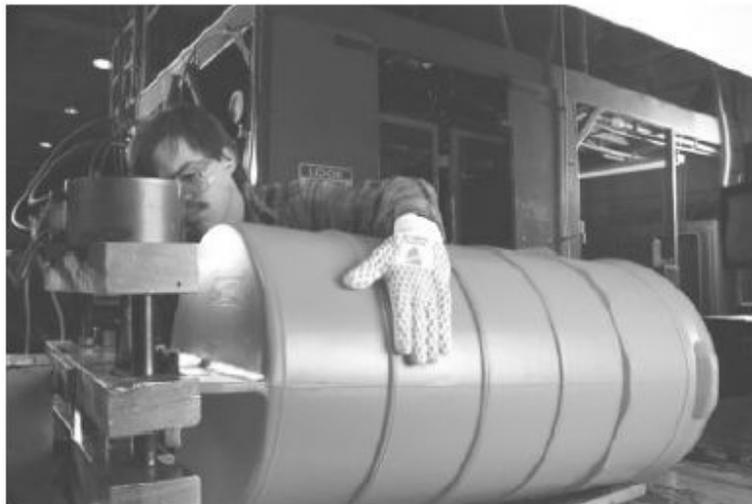
*Verificar as recomendações.* É importante compreender inteiramente os procedimentos corretos antes que uma máquina seja ligada, ou parada, ou antes de uma mudança da resina. Os fornecedores de materiais emitem boletins técnicos do processo e folhas de dados dos materiais com especificações e outras informações. Estes devem ser estudados e usados para desenvolver procedimentos da planta para cada material, em particular para os materiais de alta temperatura e para aqueles que são sensíveis ao calor ou termicamente instáveis.

### 3.6 ACABAMENTO

O acabamento de uma peça soprada deve ser considerado no projeto de produto, engenharia de moldagem, e nas fases do planejamento do processo. Uma boa maneira de fazer isto, quando nos estágios iniciais do projeto da peça, é imaginar que o molde abriu, mas que a peça ainda está presa no molde e o flash ainda está unido. Dependendo da peça e do processo, as seguintes operações secundárias necessitam ser consideradas.

- Removendo uma abóbada ou outras seções do corpo da peça.
- Removendo o flash e a execução de operações de desbaste (figura 5.58).
- Decorações: (carimbo quente, transferência térmica, e numeração de série pelo método de transferência a quente).
- Equipamento automático de pesagem e de gravação.
- Segurança (ergonomia e controle de ruído).

Nas seguintes seções nós esboçamos os itens a serem considerados ao planejar os processos de acabamento.



**FIGURE 5.58** Finishing an extrusion blow-molded traffic safety barrel. (Courtesy of Crocker Ltd., Three Rivers, MI.)

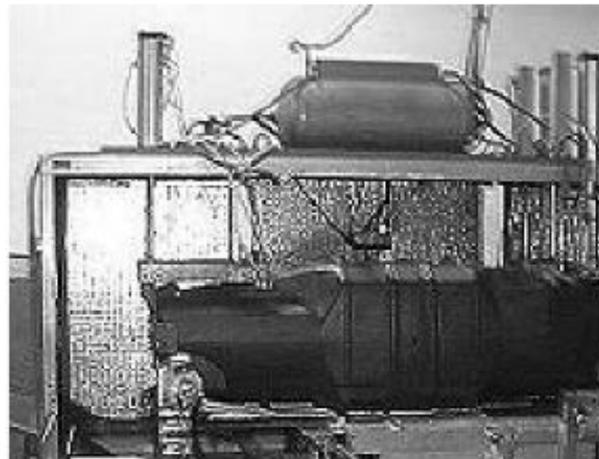
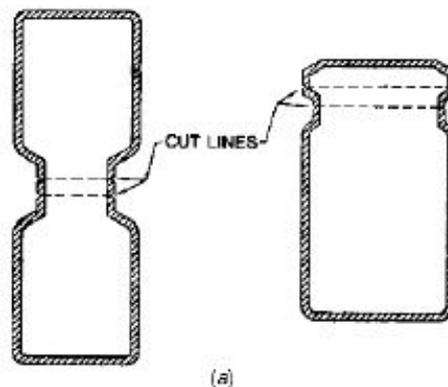
#### 3.6.1 Projeto de produto

1. Raios, nenhuns canto quadrado interno ou externo.

2. Na medida do possível, inclua orientações e registre características para posicionar e realizar as tarefas a jusante.
3. Apresente bolsas de *flash* no desenho do produto.
  - a. Projete bolsas largas o bastante para aceitar variações normais de *flash*.
  - b. O *flash* circunferencial deve ser evitado sempre que possível.
  - c. Quando o *flash* circunferencial é inevitável, compense-o no projeto do molde.

### 3.6.2 Engenharia do molde

1. Pode a peça ser moldada junto com outra ou “siamesa” (figura 5.59)?
2. A aplicação é possível para moldes “família”?
3. Podem as alças do recipiente, ou componentes similares, serem moldados como inserções em vez da adição posterior (figura 5.60)?



**FIGURE 5.59** (a) Two-up molding; (b) container molded “Siamese,” or two-up, on a machine specially designed for automatic separation and trimming. [(b) Courtesy of WEK South Corp., Reidsville, NC.]



**FIGURE 5.60** Container with premolded handle inserted into the mold as an insert to produce a container with a strong integral handle. (Courtesy of WEK South Corp., Reidsville, NC.)

### 3.6.2.1 Bolsas em *flash*

1. Calcule a profundidade e a planeje para cortar deixando material extra por segurança. Não conte com a velha regra empírica: 0,070 pol. de profundidade por lado.
2. Mantenha a profundidade da bolsa de *flash* firme o bastante para garantir o contato de resfriamento de modo que o *flash* seja rígido. (O *flash* ondulado fundido, além de proporcionar acidentes com queimadura, amplia o potencial para rejeições devido aos parisons e/ou as peças que soldam junto, e minimizam o potencial para usar matrizes que cortam o *flash*.)
3. Considere “corrugar” o *flash*, especialmente na cabeça e abas da cauda. (Isto é mais caro, mas fornece resultados superiores e pode diminuir o tempo de ciclo.)
4. Avalie o “sopro do *flash*,” que fornece um *flash* de dimensional estável, fresco. (Outra vez, uma vantagem acessória pode ser de ciclos diminuídos.)
5. Acomode o *flash* de circunferência. Considere empregar pinças bloqueadoras de *flash* de modo que ele possa ser removido em seções. Isto é especialmente importante quando o desbaste do *flash* é executado pela máquina. Um anel completo de *flash* é removido geralmente à mão e é muito difícil de automatizar.

### 3.6.2.2 Pinças de remoção (extremamente importante)

1. Largura: definir a um mínimo; 0,015 pol. é o recomendado.
2. Dureza: o cobre berílio é o preferível, ou o aço é preferido sobre o alumínio, para longa vida e a manutenção do formato.
3. Incorpore insertos cambiáveis na máquina, sempre que possível.

### 3.6.2.3 Ejeção da peça

1. Configurar o molde para ejetar a peça de modo que libere o molde *sem intervenção humana*.
2. Utilize mecanismos especiais.
3. Planeje para incluir mecanismos para reter a peça à metade preferida do molde, e inclua então características de ejeção.

### 3.6.3 Planejamento do processo

Primeiramente, apresente todo o processo, ponto por ponto. O que deve ser feito, onde e quando? Sempre que possível, termine a peça ao grau máximo possível, incluindo até o empacotamento no local de moldagem e junto à máquina de moldagem por sopro. Fazer isto garante economia, porque elimina o trabalho envolvido na embalagem, no transporte, e no armazenamento. Um benefício adicional é que os problemas da qualidade podem rapidamente ser comunicados de volta ao departamento de moldagem.

Um problema comum em plantas de moldagem por sopro são as paredes móveis para separar o departamento de acabamento que trabalha em programações completamente diferentes ou somente no horário diurno, visto que a moldagem é freqüentemente uma operação de 24 horas corridas. O planejamento cuidadoso e um leiaute de planta eficiente são exigidos ao projetar para os seguintes elementos:

- Rotulagem
- Decoração (por exemplo, rotulagem e carimbo quente)
- Furos usinados
- Em áreas moldadas por compressão, considere perfurar no molde.
  - Em áreas sopradas, considere uma “bolha,” que possa ser “fatiada” um pouco antes de realizar a furação (isto é, é sem uma fatia).
- Roscas
  - As roscas internas podem ser formadas usando núcleos de desaparafusamento.
  - As roscas externas podem ser formadas pelas seções rosqueadas na cavidade que são separadas ao longo das linhas divisoras.
- Retirada do *flash*
  - Na totalidade
  - Parcial, em estágios

#### 3.6.3.1 Considerações específicas

Investigue fazer o *flash* produtivo durante sua vida limitada. Pode ser configurado para servir como um manipulador temporário, um posicionador, ou um dispositivo de registro?

*Manipulação da peça: Remoção.* A remoção automática é preferida desde que permita a operação à porta fechada consistente. Isto pode ser conseguido através de uma ferramenta de descarregamento ao lado ou na parte inferior da saída. As peças podem igualmente ser removidas manualmente, mas a menos que o operador seja excepcional, o tempo de ciclo em algumas operações pode variar de ciclo a ciclo, criando inconsistências na história térmica, que conduz à variação a cada ciclo no peso do produto, na posição de pontos da programação, e nas variações dimensionais. Isto é demonstrado pelo sintoma prontamente visível da variação do comprimento da cauda e o comprimento total do parison.

*Manipulação da peça: Resfriamento secundário*

- Peças de até 0,090 pol. de espessura, se moldadas em um molde bem refrigerado com as bolsas de *flash* razoavelmente projetadas, não devem exigir resfriamento secundário.
- Peças de parede de peso médio são transportadas às vezes com resfriamento de ventilador.

- Peças com paredes espessas (0,375 pol. e mais pesadas) podem ser passadas através de pulverizador de água de resfriamento ou serem transportadas através de um “banho Maria” refrigerado.

A necessidade de prender as peças até elas esfriarem, antes de retirar o *flash*, é a maior parte das vezes devido ao calor retido no *flash*. Retirar o *flash* um pouco mais cedo, minimiza mais tarde o calor retido que migra de novo para a peça, que aumenta por sua vez a possibilidade de empenamento.

*Manipulação da peça: Controle de empenamento ou alívio de tensão.* Nem todas as peças exigirão o controle de tensão. Para aquelas que necessitam e dependendo da forma da peça, deverão ser colocadas em dispositivos de alívio da tensão pela quantidade de tempo necessária. Peças mais espessas tendem a exigir mais tempo no dispositivo do que as peças mais finas. Não há nenhuma regra, a experimentação com a peça real é a norma. O tempo de interrupção do dispositivo elétrico de alívio de tensão é indicado geralmente no chão de fábrica pelo número de ciclos: por exemplo, “retenha no dispositivo por cinco ciclos.” O controle do tempo de interrupção do dispositivo elétrico de alívio de tensão pode ser manuseado nas seguintes maneiras:

- Mesa de tensão, com as braçadeiras manualmente operadas. O operador mantém-se a par de onde está a peça mais fresca, substituindo-a por outra peça fresca do molde. O mais desejável.
- Carrossel ou plataforma giratória de tensão. O operador posiciona a mesa a cada ciclo, removendo e substituindo as peças na rotação.
- Transporte indexado, como parte de uma linha de acabamento automática.

*Manipulação da peça: Transporte.* A primeira consideração é se a peça a ser transportada deve ter o *flash* retirado ou não. As peças sem *flash* geralmente podem ser movimentadas com os transportadores de correia simples de velocidade única sem problemas. Transportar “parisons do molde frescos” com *flash* quente tende ainda a causar rejeições porque o *flash* quente fura outros parisons, ou pior, outras peças. Dependendo da configuração instantânea, quando transportar os parisons frescos do molde com *flash* quente deve ser feito, transportadores com trilhos de sustentação para o *flash* são recomendados.

*Desbaste e remoção do flash.* Estes termos são quase sinônimos na moldagem industrial das grandes peças sopradas e se referem à remoção instantânea. O desbaste é o nome mais utilizado no sopro de recipiente onde as abóbadas do sopro são cortadas fora. Em algumas plantas e para alguns produtos, os roteadores com computadores numericamente controlados (CNCs) são usados para aparar o *flash* e remover automaticamente o material não desejado quando os volumes das peças são grandes o bastante para justificar o custo da automatização, ao invés de fazer manualmente (figura 5.61). Um roteador causará ferimentos sérios se fizer contato com qualquer parte do corpo quando girar. As máquinas CNC movem-se rapidamente e nunca se deve estar próximo quando em operação.

Uma alternativa ao roteador é o laser. O corte do laser usa um feixe de luz poderoso o bastante para cortar o plástico aquecendo e vaporizando uma área muito pequena. Um laser é usado para fazer furos intrincados com exatidão e padrões complexos. A potencia do laser pode ser ajustada para apenas gravar a superfície do plástico ou para penetrá-la profundamente ou por completo, cortando ou furando. O corte do laser fornece uma aparência limpa, acabada e é mais

preciso do que métodos convencionais de corte. Nunca olhe em um laser quando está ligado ou quando pode ser girado a qualquer momento. Os óculos de proteção para laser devem ser usados todas as vezes para evitar dano sério aos olhos. Como com os roteadores robotizados de CNC, esteja longe da máquina quando o cabeçote for ativado, mesmo se não está se movendo no momento.



**FIGURE 5.61** Using a CNC router to trim blow-molded panels automatically. (Courtesy of Agri-Industrial Plastics, Fairfield, IA.)

Uma terceira alternativa para fazer cortes complexos, precisos de acabamento é o jato de água. Embora possa parecer impossível cortar com água, os cortadores de jato de água usam um jato fino de água em pressões de até 55.000 lb/pol<sup>2</sup> para cortar rapidamente os plásticos mais resistentes. O corte do jato de água é muito exato, não cria nenhuma fumaça ou poeira, e produz uma borda relativamente lisa de corte. Como com um laser, a maioria dos cortadores de jato de água é montada em um robô ou em um cabeçote de giro. O equipamento de proteção individual não protegerá no contato próximo com um jato de alta pressão. Não vá perto do bico do cortador de jato de água a menos que a máquina esteja desligada e fechada. Mesmo com a introdução de dispositivos robóticos para a remoção e o acabamento instantâneos, o método mais comum da remoção instantânea com as grandes peças industriais é manual, usando uma faca para aparar e um martelo para remover a cauda do parison.

Cada vez mais na produção de alta velocidade de recipientes, a máquina de remoção do *flash* é usada. Embora cada aplicação tenha suas próprias exigências, empregam mais de uma variedade de prensas de remoção de *flash*, pneumáticas e hidráulicas. Uma prensa comum de remoção do *flash* utiliza suporte inferior fêmea em que as peças são colocadas. Geralmente, estas prensas são semi-automáticas, carregadas e descarregadas pelo operador. A maioria é de projeto simples com os suportes montados em mesas. Algumas têm canais para que a sucata caia em um transportador. As partes com *flash* em circunferência não podem ordinariamente ser aparadas desta maneira.

Onde os *flashes* interiores devem ser removidos, o suporte inferior inclui uma matriz ou um entalhe. O trabalho feito com ferramentas superior inclui um perfurador. As prensas de remoção do

*flash* podem ser de atuação inferior ou superior. A peça, embalada no suporte, contata a matriz de remoção do *flash*, que aciona ligeiramente. Um membro de atuação do estabilizador/ejetor é geralmente exigido. Para o *flash* principal e da cauda, assim como o *flash* em circunferência, o trabalho feito com ferramentas variará dependendo se a linha divisora é lisa ou irregular. As linhas divisoras lisas são bem afirmadas por uma tarraxa de palmatória. O *flash* a ser removido em um estilhaço descansa em uma superfície lisa, e uma lâmina trabalhada no formato da área a ser aparada é pressionada com força considerável de encontro ao plástico, cortando através dele e entrando em contato com a tarraxa de palmatória abaixo. As linhas divisoras irregulares são melhor afirmadas “pelo formão oposto”, que utiliza ferramentas que funcionam cortando o plástico entre duas bordas afiadas.

Uma característica comum em maquinário para remover o *flash* é a guilhotina, que é usada para desbastar fora os canais do sopro e as áreas do gargalo. Os cortadores de guilhotina têm geralmente a queda auxiliada por ar ou hidraulicamente (lâmina móvel) para assegurar todas as vezes o corte apropriado. Os cortadores da guilhotina estão disponíveis em modelos manuais ou automáticos. Por causa de seu tamanho e da dificuldade de guardar a lâmina adequadamente, são projetados com cuidado e incluem diversos dispositivos de segurança.

Há uma categoria de equipamentos secundária referida como dispositivos elétricos. Geralmente, os dispositivos elétricos são específicos do trabalho para uma determinada peça e projetado para usinagem secundária. Alguns dispositivos elétricos incluem remoção do *flash*, parcial (por exemplo, uma seção interior precisa de ser perfurada para fora) e terminam apresentando *flash* exterior.

### **3.6.3.2 Removendo abóbadas e as outras seções**

Lâminas de corte rotativas são usadas frequentemente para remover as abóbadas ou outras seções do corpo da peça. As desvantagens são:

- O processo é muito ruidoso.
- Os grampos e as aparas geradas ao cortar uma peça criam uma confusão na área de trabalho e podem exigir o uso de respiradores.
- Há perigo de exposição aos olhos das rebarbas lançadas pelo corte.
- Os cortes terminados não são muito lisos e exigem aparamento extra.

A maneira melhor é usar uma faca quando possível. A figura 5.62 mostra um sulco (suporte) para o corte da faca. O tamanho do sulco dependerá do tamanho da peça e da espessura de parede. Geralmente, a altura e a profundidade do sulco devem ser pelo menos duas vezes a espessura da parede, com os cantos formados para impedir que a faca escorregue. Como com todos os dispositivos de corte, a faca deve ser guardada durante a operação. Desligue sempre a máquina e trave fora o mecanismo do movimento da faca antes de trabalhar nele, e use luvas resistentes ao corte.

### **3.6.3.3 Remoção do *flash***

As peças redondas podem tipicamente ser cortadas dentro de uma máquina, que gire a peça. A lâmina pode ser manual ou automática. Peças quadradas que são giradas necessitam algum tipo de controle para manter a profundidade da lâmina na peça, algo para guiar para dentro e para fora a faca automaticamente, e algo para ligar e parar a máquina na mesma orientação cada vez. Outras operações podem ser adicionadas à máquina de corte se necessário.

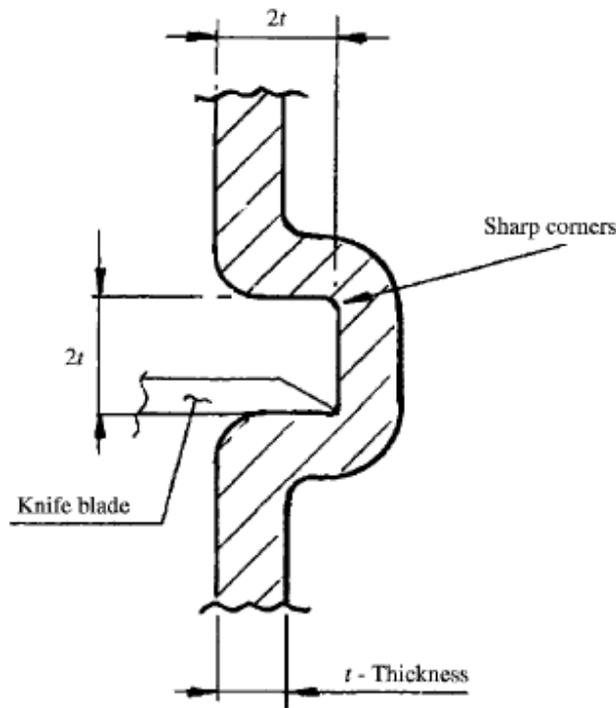


FIGURE 5.62 Groove for knife cut.

### 3.6.4 Equipamento de teste e inspeção em linha

Devido a que a moldagem por sopro pode ser um processo de alto volume, a inspeção em linha e o equipamento de calibragem, tem um papel importante na monitoração da qualidade do produto. Há diversos tipos básicos:

- Raio laser para dimensões exteriores
- Ultra-som para dimensões e para a espessura de paredes internas
- Equipamento ótico para defeitos visíveis
- Deslizamento, rolagem, e/ou outro contato mecânico

#### 3.6.4.1 Dispositivos a laser

A medida exata, rápida, e repetível de dimensões externas é possível com dispositivos de medição a laser. O laser ilumina através de uma abertura estreita a um jogo de sensores. O produto funciona com a abertura, e a sombra que é projetada é lida pela máquina como uma medida. Para medir imediatamente em mais de um sentido, mais de um dispositivo de laser é usado. Os sistemas a laser podem tomar muitas medidas em um segundo e podem atualizar uma exposição uma vez por segundo, uma habilidade importante com a produção de alta velocidade.

### 3.6.4.2 Medidores a ultra-som

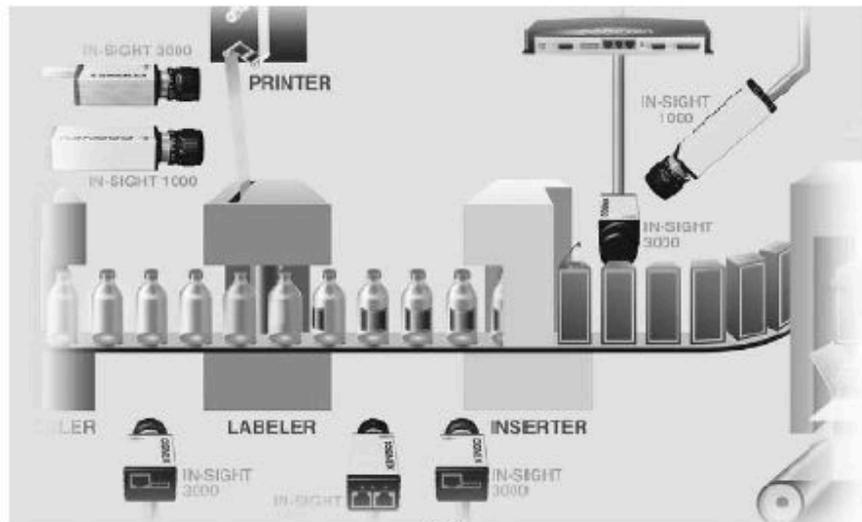
A espessura de parede em produtos ocos é algo que não pode ser medido pelo laser, pelo visual, ou por calibres mecânicos a menos que seja feito em uma extremidade cortada. Se uma mudança aleatória ocorre em um processo entre medições e não é detectada, pode significar muitos dólares de sucata e em produção perdida. Os medidores a ultra-som podem medir a espessura de parede de produtos ocos em produção emitindo ondas de alta frequência no produto que está em movimento. As ondas retornam diferentemente conforme encontram materiais diferentes e espessuras diferentes. O controlador do dispositivo mede o tempo para que os sinais retornem e como retornam, e disto podem determinar a espessura de parede. Estes medidores funcionam muito bem para produtos de camada única e de múltiplas camadas. Quando os materiais que estão sendo usados não são significativamente diferentes um do outro, o medidor encontra dificuldade para diferenciar entre as camadas.

Estas unidades são pequenas e podem ser feitas para caber na maioria dos lugares. Alguns dão leituras impressas, outros dão uma indicação digital que pode mostrar o valor da espessura de parede ou o diâmetro interno ou pode o indicar gráficamente em uma tela sob a forma de dados, de uma carta de controle, ou de um gráfico de barra. Como com outros dispositivos de medição em linha, os medidores a ultra-som podem ser conectados aos alarmes de modo que se o produto sofrer variação ou se aproximar de dimensões inaceitáveis, o operador possa ser alertado antes que os produtos se tornem refugo.

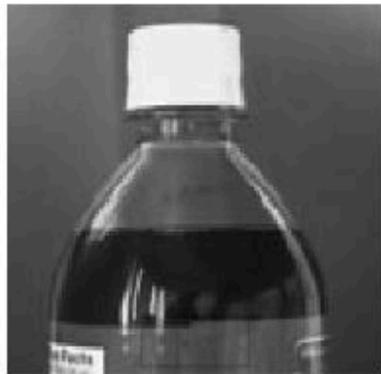
### 3.6.4.3 Sistemas óticos

Os sistemas óticos são um componente principal de muitos sistemas automatizados. Os componentes típicos de um sistema ótico são um controlador e um software para a máquina e uma interface de utilização, umas câmeras de vídeo, e uma ou várias fontes luminosas. Os sistemas baseados em câmera (figura 5.63) são usados para detectar defeitos como pontos pretos, linhas de fluxo, e géis. Os sistemas óticos são cada vez mais usados para detectar perdas, etiquetas enrugadas ou enviesadas, códigos de barra, e outros meios de identificação do produto, assim como para detectar a presença ou a ausência de um componente ou de uma característica tal como uma tampa, um *flash* não removido, linhas formadas, ou uma altura apropriada do produto líquido em uma garrafa de bebida. Um computador é usado para capturar, analisar, e arquivar os dados enquanto um monitor de vídeo indica as imagens na tela. Os defeitos típicos detectados por sistemas óticos incluem:

- Furos
- Variações da espessura
- Géis
- Contaminantes
- Forma e dimensão
- Enrugamentos ou vincos
- Raias
- Rasgos
- Defeitos de impressão
- Alças, etiquetas, códigos de barra em falta ou enviesados



(a)



(b)

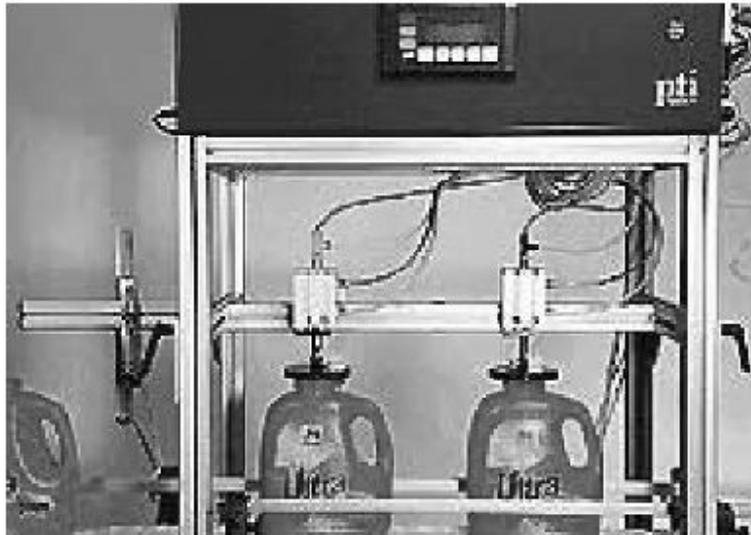


(c)

**FIGURE 5.63** (a) Camera-based vision inspection system for plastic containers; (b) scanning bottle labels for unacceptable skew; (c) scanning bottle necks for defects related to thread profile, neck slant, flash, and neck diameter, and height. [(a) Courtesy of Cognacs Corp., Natick, MA; (b) and (c) courtesy of Packaging Technologies and Inspection, Tuckahoe, NY.]

#### 3.6.4.4 Teste mecânico

O deslizamento, o rolamento, e outros contatos mecânicos podem ser usados, por exemplo, para verificar dimensões ou para testar para o vazamento da garrafa ou do recipiente, usando o ar pressurizado para detectar furos ou linhas de solda fracas. A figura 5.64 mostra recipientes soprados que estão sendo testados automaticamente para vazamentos. Os recipientes defeituosos são desviados automaticamente da linha de inspeção a uma área adequada ou container para os produto defeituosos ou não conformes.



**FIGURE 5.64** Container inspection systems using pressurized air to detect holes or weak spots in blow-molded containers. (Courtesy of Packaging Technologies and Inspection, Tuckahoe, NY.)

#### 3.6.4.5 Correias transportadoras

As correias transportadoras são de uso geral no sopro. A operação é geralmente automática. Verifique que a correia está funcionando corretamente. Se uma parte, uma peça soprada ou *flash* trancarem, pode parar a correia e causar sua falha prematura, ou do motor, atrasando a operação, ou mesmo parando a linha. Não obstante a causa de um travamento, se algo é furado no transporte, pare sempre o transporte antes de remover o objeto furado a menos que puder ser feito sem risco. Os transportadores não são vistos como uma parte de equipamento com muita potência e velocidade, mas não se iluda, porque podem causar ferimentos sérios se não operados corretamente. Permaneça longe das correntes de movimentação, das correias, ou das engrenagens, e nunca pise em uma correia transportadora. Um transporte de frasco de alta velocidade é mostrado na figura 5.65.



**FIGURE 5.65** High-speed overhead bottle conveyor. (Courtesy of Graham Packaging, York, PA.)

### 3.6.5 Granulador

Devido aos materiais plásticos serem valiosos, o processo de peças sopradas deve recuperar o desperdício da partida, produtos defeituosos, guarnição da borda, *flash*, e, às vezes, purgas (borras). O equipamento escolhido é o granulador (figura 5.66). A função principal do granulador é reduzir estes artigos em partes pequenas o bastante para retornarem ao processo sendo moldados mais uma vez.

#### 3.6.5.1 Moinhos

Na maioria das vezes, este material é chamado recuperado e a máquina é referida como moinho. O granulador realmente corta ou desbasta as peças com uma série de lâminas muito afiadas. Um jogo de lâminas está colocado num cilindro ou eixo de giro, conduzido por um sistema de motor elétrico e correias de transmissão, enquanto a outra faca ou jogo de facas estão fixas na carcaça. As lâminas móveis passam por uma ou várias facas estacionárias em um afastamento de somente alguns milésimos de polegada. O plástico é cortado e recortado em partes menores. Uma tela metálica resistente com furos de um tamanho especificado mantém o plástico na câmara de corte até que as partes sejam pequenas o bastante para passar através da tela. Menor o tamanho desejado do material, menores os furos. É necessário muita potencia para cortar o plástico, e os granuladores são robustos e de muita potencia.

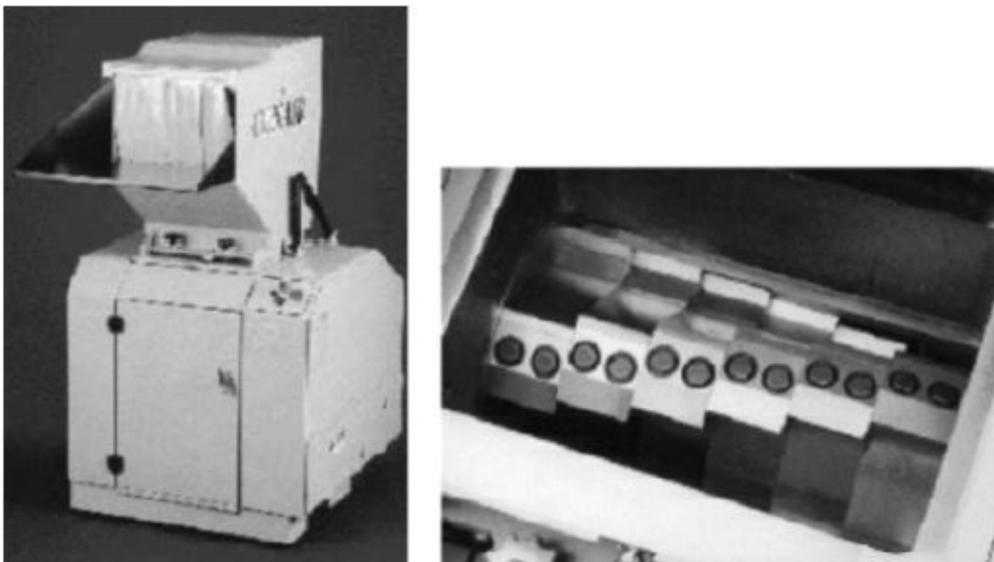


FIGURE 5.66 Conair granulator and view inside the cutting chamber.

#### 3.6.5.2 Considerações de segurança

Há algumas coisas importantes a recordar sobre o funcionamento dos granuladores:

- Utilize sempre o equipamento de segurança apropriado. O ruído de granuladores podem ser altos, assim que a proteção de audição deve ser usada. As peças de plástico podem ser ejetadas do granulador, então use sempre os óculos de segurança. Algumas plantas podem exigir o uso de roupa protetora para o operador, dependendo do tipo de material que está sendo reduzido.

- Nunca sobrecarregue o granulador enchendo-o completamente. Alimente-o em uma taxa constante. Sobrecarregar pode obstruir a seção de alimentação do granulador, parando o processo da redução, sendo necessário ter o material adicional removido. Isto causa tempo ocioso da máquina que poderia ter sido evitado.
- Verifique a gaveta de coleta do material freqüentemente para estar certo que não está cheia em demasia. Uma gaveta ou uma caixa cheia em demasia farão com que o granulador obstrua e aqueça eventualmente o material ao ponto em que derreterá, criando uma confusão muito cara. Algumas plantas usam descarregadores automáticos nos granuladores para transportar continuamente o material da gaveta da coleta.
- Cuidado: As lâminas são afiadas e o granulador é uma parte de equipamento poderosa. Significa que serve para cortar as partes de plástico que são muito resistentes, muito mais resistentes do que o dedo ou o braço de um operador. Não manuseie o granulador por nenhuma razão quando está funcionando. Permaneça longe das lâminas.
- Ao limpar o granulador, desconecte-o ou trave-o antes que todo o trabalho esteja feito. Mesmo que os granuladores modernos tenham interruptores e bloqueios de segurança, a maneira mais segura de evitar ferimento por um granulador é assegurar-se de que não esteja ligado a energia elétrica.
- Nunca trabalhe em um granulador sem luvas resistentes, e não deixe qualquer coisa utilizada como ferramentas ou peças entre as facas móveis e as facas fixas quando o cilindro ou o eixo são girados à mão.
- Antes de ligar o granulador, verifique que esteja limpo.
- Certifique-se que não há nenhum metal ou a outra contaminação no material a ser granulado.
- Recorde isso: apesar da proteção, o granulador pode ocasionalmente ejetar uma parte de plástico, ou mesmo um grande pedaço, com velocidade relâmpago.

### **3.7 PESQUISA DE DEFEITOS**

O processo de moldagem por sopro é simples, mas há muitas variáveis, controles de máquina, materiais, e condições de processo, e muitos destes interativos. Conseqüentemente, uma aproximação reflexiva a todo problema é o melhor. As mudanças ou a adivinhação aleatória raramente resolvem um problema de moldagem. A boa resolução de problema (pesquisa de defeitos) exige quatro etapas:

1. Colete os dados. Colete tanta informação útil como possível, mas não vá direto para as conclusões.
2. Interprete os dados. Que significam?
3. Tome a ação. Repare a máquina, mude um ajuste, tente um material diferente.
4. Verifique os resultados. Essa ação resolveu o problema?

É importante deixar o processo estabilizar após ter feito uma mudança. Geralmente leva tempo para que a mudança surta efeito. Grave a ação e os efeitos das mudanças de modo que você saiba onde você esteve e onde você está agora, para ajudar a resolver o problema seguinte. Uma lista básica de defeitos de peças e de irregularidades do processamento é apresentada na tabela 5.6, que igualmente esboça ações corretivas.

**Tabela 5.6 – Irregularidades em Vasilhames e Ações Corretivas**

Observação	Ação	
	Com máquina produzindo	Com máquina parada
<b>No vasilhame pronto</b>		
Superfície rugosa (áspera)	Verifique condensação de água no molde; sopre com ar e aumente a temperatura de resfriamento	Adicione ventagem no molde
Contração excessiva	Aumente o ciclo de sopro; aumente a pressão de sopro; baixe a temperatura de massa	Verifique a concentricidade do mandril/matriz
Empenamento	Verifique o resfriamento do molde; aumente o ciclo de sopro; baixe a temperatura da massa	Verifique a concentricidade do mandril/matriz
Quebra das linhas de solda	Verifique o resfriamento do molde; aumente o ciclo de sopro; baixe a temperatura da massa	Verifique a concentricidade do mandril/matriz; Inspeção as áreas de esmagamento.
Paredes finas na linha de solda	Aumente a pressão de fechamento do molde	Inspeção o alinhamento do molde; inspeção a ventagem do molde
<b>Na conformação do produto</b>		
Rompimento do Parison	Baixe a temperatura da massa; reduza a pressão de sopro	Verifique pontos quentes no molde; verifique alinhamento do parison; verifique alguma contaminação dentro da matriz
Vasilhame alongado	Baixe a temperatura da massa; baixe a temperatura de resfriamento do molde	Verifique o projeto do molde
<b>No parison</b>		
Encolhimento excessivo	Baixe a temperatura da massa; baixe a temperatura da matriz; aumente a produção da extrusora	
Superfície rugosa (áspera)	Reduza a produção da extrusora; aumente a temperatura da massa	Limpe o lábio da matriz; limpe o mandril/matriz; troque o mandril/matriz
Parison desparelho	Reduza a produção da extrusora	Alinhe a matriz e o mandril; inspeção para contaminação da matriz; inspeção falha de aquecimento
Olhos de peixe (bolhas)	Baixe a temperatura da massa; baixe a temperatura da zona de alimentação da extrusora	Verifique umidade na resina e/ou contaminação
Raias	Aumente a contra-pressão de extrusão	Inspeção contaminação ou quebra da matriz/mandril; verifique projeto da matriz/mandril
Ondas	Aumente a produção da extrusora	Verifique o perfil de temperatura da matriz; verifique o alinhamento da matriz/mandril
Rugas	Baixe a temperatura da massa	Verifique o perfil de temperatura da matriz; verifique o alinhamento da matriz/mandril

## Guia para solução de problemas no processo de sopro

### 1 - Riscos no sentido da extrusão.

#### Causas prováveis:

- 1 - Mistura de resinas com diferenças de fluidez.
- 2 - Zonas de retenção de material no cabeçote.
- 3 - Superfície áspera entre bucha e macho.
- 4 - Temperaturas de processo baixas ou excessivamente altas.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Evitar misturas cuja relação entre os índices de fluidez seja maior que 3:1.
- 2.1 - Eliminar rebabas ou ressaltos nas uniões dos elementos do cabeçote.
- 2.2 - Limpar a borda da matriz.
- 3 - Polir a superfície de ambos os elementos.
- 4 - Utilizar perfil de temperaturas favorável ao polímero.

### 2 - Marcas provenientes do cabeçote.

#### Causas prováveis:

- 1 - Geometria das hastas de sustentação do torpedo inadequada.
- 2 - Baixa compressão da massa fundida após passar pelo torpedo.
- 3 - Material com alta viscosidade.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Otimizar as hastas que sustentam o torpedo.
- 2 - Adotar zonas de apagamento logo após a anel suporte, restringindo o fluxo de material nesta zona.
- 3 - Utilizar resinas com fluidez mais alta ou densidade mais baixa.

### 3 - Parison rugoso (fratura de fundido).

#### Causas prováveis:

- 1 - Baixa temperatura de processo.
- 2 - Superfície rugosa entre bucha e macho.
- 3 - Arestas salientes na borda da matriz.
- 4 - Geometria inadequada dos canais de fluxo da matriz.
- 5 - Temperaturas do cabeçote muito baixas.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Aumentar a temperatura da resina.
- 2 - Polir a superfície de ambos os elementos.
- 3 - Arredondar as arestas de saída da matriz.
- 4 - Adotar ângulo entre bucha e macho mais suave, bem como aumentar a altura do paralelo.
- 5 - Utilizar perfil de temperaturas favorável ao polímero e utilizar resistências elétricas na extremidade da matriz.

### 4 - Parison descentralizado.

#### Causas prováveis:

- 1 - Parison com temperatura desuniforme.
- 2 - Macho folgado.
- 3 - Bucha e macho descentralizados.
- 4 - Baixa compressão da massa fundida no cabeçote.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Checar as resistências e pinôntos.
- 2 - Verificar o ajuste do macho e torpedo.
- 3 - Certificar-se de que o macho esteja coaxial com a bucha.
- 4 - Criar ou aumentar zonas de compressão do torpedo.

### 5 - Estiramento do parison.

#### Causas prováveis:

- 1 - Resina impalpável.
- 2 - Alta temperatura de processo.
- 3 - Baixa cadência produtiva.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Utilizar resina com menor índice de fluidez ou maior densidade.
- 2 - Reduzir a temperatura de processo.
- 3 - Aumentar a velocidade de extrusão e/ou expulsão de parison.

### 6 - Parison com alto inchamento.

#### Causas prováveis:

- 1 - Temperatura baixa de processo.
- 2 - Velocidade de extrusão muito elevada.
- 3 - Geometria inadequada da matriz.
- 4 - Dimensões do cabeçote não condizentes com diâmetro do parison.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Aumentar a temperatura do sistema, preferencialmente do cabeçote.
- 2 - Diminuir a velocidade de extrusão/expulsão do parison.
- 3 - Aumentar a altura do paralelo da matriz, ou estabelecer dimensões apropriadas.
- 4 - Utilizar cabeçote com dimensões apropriadas.

### 7 - Parison com baixo inchamento.

#### Causas prováveis:

- 1 - Temperatura alta de processo.
- 2 - Velocidade de extrusão muito baixa.
- 3 - Geometria inadequada da matriz.
- 4 - Dimensões do cabeçote não condizentes com diâmetro do parison.

#### Possíveis soluções:

- 1 - Diminuir a temperatura do sistema, preferencialmente do cabeçote.
- 2 - Aumentar a velocidade de extrusão/expulsão do parison.
- 3 - Diminuir a altura do paralelo da matriz, ou estabelecer dimensões apropriadas.
- 4 - Utilizar cabeçote com dimensões apropriadas.

### 8 - Estática no parison.

#### Causas prováveis:

- 1 - Baixa temperatura de processo combinada com alta cadência produtiva.
- 2 - Ausência de aterramento no equipamento.
- 3 - Falta de dispositivo de neutralização da energia estática.

#### Possíveis soluções:

- 1.1 - Aumentar a temperatura do sistema e utilizar resistência elétrica na extremidade da matriz.
- 1.2 - Adicionar a resina com agente anti-estático.
- 2 - Promover aterramento no equipamento (ao operar o equipamento, talvez seja criado um campo magnético entre a mesa de molde e o restante da máquina. Atentar também a mesa em relação à máquina).
- 3 - Utilizar dispositivo que neutralize o campo de energia estática no cabeçote.

#### Contaminação.

##### Causas prováveis:

- 1 - Material degradado.
- 2 - Pontos de estagnação de material no cabeçote.
- 3 - Manipulação inadequada do material.

##### Possíveis soluções:

- 1.1 - Purgar o sistema.
- 1.2 - Não deixar o material parando no sistema sob ação do calor por muito tempo.
- 2 - Limpar o cabeçote e eliminar os pontos de estagnação.
- 3 - Inspecionar o material reciclado e os respectivos recipientes. Retirar as contaminações.

#### - Olho de peixe (Grés).

##### Causas prováveis:

- 1 - Deficiência na plastificação.
- 2 - Contaminação.

##### Possíveis soluções:

- 1.1 - Otimizar a temperatura de processo.
- 1.2 - Aumentar a contra pressão com o auxílio de telas.
- 2 - Vide item 9.

#### - Variação de volume.

##### Causas prováveis:

- 1 - Variação no peso da peça.
- 2 - Temperatura inadequada no molde.
- 3 - Ciclo de produção impróprio.
- 4 - Volume do molde inadequado.
- 5 - Pressão de ar de sopro inadequada.
- 6 - Temperatura de massa muito alta.

##### Possíveis soluções:

- 1 - Aumentar ou diminuir o peso da peça.
- 2.1 - Aumentar ou diminuir a temperatura do molde.
- 2.2 - Revisar os canais de resfriamento do molde.
- 3.1 - Aumentar ou diminuir o ciclo de produção.
- 3.2 - Utilizar pós resfriamento da peça.
- 4 - Revisar as dimensões do molde.
- 5 - Aumentar ou reduzir a pressão de ar de sopro.
- 6 - Reduzir a temperatura de massa.

#### - Empenamento.

##### Causas prováveis:

- 1 - Resfriamento deficiente do molde.
- 2 - Temperatura de massa muito alta.
- 3 - Canais de refrigeração do molde estrangulados ou bloqueados.
- 4 - Ciclo muito curto.
- 5 - Peça com projeto deficiente.

##### Possíveis soluções:

- 1.1 - Aumentar o fluxo de água do molde.
- 1.2 - Reduzir a temperatura da água de resfriamento do molde.
- 1.3 - Aumentar o ciclo.
- 2 - Diminuir a temperatura de massa vagarosamente.
- 3.1 - Verificar e limpar os canais de resfriamento do molde.
- 3.2 - Revisar o projeto dos canais de resfriamento do molde.
- 4 - Ajustar o ciclo de produção.
- 5 - Verificar a distribuição de material na peça, promover a melhor variação possível, utilizar trefft otimizada e/ou programador de parison.

#### - Oscilação do peso da frasco.

##### Causas prováveis:

- 1 - Rosca gasta.
- 2 - Flutuação da temperatura de processo.
- 3 - Tela entupida.
- 4 - Alta temperatura na zona de alimentação.
- 5 - Oscilação do ciclo de trabalho.
- 6 - Geometria inadequada da matriz.

##### Possíveis soluções:

- 1 - Verificar a folga da rosca e corrigir se necessário.
- 2 - Checar os pirômetros.
- 3 - Substituir as telas e/ou utilizar telas de malha mais aberta.
- 4 - Reduzir o estrangulamento na zona de alimentação, utilizar fluido refrigerante.
- 5 - Checar os temporizadores.
- 6 - Diminuir a altura do paralelo da matriz.

#### - Dificuldade no corte do parison.

##### Causas prováveis:

- 1 - Temperatura do fundido elevada.
- 2 - Geometria da face inadequada.
- 3 - Faca sem corte.
- 4 - Faca com posicionamento inadequado.
- 5 - Baixa velocidade de corte.

##### Possíveis soluções:

- 1 - Reduzir a temperatura do fundido.
- 2 - Diminuir a área de contato, deixando-a mais estreita.
- 3 - Afilar as gumes da faca, promovendo ângulo de saída.
- 4 - Aproximar a faca da extremidade da matriz.
- 5 - Aumentar a velocidade de corte.

#### - Aderência do frasco ao molde.

##### Causas prováveis:

- 1 - Cantos vivos ou ressaltamentos no molde.
- 2 - Excesso de pressão de sopro.
- 3 - Molde muito quente.
- 4 - Temperatura do fundido elevada.
- 5 - Ciclo muito curto.

##### Possíveis soluções:

- 1 - Promover cantos arredondados.
- 2 - Diminuir a pressão de sopro.
- 3 - Diminuir a temperatura do molde.
- 4 - Abaixar a temperatura da resina.
- 5 - Aumentar o tempo de resfriamento.

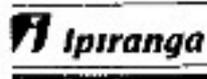
#### - Espessura desuniforme do corpo soprado.

##### Causas prováveis:

- 1 - Bucha e macho descentralizados.
- 2 - Estiramento do parison.
- 3 - Razão de sopro muito alta.
- 4 - Matriz de sopro inadequada.

##### Possíveis soluções:

- 1 - Certificar-se de que o macho esteja concêntrico com a bucha.
- 2.1 - Utilizar maior velocidade de extrusão.
- 2.2 - Diminuir a temperatura do fundido.
- 2.3 - Utilizar programador de parison.
- 3 - Aumentar diâmetro da matriz (razão de sopro  $\leq$  3:1 - faixa indicada).
- 4 - Otimizar a matriz de acordo com o produto (ex: avaliar macho).



## Guia para solução de problemas no processo de sopro

### 17 - Linha de união do produto rebaixada.

**Causas prováveis:**

- 1 - Baixa pressão de sopro.
- 2 - Ar aprisionado.
- 3 - Baixa temperatura do molde.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Aumentar a pressão de sopro.
- 2 - Promover tratamento de jato de areia na cavidade do molde, furas de escape de ar com  $\phi$  da ordem de 0,2 mm e/ou sulcos em uma das faces do molde de ordem de 0,05 mm.
- 3 - Aumentar a temperatura do molde.

### 18 - Rebarbas.

**Causas prováveis:**

- 1 - Excesso de pressão de sopro e/ou baixa força de fechamento do molde.
- 2 - Faces do molde não planas.
- 3 - Diâmetro excessivo do parison.
- 4 - Deposição inferior para rebaba muito raso.
- 5 - Paralelo de corte muito largo.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Diminuir a pressão de sopro e/ou aumentar a pressão de fechamento do molde.
- 2 - Verificar planicidade das faces do molde, retificar se necessário.
- 3.1 - Substituir a matriz por uma de menor diâmetro.
- 3.2 - Utilizar resina com menor inchamento.
- 4 - Consultar fabricante do molde.
- 5 - Reduzir a largura do paralelo de corte.

### 19 - Solda fraca.

**Causas prováveis:**

- 1 - Temperatura de fundido baixa ou excessivamente alta.
- 2 - Alta pressão de sopro.
- 3 - Fechamento do molde muito rápido.
- 4 - Quantidade inadequada do molde na região de zona.
- 5 - Área de pinçagem muito pequena.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Utilizar temperatura de massa da ordem de 180° a 200°C para os tipos GF e 190° a 220°C para os tipos GM.
- 2 - Diminuir pressão de sopro.
- 3 - Adicionar/verificar o sistema de amortecimento do fechamento do molde.
- 4 - Modificar geometria do molde na região do corte.
- 5 - Diminuir a temperatura do molde na área de pinçagem.

### 20 - Baixa resistência ao impacto.

**Causas prováveis:**

- 1 - Configuração do produto.
- 2 - Excesso de atrito no sistema plastificador.
- 3 - Desbalançamento da espessura do produto.
- 4 - Densidade e fluidez da resina muito elevadas.
- 5 - Linha de união do molde comprometida.
- 6 - Percentual excessivo e/ou baixa qualidade da recuperação.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Eliminar cantos vivos ou rebarbas com ângulos muito fechados.
- 2.1 - Harmonizar as temperaturas de processo com a cadência produtiva.
- 2.2 - Reduzir o atrito com o aumento da temperatura da zona de alimentação.
- 2.3 - Verificar: folga do rosca/cilindro, pirâmeters, excesso de contra-pressão (taxa de compressão do cabeçote muito alta, telas entupidas ou finas).
- 3 - Uniformizar a espessura de parede.
- 4 - Utilizar resina com menor fluidez e/ou densidade.
- 5 - Verificar o ajuste das faces do molde.
- 6 - Diminuir a porcentagem de recuperação e/ou segregar recuperada (na condições).

### 21 - Defeitos na superfície do corpo soprado (casca de laranja - espinha de peixe localizada - riscos secundários).

**Causas prováveis:**

- 1 - Condensação de água na cavidade do molde ou vazamento no molde.
- 2 - Material fundido, temperatura desigual na matriz.
- 3 - Pressão de ar de sopro insuficiente.
- 4 - Ar aprisionado no molde.
- 5 - Temperatura de massa muito baixa.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Diminuir o fluxo e/ou aumentar temperatura do fluido refrigerante, diminuir o ciclo, verificar vazamentos.
- 2 - Eliminar eventuais danos na superfície da bucha.
- 3 - Aumentar a pressão do ar de sopro, verificar vazamentos.
- 4 - Promover tratamento com jato de areia na cavidade e/ou saídas de
- 5 - Aumentar a temperatura de massa.

### 22 - Baixa resistência ao stress cracking.

**Causas prováveis:**

- 1 - Resina com elevada densidade e/ou alta fluidez.
- 2 - Refrigeração deficiente do corpo soprado.
- 3 - Geometria do corpo soprado inadequada.
- 4 - Temperatura excessiva do fundido.
- 5 - Espessura desuniforme do corpo soprado.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Utilizar resina com menor densidade e/ou fluidez.
- 2 - Promover refrigeração balanceada do corpo soprado, principalmente no fundo e gargalo.
- 3 - Evitar ângulos agudos, cantos vivos e reentrâncias (área concentrada de tensão).
- 4 - Harmonizar as temperaturas de processo com a cadência produtiva, respeitando o perfil de temperatura indicado pelo fabricante da resina (verificar: folga do rosca/cilindro, pirâmeters, excesso de contra-pressão (taxa de compressão do cabeçote muito alta, telas entupidas ou finas).
- 5 - Promover distribuição de espessura de parede o mais uniforme possível, utilizar programador de parison.



**- Baixa resistência ao empilhamento ou à compressão.**

**causas prováveis:**

- Distribuição de parede no corpo soprado desigual.
- Resina com baixa densidade.
- Design do produto desfavorável.
- Peso da peça inadequado.

**Possíveis soluções:**

- 1.1 - Adequar a regulagem de bucha e macho de acordo com design do produto.
- 1.2 - Utilizar programador de parison.
- 2 - Utilizar resina com maior densidade.
- 3.1 - Utilizar trefila com maior diâmetro, promovendo assim melhor distribuição de massa.
- 3.2 - Diminuir a trefila, promovendo maior espessura do parison onde esse sofre maior estiramento (avaliar peça).
- 3.3 - Utilizar o design do produto.
- 4 - Aumentar o peso do corpo soprado.

**- Aderência da rebarba ao corpo soprado.**

**causas prováveis:**

- Aderência da rebarba da gargala.
- Aderência da rebarba ao fundo.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Aplicar jato de ar sobre a rebarba.
- 2.1 - Reduzir rpm da extrusora para diminuir comprimento da rebarba.
- 2.2 - Diminuir folga da região do eixo do molde para prender mais a rebarba.
- 2.3 - Aumentar fluxo de água/reduzir temperatura na região da rebarba.
- 2.4 - Modificar geometria do molde para rebarba ondulada.

**- Baixa aderência na serigrafia.**

**Causas prováveis:**

- Excesso de temperatura do fundido (oxidação da resina).
- Incompatibilidade entre a resina e o water based.
- Tratamento de flambagem deficiente.
- Tipo de solvente ou concentração inadequada.
- Mistura heterogênea entre tinta e catalizador.
- Baixa temperatura ou tempo de secagem.
- Pouca texturização da cavidade do molde.
- Resina aditivada com agente anti-estático ou desluzante.

**Possíveis soluções:**

- 1 - Utilizar temperatura de massa da ordem de 180° a 200°C para os tipos GF e 190° a 220°C para os tipos GM.
- 2 - Notificar se o problema é mais frequente em um tipo de cor do que nos outros.
- 3 - Verificar se há algum bico de saída de gás entupido (a chama deve ser azulada, o tempo de exposição do frasco não deve ser menor que um segundo, distância flambador/frasco de acordo com formato do frasco, testar a eficiência da flambagem imergindo o frasco em água e verificando se fica coberto por uma lâmina de água).
- 4 e 5 - Seguir corretamente as especificações do fabricante da tinta.
- 6 - Observar, na saída da estufa, se a tinta atingiu sua completa cura (teste da fita).
- 7 - Jatear com ar seco o molde. A superfície porosa auxilia a aderência da tinta.
- 8 - Evitar o uso de resinas aditivadas com anti-estáticos ou desluzantes.

**Perfil de temperaturas indicado no processo de sopro do PEAD**

Zona de aquecimento	família GF (média peso molecular)			família GM (alto peso molecular)		
	mínimo (°C)	ideal (°C)	máximo (°C)	mínimo (°C)	ideal (°C)	máximo (°C)
Zona 1	160	185	185	170	185	190
Zona 2	175	185	195	180	190	195
Zona 3	180	195	200	185	195	210
Zona 4	175	175	190	190	215	220
Zona 5	165	185	195	185	210	215
Zona 6	165	185	195	190	220	220
Zona 7	160	180	190	190	215	215
Zona 8	160	180	190	190	215	215
Zona 9	---	---	---	190	215	215
Zona 10	---	---	---	190	215	215
Zona 11	---	---	---	190	215	215
Zona 12	---	---	---	190	220	225
Temp. de massa	mínimo (°C)		máximo (°C)		máximo (°C)	
	180		220		220	

Obs.: Para o tipo GD 4760 indicar temperatura de massa entre 160° e 180°. Após seguir as orientações propostas neste guia, persistindo o problema, entrar em contato com a Ipiranga Petroquímica S.A. Estas informações correspondem ao nosso atual estágio de conhecimentos, elas não têm o intuito de garantir características específicas de nossos produtos. Garantia de qualidade, começamos da origem com nossos condições normais de venda.



MATERIAL RETIRADO DA APOSTILA TÉCNICA DE  
SOPRO ELABORADA PELA G.D. MATERIAIS DIOSTICI

### 13 – CONTROLES DE QUALIDADE DE PEÇAS SOPRADAS

O controle de qualidade de produtos acabados moldados por sopro varia muito do caso para caso, de acordo com a aplicação final da peça e com o rigor das exigências do cliente.

À medida que os consumidores se tornam mais exigentes em relação ao consumo de peças sopradas, os transformadores sentem a necessidade do desenvolvimento de um controle de qualidade interno periódico. Nesse sentido, muitos transformadores estão montando e aprimorando os seus laboratórios passando a controlar com maior intensidade tudo o que entra e o que sai da empresa. Em função disso, acaba-se aperfeiçoando a manutenção geral do maquinário com conseqüente otimização da produção melhorias de qualidade. Valoriza-se também a importância da mão-de-obra qualificada e de uma administração inteligente de produção.

Basicamente, as exigências mais corriqueiras em peças sopradas são:

- Aparência geral da peça (brilho, ausência de defeitos na superfície e de marcas de fluxo, etc.).
- Peso da peça
- Uniformidade de espessura de parede
- Dimensional da peça
- Qualidade das linhas de solda e de partição
- Rígidez ou flexibilidade
- Resistência à queda
- Resistência ao ataque de tenso-ativos (stress cracking)
- Resistência química
- Resistência térmica
- Propriedades de barreira
- Outros

OBS.: dependendo a aplicação da peça, haverá grande rigor de especificação em determinadas análises, acompanhado de total indiferença em outras. Faz-se necessária muita objetividade, lógica e bom senso na especificação de um produto, além de um profundo conhecimento das solicitações requeridas em sua aplicação final. Outro fator obviamente essencial para se especificar um produto é o domínio do objetivo e do significado das normas técnicas que existem para o controle de qualidade das peças sopradas.

Citaremos a seguir algumas normas disponíveis no mercado para o controle de peças plásticas e moldadas por sopra:

### **13.1 - NORMAS TÉCNICAS PARA EMBALAGENS PLÁSTICAS SOPRADAS NO SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAL PLÁSTICO DE SÃO PAULO:**

- 1 Fissuramento por tensão para frascos de polietileno e polipropileno.
- 2 Fissuramento por tensão para frascos de polietileno e polipropileno. (Aceleração)
- 3 Fissuramento por tensão em gargalos de frascos de polietileno e polipropileno.
- 4 Vedação
- 5 Resistências à queda
- 6 Aderência à tinta (silk-screen).
- 7 Resistência da tinta ao produto (silk-screen).

### **13.2) NORMAS TÉCNICAS ASTM: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**

**ASTM D 2463 - Drop impact resistance of blow-molded thermoplastic containers.**

- Este método determina a resistência ao impacto por queda de recipientes termoplásticos moldados por sopra, como um resumo final dos efeitos de material, condições de processamento, projeto da peça e outros fatores.

**ASTM D 2561 - Environmental Stress-crack Resistance of blow-molded Polyethylene**

- Sob tensão e na presença de tenso-ativos (sabões, umectantes, óleos ou detergentes) peças sopradas de polietileno podem fissurar bem mais rápido do que na ausência dessas substâncias. Este método determina a resistência ao tenso-fissuramento de recipientes, como um resumo final da influência de resina, condições de processamento, design e outros fatores.

**ASTM D 2684 - Determining Permeability of Thermoplastic Containers.**

- Este método envolve procedimentos para a determinação da permeabilidade de recipientes termoplásticos utilizados como embalagens aos produtos por eles embalados.

**ASTM D 2659 - Column Crush Properties of Blow Thermoplastic Containers.**

- Este método cobre a determinação das propriedades mecânicas de recipientes termoplásticos soprados, quando comprimidos violentamente em condições colunares a uma taxa de compressão constante.

**ASTM D 2911 - Dimensions and tolerances of plastic Bottles.**

- Este método determina a configuração e as dimensões de gargalos rosqueados para 8 tipos diferentes de acabamentos. Inclui também as tolerâncias de capacidade volumétrica e de dimensões dos frascos.

ASTM D 2741 – Susceptibility of Polyethylene Bottles to Soot Accumulation.

- Este método cobre a determinação da susceptibilidade relativa de frascos de polietileno à acumulação de fuligem (poeira). Esta acumulação é devida à carga eletrostática gerada na superfície dos frascos.

### 13.3 ) NORMAS TÉCNICAS JIS – JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

JIS Z 1706 - Containers Blow – Moulded from Polyethylene.

- Este método especifica peças de polietileno moldadas por sopro que conterão produtos técnicos, reagentes químicos, agroquímicos, produtos medicinais, água destilada e produtos alimentícios. As especificações envolvem: vedação, resistência química. Além disso, são especificadas as tolerâncias de peso e de dimensões.

### 13.4 ) NORMAS TÉCNICAS DOT : DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

DOT 34: Cobre o uso de peças de polietileno, desde 5 galões até 50 galões para o transporte de materiais perigosos.

## BOLETIM TÉCNICO

### MOLDAGEM POR SOPRO - PROBLEMAS E SOLUÇÕES

#### 1. EXCESSO DE ESTIRAMENTO DO "PARISON" OU PESO DO FRASCO MUITO BAIXO

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Temperatura do "Parison" muito alta.</li> <li>b. Índice de fluidez da resina muito alto.</li> <li>c. Velocidade de extrusão muito baixa.</li> <li>d. Espessura da parte do "Parison" muito baixa.</li> <li>e. Limpar a abertura entre o cabeçote e o mandril pois a mesma não fornece a necessária espessura de parede.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Reduzir a temperatura da massa.</li> <li>b. Aumentar a velocidade de extrusão.</li> <li>c. Reduzir o tempo de abertura do molde.</li> <li>d. Reduzir o aquecimento na matriz.</li> <li>e. Aumentar o controle de pressão sobre o "Parison" para evitar diferenças ao longo do mesmo.</li> </ul>

#### 2. ESPESSURA NÃO UNIFORME DO "PARISON" OU RUGA SUPERFICIAL DO "PARISON"

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Velocidade de extrusão muito alta.</li> <li>b. Temperatura do "Parison" muito baixa.</li> <li>c. Índice de fluidez da resina muito baixo.</li> <li>d. Abertura da saída da matriz muito estreita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Reduzir a velocidade de extrusão.</li> <li>b. Aumentar a temperatura do cabeçote.</li> <li>c. Diminuir a temperatura da resina.</li> <li>d. Reduzir a pressão de extrusão.</li> <li>e. Limpar a abertura da matriz.</li> <li>f. Reparar ou substituir a matriz.</li> <li>g. Centralizar o mandril e a matriz.</li> <li>h. Checar as resistências para a obtenção de um aquecimento uniforme.</li> <li>i. Verificar se a matriz possui resina degradada ou contaminação.</li> </ul>

#### 3. ESPESSURA DA PAREDE DESIGUAL OU CONTRAÇÃO EXCESSIVA DO CONTAINER

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Temperatura do "Parison" muito alta.</li> <li>b. Densidade do material muito alta.</li> <li>c. Pressão de sopro de ar muito baixa.</li> <li>d. Ciclo de resfriamento muito curto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Verificar se o sistema de aquecimento está proporcionando um aquecimento uniforme.</li> <li>b. Aumentar a velocidade de extrusão.</li> <li>c. Reduzir a temperatura da resina.</li> <li>d. Colocar um programador de "Parison".</li> <li>e. Aumentar o tempo de sopragem de ar.</li> <li>f. Verificar a refrigeração do molde.</li> <li>g. Alinhar o mandril e a matriz.</li> <li>h. Aumentar a pressão de sopro de ar.</li> <li>i. Usar resina com densidade mais baixa.</li> </ul>

## MOLDAGEM POR SOPRO - PROBLEMAS E SOLUÇÕES

### 4. AFINAMENTO OU ESTIRAMENTO DA LINHA DE SOLDA

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
a. Temperatura do molde muito baixa. b. Pressão de ar muito alta. c. Velocidade de sopro de ar sem a rapidez necessária. d. Extração deficiente do molde na linha de solda.	a. Aumentar a pressão de fechamento do molde. b. Reduzir a pressão de ar. b1. Verificar o ajustamento do molde, alinhamento ou danos que possam dificultar a abertura e o alinhamento entre os pinos e os buracos. c. Elevar a velocidade de sopro de ar. c1. Verificar o sistema de resfriamento na linha de solda do molde. d. Verificar o molde quanto a saída de ar.

### 5. RISCOS DA MATRIZ NO "PARISON"

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
a. Densidade do material muito alta. b. Superfície da matriz insuficientemente polida ou suja. c. Orifício de sopro de ar muito pequeno. d. Velocidade de extrusão muito lenta por isso o "Parison" resma muito rapidamente.	a. Verificar se na saída da matriz existe contaminação ou danos. b. Verificar a temperatura da resina fundida. c. Verificar o desenho da matriz, observando se possui cantos ou bordas arredondadas. d. Aumentar a contra pressão na extrusora.

### 6. DEFEITOS SUPERFICIAIS (BRILHO BAIXO / CASCA DE LARANJA)

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
a. Temperatura do "Parison" muito alta. b. Índice de fluidez muito baixo. c. Baixa temperatura da matriz.	a. Verificar se o molde está com condensação e ajustar a temperatura do mesmo. b. Aumentar a temperatura do fundido. c. Verificar o conduto da água de resfriamento do molde. d. Verificar as saídas de ar do molde. e. Polir a superfície do molde.

### 7. LINHA DE SOLDA FRACA OU LINHA DE JUNÇÃO DO FUNDO MUITO FINA

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
a. Temperatura do "Parison" muito alta. b. Temperatura do "Parison" muito baixa. c. Temperatura do molde muito alta. d. Pressão de sopro de ar muito alta.	a. Verificar a linha de junção inferior do molde quanto a limpeza e danos. a1. Verificar a eficiência da ferramenta na linha de junção inferior. b. Aumentar a temperatura da resina fundida.

## MOLDAGEM POR SOPRO - PROBLEMAS E SOLUÇÕES

<ul style="list-style-type: none"> <li>e. Velocidade de fechamento do molde muito alta.</li> <li>f. Pressão de fechamento do molde muito alta.</li> <li>g. Lâmina de corte da junção do fundo do molde muito pequena.</li> <li>h. Projeto inadequado da lâmina de corte da linha de junção do fundo do molde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>c. Verificar a pressão de ar e o início do tempo de sopro.</li> <li>d. Verificar as saídas de ar do molde e a necessidade de ajustamento.</li> </ul>
--	---

### 8. CONTRAÇÃO DO FRASCO

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Temperatura do "Parison" muito alta.</li> <li>b. Temperatura do molde muito baixa.</li> <li>c. Espessura da parede muito fina.</li> <li>d. Pressão de sopro de ar muito baixa.</li> <li>e. Densidade do material muito baixa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Verificar o sistema de resfriamento do molde.</li> <li>b. Verificar a correta distribuição da resina no "Parison".</li> <li>c. Diminuir a temperatura da resina fundida.</li> <li>d. Reduzir o ciclo de máquina para obter um adequado resfriamento do molde.</li> <li>e. Verificar o projeto da matriz.</li> <li>f. Centralizar o mançará.</li> </ul>

### 9. ADERÊNCIA DO FRASCO NO MOLDE

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Temperatura do "Parison" muito alta.</li> <li>b. Temperatura do molde muito alta.</li> <li>c. Espessura da parede muito alta.</li> <li>d. Pressão de sopro de ar muito alta.</li> <li>e. Densidade do material muito baixa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Verificar o projeto do molde.</li> <li>b. Eliminar pontos de aderência do molde.</li> <li>c. Reduzir a temperatura do molde.</li> <li>d. Aumentar o ciclo de máquina.</li> <li>e. Alinhar o "Parison" e verificar se existe contaminação na saída da matriz.</li> <li>f. Verificar a borda da lâmina de corte da linha de junção inferior do molde.</li> <li>g. Reduzir a pressão do sopro.</li> </ul>

### 10. PONTOS PRETOS NO FRASCO

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Resina contaminada.</li> <li>b. Pigmento mal disperso.</li> <li>c. Resina degradada aderida na saída da matriz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Verificar a resina e o concentrado de cor utilizado.</li> <li>b. Limpar o cabeçote, os canais e a saída da matriz.</li> </ul>

---

**MOLDAGEM POR SOPRO - PROBLEMAS E SOLUÇÕES**

---

**11. FUROS NA PEÇA OU MARCAS / "OLHOS DE PEIXE" NO "PARISON"**

PROVÁVEIS CAUSAS	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
a. Pressão de sopro de ar muito baixa. b. Temperatura do molde muito baixa.	a. Verificar se a resina contém umidade. b. Reduzir a temperatura de extrusão e melhorar o controle de temperatura. c. Verificar se a ferramenta não está quebrada ou a existência de fragilidade na linha de junção do molde. d. Parafuso da matriz muito apertado. e. Reduzir a temperatura na seção de alimentação da extrusora. f. Aumentar a temperatura do fundido. g. Aumentar a contrapressão. h. Estocar a resina em local isento de umidade. i. Limpar a saída da matriz de resina queimada. j. Desmontar a matriz e purgar o cabeçote. k. Verificar se a resina está contaminada. l. Melhorar a homogeneização da resina, evitando a formação de linhas de fluxo.

## **BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA**

1. **Norman C. Lee**, *Blow Molding Design Guide*, Hanser/Gardner Publications, Cincinnati, OH, 1998.
2. *Blow Molding of Thermoplastics*, **company literature, Hoechst**, Frankfurt, Germany.
3. **Norman C. Lee** (editor), *Plastic Blow Molding Handbook*, Chapman & Hall, New York.
4. *Polyolefin Blow Molding*, **operations manual, company literature, Equistar Chemicals**.
5. *The Bekum Blow Molding Handbook*, **Tony Whelan, company literature, Bekum**, Bodenewich, Germany.
6. **Norman C. Lee**, *Understanding Blow Molding*, Hanser/Gardner Publications, Cincinnati, OH, 2000.