

FUNDAMENTOS DE PROJETO DE FERRAMENTAS

MOLDES DE INJEÇÃO PARA TERMOPLÁSTICOS

Prof. Mauro César Rabuski Garcia

2009

SUMÁRIO GERAL

1. Introdução	3
2. Moldagem por injeção	5
3. Ciclo de moldagem	13
4. Injetoras	16
5. O molde	21
6. Materiais para moldes	34
7. Processos de fabricação	50
8. Determinação das capacidades das injetoras	77
9. Zonas moldantes	85
10. Sistema de alimentação com canais frios	96
11. Sistema de alimentação com canais isolados	110
12. Sistema de alimentação com canais quentes	116
13. Sistema de escape de gase ou de ventagem	120
14. Sistema de extração	122
15. Sistema de resfriamento	160
16. Sistema de alinhamento	188
17. Estima de custos de moldes de injeção	213
18. Bibliografia	232

MOLDES PARA INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

1. INTRODUÇÃO

Os moldes de injeção são, atualmente, as ferramentas mais usadas no processamento de polímeros. Os primeiros moldes foram concebidos, ainda no século XIX, quando os irmãos Hyatt, nos Estados Unidos, patentearam a primeira máquina de injeção para um material celulósico.

Um molde de injeção pode ser entendido como um conjunto de sistemas funcionais, que permitem que o espaço em que a peça vai ser moldada, definido pela cavidade, seja preenchido com o plástico fundido em condições controladas pelos outros sistemas, que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas. Estes sistemas funcionais são:

A estrutura que assegura a rigidez do molde;

O guiamento que mantém o perfeito alinhamento da cavidade com o macho;

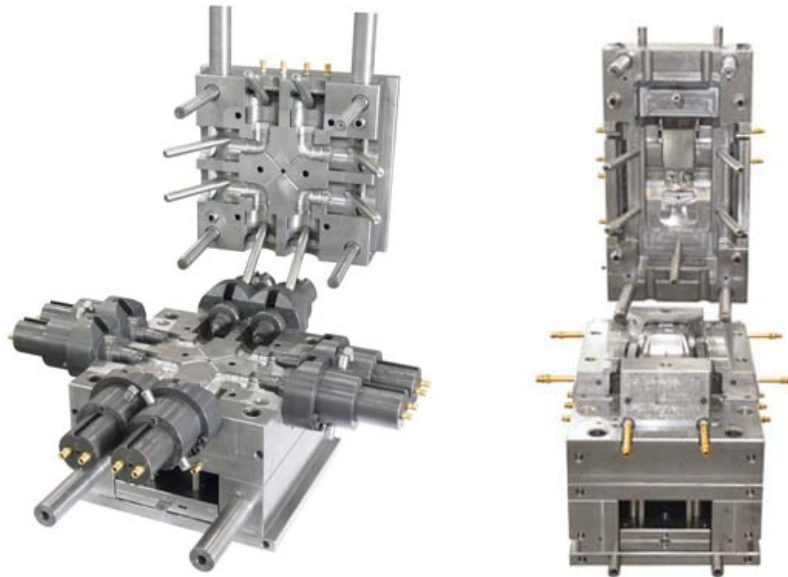
A alimentação (bucha, canais de alimentação e pontos de injeção), que permite o percurso do fundido, desde o bico da injetora até à cavidade;

O controle de temperatura que assegura que nas superfícies moldantes a temperatura seja tão uniforme quanto possível e que o resfriamento se faça de forma rápida e eficiente;

A extração que faz com que as peças sejam retiradas do molde.

Além destes sistemas, os moldes de injeção mais elaborados, podem ser dotados de sistemas especiais que assegurem os movimentos, a monitoração de temperatura e pressão, a extração controlada com robôs ou o controle independente da temperatura no sistema de alimentação (moldes de canais quentes).

A figura mostra exemplos de moldes de injeção.



Moldes de injeção

Por sua vez o molde é o sistema funcional da injetora diretamente associado a um produto. Dependendo das peças a produzir, podem ser mais ou menos complicados. Os moldes utilizados podem ser agrupados em três tipos principais:

- Moldes convencionais ou de duas placas;
- Moldes de três placas;
- Moldes de canais quentes.

Os moldes dos dois últimos tipos são muito usados na produção de peças para embalagens, por permitirem obter uma peça já separada do sistema de alimentação.

Nos moldes convencionais e nos de três placas é necessário fazer-se a reciclagem do material do sistema de alimentação, mas, nos de canais quentes, tal operação é desnecessária devido ao sistema de alimentação permanecer sempre dentro do molde.

No sistema de alimentação são importantes: o tipo e a localização dos pontos de injeção, que são as entradas do material fundido na cavidade; o aspecto final das peças e a própria maneira como se faz a extração desta zona do sistema de alimentação.

Em peças de grandes dimensões, como caixas ou tabuleiros, é freqüente fazer-se a injeção direta, fazendo da bucha a ligação do bico da injetora à cavidade. Também nas peças de grandes dimensões é freqüente o preenchimento da cavidade através de vários pontos de injeção.

Os canais de alimentação devem ter preferencialmente seção circular, com diâmetro da ordem de 9 mm para os canais principais e, 6 e 7,5 mm para os secundários.

O resfriamento é assegurado, normalmente por água circulante em canais (linhas de água) distribuídos regularmente no macho e na cavidade e acompanhando, tanto quanto possível, a sua forma. Para o caso de materiais de engenharia, moldados a temperaturas mais elevadas, como o policarbonato, o fluido de resfriamento, funcionando acima de 100° C, é um óleo. Para que o controle de temperatura do molde seja eficiente este fluido deve ser mantido a uma temperatura constante, usando-se, para o efeito termo-reguladores (para as temperaturas acima de 40 – 50° C) ou refrigeradores para temperaturas abaixo da ambiente.

Durante a injeção, o ar existente dentro da cavidade é deslocado pelo material plastificado. Se este ar não sair da cavidade durante a injeção, a sua compressão provocará a necessidade de maior pressão de injeção, tempo de injeção mais longo e, mesmo, carbonização do polímero por excessivo aquecimento. Por isso, os moldes deverão dispor de canais na superfície de partição para o escape do ar, geralmente colocados nas últimas zonas a serem preenchidas.

Hoje, os moldes de injeção de termoplásticos são construídos em variados tipos de materiais desde os aços de alta liga usados em moldes para séries muito longas e mais exigentes, até aços ao carbono para peças menos críticas e séries muito curtas. Além disso, para séries protótipo ou para séries muito curtas são usadas ligas de alumínio ou, mais recentemente, materiais não metálicos nas zonas moldantes, dando origem ao que se designa por moldes híbridos (isto é, com materiais metálicos e não metálicos). Também se começam a utilizar moldes em que os machos e cavidades são obtidos, quase diretamente, por recurso a técnicas de prototipagem rápida que fazem a sinterização de partículas metálicas.

2. MOLDAGEM POR INJEÇÃO

O processo de moldagem por injeção foi patenteado em 1872 pelos irmãos Hyatt. Ao longo do século XX teve uma grande evolução, cujos principais marcos foram a máquina hidráulica (anos 40), a máquina de parafuso alternativo (1951) e a máquina elétrica (1988).

Inicialmente desenvolvido para a transformação de resinas termoendurecíveis, como fenol-formaldeído (comercialmente conhecido como Baquelite), o processo teve um enorme desenvolvimento com o advento dos materiais termoplásticos que se verificou após a Segunda Guerra Mundial.

Atualmente, a moldagem por injeção é um dos principais processos de transformação de materiais de base polimérica, com enorme importância nos grandes mercados consumidores, como, embalagens, construção civil, automóvel e material elétrico e eletrônico.

O grande sucesso desta tecnologia deve-se ao efeito combinado de uma série de vantagens comparativas, entre as quais se salientam: a elevada produção, a grande reprodutibilidade e precisão dimensional, a grande flexibilidade em termos de geometria e dimensões das moldagens (a gama de produção vai desde a micromoldagens, inferiores a 1mg, até peças com mais de 100 kg).

Podem ser moldados por injeção termoplásticos, termofixos e elastômeros vulcanizados (borrachas e silicões). A moldagem por injeção também pode ser utilizada para a fabricação de peças cerâmicas ou metálicas, a partir de compostos que utilizam um material polimérico como vetor.

A moldagem por injeção de termoplásticos obedece às etapas típicas de transformação destes materiais, envolvendo, sequencialmente, as etapas seguintes: aquecimento do material até este adquirir uma viscosidade suficientemente baixa; conformação sobre pressão; e resfriamento com conseqüente recuperação da rigidez.

Esta rotina é exercida sobre a moldagem de compostos, com características específicas, sendo de realçar:

Baixa difusividade térmica: os plásticos são intrinsecamente maus condutores de calor, dificultando as trocas térmicas necessárias à sua transformação. Por isso, em moldagem por injeção deve-se minimizar a espessura das peças a moldar.

Comportamento reológico: os termoplásticos, quando no estado fundido, apresentam-se sob a forma de fluidos de elevada viscosidade e com comportamento viscoelástico. A sua viscosidade é função da taxa de deformação imposta pelo material, podendo ser relativamente baixa para velocidades de deformação elevadas. Por isso, o preenchimento de cavidades tende a ser efetuado com velocidades de injeção elevadas.

Elevada dependência térmica da densidade: o modo de organização das cadeias moleculares constituintes de um sistema polimérico é altamente dependente da temperatura. De fato, um aumento da temperatura provoca o crescimento do volume livre intermolecular e a conseqüente expansão do material. Do ponto de vista prático, este efeito traduz-se em valores elevados do coeficiente de dilatação linear (cerca de 5 a 6 vezes superiores ao do aço para termoplásticos não reforçados) e na existência do fenômeno da contração, associado ao resfriamento de peças injetadas

O equipamento a utilizar e as estratégias a seguir para otimizar o processo deverão considerar a qualidade do produto final.

Em termos conceituais, o processo de moldagem por injeção de termoplásticos desenvolve-se da seguinte forma:

1. O material plástico, originalmente no estado sólido e normalmente sob a forma de grãos, é carregado no funil da injetora e alimentado para o interior do cilindro de plastificação onde é aquecido a fim de tornar-se fluido e homogeneizado;
2. O aquecimento do material é garantido pelo calor transmitido através das paredes do cilindro por resistências elétricas e pelo calor gerado por efeito de dissipação viscosa, em resultado do esforço mecânico da rotação do parafuso;
3. O fundido resultante é forçado a fluir para o interior de um molde, o qual irá preencher a respectiva cavidade e resfriar devido às trocas de calor com as superfícies moldantes;
4. O processo conclui-se com a extração do moldado, que ocorre após o período de resfriamento.

No caso da moldagem de termofixos ou de borrachas vulcanizadas o molde está a uma temperatura mais elevada que a do cilindro, para garantir a reticulação do material após a injeção.

O processo utiliza dois equipamentos essenciais: a injetora e o molde. Contudo, a moldagem de qualidade pode exigir um conjunto adicional de equipamentos: dispositivos para transporte e alimentação de matéria-prima, robô/manipulador para manuseamento de moldagens ou sistemas de alimentação, esteira transportadora, moinho granular (para reciclagem integrada de desperdícios) e dispositivos para controle da temperatura do molde.

2.1. PROCESSOS NÃO CONVENCIONAIS DE INJEÇÃO

Atualmente os grandes desafios da indústria de moldes prendem-se a capacidade das empresas em produzirem moldes: com qualidade, mais baratos, num tempo reduzido, para pequenas séries de uma forma econômica e para peças em plástico com cada vez maior complexidade geométrica.

Estes desafios requerem novas abordagens no projeto e na fabricação de moldes, e no processo de injeção.

De forma a atingir estes desafios a indústria tem introduzido novas técnicas de processamento, dentre elas:

- espuma estrutural;
- moldagem com gás;
- moldagem com água;
- co-injeção.

2.1.1. Espuma Estrutural

A produção de espuma estrutural baseia-se na utilização de uma fase gasosa, dispersa na fase polimérica. Quando o fundido é injetado para o interior da cavidade, a liberação do gás provoca a expansão da massa fundida, a sua pressurização contra as paredes do molde e o conseqüente desenvolvimento de uma estrutura porosa no seu interior.

A fase gasosa resulta de uma reação química termo-ativada de decomposição do agente expensor. Os materiais mais utilizados para o efeito são compostos azotados (azocarboamidas) e ácidos carboxílicos dos quais resultam, respectivamente, azoto e dióxido de carbono.

Azoto = hidrogênio

O processo utiliza equipamentos convencional, sendo freqüente o uso de injetoras com unidades de plastificação de duas estações .

A solução da espuma estrutural é especialmente vantajosa em moldagens espessas. No entanto, como a condutividade térmica do material é inferior, os tempos de ciclo são longos. Logo, alguns dos equipamentos industriais incluem várias unidades de fechamento, servidas por uma única unidade de plastificação.

O sucesso do processo implica a utilização de um agente expensor, capaz de se decompor na gama de temperaturas de processamento do polímero a usar e a sua correta dispersão na massa fundida.

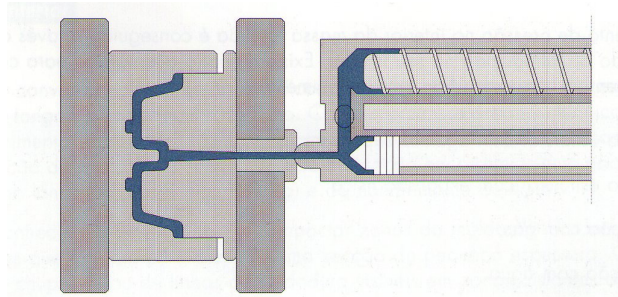


Fig. – Moldagem por espuma estrutural

As principais potencialidades e vantagens do processo são:

- economia de material;
- eliminação de tensões internas (uniformidade da pressão no interior da moldagem durante o resfriamento);
- eliminação de defeitos como rechupes ou vazios internos;
- baixa pressão (possibilidade de utilização de moldes mais simples e menos robustos).

No entanto, existem também diversas desvantagens, como:

- o mau aspecto superficial, motivado pela liberação de agente expensor contra as paredes moldantes (este efeito pode ser reduzido com a utilização de moldes expansíveis);
- a maior dificuldade de ajuste do processo;
- o custo associado à utilização de agentes expansores;
- o maior tempo de ciclo provocado pela menor condutividade térmica do material.

2.1.2. Moldagem com gás

A moldagem com gás é um dos processos em grande expansão, que veio revolucionar a tecnologia da moldagem por injeção a partir dos inícios da década de noventa. Em 1991 entrou na indústria automóvel (General Motors) e, desde então, tornou-se standard em várias aplicações.

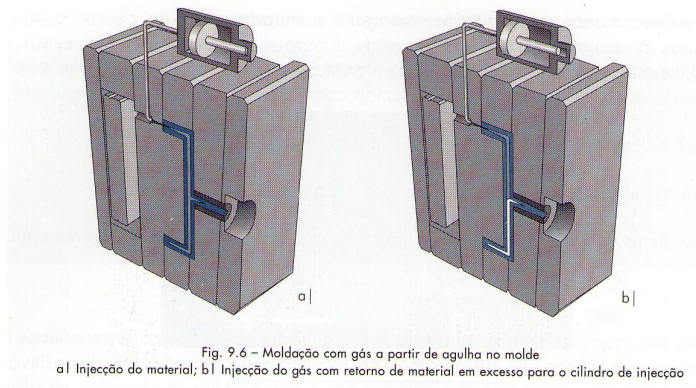
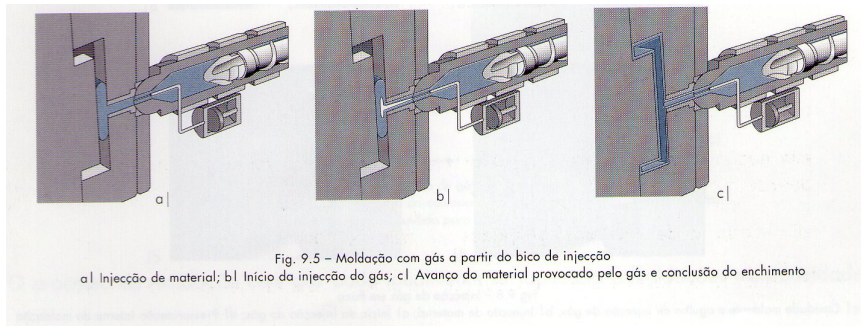
O processo se beneficia da característica típica da injeção, a formação da camada de material solidificado (provocada pelo resfriamento junto às paredes moldantes) no interior da qual flui o material subsequente. Esta camada é utilizada para conduzir um fluido que pressuriza uniformemente a moldagem pelo interior e acelera o processo de resfriamento.

O gás (tipicamente hidrogênio) é injetado no interior da massa fundida durante o imediato a seguir a fase de preenchimento.

Seguem-se as etapas de recalque e resfriamento que se desenvolvem sob uma pressão uniforme em toda a moldagem como resultado da pressão hidrostática gerada pelo fluido.

O processo conclui-se com a descompressão da moldagem e conseqüente extração.

A introdução do gás pode ser efetuada a partir do bico de injeção ou com o auxílio de uma ou mais agulhas situadas no molde.



O gás pode ser recuperado ou libertado para a atmosfera, dependendo do tipo de equipamento e da contaminação provocada pelo composto polimérico utilizado.

As vantagens e desvantagens do processo podem ser verificadas na tabela abaixo:

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Economia de material	Custo de investimento em equipamento específico
Redução do nível de tensões internas	Custo operativo do consumo de gás
Excelente acabamento superficial	Eventual custo de royalties ou licenças
Redução da força de fechamento e do consumo energético	Maior complexidade do processo
Redução do tempo de ciclo (embora muito dependente da geometria em causa)	
Redução de complexidade e custos do molde (por exemplo ausência de nervuras)	

2.1.3. Moldagem com água

Recentemente (2001) foi introduzido comercialmente o processo de moldagem com água. Conceitualmente, o processo é idêntico à moldagem com gás. No entanto, a utilização da água permite um controle mais preciso da parede interior (devido à incompressibilidade deste fluido), bem como um resfriamento mais eficiente (devido a maior capacidade calorífica da água).

O processo é mais complexo, obrigando a retirar a água no final da moldagem. Isto é conseguido através da introdução de ar comprimido no interior da moldagem.

A moldagem com água tem vindo a afirmar-se como um processo de grande potencial para a moldagem de tubos de geometria complexa.

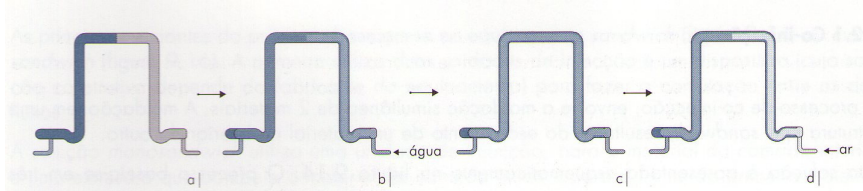


Fig. 9.12 – Moldação com água
a| Cavidade completamente cheia; b| Injeção da água; c| Introdução completa da água;
d| Retirada da água através de introdução de ar

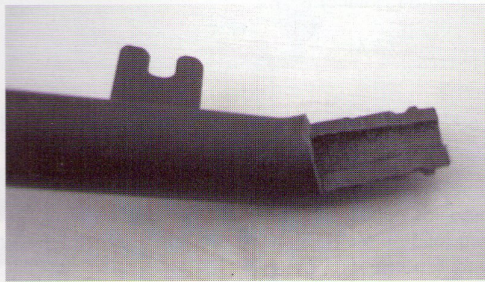


Fig. 9.13 – Tubagem obtida por moldação com água

Aquamould® + Multimaterial

- Moldura em PP, grade 1 canal oco formado pelo Aquamould®
- Área de contato em PP, grade 2

Aquamould® + Multimaterial

Raquete de Praia:

- Corpo em PP tipo 1
- Canal oco formado por Aquamould
- Área de contato da bola em PP tipo 2

Vantagens:

- Produzido em um único processo
- Forte e leve devido ao canal oco na moldura
- Reduzido tempo de ciclo devido a refrigeração interna com água

2.1.4. Moldagem multi-material

As tecnologias de moldagem por injeção envolvendo dois ou mais materiais, designam-se genericamente por técnicas de moldagem multi-material. O seu crescimento tem sido muito grande, uma vez que permitem obter soluções muito competitivas em termos de funcionalidade e de redução de custos de produção (através da eliminação de operações de montagem).

Normalmente, os equipamentos de transformação têm várias unidades de plastificação (em número igual aos materiais a moldar, tipicamente 2 ou 3) Embora, para o caso de co-injeção, existam algumas soluções de baixo custo baseadas numa só unidade. No caso de moldagem sobreposta, os moldes podem apresentar grande complexidade, apesar de muito dependente do tipo de processo selecionado.

2.1.5. Co-injeção

O processo de co-injeção envolve a moldagem simultânea de 2 materiais. A moldagem tem uma estrutura tipo sandwich, resultante do escoamento de um material no interior do outro.

O processo baseia-se em três fases:

1. Injeção inicial de material A;
2. Injeção simultânea de material B;
3. Injeção final de material A.

As moldagens obtidas por este processo procuram responder a dois grandes tipos de especificações:

a) Funcional, quando se pretende encapsular um material com propriedades específicas. Exemplos típicos são produtos com propriedades melhoradas ao nível de barreira, densidade, mecânicas, EMI shielding (onde o material funcional está no interior) e de resistência ambiental (onde a camada funcional é a exterior).

b) Reciclagem, através da introdução de material reciclado na camada interior.

Na maioria das situações devem ser utilizados materiais compatíveis de modo a conseguir-se uma boa interação entre eles. A tabela classifica diversos termoplásticos em termos de sua compatibilidade.

Material	ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 66	PC	PE-HD	PE-LD	PMMA	POM	PP	PPO	PS-GP	PS-HI	PTMT	TPU	PVC-W	SAN	PSU
ABS	+	+	+				+	○	○	+		○		○	○	+	+		+	
ASA	+	+		+								○	+	+	-				+	
CA	+		+	○																
EVA		+	○	+				+	+			+		+						
PA 6					+	+		○	○			○			○					
PA 66					+	+	○	○	○			○			○		+			
PC	+						○	+						○	-				+	+
PE-HD	○			+	○	○		+	+	○	○	-					-	○		
PE-LD	○			+	○	○		+	+	○	○	+		○			-			
PMMA	+							○	○	+		○		○	-				+	+
POM								○	○		+	○								
PP	○	○		+	○	○		-	+	○	○	+	○	○	○		-	○		
PPO												○	+	+	+					○
PS-GP	○			+			○	○	○			○	+	+	+				○	○
PS-HI	○	-			○	○	-			-		○	+	+	+				○	○
PTMT	+															+				+
TPU						+		-	-			-					+	+		
PVC-W	-			-				○		+		○		○	○		+	+	+	
SAN	+	+					+			+			○	○	○	+		+	+	+
PSU								+												+

+ Boa adesão
 ○ Má adesão
 - Não existe adesão

Tabela 9.3 – Compatibilidade de Termoplásticos

Os principais fabricantes de equipamento têm diversos modelos de máquinas multi-material. Existem no mercado várias configurações relativamente às unidades de injeção. São conhecidos casos de sobremoldagens com 6 materiais (ou cores) diferentes.

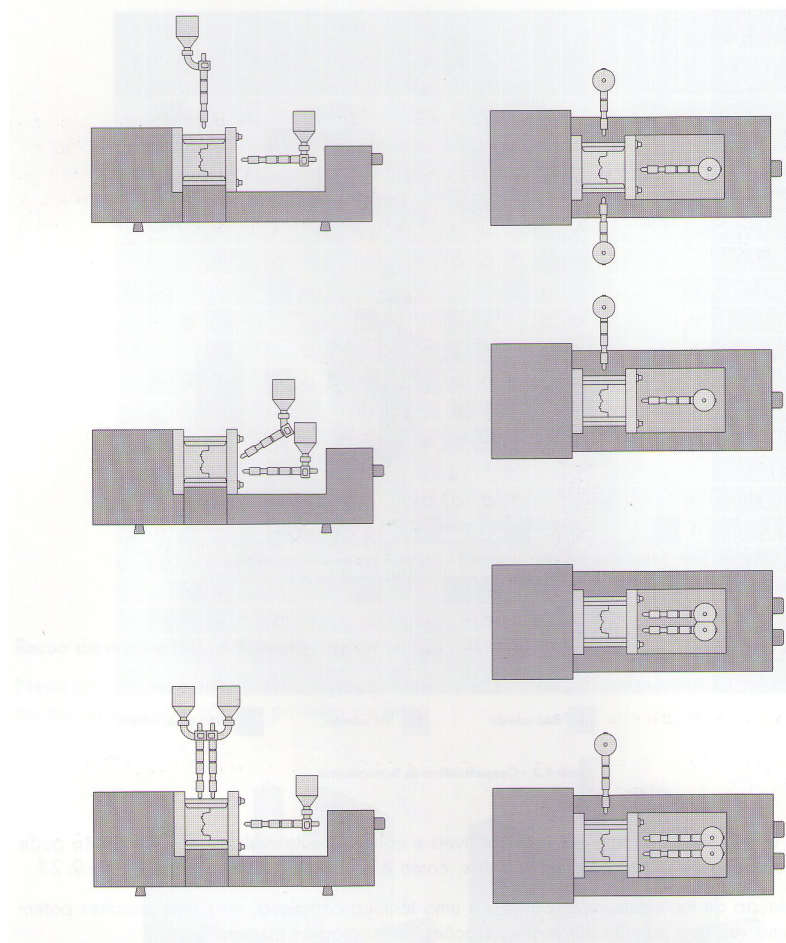
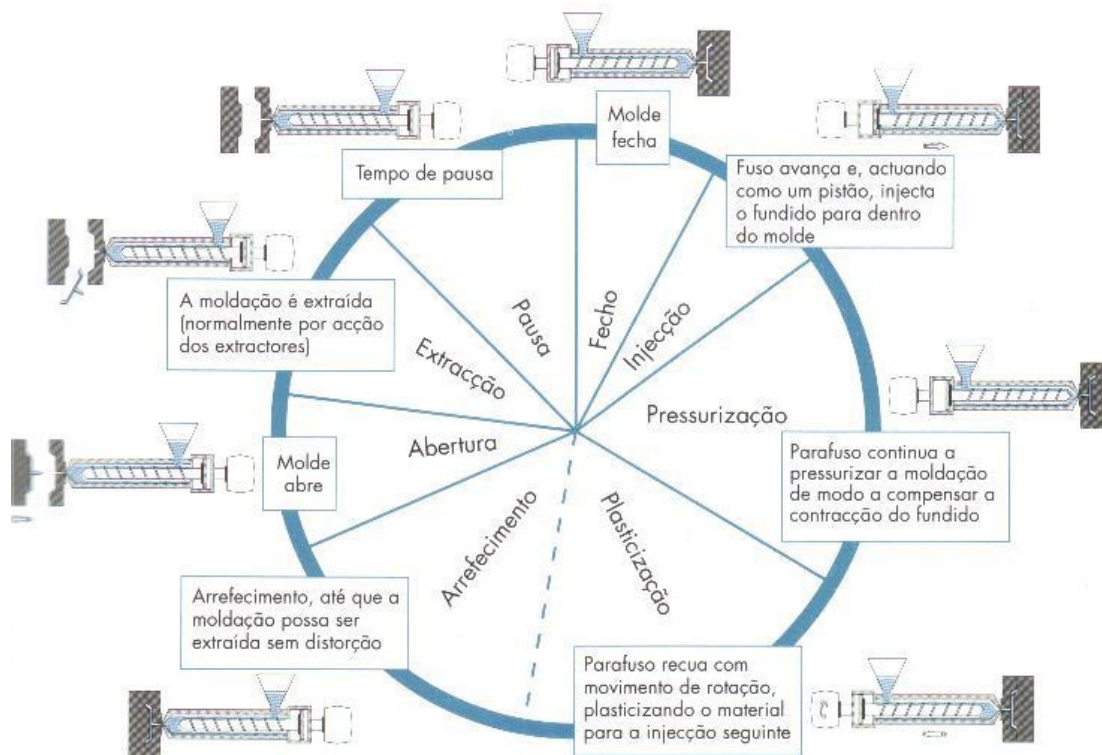


Fig. 9.24 – Tipos de máquinas de injetar multi-material.
Diferentes possibilidades de colocação das unidades de injeção (vertical e horizontal)

3. O CICLO DE MOLDAGEM

A moldagem por injeção é um processo cíclico. O conjunto de operações necessário à produção de uma moldagem designa-se por ciclo de moldagem.

A otimização deste ciclo é fundamental para assegurar a competitividade econômica do processo, dado o elevado investimento em capital, requerido para a instalação deste tipo de equipamento (injetora, molde e equipamentos auxiliares).



Ciclo de moldagem

Na atividade industrial o objetivo é produzir peças, conforme as respectivas especificações, no mais curto intervalo de tempo possível. Para o efeito, condições de processamento tais como pressão de injeção, temperaturas do fundido e do molde, velocidade de injeção e contrapressão, necessitam ser ajustadas tendo em conta as propriedades do material (o seu comportamento reológico e térmico), a geometria da peça e as especificações do produto final.

As fases do ciclo de moldagem são praticamente independentes do tipo de máquina. Contudo a sua duração pode ser muito diversa, variando de tempos inferiores a 1 segundo para peças muito finas, a dezenas de minutos para moldagens muito espessas.

Poderá desenvolver-se segundo os seguintes modos:

- Manual: a seqüência de operações é definida e acionada pelo operador (utiliza-se durante as fases de ajuste do processo).
- Semi-automático: a seqüência de operações do ciclo desenvolve-se de uma forma automática, mas o início de um novo ciclo necessita da confirmação do operador (utiliza-se

quando o processo requer a intervenção do operador, por exemplo, para ajudar a retirar uma peça ou para colocar insertos).

- Automático: O processo desenvolve-se integralmente segundo uma seqüência pré-definida e sem a intervenção do operador. A maximização da produtividade e da repetibilidade só é conseguida em ciclo automático, até porque muitas das funções do controle dos equipamentos mais modernos só estão ativas neste tipo de funcionamento.

FASE 1 – Fechamento

Esta operação corresponde ao início do ciclo (quer o funcionamento seja em regime automático ou semi-automático) deve ser tão rápido quanto possível. No entanto, existem limitações às velocidades utilizadas para o fechamento do molde resultantes de:

- a inércia das grandes massas metálicas dos conjuntos molde/placas da máquina;
- a necessidade do encosto das duas partes do molde ser suave para evitar a danificação das superfícies de ajustamento;
- eventuais movimentos internos no molde, que se desenvolvam simultaneamente com o avanço do molde.

De fato, o tempo para esta operação depende da máquina e das características do molde e da distância a percorrer (curso de abertura). A sua otimização implica a minimização do intervalo de abertura entre as metades dos moldes (ajustado ao valor mínimo necessário para possibilitar a extração do moldado) e o ajuste criterioso das velocidades de fechamento utilizadas.

FASE 2 – Injeção e Pressurização

A fase de injeção é garantida pelo avanço linear do fuso que, funcionando com um pistão, força o material fundido (previamente depositado à sua frente) a entrar no molde e a fluir no interior da cavidade.

A injeção inicia-se após o cilindro ter encostado o bico ao molde (em alguns casos o bico de injeção pode estar permanentemente encostado) e deverá terminar quando a cavidade está preenchida a 95% do respectivo volume.

A velocidade de injeção selecionada (ou idealmente o perfil de velocidades) deve corresponder a um compromisso entre rapidez (para assegurar o preenchimento global da impressão) e a qualidade do produto final (velocidades muito elevadas podem gerar marcas na superfície, efeitos de jato ou superaquecimento da matéria-prima).

De fato, para cada moldagem existirá um ajuste de velocidade ótimo, correspondendo à situação em que as especificações do produto final são garantidas com um nível mínimo da pressão de injeção.

Após o preenchimento da cavidade é necessário continuar a pressurizar o moldado para aumentar a sua densidade.

FASE 3 – Recalque

A seguir ao preenchimento do molde e pressurização, é necessário aplicar uma pressão na cavidade, a fim de reduzir o efeito da contração por resfriamento e evitar o refluxo do fundido. No entanto, esta pressão não deve ser excessiva porquanto daí podem ocorrer danos à peça (por exemplo, desenvolvimento de tensões internas) e dificultar a sua extração.

Esta fase termina logo que a entrada do material nas zonas moldantes (ponto de injeção), ou a própria peça, sejam suficientemente resfriados para inibir o fluxo de material.

O ajuste desta fase é crítico para a qualidade do processo. De fato, o seu início está associado a uma mudança de regime de funcionamento do equipamento, que passa de uma fase de controle da velocidade de injeção (fase dinâmica), para uma fase de controle da pressão (fase estática).

Esta fase também pode ser designada por segunda pressão ou pós-pressão.

FASE 4 – Resfriamento

Logo que tenha ocorrido a solidificação da entrada, o parafuso de plastificação pode começar a girar iniciando a plastificação de material para o ciclo seguinte. Durante este processo, o parafuso é obrigado a recuar por efeito da pressão criada pelo material que se vai depositando na sua frente. O moldado continua a resfriar no molde.

Quando o volume programado estiver dosado, o parafuso pára. Por vezes, segue-se o seu recuo linear no sentido de aliviar a pressão sobre o material fundido e evitar que este escorra pelo bico (no caso de ser um bico aberto). Esta fase, opcional do ciclo de injeção, designa-se por descompressão.

A fase de resfriamento termina logo que a peça atinge uma temperatura que permita a desmoldagem sem distorção. Esta parte do ciclo é uma operação de troca de calor transportado pelo material, dependendo sobretudo, da espessura do moldado e do projeto do molde. Velocidades de resfriamento baixas (garantidas por temperaturas de molde elevadas) permitem reduzir as tensões internas criadas pelo resfriamento, mas correspondem a aumentos significativos do tempo de ciclo.

FASE 5 – Abertura e extração

O tempo para esta operação é uma função da máquina utilizada, (características da unidade de fechamento), do curso de abertura do molde e dos movimentos desta ferramenta necessários para garantir a extração da peça. É uma operação crítica do ponto de vista produtivo, pois em simultâneo, e mediante a utilização de mecanismos apropriados, pode ser efetuada a separação das peças dos canais de alimentação. É cada vez mais freqüente a utilização de dispositivos auxiliares de manipulação para garantir um elevado grau de automatização do processo.

FASE 6 – Tempo de pausa (Tempo morto)

É o período de tempo que decorre entre o fim da extração e o início do novo ciclo. É altamente desejável que seja nulo, o que deverá acontecer em situações de funcionamento em regime automático. No entanto, pode ser prolongado nos casos em que a remoção da peça seja manual ou tenha que ser feita a colocação de insertos. Pela sua própria natureza, o tempo morto depende da aptidão do operador, do nível de automatização do molde e do tipo de precisão utilizada. Tempos mortos prolongados e com variação de ciclo para ciclo afetam drasticamente a reprodutibilidade do processo.

4. INJETORAS

O sucesso da tecnologia de moldagem por injeção é o resultado do efeito combinado de diversos fatores, como:

- as propriedades dos materiais plásticos;
- a existência de equipamento de transformação de grande produtividade e confiabilidade;
- a capacidade de modelagem do processo com base em ferramentas computacionais relativamente amigáveis.

A situação atual é o resultado de um processo de evolução contínuo e sistemático verificado na segunda metade do século XX. No entanto, foi ao longo das décadas de 80 e de 90 que a moldagem por injeção se impôs como um dos principais processos industriais de produção de componentes para os mais diversos mercados consumidores, incluindo peças de elevadas tolerâncias dimensionais. A injetora é um dos elementos chave do processo.



Injetora Arburg

As injetoras podem ser classificadas de diferentes maneiras, como:

Quanto à natureza dos materiais processados

Injetoras para termoplásticos, termoendurecíveis ou borrachas

As injetoras são na grande maioria máquinas de processamento de termoplásticos. A moldagem de termoendurecíveis ou de borrachas baseia-se na utilização de temperaturas relativamente baixas no cilindro de plastificação e de moldes muito quentes (cerca de 150 a 180°C) para garantir o processo de cura/vulcanização. Estas máquinas têm parafusos de comprimento reduzido, para minimizar o tempo de residência a evitar a cura prematura do composto moldado.

Quanto ao tipo de acionamento

Injetoras hidráulicas, elétricas, pneumáticas e mistas.

A grande maioria das injetoras atuais é baseada em potência óleo-hidráulica. Esta tecnologia garante o ajuste de pressões e de deslocamentos (com velocidades controladas). No entanto, é uma tecnologia de baixo rendimento energético e com dificuldades em garantir ambientes de trabalho de elevada limpeza.

As máquinas elétricas têm vindo a ganhar importância comercial desde os finais da década de 80, com máquinas de pequena e média dimensão (até 4000 kN de força de fechamento). Aliam um baixo consumo energético, ambiente de trabalho limpo e resposta muito rápida.

Alguns equipamentos de pequena dimensão são baseados em dispositivos pneumáticos.

Recentemente, têm vindo a ganhar importância as soluções mistas que combinam acionamento hidráulico e elétrico.

Quanto à dimensão

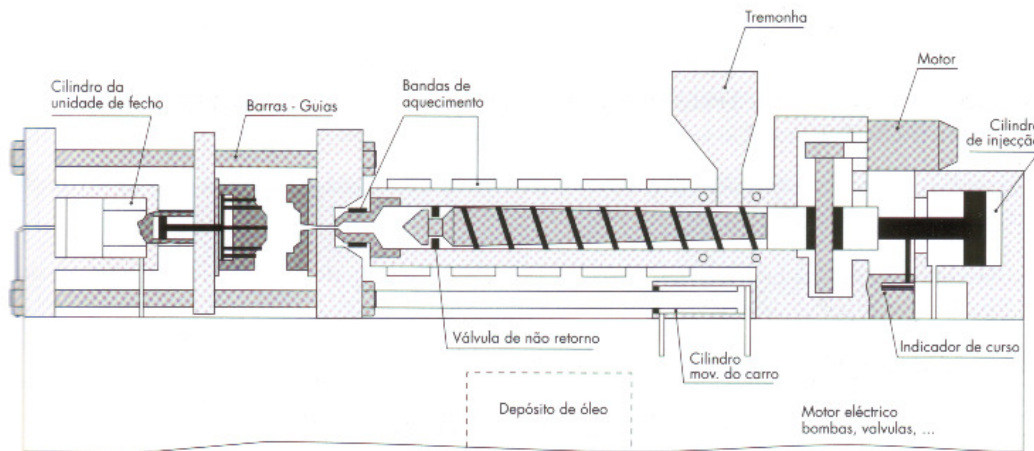
Injetoras micro, pequenas, médias e grandes.

As dimensões das injetoras são normalmente quantificada pela força de fechamento, respectivamente, assim:

Injetoras pequenas	Menos de 1000 kN
Injetoras médias	1000 a 5000 kN
Injetoras grandes	Superiores a 5000 kN

As máquinas de maiores dimensões atingem 50 000 a 90 000 kN de força de fechamento. Existem igualmente injetoras capazes de injetar micropeças (moldagens com massa inferior a 0,1 g). Estas máquinas requerem uma unidade de injeção especial capaz de dosar e injetar quantidade de materiais tão reduzidos.

A constituição típica de uma injetora é baseada em quatro unidades:



Representação esquemática de uma injetora

Unidade de potência

O conceito de unidade de potência está indissociavelmente ligado à máquina de acionamento hidráulico. Os diversos atuadores são alimentados por óleo a pressão e vazão controlados, desenvolvendo os movimentos e as pressões necessárias às diferentes funções do processo.

Fornece a energia adequada aos diversos atuadores da máquina. Está baseada num sistema de pressão óleo-hidráulico, cuja bomba respectiva é acionada por um motor elétrico.

Designam-se por atuadores os cilindros hidráulicos (que garantem movimentos lineares) e os motores hidráulicos (que desenvolvem movimentos lineares).

O conceito de unidade de potência é característico das injetoras baseadas em tecnologia óleo-hidráulica. De fato, esta é a solução tecnológica utilizada e praticamente única dos equipamentos de grandes dimensões. Contudo, em injetoras até 400 toneladas de força de fechamento vêm ganhando importância crescente às injetoras integral e diretamente acionadas por motores elétricos.

A unidade de potência envolve os elementos seguintes: bomba, reservatório e sistema de manutenção de óleo, atuadores, válvulas, tubulações e acumuladores.

Unidade de Injeção

Promove o transporte, aquecimento, plastificação e homogeneização do material (originalmente em grão ou pó), desde a base do funil até o bico de injeção. Também garante a subsequente injeção e pressurização do fundido.

Na grande maioria dos casos está baseada num parafuso sem-fim que garante os processos de plastificação e injeção.

Os parafusos das injetoras apresentam relações de comprimento/diâmetro, L/D entre 18:1 e 22:1, sendo o valor típico 20:1. O seu curso máximo é de 4D.

Do ponto de vista construtivo, distinguem-se as principais variantes:

- injetora de rosca recíproca;
- injetora de duas estações.

A máquina de parafuso alternativo é a solução que se impôs a partir da década de 60, correspondendo à grande maioria dos equipamentos industriais. Utiliza a capacidade de homogeneização e de plastificação de um parafuso de extrusão em combinação com um movimento de translação que garante a pressurização do material.

Durante a fase de plastificação, o fuso é animado de um movimento de rotação que provoca um avanço do material a moldar desde a base do funil até ao bico de injeção. A ação combinada do calor, transmitido por condução a partir das resistências do cilindro, e do aquecimento provocado pela dissipação viscosa associada a fenômenos de atrito garantem o aumento da temperatura necessária a transformar o polímero numa massa homogênea de baixa viscosidade.

A deposição de material plastificado na frente da rosca (que será injetado no ciclo seguinte), desenvolve a pressão necessária para provocar o recuo do fuso, numa extensão correspondente à qualidade de material a dosar.

Após o início de um novo ciclo com o fechamento e travamento do molde, o fuso é animado de um movimento linear e, funcionando como um pistão, injeta o material para o interior do molde.

As máquinas de duas estações foram um conceito inicialmente utilizado para injetoras (nos anos 50). Atualmente utilizam-se em situações muito específicas onde se requer uma grande capacidade de plastificação ou a injeção de quantidades muito pequenas de material. A plastificação é efetuada por uma extrusora de funcionamento intermitente, e a injeção é garantida por um pistão independente.

A dimensão desta unidade quantifica-se pela capacidade de injeção (expressa em gramas de poliestireno).

Unidade de Fechamento

Assegura a fixação e a movimentação do molde, devendo ser capaz de a manter fechado durante as fases de injeção, pressurização e recalque. Integra também os dispositivos necessários à extração dos moldados.

Construtivamente, corresponde a uma prensa que terá de ser capaz de suportar a força resultante da injeção do plástico.

Existem várias soluções construtivas, sendo as mais comuns as unidades de articulações ou de fechamento hidráulico.

Quantifica-se pela força de fechamento (normalmente expressa em kN ou toneladas).

Unidade de Comando

As operações e os dispositivos necessários para assegurar a monitoração e controle das diversas variáveis do processo estão centralizadas nesta unidade. Assegura, igualmente, a interface com o operador e as comunicações com periféricos ou sistemas de gestão de informação.

As unidades de comando estão baseadas em microprocessadores que podem incluir funções de gestão da produção, de diagnóstico de processo e de controle auto-adaptativo.

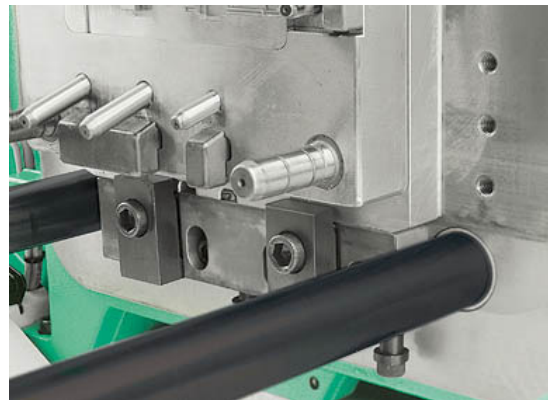
Equipamento auxiliar

Designa-se por equipamento auxiliar o conjunto de dispositivos que integram a célula de moldagem por injeção, além da injetora e do molde. Uma célula típica é composta por:

- dispositivos para alimentação e preparação da matéria-prima;
- controlador de temperatura do molde;
- robô / manipulador;
- esteira transportadora.



Robô Arburg



trocador de moldes

Poderão ainda existir equipamentos para controle de sistemas de moldes de canais quentes (quando não integrados na própria injetora), dispositivos para separação automática de peças e sistemas de alimentação, equipamentos para operações de controle de qualidade, etc.

Alimentação e preparação da matéria-prima

Por questões de produtividade e qualidade, o circuito de alimentação e preparação de matéria-prima deve ter um elevado grau de automatização. Deste modo, minimizam-se as possibilidades de contaminação e de erros humanos associados a formulações.

A matéria-prima deve ser alimentada automaticamente a partir de um sistema centralizado ou de recipientes colocados junto à injetora. Para o efeito, utilizam-se sistemas pneumáticos (baseados em redes de vácuo ou aspiradores elétricos independentes) ou mecânicos (baseados em espirais metálicas flexíveis).

A eventual adição de pigmentos (sob a forma de granulados de masterbatch, pós ou líquidos) deve ser efetuada na máquina, antes do material entrar no cilindro de plastificação. Para o efeito podem ser usados diferentes tipos de equipamentos dosadores e misturadores.

Os processos baseados em moldes de canais frios geram um desperdício associado ao respectivo sistema de alimentação. Sempre que as especificações do produto final o permitam, é altamente recomendável a reciclagem integrada deste desperdício na célula produtiva. Para o efeito devem ser utilizados moinhos granuladores insonorizados e dispositivos de dosagem (normalmente válvulas pneumáticas proporcionais), para controlar a percentagem de incorporação.

Diversas matérias-primas requerem uma fase de secagem, antes da sua transformação, de modo a serem desumidificadas. Esta operação poderá ser efetuada em sistemas centralizados (com subsequente transporte de material seco) ou junto da célula produtiva.

Controle da temperatura de moldes

A temperatura das superfícies moldantes é uma variável crítica do processo, que deve ser criteriosamente controlada por questões de produtividade e de qualidade do produto final. Dependendo do tipo de matéria-prima e das especificações da moldagem, deverá ser ajustada uma temperatura de molde (por vezes utilizam-se temperaturas distintas nas duas partes do molde) cujo controle pode ser assegurado de diferentes modos.

Manuseamento automático de moldados

A produção de peças que não possam cair do molde por gravidade (devido a questões estéticas ou logísticas) deverá ser assistida por dispositivos automáticos para garantir a sua completa extração do molde. Estes dispositivos designam-se por robôs ou manipuladores consoante a sua solução construtiva (baseada em cilindros pneumáticos ou em motores elétricos servoatuadores) e o tipo de programação que permitem. Por vezes utilizam-se manipuladores simples apenas para retirar o sistema de alimentação, verificando-se a queda das peças para um recipiente ou tapete colocado debaixo do molde.

Normalmente, o robô/manipulador coloca a peça numa esteira transportadora, onde esta estabiliza e é, eventualmente, sujeita a operações de controle, antes de ser embalada ou entrar nas fases subsequentes do respectivo processo produtivo.

5. O MOLDE

Um molde deverá produzir peças de qualidade, num tempo de ciclo o mais curto possível, ter o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço e desempenhar corretamente as seguintes funções:

- definir o(s) volume(s) com a forma da(s) peça(s) a produzir, assegurando a reprodutibilidade dimensional, de ciclo para ciclo;
- permitir o preenchimento desse(s) volume(s) com o polímero fundido;
- facilitar o resfriamento do polímero;
- promover a extração da(s) peça(s).

A constituição dos moldes é, assim, determinada pela necessidade de realizar adequadamente as funções associadas à execução do ciclo de moldagem.

Nesta perspectiva, um molde pode ser considerado como uma estrutura (um conjunto de placas ou chapas) onde são montados os sistemas funcionais que, como o próprio nome indica, são os sistemas que permitem que o molde cumpra as suas funções.

Os sistemas funcionais de um molde são:

- cavidades (zonas moldantes);
- sistema de alinhamento;
- sistema de alimentação;
- sistema de ventagem (escape de gases);
- sistema de resfriamento;
- Sistema de extração.

As cavidades (zonas moldantes) é o espaço definido pela conjugação da cavidade e do macho, que dará a forma à(s) peça(s) a ser (serem) produzida (s).

O sistema de alinhamento é o sistema que permite, por um lado montar o molde na máquina, e por outro ajustar as duas (ou mais) partes do molde, assegurando a reprodutibilidade dimensional das peças.

O sistema de alimentação é o sistema que permite passagem do polímero fundido desde o cilindro da injetora até às zonas moldantes, permitindo o seu preenchimento.

O sistema de escape de gases é o sistema que permite que o ar existente nas zonas moldantes possa sair, possibilitando o seu preenchimento com o polímero fundido.

O sistema de resfriamento é o que constitui para um resfriamento rápido das peças.

O sistema de extração é o que permite fazer a extração das peças.

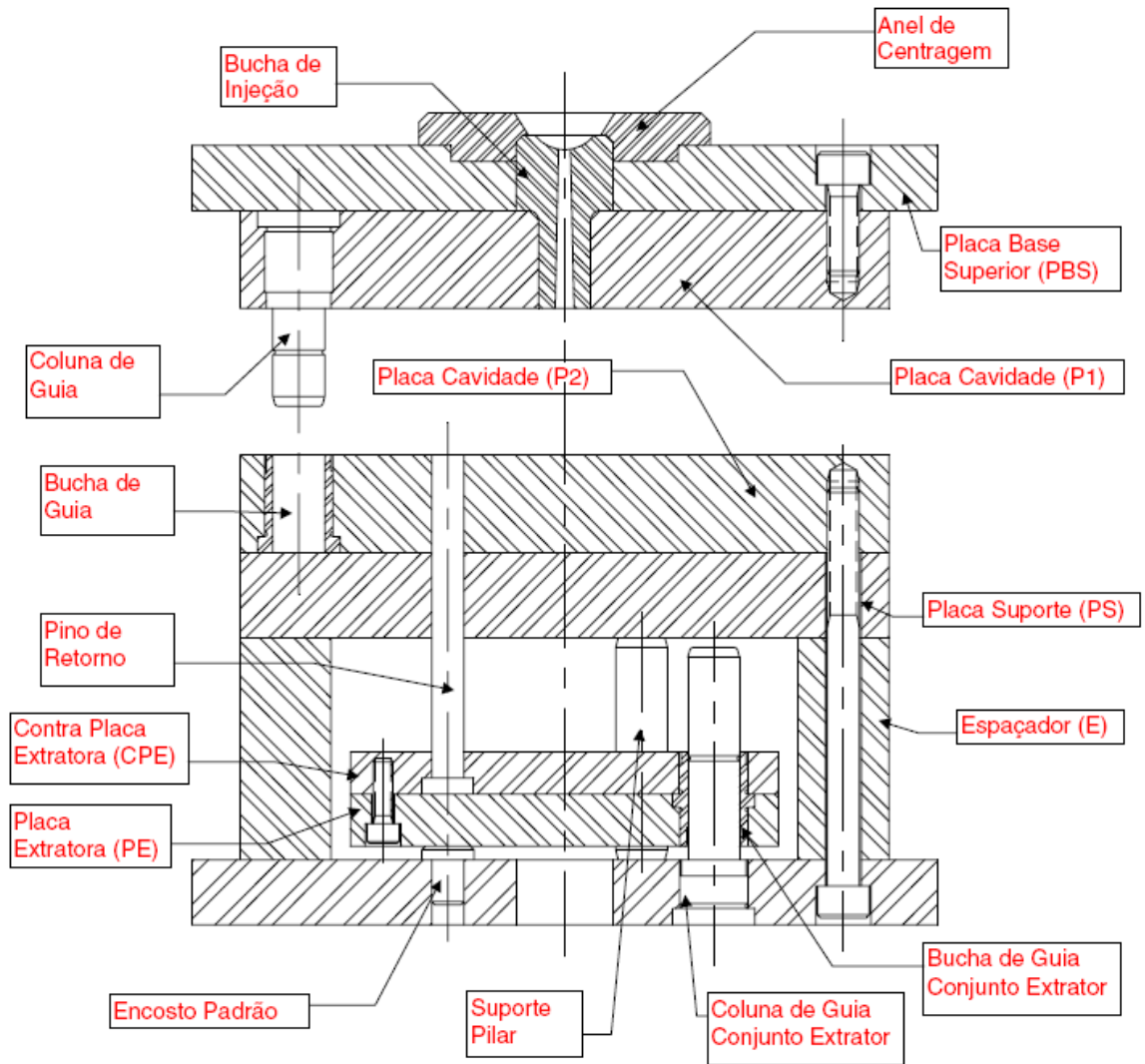
A estrutura de um molde é um conjunto de placas e calços, cujo número depende do tipo de molde.

Como exemplo, apresenta-se uma estrutura típica de um molde de duas placas, que é o tipo de molde mais simples, e é constituído por uma parte fixa (ou lado da injeção) que é formada por:

- placa base superior;
- placa porta cavidades.

E, por uma parte móvel (ou lado da extração) que compreende:

- placa porta cavidades;
- placa suporte;
- calços ou espaçadores;
- placa base inferior;
- placa porta extratores;
- placa impulsora.



Exemplo de um porta-molde da POLIMOLD

Na placa porta-cavidades superior (ou num postigo montado nessa placa) é usinada a cavidade – parte fêmea do molde – que define a forma exterior da peça.

Na placa porta cavidades inferior (ou num postigo nela montado) é usinada a parte macho do molde, que define a forma interior da peça.

Apesar do que foi dito, é de notar que a cavidade e o macho podem estar situados indiferentemente na parte fixa ou na parte móvel do molde. No entanto, é mais comum a configuração descrita em que a cavidade fica na parte fixa e o macho na parte móvel, já que esta configuração facilita a extração das peças.

Os calços ou espaçadores permitem definir o espaço necessário aos movimentos do sistema de extração e podem contribuir para a altura mínima do molde, exigível pela máquina onde vai ser montado.

Para dar rigidez ao conjunto, as placas têm que ser aparafusadas e encavilhadas entre si, de forma a criar tantas partes quantas as necessárias ao tipo de molde em questão.

TIPOS DE MOLDES

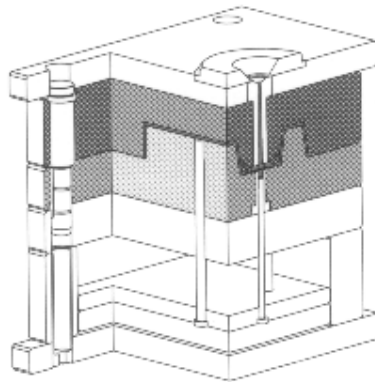
Apesar de existir alguma tipificação definida para uma pequena parte dos diferentes tipos de moldes para injeção de plásticos, considera-se que ela é insuficiente e inadequada, sendo necessário melhorá-la alargando substancialmente a sua caracterização.

A primeira grande divisão é entre moldes sólidos (MS) e moldes estruturados (ME). O fato de moldes sólidos de duas ou mais cavidades estarem suportados por placas que, também, farão parte de uma estrutura não retira esta lógica de divisão entre Moldes Sólidos e Moldes Estruturados. Já que esta caracterização tende a incluir sobre as placas que diretamente suportam as cavidades (zonas moldantes).

Moldes Sólidos – 2 cavidades

Nos moldes sólidos – 2 cavidades o mais importante é:

- centragem, ligação e encaixe da cavidade e do macho nas placas;
- travamento cavidades – machos.

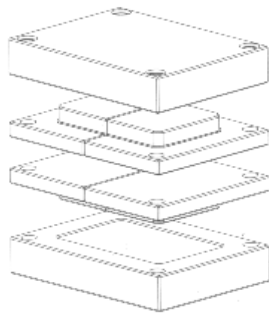


Molde sólido duas cavidades

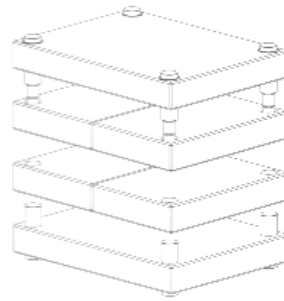
Os moldes de injeção de plásticos são montados na unidade de fechamento (placas móvel e fixa) das injetoras. Durante o ciclo de moldagem as placas abrem e fecham promovendo-se assim a remoção das peças do molde. Para garantir esta funcionalidade, existe a necessidade de ser recorrer a um sistema de guiamento que permita um correto e rigoroso alinhamento das metades do molde, assim como um fechamento preciso e ajustado. A ausência de um tal sistema, contribuiria para defeitos e desvio nas espessuras das paredes das peças moldadas.

A centragem da cavidade e da bucha deve ser feita tendo em conta a produtividade, a resistência e a confiabilidade.

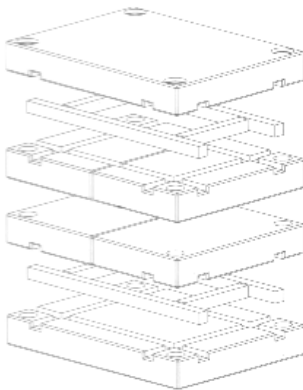
Os tipos de centragem podem ser: centragem em caixa, guiamento, régua e cantos. Abaixo exemplificações de cada tipo.



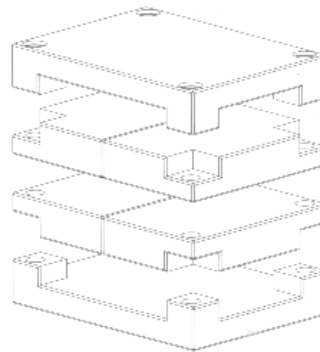
Centragem Caixa



Centragem Guiamento



Centragem Régua



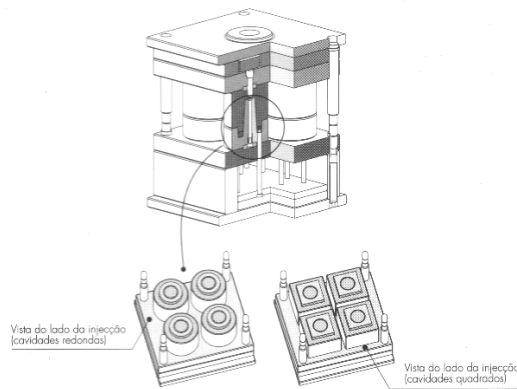
Centragem Cantos

Tipos de centragem

Em certas situações o sistema de centragem por si só não é suficiente para garantir um funcionamento correto do molde, nesses casos o projetista terá de introduzir no molde sistemas de travamento. O travamento, além da finalidade de guiamento e centragem, proporciona também um melhor ajustamento e proteção às metades do molde, particularmente quando se trata de moldes de grandes dimensões com cavidades profundas.

Moldes sólidos – múltiplas cavidades

Os moldes sólidos podem permitir a moldagem de várias peças. Como exemplo apresenta-se um molde de copos de paredes finas de 4 cavidades, podendo estas ser redondas ou quadradas. Este tipo de moldes com a cavidade e a bucha suficientemente rígidas, com travamento e com o sistema de controle de temperatura bem concebido, permite produzir peças com qualidade. Se forem usados anéis, estes devem ter folga para permitir a dilatação das placas. A placa que aloja o sistema de injeção deve ter a temperatura controlada.



Molde sólido multicavidades

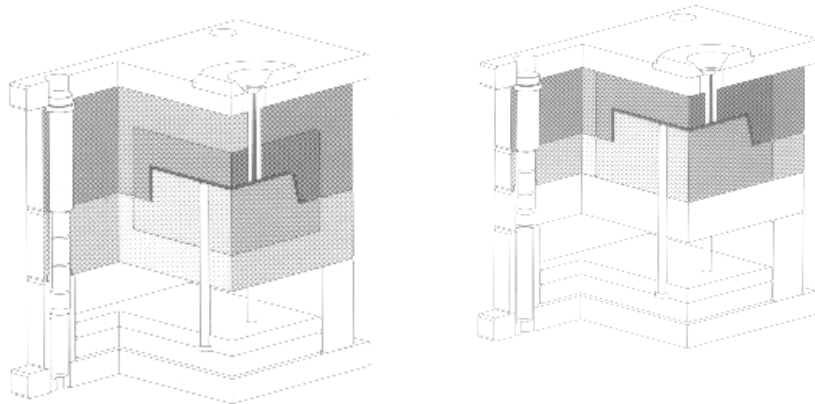
Moldes estruturados

Fala-se de moldes estruturados quando a cavidade das zonas moldantes não são feitas diretamente nas placas (placas porta cavidades). Neste caso são abertas nas placas caixas, onde são introduzidas as cavidades e os machos.

Os moldes estruturados podem ser de dois tipos:

- caixa
- aro

Os moldes estruturados caixa possuem as características a seguir: forte, econômico, caixa de precisão média e não permite retificação.



Molde estruturados em caixa (esquerda) e em aro (direita)

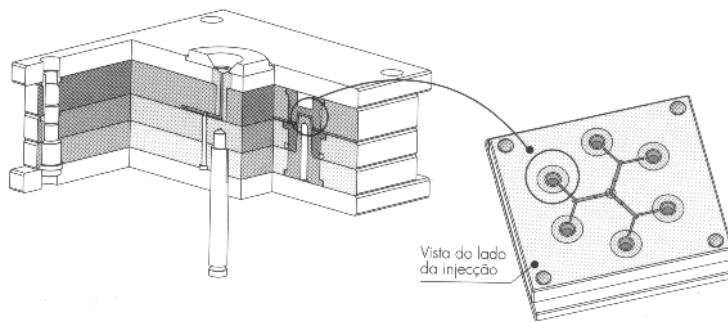
Os moldes estruturados em aro são mais fracos, sobretudo em moldes de grandes dimensões; econômicos, maior precisão e permite retificação.

A escolha do tipo de molde estruturado deve ser feita relativamente à resistência às pressões e dilatações (melhor em caixa), ou precisão de retificação (melhor em aro).

O uso de um aro reforçado é uma boa opção. Para definir os canais de alimentação pode ser necessário o uso de insertos temperados.

Moldes Estruturados – cavidades cilíndricas

A única diferença destes moldes é que o formato das cavidades são cilíndricas.

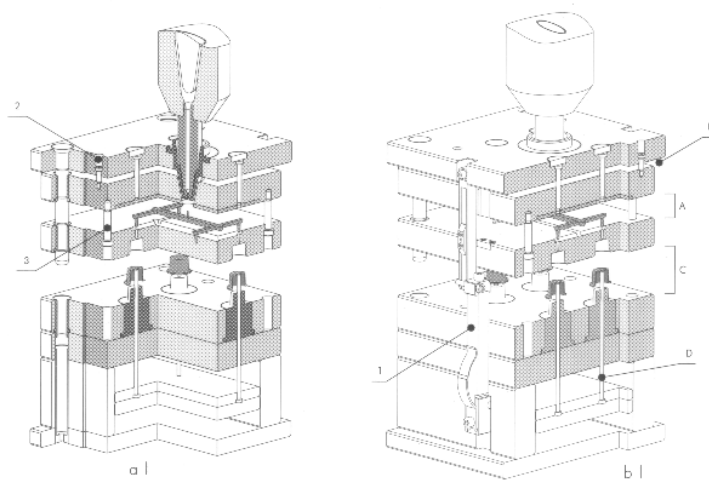


Molde com cavidades cilíndricas

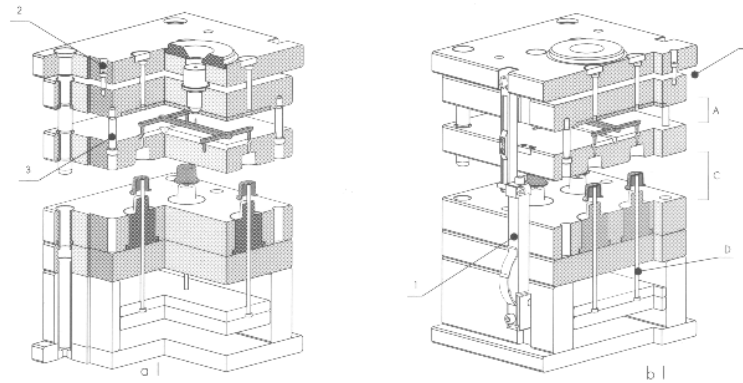
Moldes de três placas (canais frios)

Relativamente aos moldes de três placas (canais frios), são 3 tipos:

- o molde em que o bico da injetora vai dentro do molde;
- o molde com bico quente;
- o molde com mini canal de injeção.



Molde 3 placas canais frios com o bico da máquina dentro do molde



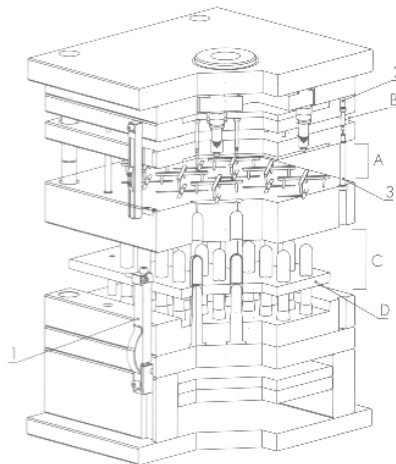
Molde 3 placas canais frios com bico quente

O acionamento das aberturas A e B, ver figuras acima, é feito pelo sistema apresentado (1), ou por outros sistemas normalizados existentes. A abertura é limitada pelas peças (2) e (3). A quantidade de sistemas “acionamento”, normalmente 2 ou 4, (1), depende da dimensão do molde, sendo, na maioria dos casos, colocados lateralmente. Quando há robô ter-se-á que verificar se existe interferência.

O funcionamento do molde de três placas é o seguinte:

- extração do canal de injeção da cavidade, abertura (A);
- extração do canal de injeção, abertura (B);
- Abertura do molde, abertura (C);
- Extração das peças (D).

Molde com mini canal de injeção



Molde mini canal de injeção

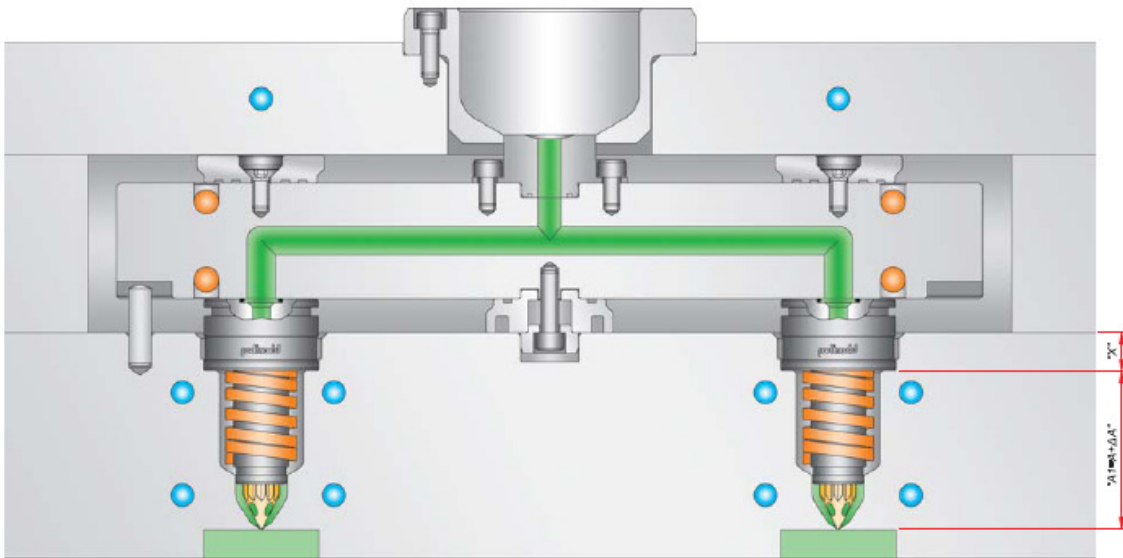
Este tipo de molde apresenta algumas vantagens relativamente aos anteriores:

- São mais baratos e menos complexos, pois, em moldes multicavidades, não é necessário colocar um distribuidor, como aconteceria num molde em que se utilize exclusivamente sistema de canais quente;
- Na produção de peças de diâmetro reduzido, por exemplo tampas de esferográficas, pode-se fazer um molde mais pequeno pois não é necessário colocar um bico quente em cada cavidade;
- O material dos mini canais pode ser reutilizado/reciclado e entrar no processo produtivo de forma automática;
- O sistema de controle de temperatura é mais simples, mais barato, e a energia consumida no aquecimento é menor.

Moldes de Canais Quentes

Relativamente aos moldes de canais quentes, há basicamente dois tipos:

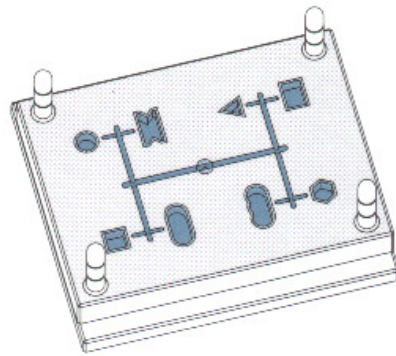
- os moldes de bicos quentes;
- com bicos valvulados.



Sistema de câmara quente da POLIMOLD

Moldes Família

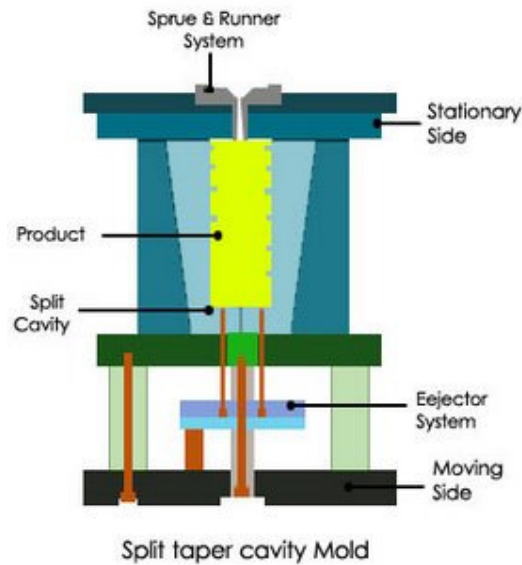
O conceito de moldes família prende-se à idéia de no mesmo molde se poder moldar um conjunto de peças distintas, otimizando-se assim sinergias ligadas à capacidade produtiva do molde. Sendo as vantagens óbvias, existe no entanto, a necessidade de se balancear as distintas cavidades para que o fluxo de material plástico chegue ao mesmo tempo a todas elas.



Molde família

Split molde

O split molde caracteriza-se por ter os elementos móveis do lado da injeção (lado fixo do molde) e poderem ser acionados simultaneamente com a abertura do molde usando sistemas pneumáticos, hidráulicos ou mecânicos. A aplicação de molas não é aconselhável devido à sua fragilidade e baixa durabilidade.



Exemplo de Split Molde

Molde com cremalheira

O funcionamento do molde de desenroscamento com cremalheira é descrito a seguir: o hidráulico aciona as cremalheiras (1) e as barras laterais (2). As barras (2) têm a inclinação da rosca no percurso (3) no espaço necessário ao desenroscamento. No final do movimento, no espaço (4), as barras têm uma inclinação maior para se obter um impulso mais rápido para extrair a peça. A placa

de extração (5), também pode ser acionada no fim do curso através de ligação à extração da máquina.

Neste tipo de acionamento pode ser feito no interior da estrutura.

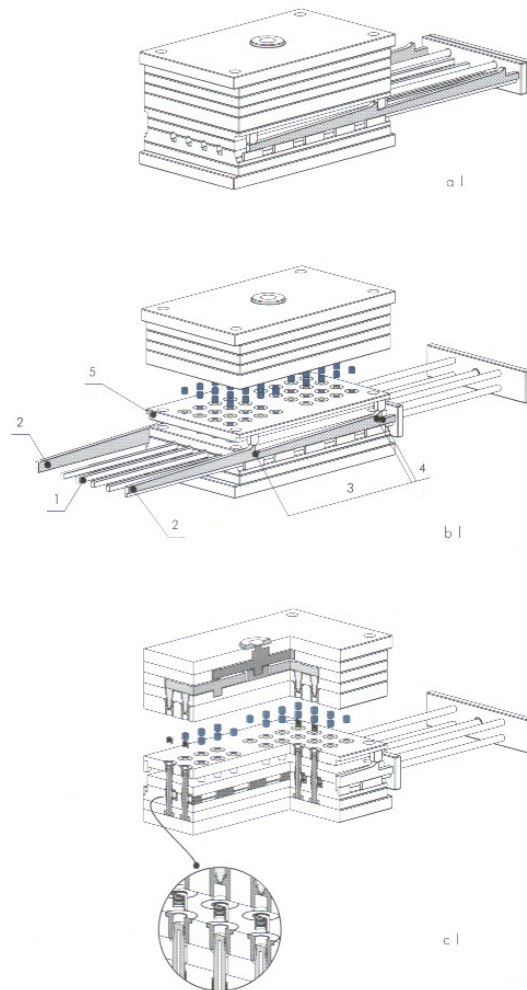
Molde em andares (Molde Sandwich)

Neste tipo de molde é possível duplicar o número de peças a moldar utilizando-se a mesma força de fechamento da injetora.

A abertura do molde em andares (molde sandwich) faz-se com auxílio da abertura da injetora. O conjunto das cavidades (A), fica a meio dos conjuntos das buchas (B), resultado da aplicação do sistema de cremalheiras.

Durante a abertura e fechamento do molde deve-se ter em atenção para que o conjunto de cavidades (A), não saia do guiamento, como mostra a figura, para isso deve-se prever a utilização de barras de apoio no próprio molde ou nas colunas da máquina.

A extração pode ser feita através do movimento de abertura da máquina utilizando-se tirantes C.



Molde com cremalheira

Para que com a abertura da máquina a parte que suporta as cavidades fique a meio, os acionamentos podem ser efetuados através de:

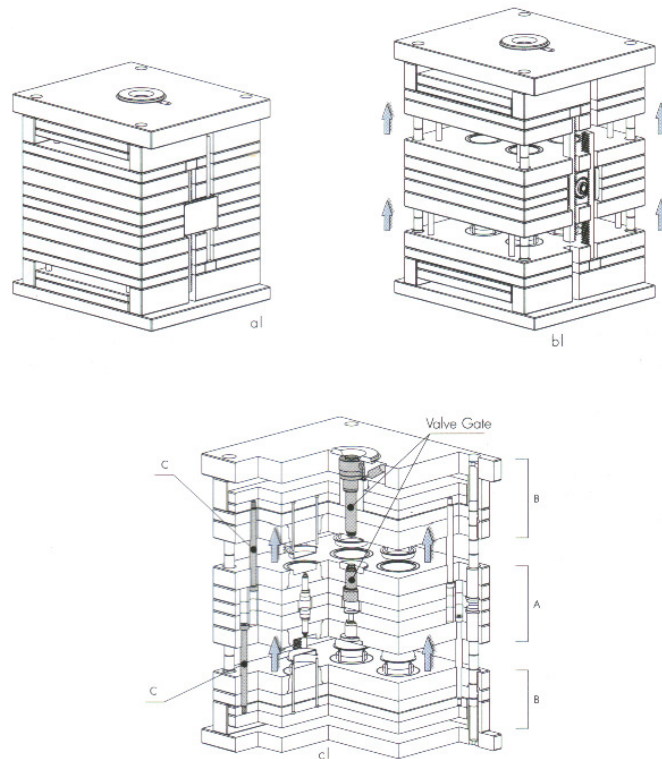
- cremalheira e roda dentada;
- fusos e porcas helicoidais;
- hidráulicos;
- alavancas;
- tirantes.

O acionamento mais comum é através de cremalheira e roda dentada.

Os sistemas de acionamento devem ser fortes e ajustados às dimensões do molde e à sua complexidade.

O movimento para a extração das moldagens pode ser efetuado através de:

- tirantes, que corresponde ao exemplo apresentado, apesar de ser pouco habitual;
- hidráulico, que é o mais utilizado;
- braços ligados a processos de alavancas.



Molde em andares (molde sandwich)

Molde bi-material

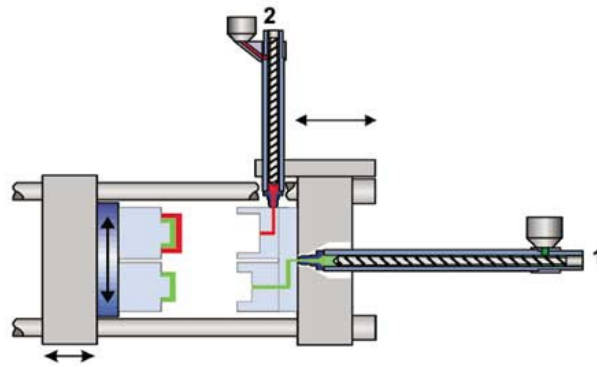
O molde para a técnica de injeção de bi-material é um tipo de molde que corresponde à moldagem de dois ou mais materiais. Os materiais podem ser diferentes (compatíveis ou não) ou o

mesmo material, mas com cores diferentes. A moldagem bi-material pode ser efetuada, através dos seguintes processos:

- transferindo as moldagens de uma máquina para outra através de robôs;
- transferindo as moldagens da 1ª posição de injeção para a 2ª posição, no mesmo molde, através de robôs;
- por rotação incorporada no molde ou na placa da máquina que tem duas, ou mais, unidades de injeção.

Os processo indicados são escolhidos de acordo com os seguintes fatores:

- economia;
- produtividade;
- tipo de produto;
- equipamento disponível.



Exemplo de injeção bicolor

6. MATERIAIS PARA MOLDES

No projeto e fabricação de um produto é essencial que os materiais e os processos sejam compreendidos. Os materiais são um elemento chave dos sistemas de produção. Compreender as suas propriedades, características, aplicabilidade e usinabilidade é essencial para a competitividade das empresas industriais.

Como todos os produtos incorporam materiais, é fundamental o conhecimento das suas propriedades de modo a poder selecionar os mais aptos para cada aplicação e que, simultaneamente, determinam custos de produção mais baixos. Os aspectos econômicos na sua seleção são tão importantes como as considerações de ordem tecnológica relativas às suas propriedades.

A crescente introdução no mercado de uma vasta gama de novos materiais plásticos com características técnicas específicas determina, por vezes, um desgaste anormal por abrasão e corrosão química dos equipamentos de produção. Neste contexto, os fabricantes de moldes são confrontados com a necessidade de encontrar soluções para incrementar a resistência dos seus produtos e, simultaneamente, com níveis de exigência para a qualidade final dos produtos cada vez mais elevados.

O endurecimento superficial das peças é um conceito amplo e é um fator muito importante para o controle de desgaste das peças. Pode-se dividir os processos de endurecimento das superfícies em três grupos: revestimentos, tratamentos termoquímicos e tratamento térmico superficial.

Por exemplo, a utilização dos modernos revestimentos PVD nos moldes, permite um melhor controle do desgaste provocado pelos movimentos cíclicos de partes metálicas que entram em contato diretamente umas com as outras, o controle de desgaste provocado por abrasão de alguns materiais plásticos, particularmente os materiais reforçados com fibras, o controle do desgaste provocado por corrosão química das superfícies moldantes e a redução das forças de extração que, se forem muito elevadas, podem introduzir elevados níveis de tensão nas peças.

Aços

Os aços usados na fabricação de moldes devem ser resistentes às tensões e fáceis de usar.

A resistência às tensões é necessária devido às altas pressões empregadas durante a moldagem, que podem ser de 300 a 1400 kgf/cm², bem como pela necessidade de suportar as tensões de flexão e as cargas de compressão, exigindo que a resistência no núcleo de aço seja alta enquanto se mantém uma dureza superficial adequada.

Uma dureza superficial adequada permite:

- suportar efeitos de erosão dos materiais termoplásticos rígidos nas zonas do molde em que o fluxo é restrito ou obstruído,
- resistir ao desgaste, especialmente em grandes produções,
- manter na superfície um alto grau de polimento, que facilite a extração do produto e lhe proporcione um bom acabamento.

Além da resistência mecânica e facilidade de usar outras características importantes são: tratamento térmico sem problemas, resistência ao calor, alta condutividade térmica, resistência à corrosão e características que permitam usinagem econômica.

Como regra geral, as partes do molde em contato com o material plástico fundido e os elementos móveis que suportam atrito devem ser tratadas. As partes do molde que compõem sua estrutura são de aço com baixo teor de carbono não tratadas.

A escolha do método de tratamento varia de acordo com o tipo de aço empregado, a dureza necessária para a aplicação, além da complexidade e precisão do molde.

Os métodos usados para tratamento superficial são a têmpera ao ar, em óleo e a cementação.

A têmpera ao ar é geralmente empregada para assegurar uma deformação mínima, enquanto que a cementação é usada para obter uma dureza máxima superficial.

Devido a limpeza, a têmpera em óleo facilita o polimento das partes onde o produto é moldado.

Além dos requisitos fundamentais, é importante que o aço seja de fácil usinagem e tenha a estrutura homogênea que pode ser conseguida através de recozimento.

Classes de aço, segundo normas ABNT

- aço de baixo teor de carbono – ABNT 1008 a 1010
- Aço de médio teor de carbono – ABNT 1020 a 1040
- Aço de alto teor de carbono – ABNT 1050 a 1090
- Aços especiais

SELEÇÃO DE TRATAMENTOS TÉRMICOS E DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

No processo de injeção de plásticos há uma ampla variedade de produtos, de matéria-prima, e de produção que não é possível fixar um padrão de poucas combinações de aços e tratamentos. Diferentemente, por exemplo, do processo de injeção de alumínio, no qual uma vez fixada e controlada as variáveis de processo de injeção, restam poucas opções para tipos de aço, tratamento térmico e tratamento de superfície.

Tabela orientativa dos aços recomendados para molde de injeção

Componentes do molde	Aços recomendados	Tratamento térmico	Dureza RC
Placa fixação inferior e superior	ABNT 1020 a 1040	-	-
Coluna ou espaçador			
Porta extratores			
Placa suporte			
Anel de centragem			
Placa extratora			
Placa de montagem dos postigos			
Placa impulsora			
Bucha-guia	Aço Cromo-Níquel ABNT 3310	Cementado e Temperado	54 a 58
Coluna-guia			54 a 58
Bucha de injeção	58 a 60		
Postigos fêmeas	58 a 60		
Postigos machos	58 a 60		
Camisa extratora	54 a 58		
Pinos extratores	54 a 58		
Extrator de canal	54 a 58		
Parafusos limitadores	50 a 56		
Lâminas extratoras	50 a 56		
Pinos de retorno	50 a 56		

A produção de lentes de faróis para automóveis em policarbonato exige muito mais do molde do que mantigueiras fabricadas em PS de uso geral, mas, também porque a quantidade de lentes produzida é maior do que as da outra peça. Assim, o ferramental utilizado para fabricar as lentes será muito mais sofisticado em termos de aços e tratamentos térmicos do que no caso das mantigueiras.

Outros fatores a considerar, para a seleção do aço e dos tratamentos térmicos, são o que se pode chamar de “Requisitos Especiais”, em particular a resistência à corrosão e a polibilidade, condição muito importante neste segmento em função das necessidades do produto. Estas propriedades estão intimamente relacionadas com a qualidade do aço utilizado e com o tratamento térmico aplicado.

Para sua orientação e para determinar a combinação das variáveis “produção”, “abrasividade do polímero” e “requisitos especiais”, foi elaborada a tabela a seguir, combinando aços e tratamentos térmicos.

Tabela I – Abrasividade do polímero

Abrasividade	Material
Baixa	PEBD
	PEBDL
	PEAD
	PP
	GPPS
	HIPS
	PA 6, PA 6.6
	POM
	ASA
	SAN
	ABS
Média	PET
	PBT
	PPO
Alta	PC
	PEEK
	PPS
	ASA/PC
	Materiais com carga: fibra de vidro, microesfera de vidro, CaCO ₃ , dióxido de titânio, antichama

Aços indicados

Os aços indicados na Tabela III a seguir são os de uso corrente no Brasil e são oferecidos por fabricantes nacionais e também por importadores. A relação apresenta as principais características dos aços indicados e a dureza com que é utilizada após tratamento térmico.

É importante notar que os aços indicados são para a seleção padrão para moldes de injeção de plástico. Em função de requisitos especiais, o mercado de aços oferece outras opções. Por exemplo, nas famílias dos inoxidáveis martensíticos, há grande variedade à disposição do mercado que apresenta polibilidade superior ao 420 convencional. Em função da necessidade de polimento, pode-se alterar a seleção do aço inox 420 para outro da mesma família, mas com polibilidade superior.

Tabela II – Recomendações para seleção de aços, tratamentos térmicos e tratamentos de superfície

Seleção Padrão	Abrasividade do produto		Produção desejada		
			Baixa	Média	Alta
			→		
Baixa	↓	Baixa	Aço: ao carbono (1020/1045) TT: nenhum	Aço: ao carbono (1020/1045) TT: nenhum TS: Nitrocarbonetação	Aço: ABNT 4340 ou P20 TT:nenhum TS: Nitrocarbonetação
		Média	Aço: ao carbono (1020/1045) TT: nenhum TS: Nitrocarbonetação	Aço: ABNT 4340 ou P20 TT: nenhum TS: Nitrocarbonetação	Aço: Classe Precipitation Hardening TT: envelhecimento TS: Nitrocarbonetação / Nitretação a plasma/ PVD
			Aço: Classe Precipitation Hardening (PH) TT: envelhecimento TS: Nitrocarbonetação/Nitretação a plasma	Aço: ABNT H13 TT: Têmpera a vácuo TS: Nitrocarbonetação /PVD	Aço: ABNT H13 TT: Têmpera a vácuo TS: Nitrocarbonetação / PVD
Requisitos Especiais	Polibilidade: Aço: P20 ou ABNT 420; TT: Têmpera a vácuo (420) e nenhum (P20); TS: PVD				
	Corrosão: Aço: P20 ou ABNT 420; TT: Têmpera a vácuo (420) e nenhum (P20); TS: PVD				
	Baixa Deformação: Aço P20 ou ABNT 420; TT: Têmpera a vácuo (420) e nenhum (P20)				

Tabela III – Aços padrão para injeção de plásticos

Aço	Equivalências	Características	Dureza de utilização
SAE 1020/1045		Aço carbono comum	Utilizado no estado de fornecimento (recozido)
AISI 4340	VM40 (Villares)	Aço carbono baixa liga. Fornecido no estado pré-beneficiado	Utilizado no estado de fornecimento pré-beneficiado com durezas de 28/32 HRC
AISI P20	VP20IM (Villares) P20 (Gerdau) IMPAX (Uddeholm) M200 (Boehler) THYROPLAST 2311 (Thyssen)	Aço ferramenta, específico para moldes plásticos. Alta polibibilidade. Fornecido no estado pré-beneficiado	Utilizado no estado de fornecimento, pré-beneficiado com durezas de 28/32 HRC
CLASSE PH	VP50IM (Villares) ADINOX 41 VAR (Thyssen) M261EXTRA (Boehler) CORRAX (Uddeholm)	Aços ferramenta endurecíveis por tratamento térmico por precipitação Elevada polibibilidade. Corrax e Adinox 41 são inoxidáveis. Deformação no tratamento térmico menor do que nos temperáveis	VP50IM e M261 EXTRA – 38/42 HRC ADINOX41 – 38/42 HRC CORRAX – 46/48 HRC Todos após tratamento térmico de envelhecimento
AISI H13	VH13IM (Villares) W302 (Boehler) ORVAR (Uddeholm) H13 (Gerdau) THYROTHERM 2344 (Thyssen)	Aço ferramenta para trabalho a quente Endurecível por têmpera	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC
AISI 420	VP420IM (Villares) M310 ISOPLAST (Boehler) STAVAX (Uddeholm) 420 (Gerdau) THYROPLAST 2083 (Thyssen)	Aço inoxidável martensítico Alta polibibilidade (varia de acordo com a qualidade) Endurecível por têmpera	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC A polibibilidade varia com o processo de tratamento térmico e a qualidade do aço.

Aços para moldes – características gerais

Características	VP20 ISO	VP20 IM	VP50 IM	VP 420 IM	VH13 IM
Usinabilidade	Boa, tanto recozido como beneficiado	Boa, tanto recozido como beneficiado	Excelente	Boa	Boa
Soldabilidade	Boa	Boa	Excelente	Difícil	Média
Polibilidade	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Reprodutibilidade Condição Normal de entrega	Boa Beneficiado para 30/34 HRC	Boa Beneficiado para 30/34 HRC	Boa Solubilizado, dureza de 30/35 HCR. Pode ser entregue envelhecido com 40/42 HCR	Boa Recozido, dureza de 200 HB ou na versão VP420 TIM temperado e revenido para 28/32 HCR	Boa Recozido, dureza máxima de 197 HB
Aplicações típicas	Moldes para injeção de termoplásticos não clorados Matrizes para extrusão de termoplásticos não clorados Moldes para sopro	Moldes para injeção de termoplásticos não clorados Matrizes de extrusão para termoplásticos não clorados Moldes para sopro	Moldes para injeção de termoplásticos não clorados Matrizes para extrusão de termoplásticos não clorados Moldes para termoplásticos reforçados com carga. Plásticos de Engenharia Moldes para sopro	Moldes para plásticos corrosivos (clorados) acetato e PVC Resistência a atmosferas úmidas Moldes para sopro	Mandris e outros componentes de extrusoras Moldes para injeção de termoplásticos não clorados que requer alto grau de polimento
Nitretação	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Cementação	Sim, antes de temperar	Sim, antes de temperar	Não	Não	Não

Aços UDDEHOLM para moldes.

Qualidades Disponíveis

Aços para Moldes	Principais Características
<i>IMPAX[®] SUPREME</i> (AISI P20, modificado)	Ligado ao Ni-Cr-Mo pré-temperado, fornecido com 290-330 HB, com excelentes propriedades de polimento e texturização. Indicado para muitas aplicações de moldes para injeção, moldes para sopro e matrizes de extrusão.
<i>CALMAX</i> <i>COMPAX</i>	Aço recomendado para injeção – compressão – e transferência – moldes onde necessita de uma ótima resistência ao desgaste e resistência à compressão.
<i>STAVAX[®] ESR</i> (420 modificado)	Aço inoxidável para têmpera com boa resistência à corrosão, ótima polibilidade, muito boa indeformabilidade no tratamento térmico, fácil de usar.
<i>CORRAX</i>	Aço inoxidável temperável por revenimento para gravuras delicadas e de desenho complicado.
<i>ORVAR[®] SUPREME</i> (AISI H13, melhorado)	Uma qualidade versátil com 5% Cr para moldes e matrizes com boa resistência a abrasão, polibilidade e boa indeformabilidade no tratamento térmico.
<i>RIGOR[®]</i> (A2)	Indicado para moldes para têmpera, de alta produção de peças pequenas, de desenho complicado.
<i>ELMAX[™]</i> <i>VANADIS 4</i> <i>VANADIS 6</i> <i>VANADIS 10</i>	Fabricado pela metalurgia do pó 3ª geração (Superclean), apresenta uma ótima indeformabilidade no tratamento térmico, ótima polibilidade e resistência à abrasão. <i>ELMAX</i> é resistente à corrosão. <i>VANADIS 4</i> tem uma ótima tenacidade. <i>VANADIS 10</i> tem uma ótima resistência à abrasão. São indicadas para moldes de alta produção, para peças complicadas e pequenas, resistente à abrasão.
Suporte para Moldes <i>HOLDAX[®]</i> (AISI 4130/35, modificado)	Aço pré-temperado indicado para bases e moldes sem alta exigência de polibilidade, ótima usinabilidade, boa resistência à compressão.
<i>RAMAX[®] S</i> (420F, modificado)	Aço inoxidável pré-temperado indicado para moldes sem alta exigências de polibilidade, extratores especiais, bases de moldes, ótima usinabilidade, boa resistência à compressão.
Alumínio <i>ALUMEC</i>	Alumínio ligado, com alta resistência mecânica (160 HB), indicado para moldes de sopro, protótipos e moldes para pequenas produções.
Cobre Berílio <i>MOLDMAX[®]</i>	Possui alta resistência (36-42 HRC), indicado para moldes que solicitam alta condutibilidade térmica. Para insertos de gargalos e bases de garrafas para moldes de sopro, insertos para moldes de injeção, sistema de câmaras a quente.
<i>PROTHERM[®]</i>	Possui alta condutibilidade térmica, para aplicações que requerem alta condutibilidade térmica com moderada resistência

Seleção do aço para moldes

Processo / Material	Qualidade do aço	Dureza HRC (HB)
Molde para injeção	Termoplásticos	ALUMEC (~160)
	- Aços para moldes pre-temperado	IMPAX SUPREME 33 (~310)
	- Aços para têmpera total	CALMAX 45-58 GRANE 45-56 ORVAR SUPREME 45-54 STAVAX ESR 45-54 CORRAX 46-50 ELMAX, VANADIS 4 58-60
Moldes para Compressão / Transferência	Plásticos Termoagregados	CALMAX 52-58 GRANE 52-56 RIGOR, ELMAX, VANADIS 4 58-60 VANADIS 6 60-64
	Plásticos Termoagregados	CALMAX 56-58 GRANE 54-56 STAVAX ESR 45-54 CORRAX 46-48 ELMAX, VANADIS 4 58-60 VANADIS 6 60-64
	Plásticos Termoagregados	CALMAX 56-58 GRANE 54-56 STAVAX ESR 45-54 CORRAX 46-48 ELMAX, VANADIS 4 58-60 VANADIS 6 60-64
Molde para sopro	Geral	ALUMEC (~160) CORRAX, IMPAX SUP. 33 (~310)
	PVC	STAVAX ESR 45-54 RAMAX S 37 (~340)
Extrusão	Geral	CORRAX 48-50 IMPAX SUPREME 33 (~310)
	PVC	STAVAX ESR 45-54 RAMAX S 37 (~340)
Material para Bases	1. Alta resistência, pré-temperado, fácil usinagem	HOLDAX 33 (~310)
	2. Igual a 1, mais resistência à corrosão, baixa manutenção. Também para condição de produção "higiênico", não precisa niquelar	RAMAX 37 (~340)

Recomendações Especiais

Exigência especial ou Requerimento	Qualidade do aço	Dureza HRC (HB)
Moldes grandes	Para componentes automotivos, incluindo painéis, pára-choques, etc.	ALUMEC (~160) IMPAX SUPREME 33 (~310)
	Como acima, pouca exigência no acabamento superficial.	HOLDAX 33 (~310) CORRAX 44-46 RAMAX S 37 (~340)
Alto acabamento superficial	Para peças ópticas/médicas, tampas e painéis transparentes, disquetes, peças de alto polimento, etc.	STAVAX ESR 45-54 ELMAX, VANADIS 4 58-60 ORVAR SUPREME 48-54
Gravuras Complexas	1. Peças grandes montadoras / componentes para ferramentas manuais.	IMPAX SUPREME 33 (~310) CORRAX 34-46
	2. Peças pequenas com baixa resistência a abrasão.	IMPAX SUPREME 33 (~310) CORRAX 34-46
	3. Peças pequenas com exigência de alta resistência à abrasão. Ex. peças eletro / eletrônicos.	RIGOR 60-62 CALMAX 52-58 GRANE 50-56 STAVAX ESR, ORVAR SUP. 50-54 ELMAX, VANADIS 4 58-60 VANADIS 6 60-62 CORRAX 32-50
	4. Peças muito complexas e delicadas	
Moldagem de materiais abrasivos		CALMAX 52-58 GRANE 50-56 RIGOR 60-62 STAVAX ESR, ORVAR SUP. 50-54 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58 VANADIS 6 60-64
	Materiais com fibras / reforçados; resinas de engenharia	
Alta produção	Para peças termoplásticas, cutelarias, recipientes em geral	CALMAX 52-58 GRANE 52-56 STAVAX ESR 45-54 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58 ORVAR SUPREME 52-54
Resistência à corrosão	1. Para matérias corrosivos incluindo PVC	STAVAX ESR 50-54
	2. Para ambientes úmidos	ELMAX 58-60
	3. Para manchas desbotadas	RAMAX S 37 (~340)
	4. Resistência à corrosão dos canais de resfriamento	
Texturização	1. Aços pre-temperado	IMPAX SUPREME 33 (~310)
	2. Aços para têmpera total	ORVAR SUP. , STAVAX ESR 45-54 CALMAX 45-58 GRANE 45-56 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58
Alta condutibilidade térmica	Moldes para injeção e sopro, insertos e partes para sistemas de bicos quentes	MOLDMAX 36-42 PROTHERM (~190)

MOLDMAX® E PROTHERM® são produtos registrados da Brush Welman Inc. , Cleveland, Ohio.

Aço Poroso - Porcerax II

O Porcerax II é um metal parecido com a pedra de pomes com uma porosidade que varia entre 20 e 30% por volume. Um sistema de poros interligados com um diâmetro médio de 7 µm (0,007 mm) encontra-se distribuído por todo o material.



O Porcerax II pode ser usado como uma parte do material do molde (postiço), permitindo a liberação do gás num ponto específico selecionado. Pode-se ainda usinar o molde e postiço montados, pois o Porcerax II possui ótima usinabilidade.

O não-preenchimento do material plástico ocorre geralmente quando uma camada de ar ou gás fica presa a superfície do molde e do material injetado. O Porcerax II permite a saída deste gás, evitando problemas de preenchimento e brilho não uniforme causadas pela adesão irregular do plástico à superfície do molde.

Materiais metálicos não-ferrosos

Ligas de Cobre-berílio

As ligas constituídas de teores de berílio acima de 1,7% apresentam melhoria nas propriedades mecânicas e redução nas propriedades térmicas. A resistência à tração é acima de 1200 MPa e dureza de 440 HB, sendo que uma dureza de 330 a 360 HB é suficiente. É uma liga dúctil, possível de polimento e pode ser temperada.

Por outro lado as ligas com menos de 1,7% de berílio são usadas em trocadores de calor, pois são resistentes a corrosão. Podem ser recobertas com níquel ou cromo. Podem ter a dureza aumentada para até 780 HB, temperatura de tratamento 400°C, podem ser soldadas, usinadas ou fundidas.

As ligas de cobre-berílio são muito usadas na fabricação de insertos em moldes de injeção onde se requer rápido resfriamento das peças injetadas e, conseqüentemente, um menor tempo de ciclo, pois o cobre-berílio tem alta condutividade térmica retirando o calor de regiões onde é difícil o resfriamento da peça.

Zinco e suas ligas

As ligas de zinco são usadas em moldes protótipos, molde para pequenas produções ou moldes de sopro. Apresentam propriedades mecânicas inferiores quando comparadas as ligas de cobre. Apresentam alta condutividade térmica 105 W/m.K A liga de zinco que se destaca na fabricação de insertos é o Zamak.

Ligas de alumínio

Recentemente usadas para máquinas com distribuição de carga uniforme, são fáceis de trabalhar e possuem alta condutividade térmica, cerca de quatro vezes a condutividade térmica dos aços. Ligas mais usadas são 7075-T6 e 7029-T6.

A espessura das placas dos moldes de alumínio são 40% maiores do que as placas de aço, mas o peso dos moldes de alumínio é 50% menor do que os moldes de aço.

As ligas de alumínio possuem boa usinabilidade.

Ligas de estanho-bismuto

São ligas macias, metais pesados, frágeis ao choque, plasticidade sob carga constante. São mais resistentes com o aumento da idade. São usadas em moldes protótipos, moldes de sopro, termoformagem e matrizes.

TRATAMENTOS TÉRMICOS

O tratamento térmico tem como principal função conferir propriedades mecânicas elevadas ao aço. No entanto, por atuar diretamente na microestrutura do aço, ele acarreta sempre indesejável deformação.

Esta deformação é inevitável e na maior parte dos casos imprevisível, razão pela qual é absolutamente imprescindível que seja deixado sobremetal. Há muitas situações em que não há necessidade de executarmos têmpera nas ferramentas em função da baixa solicitação mecânica do processo de injeção. Nestas situações, o que ocorre, em geral, é uma elevada solicitação ao desgaste, que pode, facilmente, ser resolvido com tratamento de superfície.

Existem ainda situações em que, em função da baixa produção e/ou baixa abrasividade do polímero, não é necessária a têmpera ou mesmo tratamento de superfície, podendo a ferramenta ser usada na condição bruta de usinagem.

Envelhecimento

É um tratamento de endurecimento, aplicado em uma classe específica de aços, que tem como característica a baixa temperatura de tratamento (em geral, variando de 480°C a 570°C);

Apresenta vantagem em relação a têmpera devido as temperaturas são abaixo da temperatura crítica, não ocorrem deformações devido a transformações microestruturais, e se restringem, portanto, aquelas causadas pelo efeito de temperatura apenas. Conseqüentemente, as deformações são substancialmente menores e permitem que se deixe o mínimo de sobremetal, ou até mesmo nenhum resquício, dependendo da geometria e do processo de tratamento adotado.

Na maioria dos casos é interessante utilizar diretamente a nitretação por terem temperaturas bem próximas, conferindo simultaneamente endurecimento e camada de alta resistência ao desgaste.

Têmpera em vácuo

A têmpera em vácuo é um processo conhecido de endurecimento. No caso específico de moldes de injeção de plástico, recomenda-se o tratamento em fornos a vácuo devido a ausência de dano na superfície, diferentemente dos tratamentos em banho de sais fundidos ou mesmo em fornos sem atmosfera controlada. Pela ausência de oxigênio, não ocorre oxidação da superfície dos moldes. No caso de banho de sais fundidos ou fornos sem atmosfera, é comum a ocorrência de “absorção” de sal ou impurezas nas porosidades naturais da superfície do aço, o que, necessariamente, prejudicará o posterior polimento.

A têmpera em vácuo, além da melhoria na qualidade superficial, apresenta também melhor homogeneidade no que se refere a aquecimento e resfriamento. Naturalmente que melhorando a homogeneidade microestrutural após a têmpera, há influência direta no desempenho da ferramenta, em especial naquelas que têm elevados requisitos de solicitações mecânicas em trabalho.

REVESTIMENTOS DE SUPERFÍCIE

Os metais tendem a voltar à sua fase inicial como se encontram na natureza, daí a sua deterioração progressiva. É neste sentido que é preciso encontrar soluções para a sua proteção. Os custos econômicos de uma proteção são bastante elevados, mas a degradação prematura dos materiais e suas conseqüências, muitas vezes ocasionando perda de vidas humanas, são incalculáveis.

Os tratamentos de superfícies constituem um dos meios que permitem melhorar significativamente a resistência das peças metálicas ao desgaste e corrosão. Mais recentemente, o desenvolvimento de novas tecnologias, como por exemplo, barreiras térmicas, permitem obter importantes ganhos de energia e de matérias-primas.

Atualmente, o domínio da aplicação dos tratamentos de superfícies está consideravelmente alargado. Com efeito, as técnicas atuais permitem, não apenas, realizar revestimentos protetores (revestimentos eletrolíticos e químicos, depósitos químicos e físicos em fase de vapor, revestimentos projetados...), mas também, modificar o estado das superfícies, tanto do ponto de vista mecânico, químico ou microestrutural.

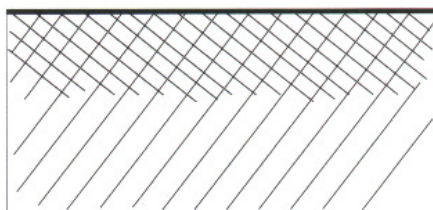
Na maior parte dos casos, o projetista e o prático são sempre confrontados com dois problemas, a saber:

- escolha do revestimento;
- escolha do processo de produção.

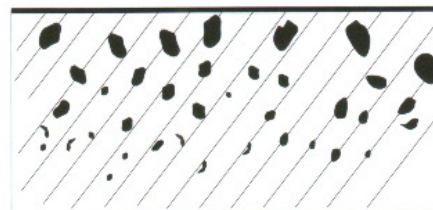
A escolha é ditada pelas condições de exploração industrial, designadamente, o custo, produtividade e limitações processuais.

As diversas técnicas de tratamento e revestimento de superfícies podem ser agrupadas, de um ponto de vista lógico, em quatro grandes grupos, cada um dos quais com um mecanismo fundamental, a saber:

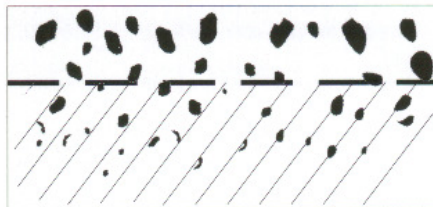
- os tratamentos superficiais com transformação estrutural, sem material de adição;
- os tratamentos termoquímicos com difusão;
- os tratamentos por conversão química;
- os revestimentos, ou depósitos.



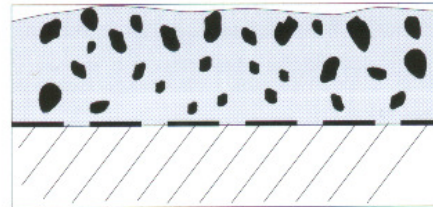
Tratamento por transformação estrutural
Modificação da estrutura metalurgica superficial do-substrato.
Não há material de adição



Tratamento por difusão
O material de adição difunde-se no substrato reagindo ou não, com ele.



Tratamento por conversão
O material de adição reage superficialmente com o substrato.



Revestimento
O material de adição não reage nem se difunde significativamente com o substrato.

Classificação de tratamentos de superfície

Tabela – Tratamentos por transformação estrutural

Tratamentos por transformação estrutural					
Tipo de transformação	Processo	Espessura (mm)	Exemplos		
			Materiais	Aplicações Industriais	Objectivo
Mecânica	Granalhagem (Shot peening)		Aços Ligas de Titânio	Automóvel Aeronáutica	Melhorar o comportamento à fadiga e resistência ao desgaste
			Ligas de Níquel	Nuclear	Melhorar a resistência à corrosão sob tensão
Térmica (Tempera superficial)	Indução de média frequência; Indução de alta frequência Feixe de electrões	0,5 – 5,0 0,1 – 0,5 0,1 – 0,5	Aços	Cilindros de laminadores Ferramentas	Aumentar a dureza
	Laser	0,1 – 0,5	Aços ligas de alumínio zircalloy	Em desenvolvimento	

Tratamentos termoquímicos com difusão				
Método de Aplicação	Processo	Espessura (µm)	Aplicações Industriais	Objectivo
Via Sólida Via Líquida Via Gasosa	Difusão de Metalóides Cementação (C) Nitruação (N) Carbonitruação (C+C) Borodização (B)	20 – 1500	Automóvel Metalomecânica Aeronautica	Aumentar a dureza superficial Melhorar a resistência à fadiga e ao desgaste
Bombardeamento Iónico Descarga Eléctrica (Plasma Frio)	Difusão de Metais Cromização (Cr) Aluminação (Al) Titanização (Ti) Siliciação (Si)	20 – 200	Aeronautica (Turbina a gás)	Melhorar a resistência à oxidação e corrosão a altas temperaturas

Tratamentos por Conversão			
Processos	Materiais tratados	Aplicações Industriais	Objetivo
Fosfatização	Ferro, Zinco, Alumínio	Automóvel Metalomecânica	Protecção Temporária Melhorar a aderência de pinturas e colagens
Cromatização	Zinco, Cádmio, Cobre, Alumínio, Magnésio		
Oxidação Anódica (Anodização)	Ligas de Alumínio Ligas de Titânio	Construção Civil Electrodomésticos Metalomecânica Aeronautica	Resistência à corrosão Propriedades eléctricas Resistência ao desgaste

Revestimentos				
Método de Aplicação	Processo	Exemplos		
		Materiais depositadas	Aplicações Industriais	Objetivo
Via Húmida (Aquosa)	Electrólise	Ni, Cu, Cr, Cd, Zn, Ag; LIGAS	Química (Ni) Automóvel (Zn) Cromagem (Cr)	Protecção anticorrosiva Função cosmética Resistência ao desgaste
	Deposição Autocatalítica	Níquel (Ni-P) (Ni-P-PTFE) (Ni-B)	Química Metalomecânica Nuclear Automóvel	Protecção anticorrosiva Resistência ao desgaste
Imersão em banhos de metais em fusão	Galvanização Estanhagem	Zinco Ligas Zinco- Alumínio Estanho	Alimentar	Protecção contra a corrosão
Via Seca (Fase Vapor)	PVD CVD	Carburetos Nitreto Óxidos	Automóvel Aeronautica Máquinas Ferramentas	Resistência ao desgaste e atrito
Projectção	Chama	Zinco, Alumínio, Chumbo, Ligas de Cobalto, Níquel, Carburetos	Metalização Recuperação de componentes	Protecção anticorrosiva Resistência ao desgaste
	Plasma	Ligas M-Cr-Al-Y (com M=Ni, Co,...) Óxidos ZrO, Al ₂ O ₃ Cerâmicas	Aeronautica Recuperação de componentes Barreiras térmicas	Protecção anticorrosiva a altas temperaturas Protecção térmica e química; Resistência à abrasão e desgaste

Cementação

Consiste no enriquecimento superficial de carbono de peças de aço de baixo carbono. A temperatura de aquecimento é superior à temperatura crítica e as peças devem ser envolvidas por um meio carbonetante que pode ser sólido (carvão), gasoso (atmosfera ricas em CO) ou líquido (banhos de sal à base de cianetos). A peça cementada deve ser posteriormente temperada.

Nitretação

Consiste no enriquecimento superficial de nitrogênio, que se combina com certos elementos dos aços formando nitretos de altas dureza e resistência ao desgaste. As temperaturas de nitretação são inferiores às da zona crítica e os aços nitretados não exigem têmpera posterior. O tratamento é feito em atmosfera gasosa, rica em nitrogênio ou em banho de sal.

Carbonitretação

Endurecimento superficial que consiste na introdução simultânea na superfície do aço de carbono e nitrogênio em atmosfera gasosa.

Filmes finos

A definição de filmes finos não é unânime. No entanto, uma definição prática pode ser expressa como sendo aqueles revestimentos e tratamentos com uma espessura ou profundidade de penetração inferior a 3 micrometros. Os filmes finos mais utilizados são os revestimentos de TiN-TiCN e semelhantes, aplicados por PVD ou CVD.

A aplicação de diamante-carbono, diamante, TiN, carbonitreto de titânio, versões melhoradas destes revestimentos, nas quais são incluídas camadas de cerâmicas, outros metais ou uma combinação de vários outros materiais. O revestimento de TiN começou a ser aplicado no final dos anos 80, em ferramentas de corte.

Estes revestimentos são escolhidos para aumentar a dureza dos substratos, e a sua espessura normal é de 2 micrometros. Os substratos mais aconselháveis são aqueles que possam suportar temperaturas na ordem dos 425°C. O revestimento de TiN é significativamente mais duro que o cromo.

Muitos revestimentos de TiN têm uma significativa rugosidade inerente ao processo de deposição. Esta rugosidade não se apresenta como um problema, se a superfície revestida for submetida, apenas, a abrasão provocada por abrasivos ligeiros. Por outro lado, se a superfície revestida for colocada em contato com superfícies muito lisas, pode provocar um desgaste muito rápido das últimas.

Existe um outro tipo de filmes finos cuja importância está a aumentar, os revestimentos de diamante. Este tipo de revestimentos pode ser aplicado por PVD ou CVD. A única limitação atual prende-se com a dificuldade em aplicar em certos substratos metálicos revestimentos aderentes. Alguns revestimentos de diamante só apresentam boa aderência sobre nitretos de silício, outros apenas sobre carbonetos.

Os utilizadores deste tipo de revestimento têm necessidade de investigar a sua aderência a diferentes substratos, sempre que seja necessário avaliar potenciais fornecedores destes revestimentos.

Processos de aplicação de filmes finos

CVD (Chemical Vapour Deposition)

Processo que permite a deposição de um produto sólido numa superfície aquecida mediante reações químicas.

Os filmes mais vulgarmente depositados são os seguintes;
TiCN, TiN, DLC, Diamante, TiC, CrC e Al₂O₃

Tem como vantagens, a baixa tensão interna do revestimento, o que permite a deposição de espessuras elevadas com aderência muito elevada.

Como desvantagens, a elevada temperatura (cerca de 1000°C) em que decorre, limitando significativamente o tipo de substratos.

PVD (Physical Vapour Deposition)

Processo que permite a deposição de um produto sólido num substrato, por meios físicos e em estado vapor.

Este processo pode ser aplicado através das seguintes técnicas:

Sputtering;

Evaporação por feixe de elétrons;

Evaporação por arco voltaico.

Sputtering

É uma técnica de deposição iônica que consiste em produzir um plasma metal-vapor, a partir de um cátodo sólido, fazendo nele, íons de gás com alta energia.

Depositam-se filmes de TiN, TiAlN, CrN, TiZrN e TiC, para metalização de isoladores, proteção antidesgaste e anticorrosão.

Evaporação por feixe de elétrons

Nesta técnica de deposição, a fonte de elétrons ao incidir sobre o metal fundido produz um plasma onde se ioniza o metal a depositar.

Depositam-se filmes de Ti-Au; Al; Al-Cu-Si, para metalização de cerâmicos, SiO₂; MgF₂, em aplicações ópticas (propriedades reflexivas, anti-reflexivas e resistência à abrasão).

Evaporação por arco catódico

Esta técnica permite depositar filmes de TiN, TiAlN, CrN, TiCN, ZrN, para proteção anti-desgaste em instrumentos cirúrgicos.

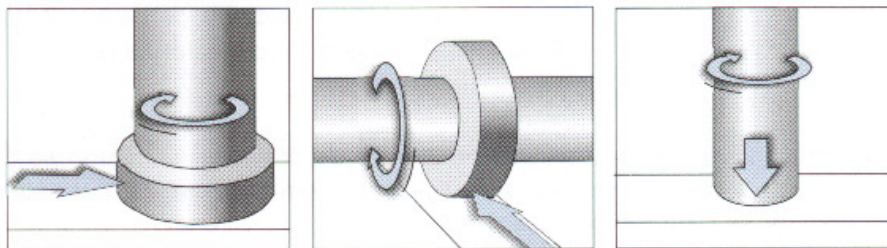
7. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Os processos de alteração das formas que no contexto da indústria de moldes têm mais importância, por acrescentarem mais valor, são os processos de remoção de material, com especial ênfase para a usinagem em geral, eletroerosão e retificação.

Fresagem

Numa operação de fresagem, a ferramenta de corte gira em torno de um eixo enquanto a peça se desloca segundo um determinado movimento, linear ou circular. Existe uma coordenação de movimentos entre a ferramenta, com uma ou várias arestas de corte, e a peça a usinar.

O desenvolvimento a que assistimos nos últimos anos, quer dos aspectos construtivos das máquinas (fresadoras ou centros de usinagem), quer dos comandos CNC e dos sistemas de CAM, quer das ferramentas de corte, permitem a execução de várias operações com uma eficiência e qualidade impensáveis no passado.



Fresamento

O corte em fresagem emprega um ou a combinação dos seguintes métodos:

Fresagem de topo – É uma combinação da ação de corte realizada pelas arestas de corte da periferia e da face frontal. O movimento da peça faz-se segundo uma direção perpendicular ao eixo da ferramenta e a superfície da peça é perpendicular ao eixo da ferramenta.

Fresagem periférica – O corte é executado pelas arestas de corte da periferia da ferramenta. A fresa gira num eixo paralelo ao avanço tangencial e a superfície da peça é paralela ao eixo da fresa.

Fresagem com avanço axial – Avanço paralelo ao eixo de rotação, é uma operação típica de furação.

Torneamento

É um processo de corte que consiste em gerar formas de revolução com uma ferramenta de uma só aresta de corte, geralmente sem movimento de rotação. O movimento e corte é dado pela rotação da árvore da máquina com movimento simultâneo da ferramenta seguindo uma diretriz definida no mesmo plano do eixo da peça. É um processo que está bastante otimizado, mas requer uma análise exaustiva de determinados fatores para as diferentes aplicações.

O torneamento é a combinação do movimento de rotação da peça e o movimento de avanço da ferramenta segundo, normalmente, dois eixos lineares independentes: o eixo Z com a direção do eixo da árvore da máquina e o eixo X normal ao anterior. Esta solução construtiva permite gerar formas cilíndricas, cônicas e interpolações circulares.

Os centros de torneamento podem ter mais um eixo linear normal aos outros dois, um ou dois eixos rotativos controlados por CNC, e mais do que uma torre para fixar ferramentas. Esta configuração de máquina permite a execução, no mesmo tempo, de operações de torneamento, fresagem, furação e roscagem na direção radial e axial das peças ou uma combinação das duas. Por exemplo, roscas interrompidas impossíveis de executar em modo torno, são exequíveis pelos centros de torneamento.

Quando a dureza de um material aumenta como resultado dum tratamento térmico ou mecânico (até 63 HRC), a sua usinabilidade diminui como consequência de mecanismos de desgaste que estão particularmente ativos para cargas e temperaturas bastante elevadas. A qualidade das superfícies e a sua integridade podem, igualmente, ser um problema. A retificação tem sido a tecnologia que melhor resposta dava a este problema. Hoje, o torneamento com ferramentas ultraduras (HPT “hard part turning”), como o nitreto cúbico de boro policristalino, são uma alternativa com vantagens tecnológicas e econômicas.

Na indústria dos moldes, este método pode ser aplicado em desbastes simples ou acabamentos de materiais com durezas na ordem de 40 a 63 HRC. Quando o torneamento pode ser aplicado, por substituição da retificação, a seqüência operacional vem, por vezes, simplificada por eliminação de algumas fases de fabricação ou redução dos custos de produção.

Furação

Furação é o termo utilizado para descrever todos os métodos de execução de furos cilíndricos em peças, usando ferramentas de corte em geral multicortantes. O termo furação serve para designar subseqüentes usinagens, tais como mandrilagem, escareamento e roscagem e determinadas formas de acabamento. Em todos estes processos é comum um movimento rotativo principal da ferramenta ou da peça combinado com um movimento de avanço linear, segundo uma diretriz retilínea coincidente com o eixo de rotação.

A furação é uma combinação de dois movimentos: um movimento principal de rotação e um movimento linear de avanço. Na furação normal em máquinas convencionais, a forma mais comum de trabalho consiste em ambos os movimentos de rotação e de avanço serem realizados pela ferramenta. No entanto, a utilização de tornos ou centros de torneamento com controle CNC, para execução de furação normal, levaram a um aumento na utilização da combinação entre peça rotativa e ferramenta com movimento linear, ou peça rotativa e ferramenta com movimento rotativo e linear.

Usinagem em alta velocidade (high speed)

Na indústria de moldes, a essência da usinagem a alta velocidade, consiste em fazer a maior quantidade de movimentos com pequenos passos, em alta velocidade. Esta estratégia funciona em operações de desbaste mas, sobretudo, em operações de acabamento.

Esta nova tecnologia dá suporte a operações de torneamento, furação, rosqueamento, no entanto, a grande área de aplicação é a fresagem.

Em operações de desbaste, uma menor profundidade no corte com avanços superiores permitem obter uma maior remoção de material por unidade de tempo. O tempo de vida da ferramenta pode ser incrementado como resultado da maior estabilidade do processo de corte.

Para velocidades de corte elevadas, são produzidas alterações no comportamento plástico dos materiais, isto é, a formação do cavaco produz-se após ruptura frágil com a consequente formação do cavaco curto.

Altas temperaturas na zona de corte primárias ajudam a acelerar o processo de deformação plástica que resulta na formação do cavaco. Devido à alteração do comportamento plástico dos ma-

teriais, no corte a alta velocidade verifica-se uma diminuição na força de corte necessária para remover o cavaco.

A percentagem de calor que é retirada pelo cavaco é superior ao verificado em usinagem a velocidades convencionais. Este fato resulta das maiores velocidades de avanço que não dão tempo do calor se dissipar pelo material que está sendo usinado.

Retificação

A retificação é um processo tecnológico em que o material é removido por ação de um rebo-lo abrasivo. O rebolo permite a remoção de micro cavacos, e conseguem-se bom acabamento superficial e tolerâncias dimensionais pequenas.

Os abrasivos convencionais: óxido de alumínio e carboneto de silício.

Super abrasivos: nitreto cúbico de boro e diamante policristalino

O rebolo é uma ferramenta empregada para conferir acabamento às peças de grande dureza em que as tolerâncias dimensionais são pequenas e/ou exigências para os estados de superfície muito apertadas.

A retificação plana é o tipo mais comum de retificação. Tipicamente gera formas planas e as peças são seguras, normalmente, por um prato magnético. O rebolo é montado na árvore horizontal ou vertical da máquina podendo a mesa ser rotativa.

A retificação cilíndrica serve para gerar formas de revolução e algumas geometrias específicas como os filetes duma rosca.

A retificação sem centros é um processo de alta produção para superfícies cilíndricas exteriores e interiores em que a peça não é apoiada entre centros, trabalha entre dois rebolos e é suportada por uma lâmina ou por rolos.

Honing é um processo de baixa velocidade porque o material removido acontece para velocidades mais baixas do que na retificação tradicional. O calor e pressão são baixas, resultando excelentes tolerâncias dimensionais, acabamento de superfície e um bom controle metalúrgico da superfície.

Eletroerosão por penetração

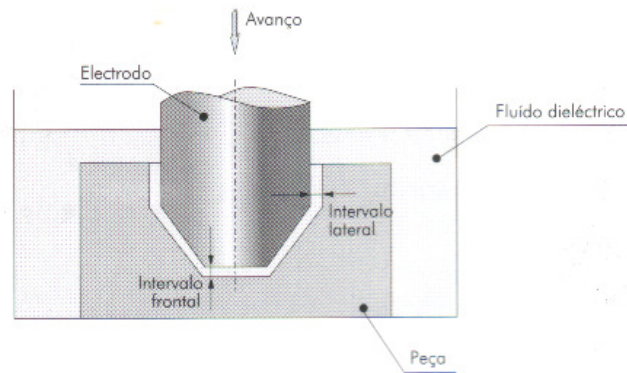
A eletroerosão é um processo de corte que utiliza a energia elétrica para remoção de material da peça. O material é removido por ação de uma sucessão de descargas elétricas entre um eletrodo e a peça que estão imersas num fluido dielétrico.

A forma do eletrodo é assim reproduzido negativamente na peça à medida que o eletrodo penetra na mesma. Cada descarga gera uma quantidade de energia térmica que provoca a fusão e ebulição dos materiais da peça e do eletrodo.

Não existe contato entre o eletrodo e a peça que estão distanciadas dum intervalo designado por “gap”.

Uma das grandes vantagens deste processo tecnológico reside no fato das forças de corte serem nulas. Sendo assim, determinadas características mecânicas do material a erodir, como a dureza, não tem influência no processo.

Este processo tem grande aplicação no processamento de materiais duros, como o metal duro, materiais endurecidos por tratamento térmico, peças com geometrias complexas e cavidades difíceis de realizar por outro processo e com a vantagem de não deixar rebarbas.

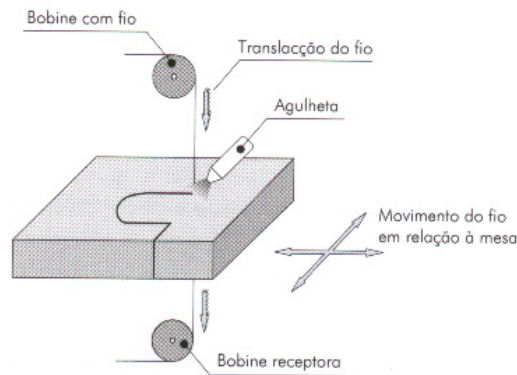


Eletroerosão por penetração

Eletroerosão a fio

É uma técnica complementar do procedimento de usinagem por eletroerosão em que o eletrodo tem a forma de um fio. Em vez de imprimir na peça a forma negativa do eletrodo, as máquinas de eletroerosão por fio utilizam um eletrodo metálico com a forma de um fio.

A peça a ser cortada é fixa sobre uma mesa em que os deslocamentos relativos do eletrodo fio permitem definir os movimentos em função do contorno a cortar.



Eletroerosão a fio

MÉTODOS RÁPIDOS DE FABRICAÇÃO

Os processos convencionais de projeto e fabricação de componentes injetados e suas ferramentas (moldes) utilizam tecnologias evoluídas como o CAD/CAM/CAE, CNC e usinagem a altas velocidades. No entanto, têm vindo a sofrer alterações devido às novas tecnologias do mercado.

Tendo em vista a redução do tempo de desenvolvimento e dos custos de manufatura, foi desenvolvida a tecnologia e disponibilizados os equipamentos de Prototipagem Rápida (PR) – Rapid Prototyping (RP). A maioria das técnicas de RP é aditiva e baseia-se na construção por camadas.

Apesar de relativamente recente, a RP está definitivamente implantada como ferramenta essencial ao ciclo de desenvolvimento de novos produtos, pelas vantagens que advêm da sua utiliza-

ção. Embora os protótipos virtuais sejam importantes e os modelos CAD sejam imprescindíveis, como nas análises CAE, em muitos casos a avaliação física do componente real é necessária, pelo que um protótipo da ferramenta pode ser necessário.

A RP permite aumentar a eficácia do ciclo de projeto e a qualidade do produto, dado que além de possibilitar a visualização e manipulação dos mesmos em fases muito iniciais (desenvolvem-se mais iterações para o mesmo em comunicação melhorada), pode permitir a execução de testes funcionais (otimização de geometria, dimensões, ergonomia, montagens e interferências).

O conjunto de tecnologias que permite obter protótipos físicos diretamente a partir de modelos CAD 3D, apresenta 5 etapas, que são comuns a grande maioria dos processos existentes:

1. moldagem 3D;
2. conversão (.STL) e transmissão de dados;
3. verificação e preparação;
4. construção;
5. pós-processamento.

As técnicas de RP quando dedicadas a ferramentas de produção designam-se por Fabricação Rápida de Ferramentas (Rapid Tooling – RT).

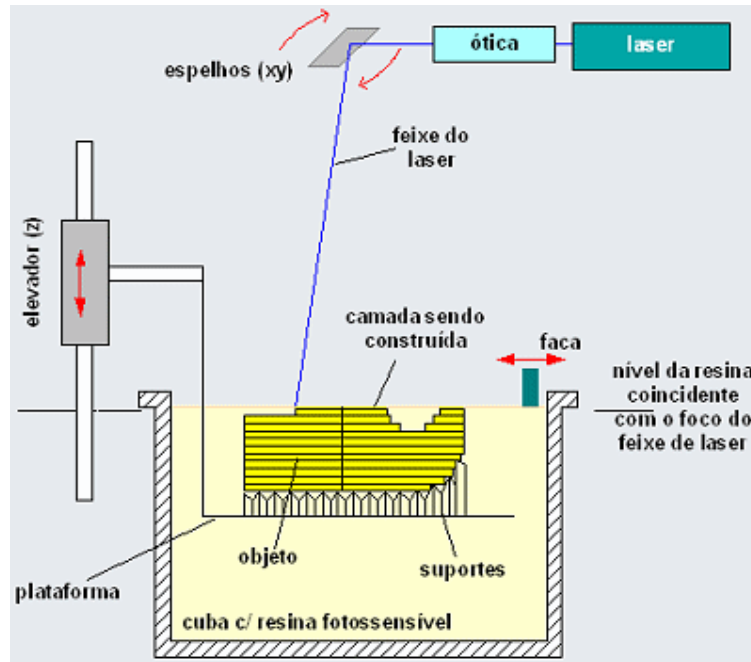
Num ambiente de engenharia, equipes multidisciplinares participam nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento do produto e do processo produtivo, que se inicia como a criação de um modelo tridimensional num sistema CAD. Este arquivo é suficiente para a produção de um modelo físico a partir dos equipamentos de RP e RT. Os processos de RT baseiam-se nas técnicas de RP, onde alguns usam os mesmos princípios com materiais diversos e outros os próprios modelos de RP.

TÉCNICAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

SL – ESTEREOLITOGRAFIA

A Estereolitografia (SL) foi o primeiro sistema de Prototipagem Rápida a ser desenvolvido, em 1989, por intermédio da 3D System Inc. Tal como acontece na maioria dos processos de Prototipagem Rápida, a estereolitografia permite a construção de protótipos através da adição sucessiva de camadas. A construção de modelos físicos resulta da solidificação de uma resina líquida, que sob a ação de um feixe de laser, polimeriza e solidifica.

O modelo é construído sobre uma plataforma situada ligeiramente abaixo da superfície, num tanque que contém resina epoxídica. Um laser UV de baixa potência varre a primeira camada, solidificando a seção transversal do modelo deixando a área exterior no estado líquido. Em seguida, a plataforma de construção baixa, uma lâmina estabiliza a superfície livre de resina líquida sobre a camada solidificada e o laser varre a segunda camada por cima da anterior. Este processo é repetido até o protótipo estar completo.



Estereolitografia - www.cimject.ufsc.br

Devido ao fato dos protótipos serem construídos sob uma plataforma, imersos num ambiente líquido (resina líquida), necessitam de ser suportados para que não se desloquem ao longo da plataforma e para dar consistência ao modelo durante a fabricação.

Posteriormente, o modelo sólido é removido do tanque sendo limpo do líquido excedente. Os suportes são removidos e o modelo é colocado numa câmara de luz ultravioleta para completar o processo de cura da resina.

Os protótipos fabricados por esta tecnologia apresentam um aspecto de plástico translúcido, com uma elevada precisão, rigor dimensional e um elevado grau de detalhe e pormenor.



Protótipo em Estereolitografia - www.robtec.com

LOM – Laminated Object Manufacturing

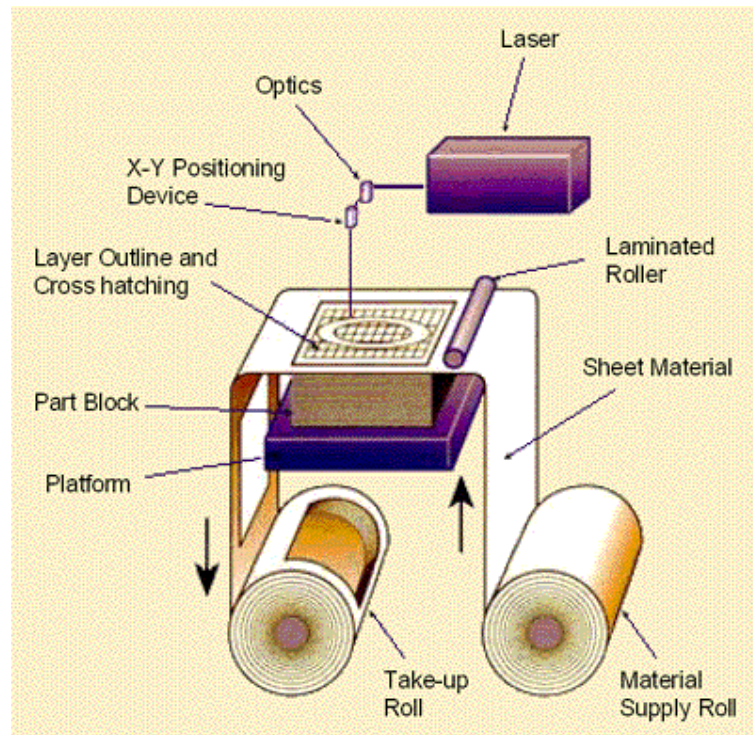
Os processos LOM – Laminated Object Manufacturing é um dos processos de Prototipagem Rápida mais antigos, desenvolvido pela empresa HELYSIS Inc. de Torrance na Califórnia, EUA, tendo começado a ser comercializado em 1991.

No processo LOM, os modelos são fabricados colando sucessivamente folhas de papel, nas quais um feixe de laser corta o primeiro exterior correspondente ao corte local do componente. Nes-

te processo, cada camada de papel impregnado de cola térmica é colada a anterior por ação de um rolo de compressão aquecido. O processo inicia-se com o desenrolar de um rolo de papel impregnado de cola termoplástica na sua superfície inferior. Seguidamente, um rolo pré-aquecido a cerca de 300°C comprime o papel sobre a camada anterior, ficando a colagem consolidada. Posteriormente, um feixe de laser com cerca de 25-50 W, controlado por um sistema eletromecânico e com auxílio de espelhos, efetua o corte do contorno da peça na camada.

Após o corte da primeira camada de papel, a plataforma de construção baixa e é desenrolado novo material. Seguidamente a plataforma sobe para uma altura ligeiramente inferior a anterior, o rolo promove a colagem à camada anterior e o laser corta a última camada. Este processo é repetido até se completar a construção das peças.

Todo o papel que não faz parte do modelo é cortado em quadrados ou retângulos para facilitar a futura remoção da peça no interior do bloco. Para assegurar a rigidez de todo o conjunto, os cubos são envolvidos numa caixa que é feita simultaneamente com todo o conjunto. No final obtém-se um paralelepípedo de papel, no interior do qual existe uma ou várias peças com a consistência semelhante à madeira.



LOM – Laminated Object Manufacturing - rpdr.ic.polyu.edu.hk

Pelo fato dos modelos terem sido feitos com papel, necessitam de ser impermeabilizados com verniz, tinta, ou outros produtos usados para o acabamento de madeiras. Isto permitirá aumentar a resistência mecânica dos modelos e a sua estabilidade dimensional ao longo do tempo.



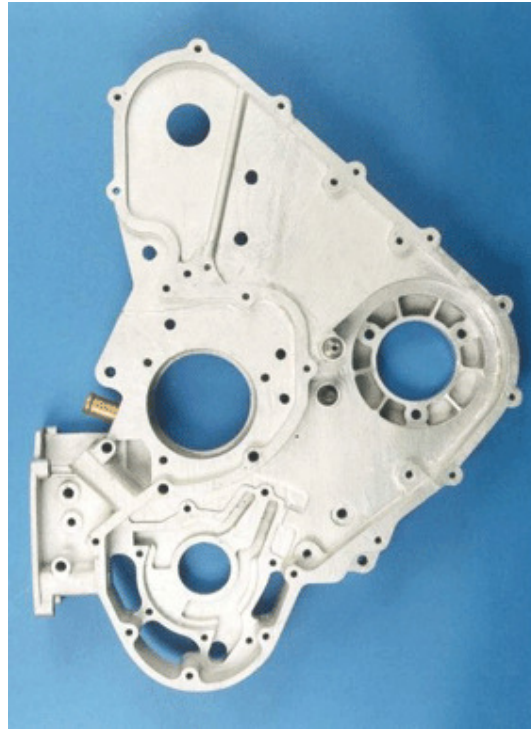
Protótipo obtido por LOM - www.peridotinc.com

SLS – Selective Laser Sintering

O desenvolvimento da tecnologia Sinterização Seletiva por Laser, vulgarmente conhecida por SLS, iniciou-se em meados da década de 80 na Universidade do Texas em Austin, sendo patenteada em 1989. Posteriormente, a tecnologia foi adquirida pela companhia norte-americana DTM™ e, mais tarde, pela companhia 3D Systems que desde então tem continuado o desenvolvimento da tecnologia, quer a nível do processo, quer a nível dos materiais.

Esta técnica utiliza um feixe de laser para fundir materiais em pó.

O processo de Sinterização Seletiva por Laser funciona de forma similar ao processo de Estereolitografia permitindo produzir modelos físicos, por adição de camadas, utilizando para o efeito materiais em pó.



Modelo obtido por SLS - www.martello.co.uk

A matéria-prima em pó é armazenada em alimentadores localizados nas extremidades da área de construção do equipamento SLS.

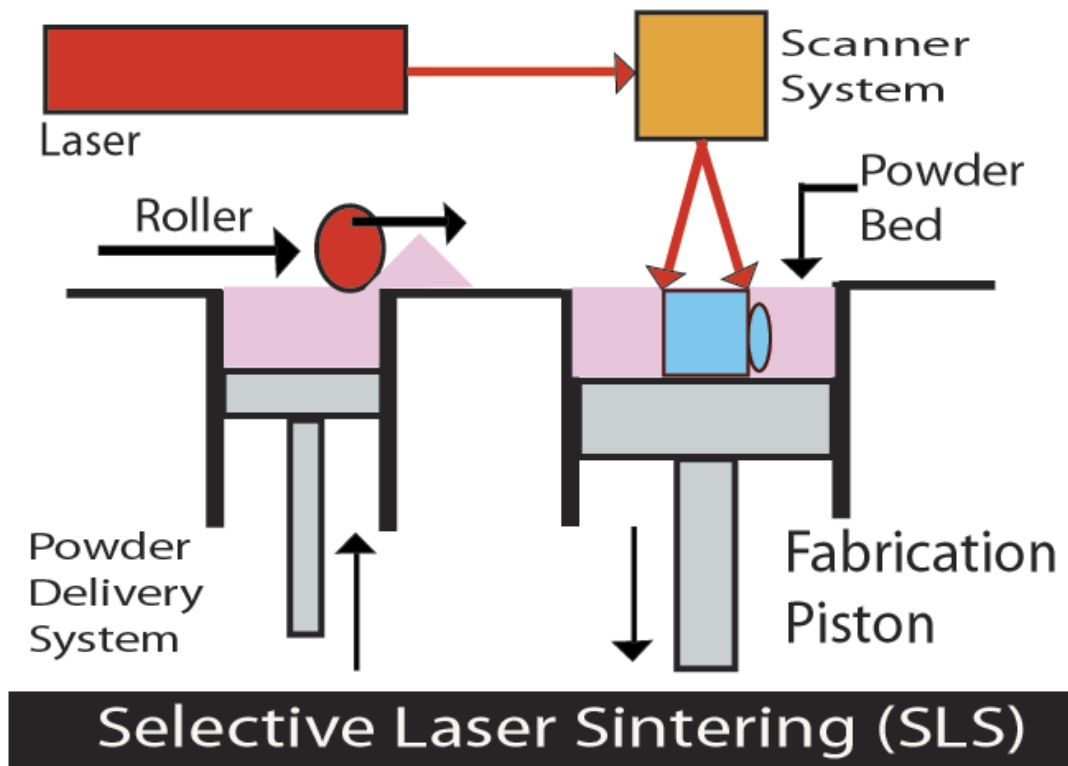
O pó é elevado nos alimentadores e espalhado por auxílio de um rolo sobre a área de construção e é processado num ambiente inerte e termicamente controlado no interior de uma câmara de processamento. Este aspecto é necessário para evitar oxidação nas superfícies de ligação e a possibilidade de combustão das partículas de pó.

O material atinge a temperatura de fusão, pela energia cedida por um laser CO₂ de elevada potência, sendo sinterizado em cada camada uma secção transversal do modelo CAD 3D.

O modelo é sustentado ao longo do processo pelo material envolvente não sinterizado (bolo de pó), dispensando-se deste modo a criação de suportes. Este “bolo de pó” retém o calor evitando o rápido resfriamento que origina tensões internas no modelo.

Após o resfriamento do protótipo, este é sujeito a uma operação de limpeza no qual lhe é removido o pó envolvente, ficando este pó apto para nova reutilização.

Teoricamente, qualquer material possível de ser pulverizado e que tenha reações térmicas dentro do campo de temperaturas do sistema, pode ser utilizado. São hoje disponibilizados pela 3D Systems, para uso nestes sistemas, vários materiais, permitindo cobrir um leque de aplicações.

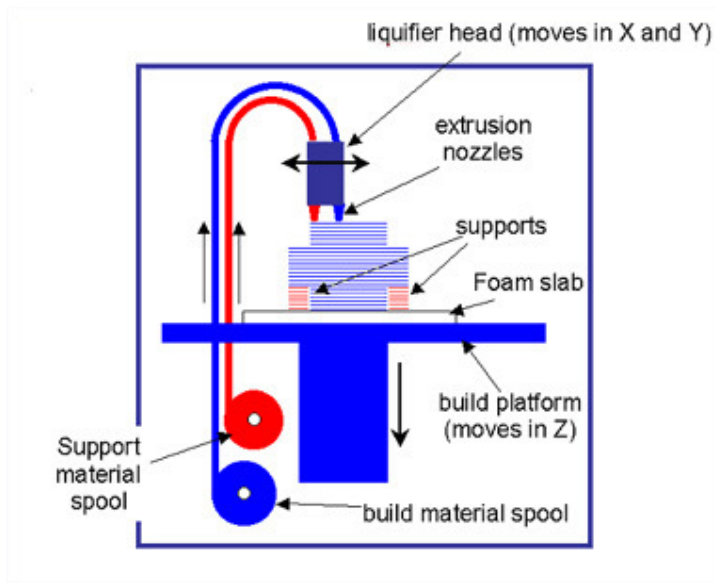


SLS – Selective Laser Sintering -www.martello.co.uk

FDM – Fused Deposition Modeling

O processo FDM – Fused Deposition Modeling, comercializado pela empresa Stratsys, EUA, foi implementado em 1988 com o objetivo de produzir e desenvolver protótipos e/ou modelos.

Neste processo, filamentos de material termoplástico aquecido são extrudados por uma microfieira que se movimenta no plano X-Y.



FDM – Fused Deposition Modeling - www.xpress3d.com

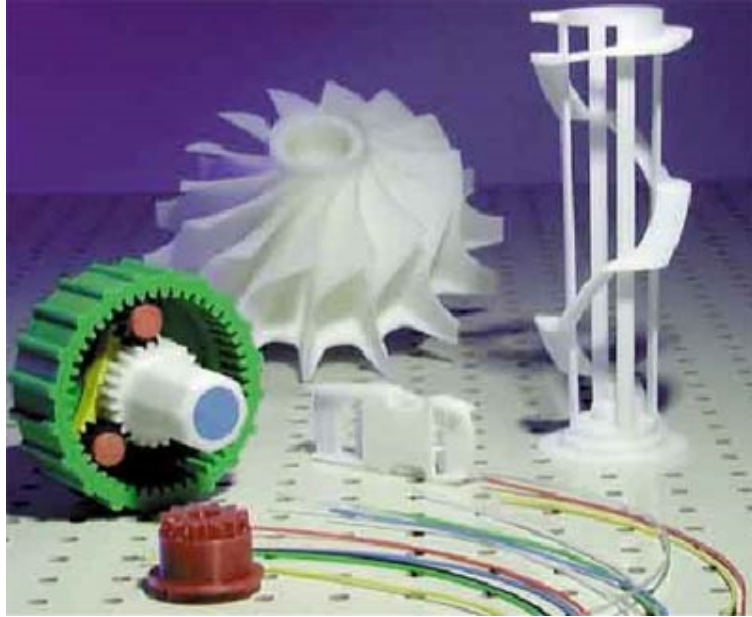
O material termoplástico, sob a forma de fio, é alimentado através de uma bobina até a feira de extrusão. A cabeça de extrusão é aquecida para fundir o plástico e possui um mecanismo que permite que o fluxo do plástico fundido possa ser interrompido.

A cabeça extruda e deposita o material em camadas muito finas sobre a plataforma de construção para formar a primeira camada. A plataforma é mantida a uma temperatura baixa, para que o material endureça rapidamente. O sistema encontra-se no interior de uma câmara mantida a uma temperatura ligeiramente inferior ao ponto de fusão do material plástico.

Após a plataforma descer, a cabeça de extrusão deposita a segunda camada sobre a primeira. O material endurece rapidamente após ser extrudado pela feira e adere à camada anterior.

Os materiais depositados disponíveis incluem ABS, elastômeros, policarbonato e cera para *investment casting*.

Os suportes para os modelos são construídos em simultâneo, com um segundo material menos resistente e são removidos posteriormente. Encontra-se disponível um material para suporte solúvel em água que facilita bastante a remoção.



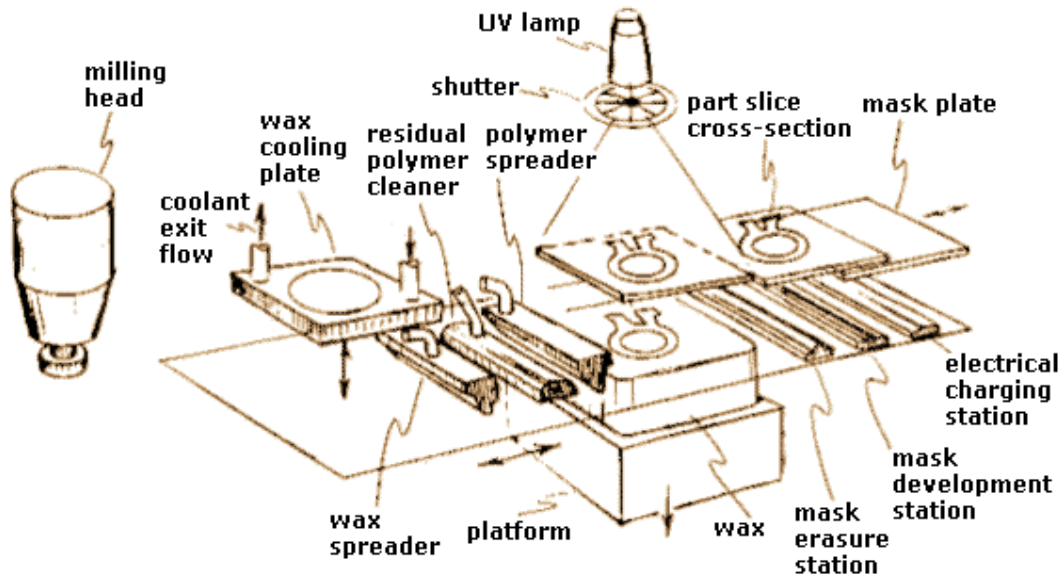
Peças obtidas por FDM - www.peridotinc.com

SGC – Solid Ground Curing

O processo SGC – Solid Ground Curing foi desenvolvido pela empresa Cubital Inc. (Israel/Alemanha).

O processo é algo similar à Estereolitografia (SL), utilizando também uma luz ultravioleta para seletivamente endurecer polímeros fotosensíveis. Contrariamente ao SL, o SGC executa a cura de uma camada completa de uma só vez.

Inicialmente, a resina fotosensível é espalhada na plataforma de construção. Em seguida, a máquina cria uma máscara fotográfica correspondente à camada a ser construída. Esta máscara fotográfica é impressa numa placa de vidro por cima da plataforma de construção utilizando um processo eletrostático semelhante ao utilizado nas máquinas fotocopadoras. A máscara é então exposta a luz UV, que apenas passa pelas áreas transparentes da máscara endurecendo seletivamente a forma de cada camada.



SGC – Solid Ground Curing - www.original-sourcing.com

Após a camada ser endurecida, toda a resina não endurecida é aspirada para reciclagem, deixando todas as áreas endurecidas intactas. A camada endurecida passa sob uma luz UV para completar o processo de cura da resina. Seguidamente, as cavidades deixadas pela aspiração da resina líquida são preenchidas com cera. Esta cera é endurecida por resfriamento proporcionando um suporte sólido para o modelo à medida que este é fabricado. Neste processo não são necessárias outros tipos de suporte.

Posteriormente, a superfície da resina/cera é usinada por fresagem proporcionando um elevado acabamento e planicidade para a próxima camada.

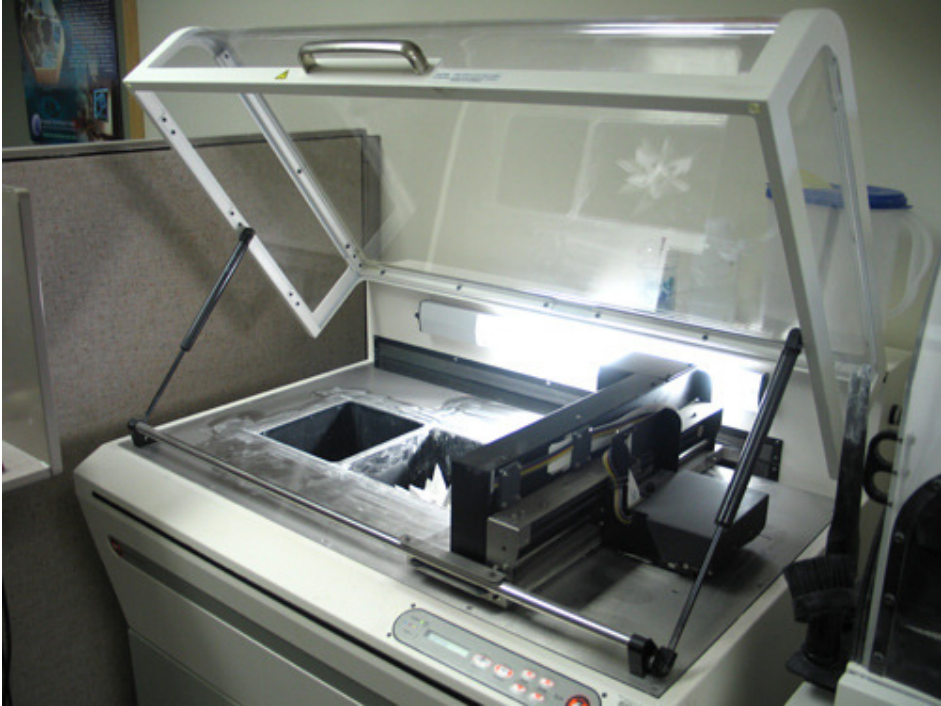
Após todas as camadas estarem completas, a cera é removida e podem efetuar-se operações de acabamento no modelo. Não é necessário qualquer operação de pós-cura da resina.

Impressoras 3D – (3D Printers – 3DP ou TDP)

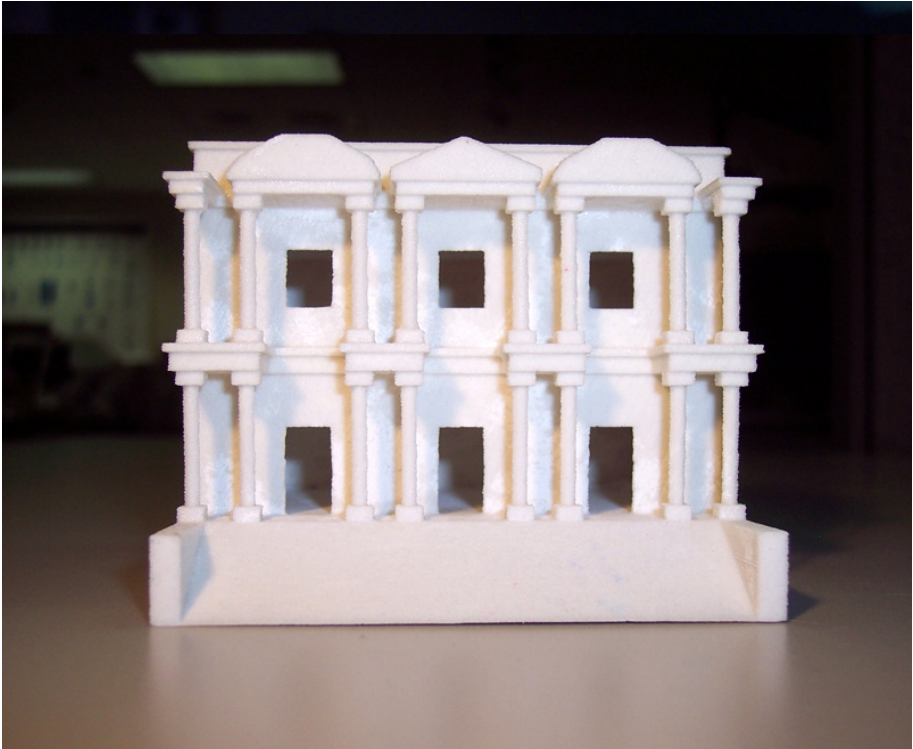
As impressoras tridimensionais são equipamentos que permitem a obtenção rápida de protótipos físicos em fases muito incipientes do processo de desenvolvimento de produtos, sendo também conhecidas por *concept modelers*. Apresentam como principais características o baixo custo dos equipamentos, dos materiais e de funcionamento (relativamente aos equipamentos RP convencionais), assim como a facilidade de utilização, podendo inclusivamente ser considerados equipamentos de gabinete (como as vulgares impressoras e faxes).

A possibilidade de obter protótipos rapidamente, em fases iniciais, facilita a comunicação entre as partes envolvidas, assim como a identificação de problemas e a possibilidade de realizar várias iterações iniciais, com objetivos de avaliação ao nível ergonômico e estético.

Os equipamentos mais divulgados são os produzidos pelas empresas norte-americanas 3D Systems Inc e Z Corporation. Em comercialização existem ainda os equipamentos da Objet Geometries (*Polyjet*), da Sanders (*Model Maker*) e da Stratasys (*Genisys*), entre outros de menor expressão.



3D Printers - www.itg.uiuc.edu



Objeto obtido por 3D Printers - www.itg.uiuc.edu

Thermojet

O equipamento Thermojet, também conhecido como *Multijet Modeling* (MJM) foi introduzido pela 3D Systems em 1996, então com a designação comercial de Actua™.

O processo Thermojet utiliza uma cabeça de impressão com 96 canais/jatos dispostos linearmente, que depositam um material termopolímero criando a peça e os suportes. Os materiais disponíveis podem ter propriedades próximas das ceras ou dos poliestirenos, em função da aplicação final como modelos de fundição (melhor acabamento) ou modelos de demonstração (maior rigidez).

O processo apresenta semelhanças com o FDM, com o modelo a ser construído a partir da base, mas, no entanto, a deposição é mais rápida por ter mais canais. A cabeça de impressão apenas se movimenta na direção X, sendo os restantes movimentos efetuados pela plataforma de construção. Caso a peça seja mais larga que a cabeça de impressão, a plataforma move-se em Y para a total impressão de uma camada, movendo-se em Z no final desta. O processo repete-se até a construção total da peça, não sendo necessárias operações de pós-processamento, que não seja a simples remoção das estruturas de suporte.



Thermojet - www.proform.ch

Z Corporation

Os equipamentos da Z Corporation utilizam o princípio de construção desenvolvido no MIT (Massachusetts Institute of Technology), tendo esta empresa iniciado a sua atividade em 1994. Apresenta algumas semelhanças com o processo SLS, utilizando pó como matéria-prima, sendo o laser substituído por uma cabeça de impressão que deposita aglomerante líquido para ligar as partículas de pó. Este pode ser uma mistura celulósica ou de gesso. A cabeça de impressão (ou “tinteiro”) faz a deposição através de 128 jatos que o tornam num dos processos de construção por camadas mais rápido, com a vantagem adicional de não requerer a construção de suportes, uma vez que a peça é criada envolvida numa massa de pó.



Equipamento Z Corporation e protótipo obtido - img.directindustry.com

O protótipo é construído por camadas por deposição nas direções X e Y do ligante na superfície do volume de construção que tem movimento em Z, descendo a distância correspondente a uma camada. A camada seguinte é impressa após o pó ter sido previamente distribuído proveniente do reservatório contíguo.

Após a construção, os modelos são limpos por aspiração e ar comprimido e infiltrados de modo a adquirirem robustez e se tornarem menos higroscópicos. O processo de infiltração mais simples consiste na imersão da peça num banho de cera líquida por um curto período de tempo, onde esta é absorvida rapidamente. Existem outras alternativas para a infiltração, quer por deposição gota-a-gota, quer por pulverização, tendo em vista a melhoria das propriedades da peça, como a flexibilidade, o acabamento superficial e resistência à temperatura ou umidade.

Polyjet

A tecnologia Polyjet-Polymer-Jetting Technology foi introduzido pela Objet Geometries em 1998.

Esta tecnologia possibilita a construção de protótipos com elevado detalhe, precisão e qualidade superficial, utilizando elevadas velocidades de construção. O aspecto visual dos modelos é semelhante aos modelos produzidos por Estereolitografia.

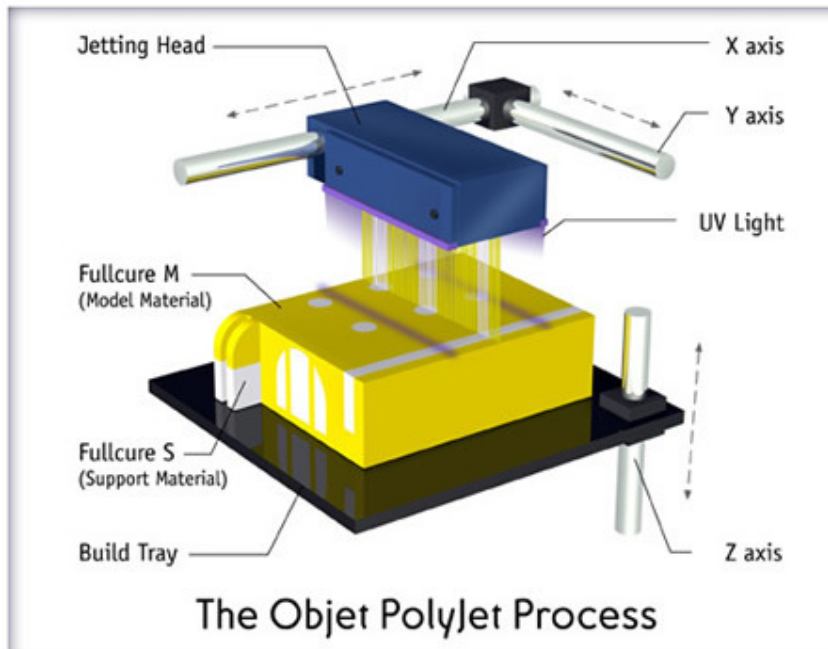
O bloco de impressão desloca-se ao longo do eixo X, como uma impressora, depositando uma camada de fotopolímero na plataforma de construção. Caso a peça seja mais larga que a cabeça de impressão, esta mover-se-á também em Y, para a impressão total de uma camada, por sua vez, o movimento em Z é efetuado pela plataforma. Imediatamente após a deposição do material, uma

lâmpada move-se por cima da camada emitindo luz UV, promovendo a cura e endurecimento de cada camada.

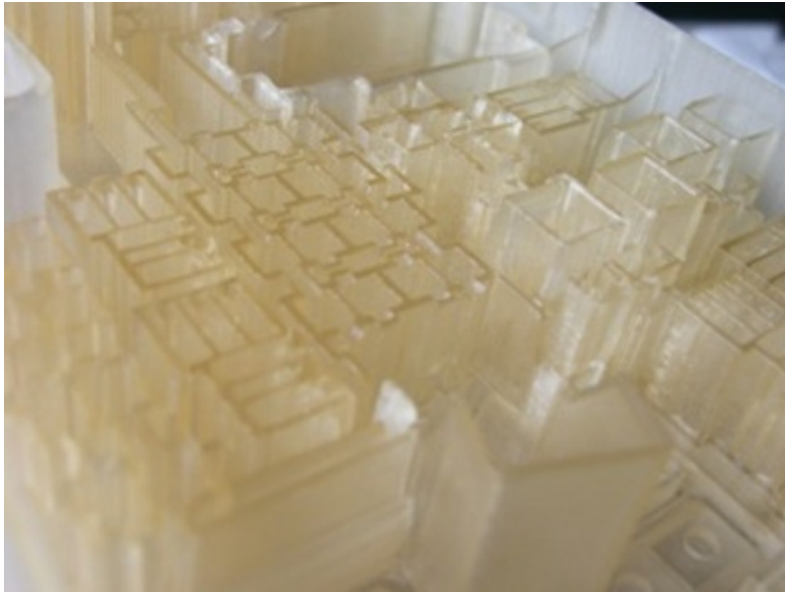
O bloco de impressão utiliza várias cabeças de impressão, controladas por software, depositando quantidades idênticas de fotopolímero na plataforma de construção, possibilitando assim a obtenção de uma superfície suave nos modelos. Esta tecnologia permite uma resolução de 600 x 300 x 1600 dpi e a espessura de cada camada é da ordem dos 16µm.

São utilizados dois materiais diferentes para construção, sendo um utilizado para construção do modelo, enquanto o segundo, um fotopolímero tipo gel, é utilizado como material de suporte.

Após a construção do modelo, o material de suporte pode ser removido dos modelos através da aplicação de um jato de água ou manualmente.



Processo Polyjet - www.kaiser3d.com



Detalhes do modelo produzido em Polyjet - www.centimfe.com

FABRICAÇÃO RÁPIDA DE FERRAMENTAS

As tecnologias de fabricação rápida de ferramentas podem ser classificadas sob diferentes critérios, a vida da ferramenta (short, médium e long run), o material (soft, bridge ou hard tooling), e a via de obtenção – direta ou indireta. Esta última divisão é a mais simples e objetiva, sendo apresentadas a seguir as opções mais divulgadas e disponíveis no mercado.

PROCESSOS DIRETOS

Direct AIM™

O processo Direct AIM (ACES Injection Moulding, sendo ACES o acrônimo de Accurate Clear Epoxy Solid), foi desenvolvido pela 3D Systems para criar zonas moldantes diretamente a partir do arquivo CAD por Estereolitografia. Este processo é adequado para pequenas séries de peças (até 50) de pequenas dimensão e pouco complexas geometricamente.

Tipicamente, estas cavidades obtidas em Estereolitografia necessitam de operações de acabamento para eliminar o efeito de escada da construção por camadas (stair-stepping).

O processo admite variante de execução que consiste na produção de uma casca em Estereolitografia de espessura constante com a geometria da impressão, que é preenchida com resina epoxídica carregada com alumínio granulado, permitindo a introdução de canais conformáveis de cobre para refrigeração do molde.

As cavidades produzidas por esta variante são usadas em máquinas de injeção convencionais, mas as peças injetadas não apresentam características idênticas às produzidas num molde convencional. O tempo de ciclo é bastante mais longo (entre 3 e 5 minutos) devido à fraca condutividade térmica da resina, quando comparada com metais.

O parâmetro decisivo para o processo acaba por ser a temperatura das cavidades moldantes, que não deve superar a temperatura de transição vítrea da resina, pelo que a refrigeração do molde é

de primordial importância. É comum resfriar-se o molde entre injeções por aplicação direta de ar comprimido.



Molde obtido por Direct AIM - www.techok.com

Sinterização por Laser

Os processos de Sinterização Seletiva por Laser são processos aditivos, onde finas camadas de materiais em pó são espalhadas sobre uma plataforma de construção e fundidas seletivamente por ação de um feixe de laser. Para fabricação de peças metálicas por Sinterização Seletiva por Laser, são possíveis dois tipos de abordagem:

- Sinterização de pós metálicos revestidos com ligantes poliméricos, seguida da remoção da substituição das ligações poliméricas por ligações metálicas e infiltração por capilaridade com ligas de menor ponto de fusão em forno (Processo SLSm);
- Sinterização direta de pós metálicos (Processo DMLS).

Estas tecnologias tornam-se particularmente adequadas na fabricação de insertos, cavidades e machos de dimensões reduzidas, especialmente quando através dos métodos convencionais se exige um esforço significativo em operações de eletroerosão, resultante de uma elevada complexidade geométrica das peças a injetar.

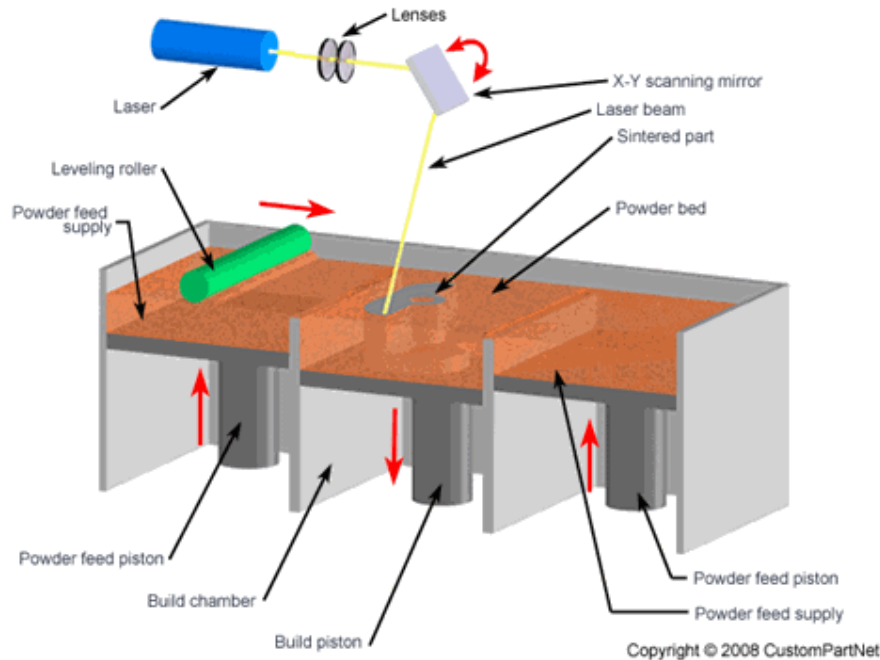
Estas tecnologias possibilitam também a adoção de novos conceitos no desenho/projeto dos moldes. Torna-se possível reproduzir nos modelos físicos por sinterização, por exemplo furos para extração e refrigeração otimizada (*conformal cooling*). Neste caso os canais de refrigeração podem ser desenhados diretamente no CAD 3D das zonas moldantes, com a forma e complexidade mais adequados. Isto permite uma importante melhoria da performance dos insertos metálicos na produção de peças de plástico.

SLSm – Sinterização Seletiva por Laser de metais

O processo de Sinterização Seletiva por Laser de metais (SLSm) foi comercializado em 1996 sob o nome RapidTool™ pela empresa DTM Corp.

O processo SLSm possibilita a construção de moldes metálicos e é particularmente adequado à execução de insertos metálicos para injeção de plásticos.

O processo de SLSm é um processo de fabricação, que tem como base de trabalho o recurso à utilização de materiais metálicos em forma de pós. Estes pós metálicos de reduzida granulometria contêm um ligante polimérico.



Processo SLSm - www.custompartnet.com

Este processo de fabricação duas fases: a primeira efetuada na máquina de sinterização, à qual se segue uma segunda fase, constituída por dois ciclos consecutivos no forno de infiltração. Como resultado deste processo, obtêm-se peças e insertos metálicos passíveis de serem utilizados, quer na injeção de plástico, na ordem de alguns milhares de ciclos de injeção, quer na injeção de ligas leves.

O laser percorre em cada camada, a seção transversal do modelo CAD 3D, sendo o ligante polimérico fundido, o que irá promover a ligação das partículas metálicas, de seguida a plataforma de suporte desce passando seguidamente um rolo que espalha uma nova camada de pó, produzindo, camada a camada, o inserto na sua totalidade.

A peça/inserto resultante desta operação (peça em verde) é posteriormente infiltrada com outro metal como bronze, processo executado num forno a temperaturas específicas e controladas. O bronze funde e flui para o interior do inserto ocupando os interstícios existentes na peça/inserto, aumentando a sua densidade.

Os insertos em estado final são constituídos por cerca de 60% de aço e 40% de bronze e têm propriedades mecânicas semelhantes ao aço P-20 e propriedades térmicas superiores ao alumínio.

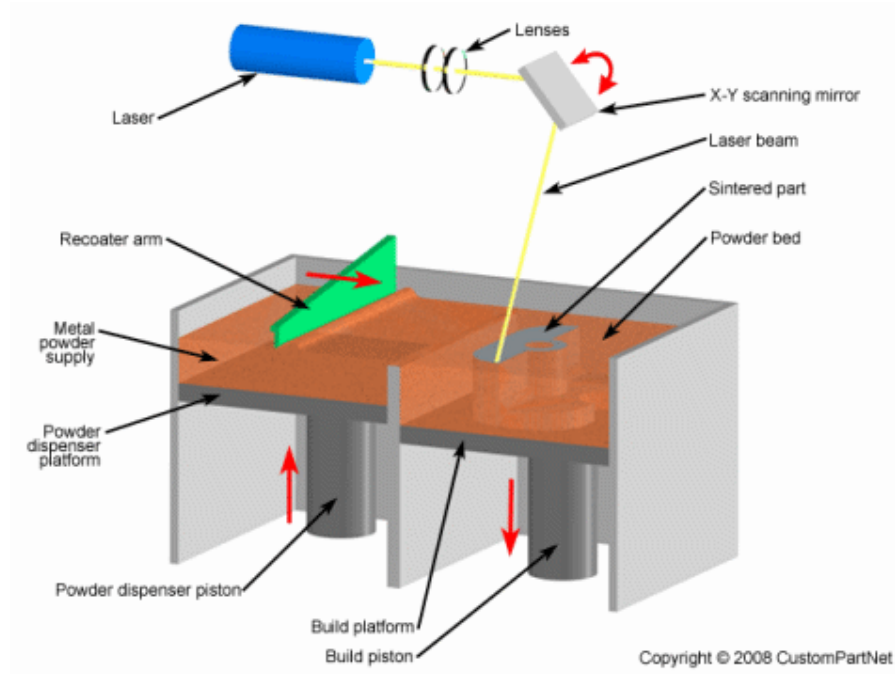
Estes insertos podem ser usinados, polidos, soldados e erodidos tal como os moldes convencionais.

DMLS – Direct Metal Laser Sintering

A tecnologia de sinterização Direta por laser de Metais (DMLS) foi disponibilizada comercialmente em 1995 pela empresa EOS GmbH.

Tal como a tecnologia SLSm, o DMLS é particularmente adequado à execução de insertos metálicos para injeção de plásticos.

Esta tecnologia tem vindo a ser desenvolvida de modo a permitir a utilização de pós de menor tamanho médio de partícula, tendo em vista uma maior qualidade superficial dos protótipos fabricados.



Processo DMLS - www.custompartnet.com

A tecnologia DMLS permite, de modo análogo às outras tecnologias de Prototipagem Rápida, a construção de modelos sólidos por adição sucessiva de camadas cujas geometrias são obtidas diretamente de um modelo CAD-3D.

O processo difere dos restantes por utilizar pós 100% metálicos de baixa granulometria (20, 50 ou 100 μm) e espessuras de camada até 0,02 mm.

No que se refere às matérias-primas, estão hoje em dia disponíveis comercialmente dois tipos de pós metálicos: DirectMetal (cujo constituinte principal é um bronze) e DirectSteel (cujo constituinte principal é um aço).

Este processo difere particularmente do processo SLSm, principalmente pela utilização de um laser de maior potência (>200 W) utilizado para fundir um metal de baixo ponto de fusão que funciona como ligante.

Para aplicação em moldes de injeção é normalmente necessário infiltrar o inserto metálico sinterizado para preencher a sua porosidade, aumentando assim a sua densidade. Esta infiltração pode ser feita com uma resina epoxídica de baixa viscosidade a alta temperatura, sendo necessária

uma operação posterior de pós-cura, normalmente realizada num forno a temperatura predeterminada.

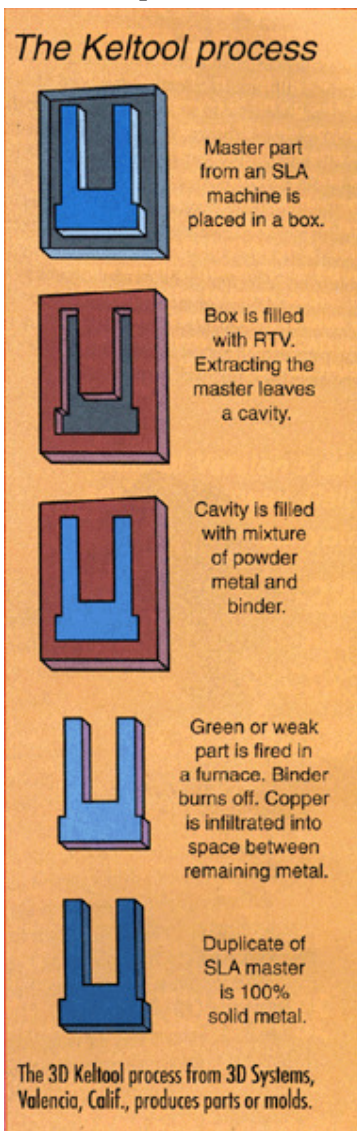
Tal como no processo SLSm, os insertos produzidos por esta técnica, podem ser submetidos a operações de acabamento manual (polimento) e a processos de usinagem, erosão, entre outros.

As propriedades mecânicas dos insertos produzidos por DMLS são suficientes para a fabricação de moldes protótipo ou para pequenas ou médias séries de produção em moldes para injeção de plástico, tornando possível injetar vários milhares de peças.

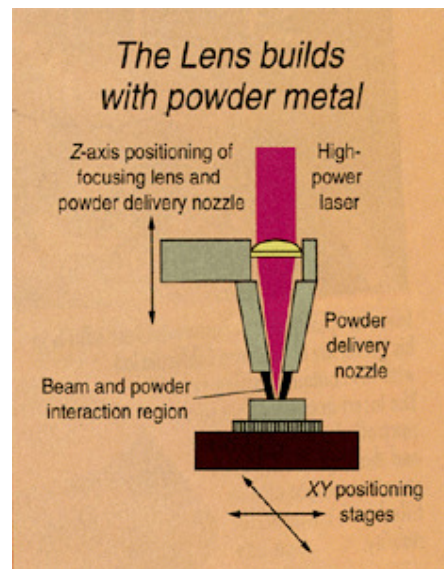
PROCESSOS INDIRETOS

3D Keltool™

O processo 3D Keltool foi desenvolvido há cerca de 3 décadas mas mostrou-se desinteressante até ser possível a fabricação rápida de protótipos com boa qualidade geométrica e dimensional tendo sido posteriormente comercializado pela 3D Systems.



O processo apresenta duas variantes, designadas *por same generation* (método direto) e *reverse generation* (método indireto). No primeiro caso, o bloco obtido apresenta a mesma geometria do protótipo. A partir deste é criada uma geometria negativa pelo processo de moldes de silicone (*Room Temperature Vulcanization – RTV*), no qual é vazada a mistura. No outro caso, o protótipo apresenta a geometria negativa do bloco moldante a obter. Este protótipo dá origem a uma geometria invertida em silicone que é depois usada do mesmo modo do método direto.



www.vistatek.com

e 30% de cobre, sendo o seu desempenho mecânico e térmico semelhante ao de um aço P20. Em alguns casos as operações de acabamento podem ser evitadas ou muito reduzidas, mas são sempre pos-

síveis operações de usinagem de acabamento e polimento posteriores, assim como adição de canais de refrigeração e furos para extratores.

Os blocos moldantes obtidos suportam as temperaturas e as pressões do processo de injeção, sendo este processo capaz de produzir grandes séries (existem referências que indicam a injeção de mais de um milhão de peças) com boa precisão e acabamento. No entanto, apresentam limitações ao nível da dimensão máxima que é cerca do volume de um cubo com 150 mm de aresta, e de não ser possível a replicação de paredes muito finas.

Moldes de silicone

Os moldes de silicone podem ser usados para obter modelos de cera, peças de plástico ou metálicas em ligas de baixo ponto de fusão, e blocos moldantes formados a partir de pó (como referido no processo 3D Keltool). Nestes moldes podem ser obtidos até 25 peças de reduzida ou grande dimensão, sendo o seu baixo custo a sua principal vantagem. O sucesso do molde de silicone depende da experiência do operador e tem como principais inconvenientes o volume de mão-de-obra envolvida, a limitação de baixas pressões e baixas temperaturas de operação, assim como a limitação de materiais usados.



Moldes de silicone - dienamics.com.au

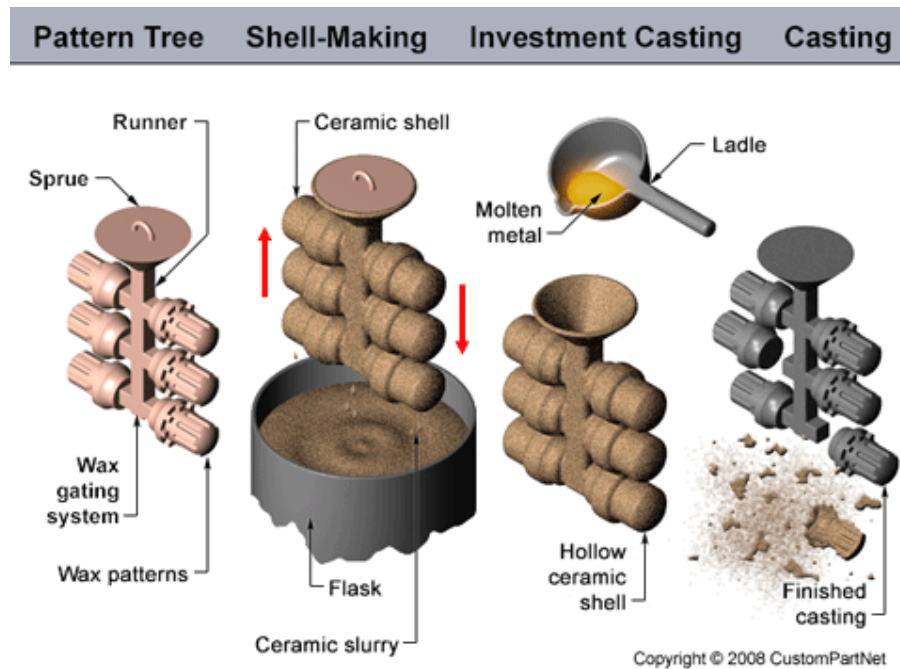
O molde de silicone necessita de um modelo da peça a replicar, normalmente obtido por uma técnica de RP, sendo a Estereolitografia a mais usada. O primeiro passo é a colagem de um canal de ataque e respectivo canal de injeção, assim como canais para escape de ar, sendo o conjunto fixado numa caixa de madeira onde será vazado o silicone no estado líquido, após a sua desgasificação e a aplicação de desmoldante na montagem. Após a cura, o silicone endurece e procede-se ao corte manual e remoção do modelo.

A flexibilidade do silicone permite a utilização de saídas negativas, sendo a qualidade superficial do modelo determinante para a qualidade final das peças obtidas. O campo de aplicação mais importante dos moldes de silicone é a realização de pequenas séries de protótipos de poliuretano obtidos por vazamento em vácuo. As diferentes combinações de mistura dos componentes do poliuretano

retano permitem realizar peças com diferentes aspectos (transparentes, opacas e coloridas), propriedades mecânicas e térmicas, podendo ser flexíveis ou rígidas, simulando o comportamento e aspecto de uma vasta gama de termoplásticos.

Fundição por modelo perdido – Investment Casting

O processo de fundição por modelo perdido utiliza moldagens cerâmicas obtidas a partir de um modelo sacrificial e é considerado dos mais precisos dentre todos os processos de fundição, sendo por isso também designado por fundição de precisão ou fundição por cera perdida, dado serem deste material os modelos usados na gênese do processo.



Processo Investment Casting - www.custompartnet.com

O processo conheceu um impulso significativo com o surgimento de RP, que reduziu drasticamente o tempo de execução do protótipo. Com efeito, quase todas as técnicas de RP permitem obter modelos para fundição como os casos do LOM (papel – que terá que ser impermeabilizado), SL (variante de construção *QuickCast* – modelo quase oco em resina) e SLS (*CastForm* - poliestireno). Além da vantagem que constitui a rápida obtenção do modelo, todos os sistemas de preenchimento e alimentação podem ser realizados na mesma construção (cacho), eliminando a necessidade da fabricação e colagem posteriores destes elementos.

O processo de fundição com moldagem cerâmica apresenta como princípio o revestimento do modelo com material refratário no estado líquido ou pastoso, dando origem às duas variantes de moldagem que são as carapaças e os blocos cerâmicos. No primeiro caso o revestimento do cacho é obtido em camadas sucessivas por imersão no ligante (sílica coloidal ou silicato de etil) da barbotina cerâmica, polvilhamento com refratário (sílica fundida, chamote, zircônio ou cromite) e secagem. No outro caso, o modelo é envolvido num bloco cerâmico pastoso que adquire a geometria do modelo. Em ambos os casos, os passos seguintes à secagem e endurecimento da moldagem são a

eliminação por queima do modelo/cacho, o tratamento térmico da moldagem e o vazamento, que poderá ser por gravidade ou centrífugo. Segue-se a retirada da moldagem cerâmica, após a solidificação, seguida da separação das peças e operações complementares de acabamento.

Moldes de resina carregada – EP

Estes moldes são obtidos a partir de uma resina epoxídica carregada com alumínio (resinas EP – designação comercial), normalmente em pó ou granulado. Aplica-se sobretudo para pequenas séries de peças injetadas em termoplástico, dependendo da complexidade geométrica.

O conceito de fabricação destes moldes baseia-se no processo de obtenção de moldes de silicone, sendo na prática, mais difícil e demorado. O modelo (*master*) da peça obtido por prototipagem rápida, normalmente Estereolitografia por ser o mais preciso, é montado numa caixa (caixilho – que poderá ser parte da estrutura do molde) com uma linha de junta/plano de partição), onde é vazada a resina carregada com alumínio para a criação de uma metade do molde. A linha de junta pode ser complexa e requerer uma caixa mais elaborada, assim como os suportes que fixam a peça que deverá ser previamente preparada com um desmoldante. Nesta fase é possível adicionar insertos de outros materiais, por exemplo metais usinados em zonas em que a maior resistência é necessária, assim como canais de cobre conformáveis para a refrigeração do molde. Após o endurecimento desta metade, o conjunto é invertido para proceder ao vazamento da segunda parte para procedimento desta metade, o conjunto é invertido para proceder ao vazamento da segunda parte para procedimento semelhante ao anterior. Após a cura de todo o conjunto, o modelo é removido e procede-se à montagem na estrutura.

Estes moldes são adequados para geometrias relativamente simples podendo chegar às 2000 peças, ficando pelas poucas centenas se a complexidade geométrica aumentar, obtendo-se peças com propriedades semelhantes às obtidas num molde convencional de alumínio. Contudo, os ciclos de injeção terão de ser, necessariamente, mais demorados devido à baixa condutividade térmica do material, e as pressões utilizadas inferiores dada a baixa resistência mecânica.

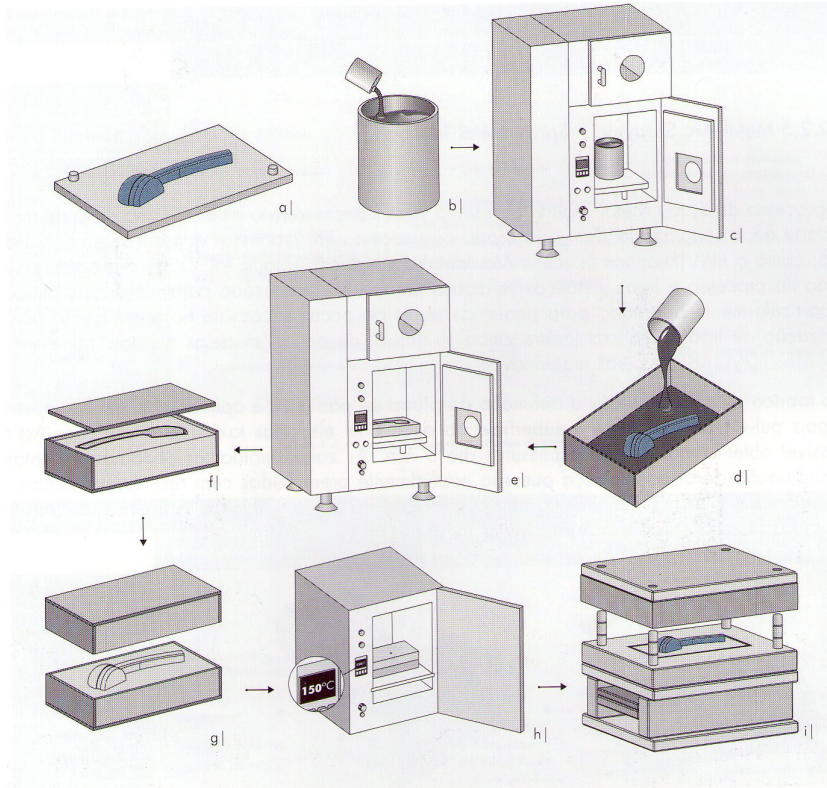


Fig. 9.58 – Produção de moldes em resina
 a| Colocação do modelo sobre a base; b| Preparação da resina; c| Desgaseificação da resina em câmara de vácuo;
 d| Vazamento da resina sobre o modelo e a base; e| Desgaseificação da resina em câmara de vácuo;
 f| Inversão do posição moldante e remoção do modelo; g| Fechamento do molde após obtenção das duas zonas moldantes;
 h| Cura da resina; i| Molde final

Metal Arc Spraying / Spray Metal Tooling

O processo de Spray Metal Tooling apresenta semelhanças com o modo de obtenção de moldes a partir de resina vazada. Tem sido usado com sucesso em processos que envolvem baixa pressão, como o RIM (*Reaction Injection Moulding*) e moldagem rotacional. Dado o progresso verificado no processo e ligas metálicas utilizadas tem vindo a ser usado para moldes de injeção. É particularmente adaptado para pequenas séries de peças e consiste no revestimento por pulverização de ligas metálicas (cobre, zinco ou níquel) de peças/modelos obtidos, por exemplo, por SLS, FDM (ABS) e ceras usináveis.

Na fabricação de insertos, após a definição do plano de partição, é aplicado desmoldante, sendo depois pulverizada em toda a superfície da peça com elevadas taxas de deposição. Assim é possível obter camadas com espessuras até 5 mm. As zonas moldantes obtidas apresentam a configuração de uma carapaça que são normalmente preenchidas com resinas epoxídicas carregadas com alumínio (resinas EP) para a formação do bloco moldante.

Nos blocos moldantes obtidos podem ser injetadas entre 200 e 2000 (melhores resultados obtidos com ligas de níquel, dada a maior dureza e resistência à abrasão) peças sendo o tempo de obtenção do molde inferior a 4 semanas. O baixo custo é uma das vantagens do processo. No entanto a adição sucessiva de camadas facilita o aparecimento de tensões residuais e a distorção da geometria.

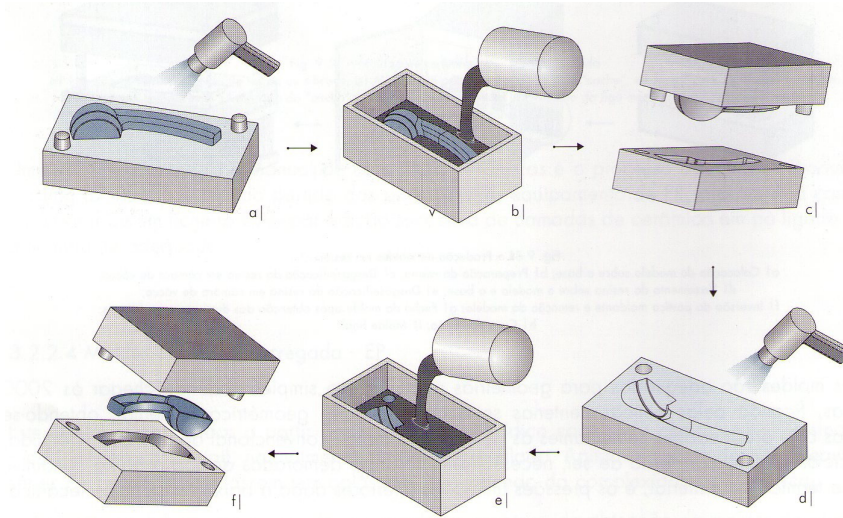


Fig. 9.60 – Processo Spray Metal Tooling
 a) Revestimento do modelo por projecção metálica; b) Enchimento do molde com resina carregada (cavidade); c) Desmoldação da cavidade;
 d) Revestimento da cavidade por projecção metálica; e) Enchimento do molde com resina carregada (bucha); f) Molde final

Veja comparação entre os processos de fabricação rápida de ferramentas na tabela abaixo.

PROCESSOS DIRECTOS			
	SLSm	DMLS	Direct AIM
Prazo (semanas)	2-5	1-4	1
Quantidade	100000	1000-1000000	10-50
Material	Termoplásticos	Termoplásticos	Termoplásticos de baixa temperatura não carregados
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Condições de operação similares a moldes convencionais Possibilidade de incorporar canais de refrigeração 	<ul style="list-style-type: none"> Condições de operação similares a moldes convencionais Possibilidade de incorporar canais de refrigeração Não necessitam pós processamento 	Processo rápido e directo
Desvantagens	Algumas variantes necessitam pós processamento demorado	Custo	<ul style="list-style-type: none"> Requer experiência Condições especiais de injeção Limitação de materiais

Tabela 9.6 – Comparação entre processos directos

PROCESSOS INDIRECTOS					
	Moldes silicone	3D Keltool	Resinas Carregadas	Fundição modelo perdido	Spray metal tooling
Prazo (semanas)	0.5-2	1-6	1-4	2-6	2-4
Quantidade	10-25	1000-1000000	100-2000	1000-1000000	200-2000
Material	Resinas poliuretano, acrílicas ou epoxídicas	Termoplásticos	Termoplásticos	Termoplásticos	Termoplásticos
Vantagens	Custo	<ul style="list-style-type: none"> Precisão Duração do molde 	Custo	Custo	Dimensão das peças
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> Limitação materiais Duração do molde 	Limitação de dimensão	<ul style="list-style-type: none"> Duração do molde Mais adequado a geometrias simples Ciclo de injeção longo 	<ul style="list-style-type: none"> Acabamento superficial Operações manuais 	<ul style="list-style-type: none"> Duração do molde Mais adequado a geometrias simples

Tabela 9.7 – Comparação entre processos indirectos

8. DETERMINAÇÃO DAS CAPACIDADES DAS MÁQUINAS INJETORAS

Esta seção mostra como especificar ou selecionar a máquina injetora mais adequada a um determinado serviço, a partir de dados fornecidos em catálogos de fabricantes.

Estas informações são presentes nas seguintes situações:

- quando se quer comprar uma máquina, sendo preciso determinar as especificações mínimas para uma máquina injetar determinado produto ou componente, sabendo-se a produção desejada e o número de cavidades do molde;
- quando já existe o molde ou a peça a produzir, sendo necessário selecionar entre o grupo de máquinas a mais adequada para a injeção de um determinado produto ou componente, sabendo-se a produção desejada e o número de cavidades do molde;
- quando já existe o molde ou a peça a produzir, sendo necessário verificar a capacidade de uma determinada máquina em injetar determinado produto ou componente, sabendo-se a produção requerida e o número de cavidades do molde;
- quando já existe o molde ou a peça a produzir, sendo necessário verificar a capacidade de uma determinada máquina em injetar determinado produto ou componente, e determinar a produção requerida e o número de cavidades do molde.

CARACTERÍSTICAS PARA ESPECIFICAÇÃO DA MÁQUINA

Os catálogos de máquinas injetoras apresentam diversos tipos de informações. Todas as informações devem ser atentamente consideradas para que a máquina selecionada atende realmente todas as necessidades do transformador.

Existem, contudo, algumas características principais, que fornecem dados suficientes para uma primeira seleção, que determina um grupo de máquinas que são avaliadas com maior profundidade posteriormente. Tais características são:

- capacidade de injeção;
- capacidade de plastificação;
- força de fechamento;
- pressão máxima de injeção;
- Distância entre colunas;
- Curso de abertura da placa móvel;
- Curso de força de extração.

FORÇA DE FECHAMENTO

Usualmente dada em toneladas (1000 Kgf), esta característica informa qual a máxima força com a qual a máquina manterá o molde travado. Quando a pressão média na cavidade (durante a injeção) multiplicada pela área projetada da peça excede à força de fechamento programada, o molde abre e formam-se rebarbas. Quanto maior a pressão de injeção utilizada e maior área projetada da peça, portanto, maior deverá ser a força de fechamento da injetora.

$$F_f = A.P.s$$

Ff = força de fechamento (kgf).

A = área projetada (cm²).

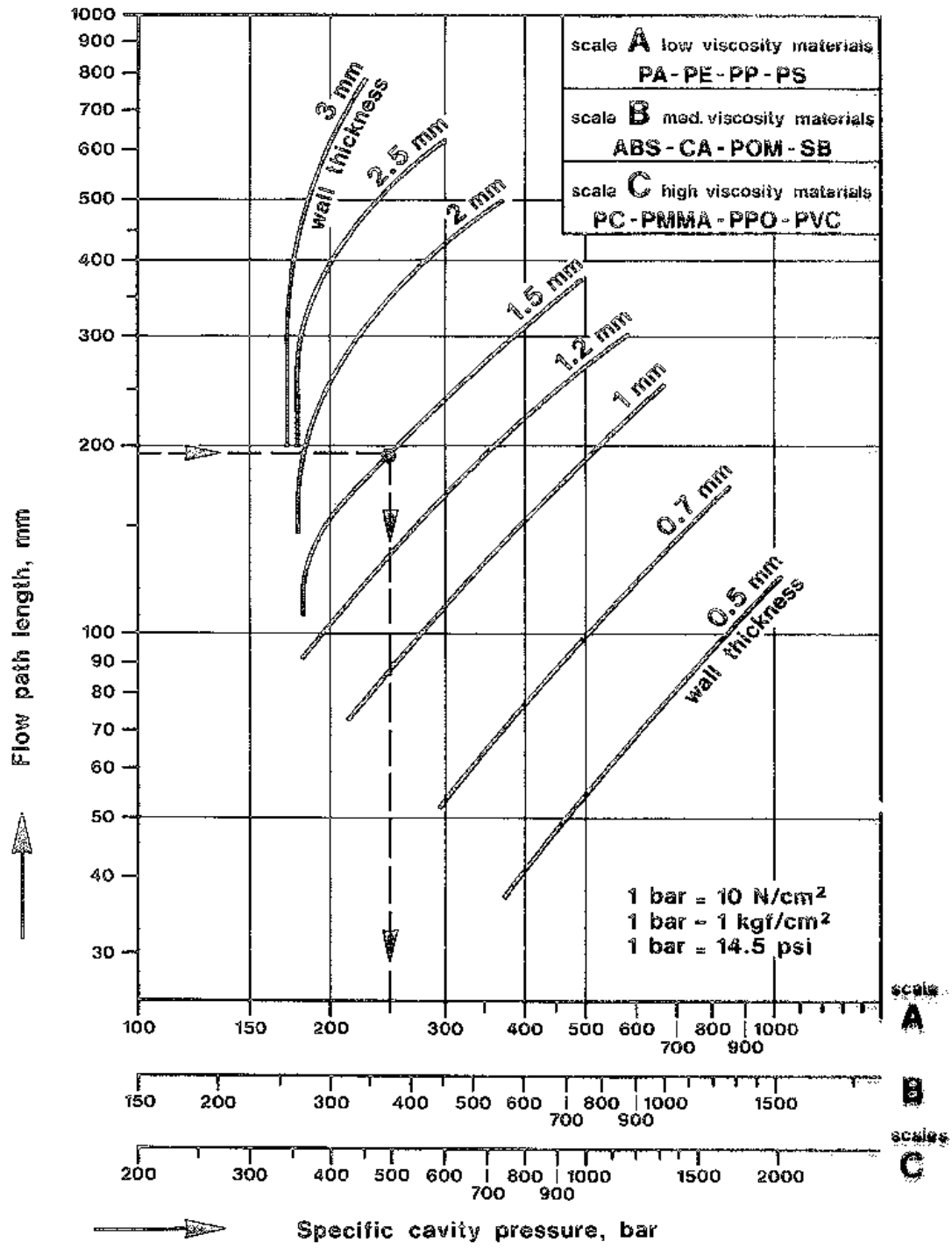
P = pressão na cavidade (kgf/cm² ou bar).

s = fator de segurança (1,1 – 1,4).

A pressão na cavidade deve ser uma estimativa da pressão média do material na cavidade, durante a injeção. Esta pressão pode ser relacionada com a pressão hidráulica da rosca durante a injeção da seguinte forma: devido às perdas de pressão no sistema de alimentação, a pressão na cavidade varia de $1/3$ a $1/2$ da pressão de injeção, que, por sua vez é da ordem de 10 vezes maior do que a pressão hidráulica, devido à relação de áreas internas entre os cilindros hidráulico e de aquecimento (canhão). Porém, na etapa de definição da máquina mais adequada para um certo molde, ainda não é conhecida a pressão hidráulica que seria programada, o que somente é definido nos testes preparatórios à produção, com o molde já na máquina. Assim, a pressão média na cavidade deve ser estimada.

A forma mais precisa de estimar esta pressão, bem como a força de fechamento, é com uma análise de preenchimento feita em softwares de CAE (Computer Aided Engineering), como o MoldFlow, C-Mold e outros.

Outra maneira, bastante usual, são gráficos que consideram a viscosidade da resina, a espessura da peça e o comprimento do caminho de fluxo. Como pode se ver na figura, quanto menor a espessura, maior o comprimento de fluxo e maior a viscosidade da resina, maior deve ser a pressão de injeção, e conseqüentemente, a pressão na cavidade.



Determinação da pressão na cavidade

A área projetada é a área sobre a qual a pressão na cavidade exercerá uma força contrária à força de fechamento. Refere-se à projeção da área de todo o moldado (peças e canais) sobre o plano da linha de separação do molde (superfície de fechamento). Conseqüentemente, para se calcular seu valor é preciso saber qual a posição da peça no molde, identificando a linha de separação.

Por segurança, é necessário embutir no cálculo da força de fechamento um fator que varia entre 1,1 e 1,4. Este fator deverá ser tanto maior quanto mais complexo for o caminho de fluxo do material na cavidade, maior o comprimento dos canais, menor o diâmetro dos canais e maior a dificuldade de determinação da pressão na cavidade.

CAPACIDADE DE INJEÇÃO

É o volume máximo de injeção, ou seja, o volume de material obtido na ponta do cilindro de aquecimento quando do recuo total da rosca plastificadora, considerando o seu fator volumétrico. Ou seja, é a quantidade de material que a rosca pode deslocar para dentro do molde a cada ciclo.

O transformador precisa que a máquina selecionada tenha capacidade de dosar a quantidade de material necessária para preencher todas as cavidades e o sistema de alimentação do molde, considerando a pressurização e o recalque.

A maioria dos catálogos apresenta os dados de capacidade de injeção em gramas de poliestireno. Por isso, sempre que se quiser determinar uma máquina para transformação de outra resina, é preciso converter o dado da máquina ou a capacidade de injeção necessária, levando em consideração a densidade e o fator volumétrico das resinas. Para que possamos obter a capacidade de injeção para outra resina, que não o PS, podemos usar a seguinte conversão abaixo.

Contudo, recomenda-se que a capacidade de injeção efetivamente utilizada da injetora esteja, por razões de qualidade, entre 30% e 80% da capacidade máxima da injetora, ou seja: $0,3C_i < m_m < 0,8C_i$, onde m_m – é a massa do moldado (peças mais canais de alimentação).

$$C_{i_b} = C_{i_a} \cdot \frac{\gamma_b}{\gamma_a} \cdot \frac{f_a}{f_b}$$

C_i = capacidade de injeção (g).

γ = densidade

f = fator volumétrico

CAPACIDADE DE PLASTIFICAÇÃO

É a quantidade de material que a máquina pode elevar à temperatura de moldagem em uma hora. Para especificação de uma máquina, deve-se considerar ainda um fator de segurança igual a 0,8. Ou seja, deve-se especificar uma máquina considerando que a mesma terá um emprego máximo de 80% da sua capacidade nominal.

Assim como a capacidade de injeção, a capacidade de plastificação é expressa em quilogramas de poliestireno por hora pelos catálogos de máquinas. Logo, se os cálculos forem relativos a outra resina, também é preciso fazer uma correção, que leva em conta as quantidades de calor necessárias para fundir a mesma massa de cada resina.

$$Cp_b = Cp_{PS} \cdot \frac{q_{PS}}{q_b}$$

Cp = capacidade de plastificação (kg/h).

m = massa total do moldado (kg).

q = quantidade de calor necessária para plastificar o polímero (kcal/kg).

Tabela – Características das resinas termoplásticas

Material Plástico	Tem p. Injeção (°C)	Temp. molde (°C)	Temp. extração (°C)	Densidade média a 20°C [g/cm ³]	Densidade média na Temp de Injeção [g/cm ³]	Fator Volumétrico	Quantidade de calor [kcal/kg]	Difusividade térmica efetiva [mm ² /s]
PS	240			1,05	0,95	1,9 – 2,15	120-150	
SB	240	10-80	< 85	1,04	0,95			
SAN	240	50-80	< 85	1,08	0,99	1,9 – 2,15	120-150	
ABS	240	50-85	< 90	1,05	0,95	1,8 – 2,0	140-170	
CA	200	40-80	< 85	1,29	1,10	2,4	124	
CAB	200	40-80	< 85	1,19	1,08	2,2	111	
PMMA	230	40-90	< 95	1,18	1,09	1,8 – 2,0	123	
PC	300	80-120	< 125	1,22	1,08	1,75		
PEAD	260	10-60	< 65	0,95	0,74	1,714 – 1,9	300-350	
PEBD	240	20-60	< 65	0,92	0,74	1,84 – 2,0	250-300	
PP	260	20-60	< 65	0,91	0,73	1,92 – 1,96	250-300	
PA	280	40-120	< 125	1,14	0,98	2,0 – 2,1	300-350	
PA 6	240			1,14	0,99			
POM	220	60-120	< 125	1,42	1,16	1,8 – 2,0	180	
PVC RÍGIDO	190	20-60	< 65	1,38	1,12	2,3	90	
PVC FLEXÍVEL	190			1,38	1,02	2,3		
PP+ 20% de carga	260	20-60	< 65	1,05	0,87		250-300	
PP + 30% de carga	260			1,13	0,95		250-300	
PP + 40% de carga	260			1,23	0,95		250-300	

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CAVIDADES

O projeto do molde deve obedecer a alguns limites que podem estar relacionados com as capacidades máximas da máquina e suas dimensões ou limitações do custo do molde. Assim, muitas vezes, moldes com um determinado número de cavidades podem estar subutilizando uma máquina de grande potencial, ou ainda, podem inviabilizar a utilização da mesma.

Como primeiro passo para o projeto, aconselha-se a determinação do melhor número de cavidades, levando-se em conta os limites técnicos e econômicos que decorrerão da escolha.

Caso exista uma máquina pré determinada onde será utilizado o molde que se deseja projetar, é conveniente fazê-lo de acordo com as suas capacidades, a menos que problemas de viabilidade econômica o impeçam.

Em relação as capacidades da máquina, deve-se dizer, que uma vez pronto o molde a máquina deve ter capacidade de preenchimento da totalidade das cavidades e canais, é a capacidade de injeção, deverá ter força suficiente para suportar os esforços decorrentes da pressão de injeção, ou seja, a força máxima de fechamento, deverá ainda ter capacidade de plastificação, e por último, também relaciona com a força de fechamento, deverá o sistema hidráulico ter capacidade suficiente para transmitir ao material uma pressão de injeção adequada requerida pela geometria da peça, ou melhor, a pressão máxima de injeção.

Outro critério que deve-se considerar são as dimensões máximas permitidas pela máquina, como a distância entre as colunas, alturas mínimas e máximas para os moldes e os cursos máximos de extração e abertura.

Os critérios técnicos que devem ser abordados na determinação do número de cavidades são: capacidade de injeção, capacidade de plastificação, força de fechamento e distância mínimas e máximas em relação a placa de máquina.

EM RELAÇÃO A CAPACIDADE DE INJEÇÃO

Deve-se adotar sempre um coeficiente de segurança para a capacidade de injeção, isto é, o molde não deve ser projetado para a capacidade máxima da máquina, uma vez que no deslocamento do cilindro de injeção devem estar contabilizados as descompressões (dianteira e traseira), a pressurização e o recalque. Para fins de cálculos, costuma-se utilizar uma capacidade de injeção igual a 80% da capacidade máxima de injeção.

$$NC = \frac{C_B \cdot S}{P_p}$$

NC = número de cavidades

C_B = capacidade de injeção

S = fator de segurança - 0,8

P_p = peso da peça

EM RELAÇÃO A FORÇA DE FECHAMENTO

$$NC = \frac{Ap_{máx}}{Ap_{peça}}$$

NC = número de cavidades em relação a força de fechamento

Ap_{peça} = área projetada para uma cavidade

$A_{p_{max}}$ = área projetada máxima permitida, sendo:

$$A_{p_{máx}} = \frac{F_f \cdot S}{P_c}$$

F_f = força de fechamento [kg]

S = fator de segurança

P_c = pressão na cavidade [kgf/cm²]

EM RELAÇÃO A CAPACIDADE DE PLASTIFICAÇÃO

O número aproximado de cavidades em relação a capacidade de plastificação relaciona a capacidade de plastificação de material da máquina em um determinado tempo, a produtividade esperada ou necessária por um determinado período, e o tempo de ciclo para a moldagem.

$$NC = \frac{C_{p_B} \cdot S \cdot T_c}{3600 \cdot P_p}$$

onde,

NC = número de cavidades possíveis em relação a capacidade de plastificação;

C_{p_B} = capacidade de plastificação convertida [kg/h]

S = fator de segurança – 0,8

T_c = tempo de ciclo estimado [s]

P_p = peso da peça [kg]

DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CICLO ESTIMADO (T_c)

O tempo total de ciclo é o somatório dos tempos de fechamento, abertura, extração, avanço e recuo da unidade de injeção (caso ocorram), molde aberto e molde fechado.

Os catálogos de máquinas costumam informar o tempo de ciclo a seco, que compreende os tempos de abertura e fechamento, ou ainda os tempos de extração e movimento da unidade injetora, segundo normas internacionais. Este dado pode ser utilizado caso não se conheça os tempos dos movimentos acima descritos.

Quanto ao tempo de molde aberto, que é programado, ele começa a contar a partir do final da extração (recuo da placa extratora) e dura até o início do fechamento. Serve para permitir a queda adequada do moldado após a ação dos elementos extratores.

Várias etapas do ciclo são contadas dentro do tempo de molde fechado: injeção, recalque, plastificação e resfriamento, mas não devem ser somadas. O tempo de molde fechado é a soma dos tempos de injeção e resfriamento.

Os tempos de injeção e recalque podem ser estimados pela prática ou por simuladores de fluxo (CAE). O tempo de resfriamento é determinado também por CAE, ou por gráficos ou fórmulas. Embora durante o preenchimento da cavidade haja resfriamento (formação de camada solidificada ou casca), o resfriamento mais efetivo de toda a cavidade só se dá ao término da pressurização, ou seja, com o início do recalque. Assim, para efeitos práticos, considera-se que o tempo de resfriamento inicia a contar juntamente com o tempo de recalque.

Conseqüentemente, o tempo máximo de plastificação é igual ao tempo de molde fechado menos os tempos de injeção e recalque. Também pode ser equivalente ao tempo de resfriamento menos o tempo de recalque.

$$T_C = t_{resf} + t_{inj} + t_{f,a,e} \quad \text{ou} \quad T_C = t_{plast} + t_{inj} + t_{f,a,e}$$

T_c = tempo total de ciclo [s]

T_{inj} = tempo de injeção [s]

T_{resf} = tempo de resfriamento [s]

t_{plast} = tempo de plastificação [s]

$t_{f,a,e}$ = tempo de fechamento, abertura e extração (ciclo seco) [s]

$$t_{inj} = \frac{Pm}{\gamma \cdot V_{inj} \cdot 0,8}$$

onde,

Pm = peso de moldagem [g]

γ = peso específico do material [g/cm^3]

V_{inj} = vazão de injeção [cm^3/s]

$$t_{plast} = \frac{Pm}{Cp_B \cdot 0,8}$$

9. ZONAS MOLDANTES

CONTRAÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

A variação dimensional das peças injetadas em relação às dimensões do molde depende essencialmente da contração e do empenamento.

A contração dos termoplásticos é, sobretudo, o resultado da expansão e contração térmica do material durante as fases de injeção, pressurização, recalque e resfriamento. Assim, os fatores que possam produzir alterações no volume específico afetam também a contração. Estes fatores incluem as características do material, geometria do molde e da peça, e condições de processamento, por exemplo, pressão de recalque, tempo e pressão de injeção, temperatura do molde e do fundido.

Durante a fase de recalque, a pressão é mantida para permitir fluxo adicional de material para a cavidade. Após solidificação do ponto de injeção, termina esta fase, tornando-se fixa a massa total da peça. Nesta altura, as variáveis termodinâmicas (pressão, volume específico e temperatura) podem ser utilizadas para determinar o grau de distribuição da contração volumétrica.

O empenamento está associado a uma variação de forma e não implica necessariamente uma variação de volume. Em muitos casos, as duas categorias de variação dimensional podem ocorrer simultaneamente.

Podem ser definidos três valores de contração: contração de desmoldagem (CD), contração de moldagem (CM) e pós-contração (CP). A contração da moldagem é definida pela diferença entre as dimensões do molde frio e as dimensões da peça injetada após 16 horas de condicionamento em ambiente controlado de temperatura e de umidade:

$$CM = \frac{l_m - l}{l_m} \cdot 100\%$$

Onde l_m é a dimensão no molde e l a mesma dimensão na peça após condicionamento em ambiente controlado. A contração de desmoldagem é a contração exibida pela peça imediatamente após a extração e a pós-contração é a contração adicional exibida pela peça relativamente à contração de moldagem, que ocorre normalmente em materiais semicristalinos devido ao fenômeno de pós-cristalização.

FATORES DE AFETAM A CONTRAÇÃO

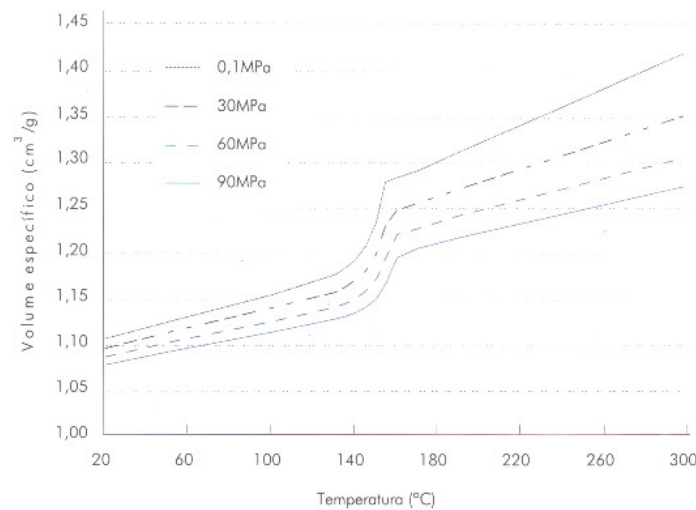
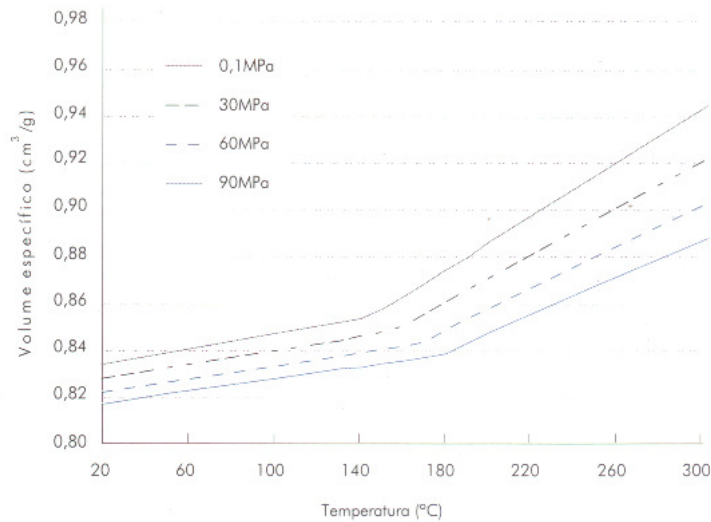
O MATERIAL

Os materiais termoplásticos quando processados por injeção sofrem um ciclo termomecânico que engloba o aquecimento e arrefecimento. O processamento é feito a uma temperatura acima da temperatura de transição vítrea (caso dos materiais amorfos) ou acima da temperatura de fusão (caso dos materiais semicristalinos), temperatura suficiente para que o material exiba uma viscosidade adequada durante a fase de injeção. O resfriamento do material ocorre desde o primeiro instante que atinge as paredes do molde, até temperatura ambiente. Durante o resfriamento do material termoplástico existe aumento da densidade do material, isto é uma diminuição do volume específico.

A dependência do volume específico com a pressão e temperatura é normalmente estabelecida nos diagramas pVT. Como se pode ver a figura o volume específico dos materiais semicristali-

nos e amorfos diminui com a diminuição da temperatura, sendo essa diminuição mais acentuada para o caso dos materiais semicristalinos como resultado da ocorrência do processo de cristalização.

Os diagramas pVT podem variar com parâmetros moleculares e velocidades de resfriamento, o que pode implicar uma dependência diferente do volume específico com a pressão e temperatura, e consequentemente contrações diferentes.



Diagramas pVT
a) polímero amorfo; b) polímero semicristalino

De forma a compensar a diminuição do volume específico do material durante a fase de resfriamento as dimensões da cavidade (zonas moldantes) são aumentadas pelo fator de contração. A informação sobre a contração dos termoplásticos é geralmente referente à direção do fluxo em placas com entrada lateral, em que a razão comprimento/largura é grande.

Na tabela apresentam-se os valores típicos de contração para alguns materiais termoplásticos amorfos e semicristalinos. Note-se a diferença dos valores de contração, em termos dos valores absolutos e amplitude de variação, entre o PC (material amorfo) e o PBT (material semicristalino).

Material	Contração
PA 6	1,0 – 1,5
PA 6.6	1,0 – 1,5
PP	1,0 – 2,0
LDPE	1,5 – 3,0
HDPE	1,5 – 3,0
POM	1,7 – 2,1
OS	0,4 - 0,8
PC	0,5 – 0,7
ABS	0,4 – 0,6
PMMA	0,3 – 0,6
PPO	0,5 – 0,8
PC + ABS	0,3 – 0,85
PBT	1,7 – 2,3

Outros fatores

Além da natureza do próprio material, o valor da contração depende da orientação do fluxo e da incorporação de cargas/reforços.

A incorporação de cargas (como esferas de vidro ou talco) ou de reforços (como fibras de vidro ou de carbono) influencia bastante a contração final do material. Para o caso de materiais carregados com partículas, a contração é menor do que a observada para o material não carregado. A diminuição da contração para materiais carregados torna possível, a princípio, produzir peças plásticas com tolerâncias dimensionais mais apertadas. No caso de materiais reforçados, a adição de fibras também conduz a uma diminuição global da contração, mas torna a contração anisotrópica, isto é a contração na direção de fluxo é diferente da contração perpendicular à direção de fluxo. Este efeito deve-se à orientação preferencial das fibras na direção do fluxo que reduz significativamente a contração. A contração anisotrópica do material devido a efeitos de orientação de fibras é uma das razões para o empenamento de peças injetadas.

Na tabela apresentam-se valores típicos da contração de materiais não reforçados e reforçados, na direção de fluxo e transversal ao fluxo.

Material	Contração %	
	Direção do fluxo	Transversal
ABS (30% FV)	0,2	0,5
PPO (30% FV)	0,3	0,8
PC (30% FV)	0,25	0,5
PEI (30% FV)	0,2	0,4
PES (30% FV)	0,2	0,3
PET	1,8	2,1
PET (30% FV)	0,3	1,0
POM	1,7	1,5
POM (30% FV)	0,3	1,6
Pa 6	1,0	1,4
Pa 6 (30% FV)	0,35	1,0
Pa 6.6	1,1	1,5
Pa 6.6 (30% FV)	0,4	0,9
PP (30% FV)	0,35	0,9
PBT (30% FV)	0,3	1,2

Contrações típicas de vários termoplásticos na direção de fluxo e na direção transversal ao fluxo

Os pigmentos e corantes também afetam significativamente a anisotropia da contração. Por exemplo um PP não pigmentado apresenta uma relação de anisotropia da contração (fluxo/transversal) de 0,9, enquanto que com pigmento azul (TC-4293) ou vermelho (TC-1417) a relação passa a aproximadamente 1.4. Os pigmentos reduzem preferencialmente a contração transversal.

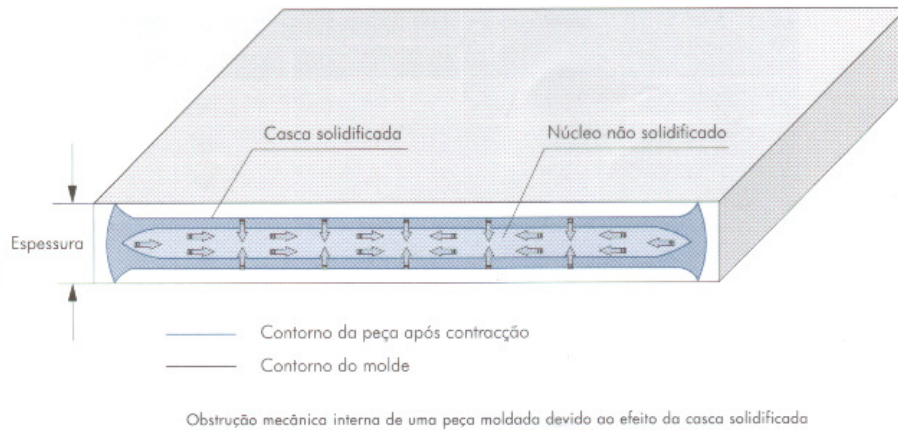
Os efeitos referidos têm a ver essencialmente com a contração no plano. No entanto empenamentos importantes podem ocorrer em peças planas devido à variação da contração ao longo da espessura.

Geometria da peça

Uma peça moldada por injeção não contrai uniformemente ao longo do caminho de fluxo. A contração mais significativa da peça ocorre ao longo da espessura da peça, devido ao menor constrangimento do molde nesta direção. Na direção de fluxo e na direção transversal ao fluxo o constrangimento mecânico do molde à contração é mais significativo. Acresce a este efeito, o fato de a peça injetada solidificar, dentro do molde, da periferia (casca) para o seu interior (núcleo), o que origina uma obstrução mecânica adicional à contração do núcleo pela casca solidificada nas direções do fluxo e transversal ao fluxo.

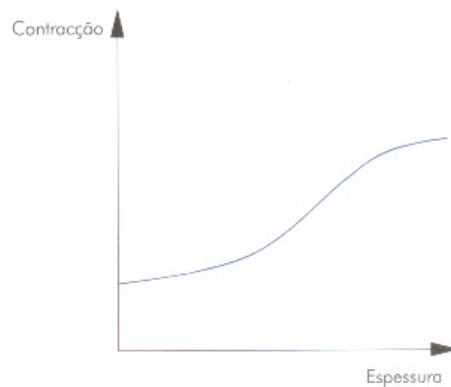
A figura ilustra a obstrução mecânica causada pela casca solidificada numa peça moldada. As obstruções mecânicas impostas à peça durante o arrefecimento produzem tensões residuais na

peça. As tensões residuais podem limitar significativamente o desempenho mecânico de peças injetadas e podem ser particularmente importantes no desempenho das mesmas a temperaturas elevadas, na medida que a ocorrência de relaxação de tensões nestas condições pode conduzir a pós-contracção ou empeno significativos e conseqüentemente ao não cumprimento de tolerâncias dimensionais.



A geometria da peça possui um papel importante na definição das respectivas dimensões finais e conseqüentemente no cumprimento das tolerâncias estabelecidas. A existência de paredes de reforço, variações de plano ou de outros pormenores geométricos na peça contribui para o restringimento mecânico da peça dentro do molde. Em alguns casos, os pormenores geométricos podem aumentar substancialmente a rigidez estrutural da peça e condicionar a contração da mesma após a extração.

A espessura da peça é também um fator importante na definição da contração. A figura ilustra a variação esquemática da contração em função da espessura para um material semicristalino não carregado. A mesma tendência é observada para materiais amorfos mas a uma menor escala.



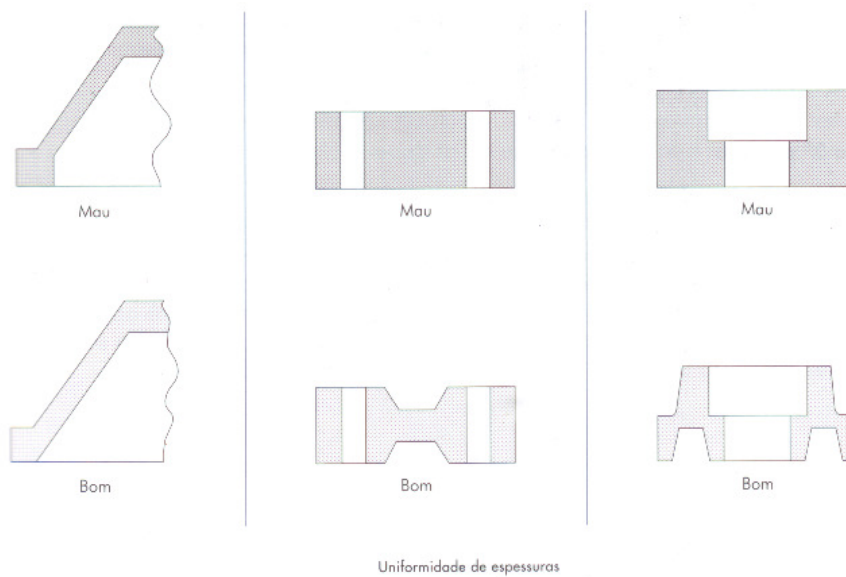
Variação esquemática da contração com a espessura da peça para um material semicristalino

Para condições idênticas de temperatura de injeção e molde, duas geometrias de espessura diferentes resfriam a velocidades diferentes. Quanto maior a espessura da peça mais demorada é a difusão de calor no núcleo da peça para as paredes do molde e maior é a contração observada. Este fato é mais evidente no caso de materiais semicristalinos, já que velocidades de resfriamento mais lentas favorecem a cristalização, o que origina percentagens de cristalinidade superiores e conseqüentemente contrações mais elevadas.

Peças com variações de espessura significativas apresentam variações localizadas do valor de contração, o que pode justificar a ocorrência de empenamentos. A dependência da contração relativamente à espessura pode tornar o cumprimento de tolerâncias para peças com espessura elevadas particularmente difícil. Existem várias regras para o projeto de peças plásticas com vista à redução deste efeito.

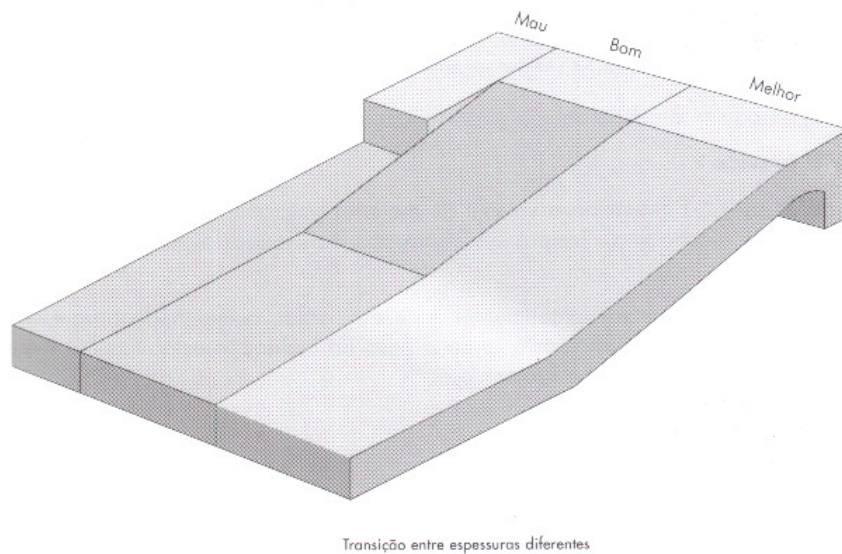
Uso uniforme de espessuras

Promove um fluxo homogêneo do material da cavidade, assegura condições similares de resfriamento e contração ao longo da peça, o que minimiza empenamentos, reduz tensões residuais e aumenta a produtividade do molde.



Transição suave entre espessuras diferentes

A transição gradual de espessuras reduz a concentração de tensões e diferenças de resfriamento.



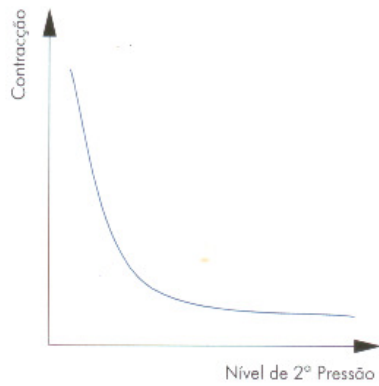
Condições de Processamento

As tolerâncias de peças injetadas correspondem à variação total admissível nas dimensões da peça inerentes a desvios nas condições de processamento ou da condição da ferramenta. Em termos de condições de processamento, os desvios dimensionais podem resultar de variações na temperatura do molde e na temperatura do fundido, variações no perfil de recalque do material dentro do molde ou de variações no tempo de resfriamento do material. O recurso ao controle estatístico do processo é fundamental para a identificação da causa de um desvio dimensional face ao valor toleranciado.

A seguir apresenta-se de forma simplista a influência das variáveis em moldagem por injeção na contração. A otimização das condições de processamento é essencial para a produção de peças dentro das tolerâncias especificadas.

Valor da 2ª pressão

A fase de compactação (recalque) visa compensar a contração do material através da introdução de material adicional na impressão. O valor da 2ª pressão influencia significativamente o valor da contração do material. No entanto, o seu efeito diminui para valores de pressão mais elevadas. Se o seu valor for mais pequeno, o peso da peça e também a contração serão mais sensíveis a flutuações nas condições do processo, podendo até ocorrer a formação de rechupes. Se for muito grande, as consequências poderão ser: tensões residuais excessivas junto ao ataque, prisão do canal de injeção, maior consumo de energia.

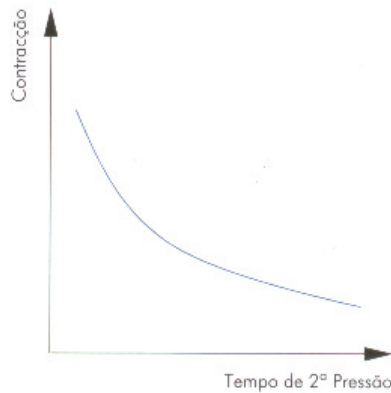


Influência do valor da 2ª pressão na contração

Tempo de 2ª pressão

O tempo de 2ª pressão determina o volume de material adicional injetado no molde e consequentemente a contração final. Tempos de 2ª pressão mais longos diminuem a contração final da peça.

A prática habitual é determinar experimentalmente esse valor, aumentando progressivamente o tempo de segunda pressão e verificar quando o peso da moldagem estabiliza. O tempo correspondente será o ideal para o processamento.

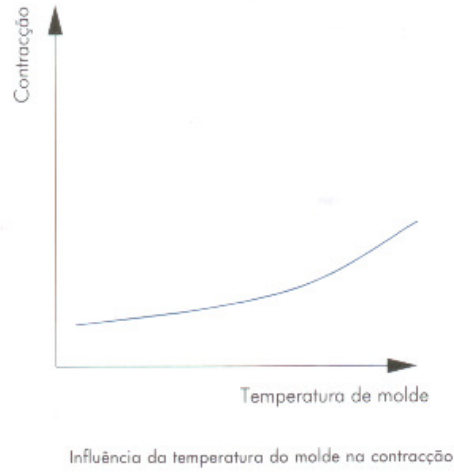


Influência do tempo de 2ª pressão na contração

Temperatura do molde

A temperatura do molde determina a velocidade de resfriamento ao longo da espessura, a consequente distribuição de tensões residuais e o perfil de pressões dentro da cavidade. A contração da peça varia diretamente com a temperatura do molde. Quanto maior for a temperatura do molde

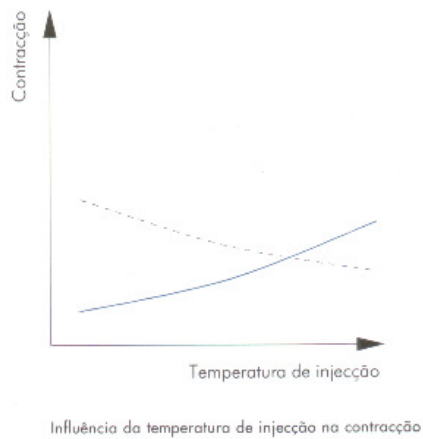
maior a contração. O efeito é reduzido em materiais amorfos e mais pronunciado nos semicristalinos.



Temperatura de injeção

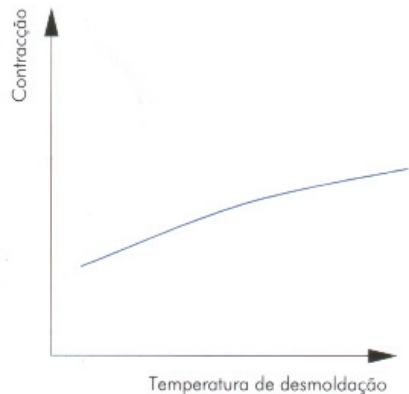
A temperatura de injeção apresenta 2 efeitos opostos. Temperaturas mais elevadas aumentam o volume específico (curva tracejada), no entanto, o aumento de temperatura diminui a viscosidade do material aumentando a eficiência da compactação (curva cheia).

Em materiais semicristalinos o efeito é mais pronunciado devido ao maior tempo de resfriamento necessário para promover uma maior cristalinidade.



Temperatura de desmoldagem

Temperaturas de extração mais altas aumentam a contração da peça. Quanto menor for o tempo de resfriamento menor é o efeito do constrangimento mecânico na contração.



Influência da temperatura de desmoldagem na contração

Correlação entre tolerância de moldes e contração

A especificação de tolerâncias de peças plásticas moldadas por injeção tem obrigatoriamente que considerar a natureza do material termoplástico a moldar. A norma DIN 16901, mencionada aqui a título demonstrativo, leva em linha de conta a natureza do material, na definição das tolerâncias para dimensões lineares de peças poliméricas (termoendurecíveis e termoplásticos) moldadas por moldagem por injeção, compressão e outras variantes destas. A este nível, a norma DIN 16901 considera dois tipos de tolerâncias:

- Tolerâncias gerais para todas as cotas cujos os desvios não estejam especificados em qualquer documento (desenho de artigo, documento de produção ou de encomenda, etc);
- Tolerâncias das cotas com desvios definidos (definição feita junto das mesmas no documento) (Estas tolerâncias apresentam duas classes: 1 e 2).

Para as tolerâncias gerais, a norma DIN 16901 especifica 4 grupos de tolerâncias (160, 150, 140 e 130), enquanto que para as tolerâncias das cotas com desvios definidos junto do valor nominal, a norma DIN 16901 especifica 7 grupos de tolerâncias (160, 150, 140, 130, 120, 110 e engenharia de precisão).

De acordo com a norma DIN 16901, uma peça com uma dimensão definida pela moldagem direta de 180 mm, moldada em PP não carregado ou reforçado, segue o toleranciamento geral (Tolerâncias DIN 16901 – 150) apresentado na tabela abaixo.

Tabela – Toleranciamento geral de PP não carregado ou reforçado para as dimensões de 160 a 200 mm

Dimensões de 160 a 200 mm		
150	A	$\pm 1,50$ mm
	B	$\pm 1,40$ mm
A – Dimensões não relacionadas com o molde B – Dimensões relacionadas com o molde		

Dimensões de 160 a 200 mm		
130	A	$\pm 0,70$ mm
	B	$\pm 0,60$ mm
A. Dimensões não relacionadas com o molde B. Dimensões relacionadas com o molde		

Toleranciamento geral de ABS (carregado ou não) para as dimensões de 160 a 200 mm (Tolerâncias DIN 16901 – 130)

10. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO COM CANAIS FRIOS

O sistema de alimentação é constituído por uma série de canais geralmente usinados numa ou mais placas do molde pelo qual o polímero plastificado é transportado desde o bico de injeção até cada zona moldante (cavidade).

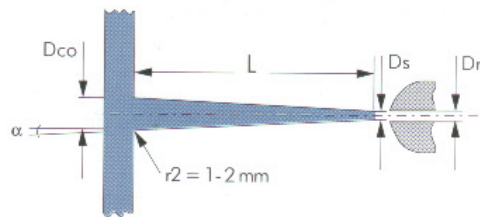
O polímero entra no molde pelo canal de injeção que pode comunicar-se diretamente com a cavidade ou ramificar-se num sistema de alimentadores fazendo a ligação do canal de injeção às cavidades. A entrada do polímero fundido nas cavidades é feita através das entradas ou pontos de injeção.

O canal de injeção

O canal de injeção é tronco-cônico divergente, com um ângulo de abertura de 2 a 5°, que liga o bico da injetora aos alimentadores ou à própria cavidade (no caso de moldes com uma só cavidade). Esta conicidade é necessária para facilitar a sua extração.

Normalmente, este canal não é usinado diretamente nas placas do molde, mas num componente chamado injetor principal ou bucha de injeção. Este componente deve ter um diâmetro de entrada ligeiramente superior e possuir uma concavidade com raio superior ao do bico da injetora.

O injetor principal apresenta algumas vantagens como, por exemplo, a possibilidade de substituição em caso de desgaste. Este desgaste pode ser causado pelo próprio fluxo do material, especialmente se forem injetados materiais reforçados com fibras e/ou pelo encosto repetido do bico de injeção da máquina.



Canal de injeção

$$\alpha = 1 - 3^\circ$$

$$D_s = D_n + 1,0 \text{ mm}$$

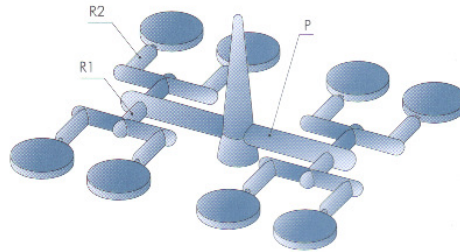
De modo a garantir a extração do canal de injeção é freqüente considerar um puxador do canal no lado da extração. Durante a abertura do molde, a contra-saída obriga a saída do canal de injeção. Em alguns casos, a usinagem da contra-saída do lado da extração cria um poço-frio, o qual retém o material mais frio durante a injeção, evitando que este entre na cavidade ou obstrua as restantes zonas do sistema de alimentação.

Canais de alimentação

Os alimentadores, ou canais de alimentação ligam o canal de injeção às entradas das cavidades e, em moldes simples, estão situados na superfície de partição.

A disposição dos alimentadores depende principalmente do número e da forma das cavidades, do tipo de molde e do tipo de entrada.

Considerando como exemplo um alimentador circular, tanto o diâmetro como o comprimento, afetam a resistência ao fluxo. Quanto maior for o diâmetro do alimentador, menor será a resistência ao fluxo, ou seja, menor será a queda de pressão. No entanto, o tempo necessário para o resfriamento aumenta. Deste modo, deverá existir um compromisso entre a minimização da queda de pressão e a redução do tempo de resfriamento. Isto é especialmente importante para o aumento da produtividade, uma vez que o tempo de resfriamento, representa, freqüentemente, 50 –75% do tempo de ciclo. Outro aspecto importante que o projetista de moldes deve considerar é a redução do material a reciclar, uma vez que a reciclagem implica custos adicionais.



Canais de alimentação

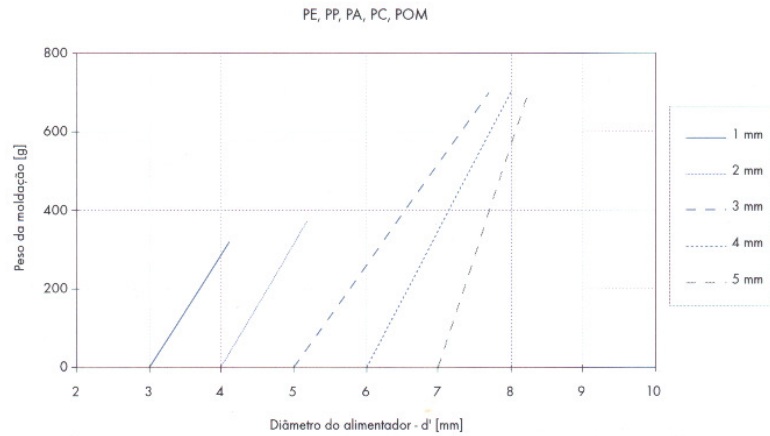
O diâmetro do alimentador principal pode ser estimado recorrendo a algumas regras empíricas com base no peso e espessura da moldagem. As curvas dos gráficos das figuras representam o diâmetro do alimentador em função do peso de cada moldagem com espessuras de 1 a 5 mm.

Exemplo:

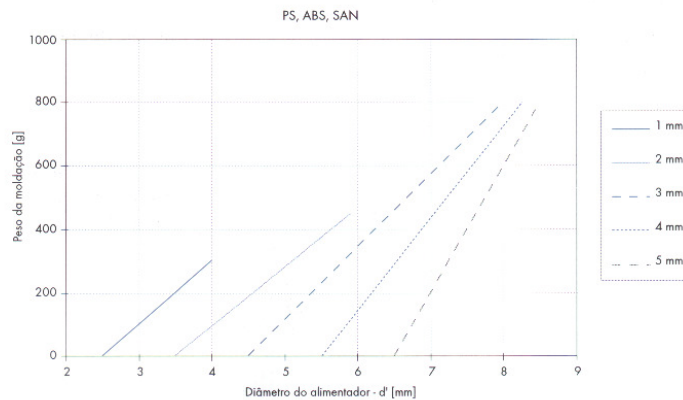
- o molde produz 8 peças em cada ciclo,
- cada moldagem tem um peso de 25 g,
- o alimentador para cada moldagem tem 30 mm de comprimento,
- o material a injetar é o PP,
- as moldagens têm 2 mm de espessura.

Cada alimentador injeta um peso de 25 g. Através da figura seguinte e com base na peso injetado pelo alimentador pode-se determinar o diâmetro do alimentador sem a correção do comprimento.

$$d' = 4,1 \text{ mm}$$



Diâmetro recomendado para PE, PA, PC e POM (sem correção)



Diâmetro recomendado para PS, ABS e SAN

Como o alimentador tem 30 mm de comprimento, o fator de correção é de 1,05. Deste modo, o alimentador (d_{R2}) deverá ter um diâmetro 4,3 mm.

$$d_{R2} = d' \cdot Cf$$

$$d_{R2} = 4,1 \cdot 1,05 = 4,3 \text{ mm}$$

Os diâmetros dos restantes alimentadores podem ser determinados utilizando a seguinte regra empírica.

$$D = d_R \cdot n^{[1/3]}$$

Em que:

d_R = diâmetro do alimentador ramificado

n = número de ramificações

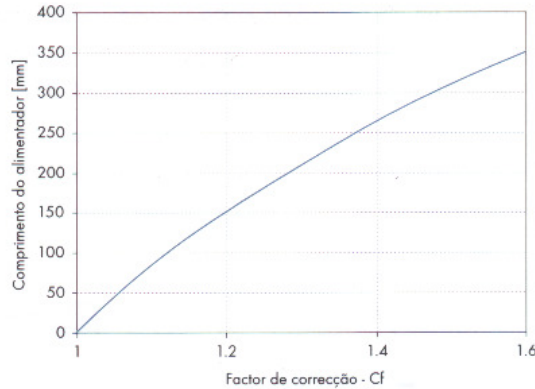
d = diâmetro do alimentador a ramificar

O alimentador R1 foi ramificado em dois alimentadores R2. Logo diâmetro do alimentador é:

$$d_{R1} = 4,1 \cdot 2^{[1/3]} = 5,2 \text{ mm}$$

O alimentador principal foi ramificado em dois alimentadores R1:

$$D_P = 5,2 \cdot 2^{[1/3]} = 6,6 \text{ mm}$$



Fator de correção em função do comprimento do alimentador

Alternativamente, para moldagens até 200 g e espessuras até 3 mm, pode ser utilizada uma expressão empírica, recomendada por R.G. W. Pye que permite estimar o diâmetro dos alimentadores e do canal de injeção a partir do peso da moldagem a jusante e do comprimento do alimentador. (ou do canal de injeção).

$$d = \frac{\sqrt[4]{P^2 L}}{3,7}$$

onde:

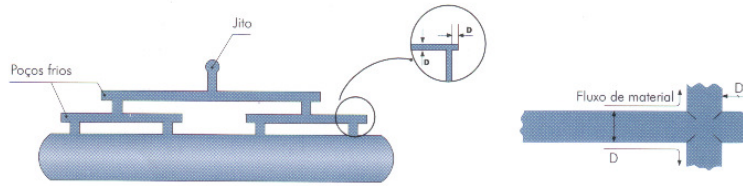
d – diâmetro do alimentador (ou médio do canal de injeção) (mm)

P – peso da moldagem a jusante (g)

L – comprimento do alimentador (ou canal de injeção) (mm)

Regras de projeto

- Nos canais trapezoidais – utilizar um ângulo de saída entre 5° - 15°,
- O diâmetro mínimo de um alimentador é de 1,5 mm,
- Para a maior parte dos plásticos, os canais de alimentação devem ser polidos de modo a facilitar o fluxo e a extração.
- É recomendado a colocação de extratores ao longo do percurso do sistema de alimentação,
- Todas as intersecções dos canais devem ter um poço frio de forma a captar o material mais frio que se encontra na frente de fluxo. O comprimento do poço frio deve ser igual ao diâmetro do canal.

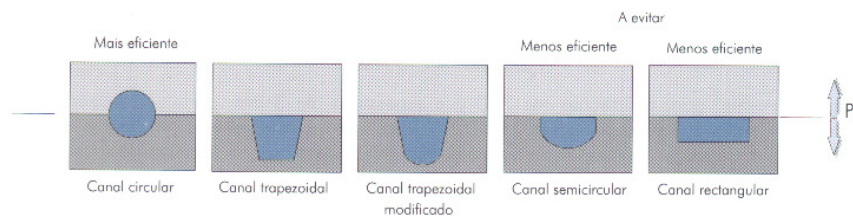


Regras de projeto

Tipos

O canais de alimentação podem ser classificados quanto à seção transversal. Podendo ser:

- Circulares,
- Trapezoidais,
- Trapezoidais ramificados,
- Semicirculares
- Retangulares



Tipos de canais

O canal circular é o tipo de canal mais eficiente. A resistência ao fluxo deste tipo de canais é relativamente menor comparada com os outros. A queda de temperatura do fundido durante o preenchimento também é menor. A única desvantagem é a necessidade de ser usinado nas duas metades do molde.

Por outro lado, o canal trapezoidal modificado é a melhor aproximação ao canal circular e tem a vantagem de ser usinado em apenas um dos lados do molde. Deste modo, é bastante utilizado para todos os tipos de moldes, pois tem a melhor relação custo/benefício. Ou seja, custos de usinagem e propriedades fluxo. Existem moldes, em que a usinagem deverá ser realizada só numa metade do molde como por exemplo nos moldes com placa extratora ou de 3 placas.

Os canais com seção semicircular e retangular deverão ser evitados sempre que possível.

Balanceamento

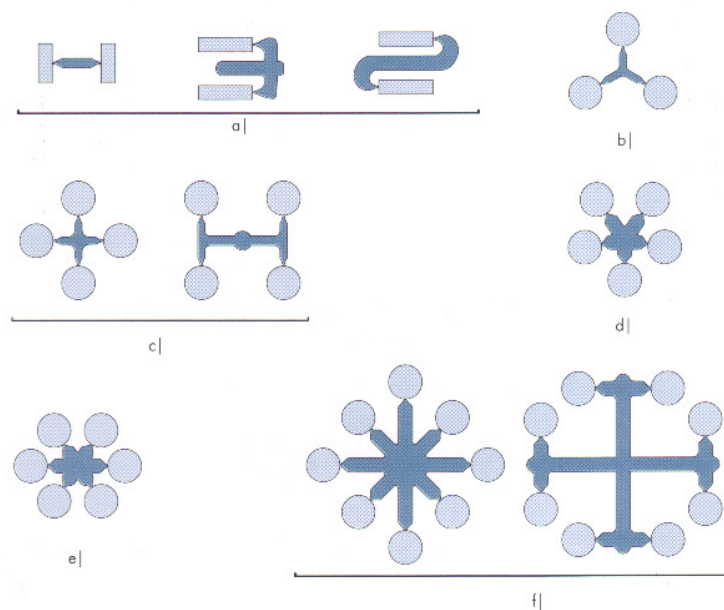
Os moldes com mais de uma cavidade à produção de peças distintas durante o mesmo ciclo de injeção são chamados moldes família. Por vezes, o tempo de preenchimento de cada cavidade é diferente, originando diferenças de compactação. Ou seja, no momento em que uma das cavidades está completamente cheia, é compactada durante o preenchimento da(s) outra(s). As diferenças de contração de cada peça, conduzem a variações dimensionais e por isso, o balanceamento do preenchimento é especialmente importante neste tipo de moldes.

O balanceamento pode ser conseguido através da variação do diâmetro de cada alimentador / entrada induzindo diferenças intencionais de resistência ao fluxo. Os efeitos de cada variação podem ser simulados através da utilização de um software apropriado de previsão de preenchimento.

As figuras seguintes ilustram como a variação do diâmetro dos alimentadores pode influenciar o preenchimento. Neste caso trata-se de um molde de duas cavidades distintas. O diâmetro inicial considerado para cada alimentador é de 8 mm.

Através da variação do diâmetro do sistema de alimentação, é possível garantir que ambas as cavidades encham ao mesmo tempo. Deste modo, a compactação é semelhante para as duas moldagens. O diâmetro do alimentador para a peça mais pequena foi reduzido para 6,5 mm.

Outra forma de proporcionar um preenchimento simultâneo de todas as cavidades (no caso de moldes de cavidades iguais) é fazer com que o fundido percorra sempre a mesma distância desde o canal de injeção até cada uma das cavidades.



Alimentação equilibrada em moldes com diferentes números de cavidades

Entradas

A entrada é uma constrição entre os alimentadores e as cavidades e tem como finalidades:

- Sujeitar o fundido a uma taxa de corte suficientemente elevada para que o aquecimento resultante da dissipação viscosa mantenha essa passagem, de pequena seção, aberta durante o preenchimento e a fase de pressurização. No entanto o aumento excessivo da temperatura poderá provocar a degradação do material. A entrada deve solidificar a tempo de permitir que o cilindro da injetora possa recuar sem perigo de refluxo do material;
- Facilitar o controle do preenchimento, principalmente em moldes de várias cavidades ou de cavidades com mais de uma entrada;
- Permitir a separação fácil da peça e do sistema de alimentação (eventualmente automática), não deixando uma marca muito pronunciada.

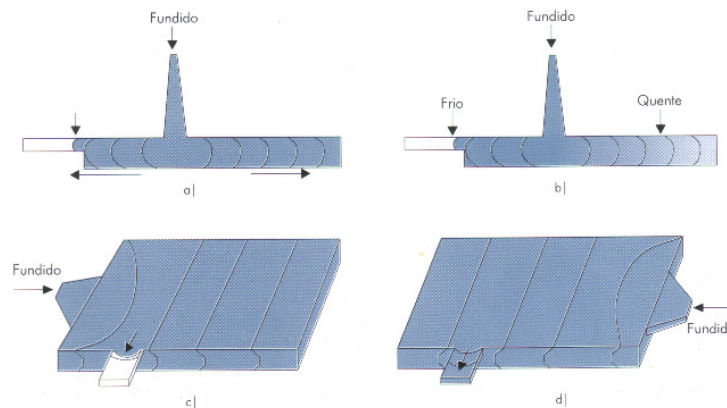
Regras de projeto

A posição das entradas deve ser tal que permita controlar/minimizar/evitar alguns defeitos de preenchimento. O ponto de injeção deve ser localizado:

- preferencialmente nas zonas mais espessas da peça, de forma a evitar vazios ou rechupes nas peças moldadas.
- de modo a garantir um preenchimento equilibrado da moldagem;
- de modo a evitar ou minimizar a fragilidade das linhas de solda;
- o mais afastado das zonas de hesitação devido à diferença de resistência ao fluxo;
- de forma a evitar o efeito de jato.

Efeito da hesitação

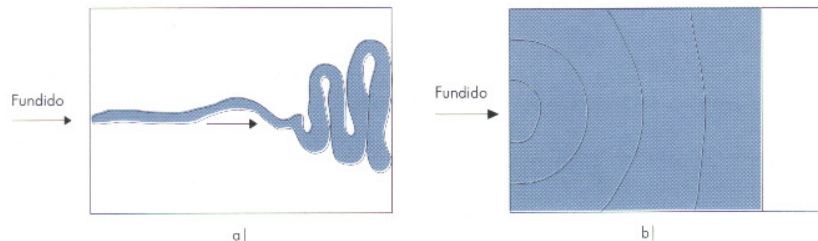
A hesitação é um defeito causado pela estagnação do fundido numa zona com variações significativas de resistência ao fluxo. Isto é, quando o fundido é injetado numa cavidade com grandes variações de espessura tende a encher primeiro as zonas que oferecem menor resistência ao fluxo, ou seja, as zonas mais espessas. Assim, o fluxo pode estagnar nas zonas mais frias resfriando a medida que o fundido enche as restantes zonas da cavidade. No final do enchimento e dependendo do estado de solidificação do material, a pressão de injeção pode não ser suficiente para fazer o fundido fluir da zona de hesitação. Mesmo que isto não aconteça pode ficar sempre uma marca na superfície da peça devido à hesitação.



Influência da localização do ponto de injeção na hesitação

Efeito de jato

O efeito de jato ocorre quando o material plástico é injetado a uma grande velocidade através de uma entrada para uma zona espessa, sem bater nas paredes próximas do ponto de injeção.



Efeito de jato

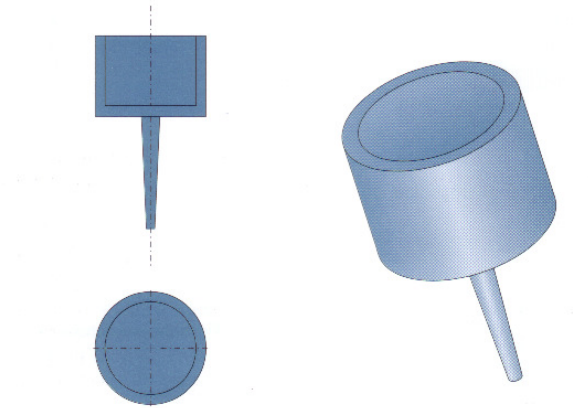
Alguns fatores que podem influenciar a localização do ponto de injeção são referidos na seguinte tabela.

Peça	Comprimento de fluxo
	Espessura
	Fatores dimensionais
	Aparência
Material a injetar	Viscosidade
	Temperatura
	Características de fluxo
	Cargas
	Contração
Processo	Empenamento
	Linhas de solda
	Facilidade de desmoldagem
	Força de fechamento
	Balanceamento
Outros	Custo

Tipos de entradas

Canal de injeção direto

Este tipo de injeção pode ser utilizado em moldes de uma só cavidade. Uma das vantagens é a queda de pressão no sistema de alimentação ser relativamente baixa. Além disso, o tempo de compactação normalmente depende do tempo de solidificação da moldagem, e não tempo de solidificação do sistema de alimentação. Por isso, este tipo de injeção deve ser utilizado para a injeção de peças com grande espessura (> 4 mm) de modo a garantir uma compactação adequada. A desvantagem principal é a dificuldade de separação do canal de injeção sem deixar marcas significativas na superfície da moldagem.



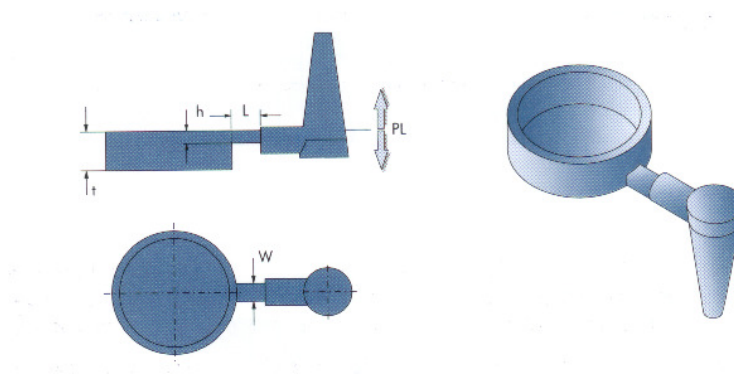
Entrada lateral a cavidade

Este tipo de entrada é mais comum e tem, geralmente, uma seção retangular. As principais vantagens deste tipo de entrada são:

- facilidade de usinagem e conseqüente baixo custo;
- a grande exatidão dimensional e a facilidade de variação das suas dimensões. Assim, a velocidade de preenchimento da cavidade pode ser controlada independente do tempo de solidificação do ataque e permitir moldar todos os materiais comuns;
- pode ser facilmente alterado durante o try-out do molde.

Desvantagem de deixar marca na superfície visível da peça, em particular se a moldagem for simplesmente partida pela entrada sem operações secundárias.

- comprimento recomendado (L): 0,5 – 1 mm
- Largura recomendada (W): 1,6 – 12,7 mm
- Espessura recomendada (h): 6 – 75% da espessura nominal da peça

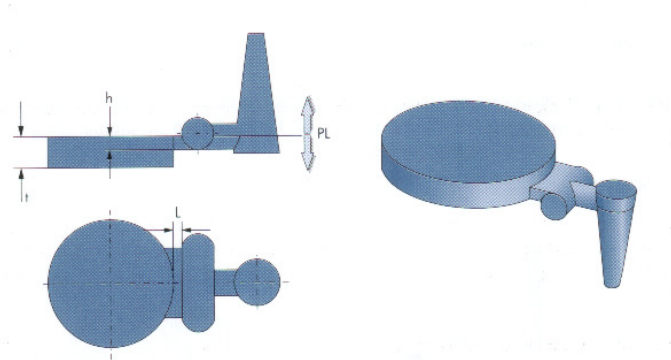


Entrada em Flash

Este tipo de injeção é utilizado principalmente em peças planas, a alimentação é feita através de uma fenda ao longo da borda da peça, permitindo, assim, um preenchimento uniforme da cavidade. Tem o inconveniente de ser mais difícil de partir (frequentemente tem de se recorrer a dispositivos especiais, por exemplo, facas quentes) e deixa uma marca visível na borda da peça.

- Comprimento recomendado (L): 0,5 – 1 mm

- Espessura recomendada (h): 20 – 50% da espessura nominal da peça



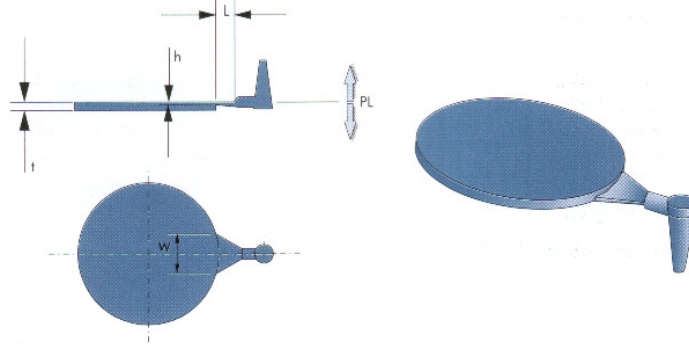
Entrada em leque

Neste tipo de entrada a alimentação é feita através de uma fenda de um orifício. Permite um preenchimento mais uniforme do que o ataque lateral, mas, menos uniforme do que a entrada em flash, constituindo, por isso, uma solução de compromisso entre os dois tipos de entrada referidos.

É utilizado em peças com grandes superfícies e paredes finas. Como permite criar uma frente de fluxo uniforme, em alguns casos, minimiza o efeito de empenamento devido à orientação molecular.

Largura (W): 6,4 mm – 25% a largura da moldagem

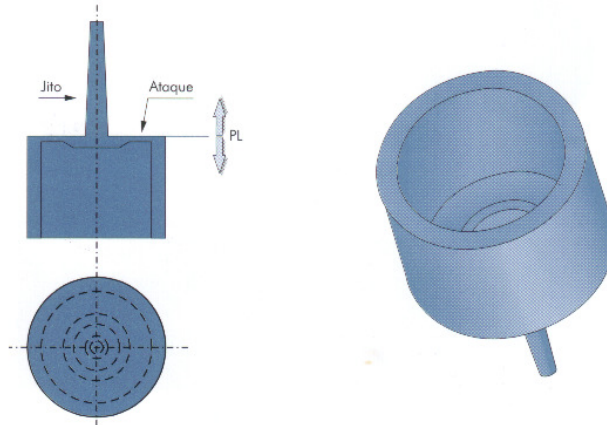
Espessura máxima (h): 75% da espessura nominal da moldagem



Entrada em disco

A entrada em disco pode ser utilizada em moldagens com geometria circular para reduzir a fragilidade das peças devido a linha de solda. É semelhante a entrada em anel mas, neste caso, a alimentação é feita interiormente.

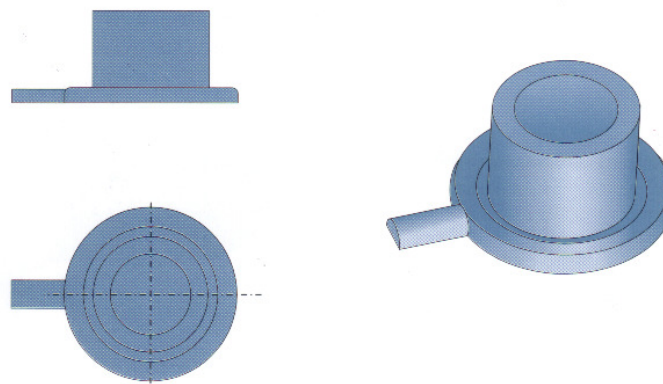
Espessura recomendada: 0,25 – 1,27 mm



Entrada em anel

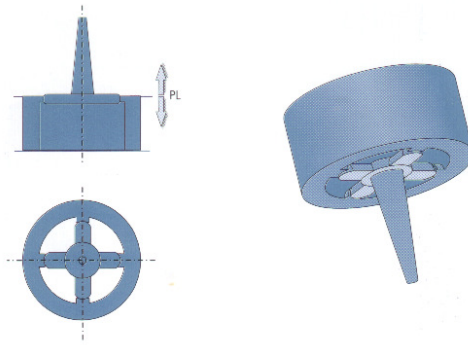
A entrada em anel também pode ser utilizada para peças com geometria circular. Tal como a injeção em disco uma das vantagens deste tipo de injeção é a uniformidade da espessura ao longo do perímetro da peça, permitindo o preenchimento da cavidade com um fluxo paralelo e sem linhas de solda.

Espessura recomendada: 0,25 – 1,6 mm



Entrada em estrela

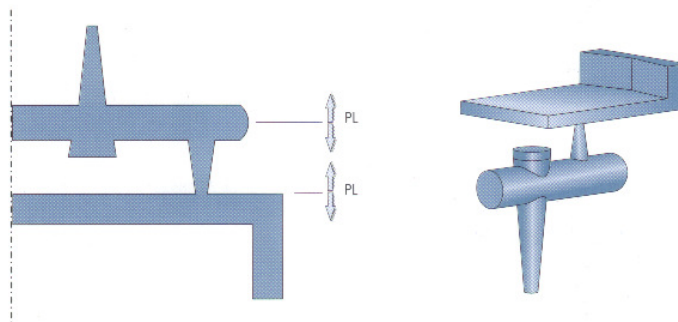
A entrada em estrela pode ser utilizada para a injeção de peças com geometrias tubulares. No entanto, não se evitam as linhas de solda e é difícil conseguir peças perfeitamente circulares devido a diferenças de compactação ao longo do perímetro.



Entrada capilar

Este tipo de injeção é característico de moldes de três placas. Uma das vantagens deste tipo de injeção é a possibilidade de colocar o ponto de injeção no centro de superfícies cuja normal é paralela à direção de extração, permitindo a retirada automática do canal de injeção.

Diâmetro recomendado: 0,25 – 1,6 mm

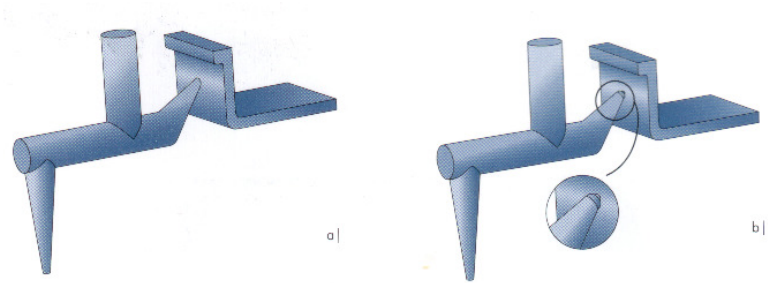


Entrada submarina ou submersa

A injeção submarina, geralmente de forma circular, é uma variante do ataque lateral e é usado em retirada do canal de injeção automático em moldes de duas placas, sem necessidade de recurso ao molde de três placas. Esta entrada tem o inconveniente de deixar uma marca muito visível na parte lateral das peças, principalmente em peças coloridas (a deformação plástica que o material sofre quando se remove o canal de injeção leva ao aparecimento de marca esbranquiçada na zona de entrada, o que em muitos casos pode comprometer a sua aplicação).

Diâmetro recomendado da entrada: 0,25 – 2 mm

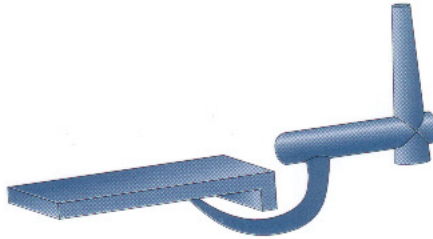
A distância d deverá ser superior à altura da entrada, de modo a permitir o movimento guiado do sistema de alimentação durante a extração.



Entrada submarina curva (unha-de-gato)

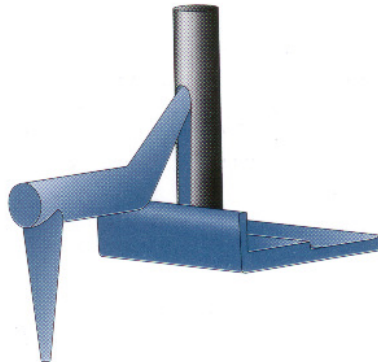
Este tipo de entrada é uma variante da entrada submarina, com a vantagem de permitir esconder a marca do ataque. Tem no entanto a grande desvantagem de uma maior complexidade de construção e uma maior risco de uma extração deficiente (devido à grande deformação que o material tem de sofrer durante a extração, podendo este partir ficando uma parte dentro da entrada com o seu conseqüente entupimento).

Diâmetro recomendado do ataque: 0,25 – 1,5 mm

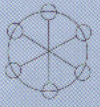
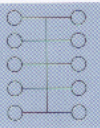
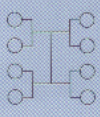


Injeção num extrator

Este tipo de entrada é uma variante do anterior e permite esconder-se a marca da entrada. A injeção num extrator tem menor complexidade de construção e menor risco de extração insuficiente. Apresenta no entanto o inconveniente deixar parte do canal de alimentação na peça.



Seguidamente são apresentados alguns tipos de disposição mais utilizados em cavidades de moldes de injeção.

		Vantagens	Desvantagens
Disposição circular		Comprimento de fluxo igual para todas as cavidades	Maior limitação de espaço em função do número de cavidades
Disposição em série		Maior espaço para acomodar as diversas cavidades	Os diferentes comprimentos de fluxo desde do bico de injeção até cada cavidade podem casuar problemas de enchimento. O balanceamento pode ser feito recorrendo a ferramentas de CAE.
Disposição simétrica		Comprimento de fluxo igual para todas as cavidades	O sistema de alimentação normalmente é mais volumoso.

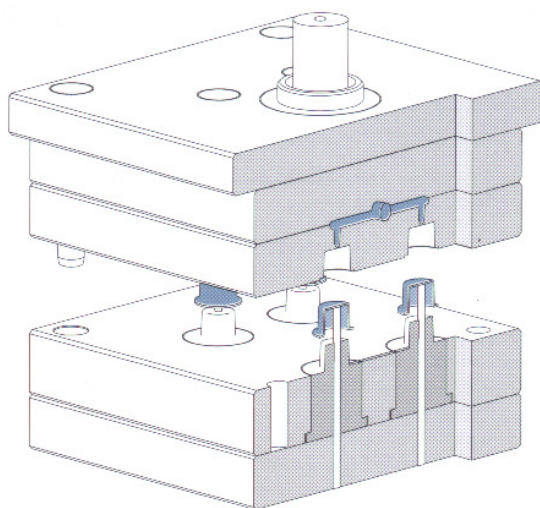
11. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO COM CANAIS ISOLADOS

Os moldes com canais frios originam desperdício de material no final do ciclo, pois além da peça existem os canais frios através dos quais se realizou o preenchimento das zonas moldantes. Neste caso, a quantidade de material consumida em cada ciclo de injeção corresponde à soma de material necessário para preenchimento das peças e dos respectivos canais frios. Os moldes com canais isolados, pelo contrário, não exigem a extração do canal, desde que para isso o tempo de ciclo seja suficientemente curto. Para tal, os canais são de espessura suficientemente elevada de forma a evitar o resfriamento do material, de ciclo para ciclo, no centro do canal.

O material solidificado na periferia do canal funciona como isolamento térmico que contribui para diminuir o resfriamento no centro do canal. Os moldes com canais isolados são adequados para materiais com índice de fluidez elevado e para tempos de ciclo relativamente curtos (menores que 20s).

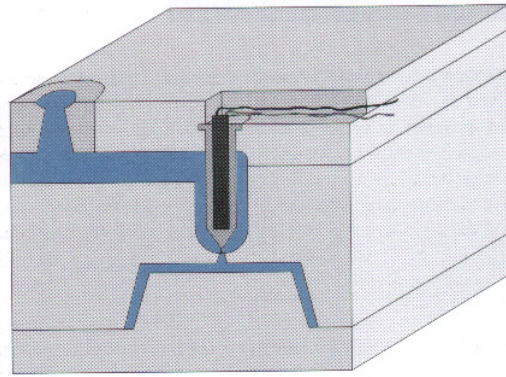
Para que o material no canal isolado seja renovado de ciclo para ciclo, o volume de material fundido no canal tem que ser inferior ao volume da peça.

Em termos cronológicos, os moldes com canais isolados são anteriores aos moldes de canais quentes, sendo uma solução técnica especialmente apropriada para ser empregado em moldes multicavidades de baixo custo. Os moldes com canais isolados sem sistema de aquecimento apresentam à semelhança dos moldes de 3 placas, um plano de partição adicional para extração do canal frio antes do início da produção, ou alternativamente (e mais usual) a abertura do molde segundo o plano de partição adicional, para a remoção do canal solidificado.



Moldes com canais isolados

As limitações inerentes aos sistemas baseados em canais isolados motivaram o aparecimento de soluções mistas baseadas em canais isolados com aquecimento. A próxima figura apresenta um detalhe de um sistema de alimentação mista baseada em canais isolados e bico aquecido.



Detalhe de molde com canais isolados com aquecimento

A seguir são apresentadas as vantagens e desvantagens econômicas e tecnológicas, da utilização de sistemas de alimentação de canais isolados.

Econômicas	
Vantagens	Desvantagens
Baixo custo para sistemas multicavidade	Níveis de produtividade baixos durante o início do processo
Tecnológicas	
Vantagens	Desvantagens
Projeto e fabricação de moldes simples	Reduzido controle térmico sobre os canais. Limitação de utilização moldes com tempos de ciclo curtos. Tempos de estabilização da ferramenta longos Propensão ao desbalanceamento dos canais.

12. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO COM CANAIS QUENTES

Os sistemas de alimentação de moldes baseados no emprego de canais controlados termicamente para o processamento de materiais termoplásticos são denominados sistema de canais quentes. A sua função é manter o material no estado fundido desde o bico da injetora até à zona moldante, evitando a solidificação prematura no sistema de alimentação. A temperatura no canal quente é sempre superior ao nível térmico médio do molde respectivo. No caso de materiais reativos, a moldagem de peças não é obtida através do resfriamento do material na cavidade, mas sim através de um processo de cura do material no molde a uma temperatura superior à de injeção. Neste caso, a temperatura dos canais do sistema de alimentação é inferior ao nível térmico médio do molde respectivo. Nestes casos, o sistema de alimentação é denominado de sistema de canais frios.

Os moldes de canais quentes permitem a obtenção de peças sem extração do sistema de alimentação, tendo despertado um interesse crescente nos transformadores de materiais plásticos (principalmente, quando usam moldes de múltiplas cavidades) e conseqüentemente nos fabricantes de molde de injeção.

Os sistemas de canais quentes são adequados à maioria dos materiais termoplásticos, inclusive materiais reforçados e espumas estruturais. No entanto, as maiores limitações estão associadas a materiais termodegradáveis e materiais carregados com retardantes de chama.

As vantagens do uso de sistemas de canais quentes relativamente a sistemas de canal frio em moldes de três placas dependem de um conjunto de fatores, como:

- da geometria da peça;
- do número de peças a produzir;
- do material a processar;
- da qualidade do sistema de canais quentes utilizado;
- do equipamento auxiliar.

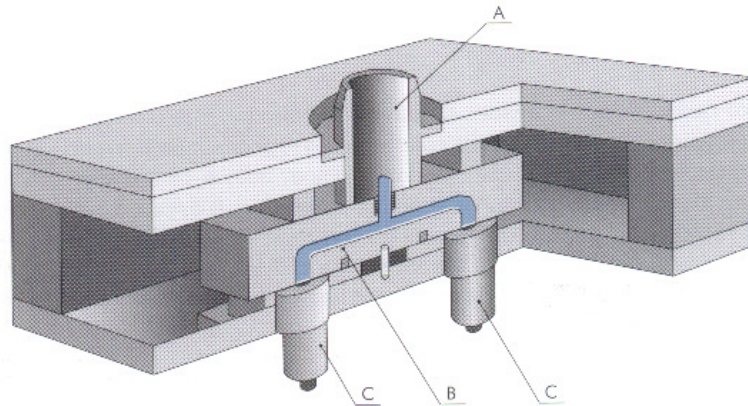
De uma maneira geral, o uso de moldes de canais quentes permite o emprego de injetoras mais reduzidas devido ao menor volume de dosagem e menor queda de pressão requeridos. Adicionalmente, os moldes de três placas originam canais de injeção e canais frios que requerem moagem posterior. No caso de sistemas de grandes dimensões, a dimensão dos canais frios pode dificultar a sua rápida moagem, obrigando ao emprego de mão-de-obra para operações de corte antes de granulação. No entanto, os custos de projeto e de fabricação de um molde com canais quentes é geralmente superior devido à sua maior complexidade e maior custo de componentes.

Os moldes de canais quentes, devem operar com tempos de ciclo mais curtos que os moldes de três placas equivalentes. A título genérico, os moldes de três placas são mais competitivos economicamente para produções pequenas (<10000 peças/ano), enquanto que para produções elevadas (>100.000 peças/ano) os moldes de canais quentes são mais competitivos.

Económicas	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Baixo consumo de material e eliminação da granulação de gitos e canais frios. • Tempos de ciclo curtos, tempos de extração mais curtos face a moldes de canais frios. • Quedas de pressão mais baixas, menor volume de dosagem, menor curso de abertura relativamente a moldes de três placas que se traduzem em poupança de energia. • Grande diversidade de componentes normalizados para incorporação no molde. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa de rejeição elevada durante a fase de arranque do molde. • Maior complexidade do projecto de molde face a moldes equivalentes de canais frios. • Custos de molde mais elevados devido à necessidade de equipamentos auxiliares. • Susceptibilidade a falhas de natureza eléctrica. • Necessidade de mão-de-obra mais especializada ao nível da assistência técnica.
Tecnológicas	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de canal frio facilita automatização do processo de produção. • Os canais quentes permitem percursos médios de fluxo elevados e asseguram flexibilidade na localização dos pontos de injeção. • Possibilidade de tempos de compactação longos. • O balanceamento dos canais pode ser realizado térmica e mecanicamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propensão à degradação térmica de materiais sensíveis termicamente. • Propensão ao desbalanceamento por assimetrias térmicas dos canais. • Incapacidade de avaliar a solidificação do material na proximidade do ataque (injecção directa). • Necessidade de prever expansão térmica de componentes durante o projecto do molde.

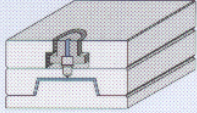
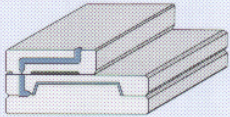

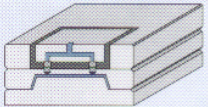
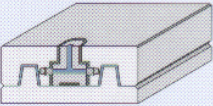
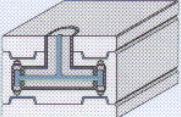
Configurações típicas de moldes de canais quentes

A estrutura dos moldes de canais quentes é semelhante à dos moldes de três placas. No entanto, por razões de rendimento energético, a zona em que se encontra implantado o sistema de alimentação foi individualizado na forma de um componente que é característico deste tipo de molde. Designa-se por distribuidor e é o elemento que contém o sistema de alimentação permanente fundido durante a operação do molde.



Detalhe de molde de canais quentes:
A) injetor principal; B) Distribuidor; C) Bicos quentes

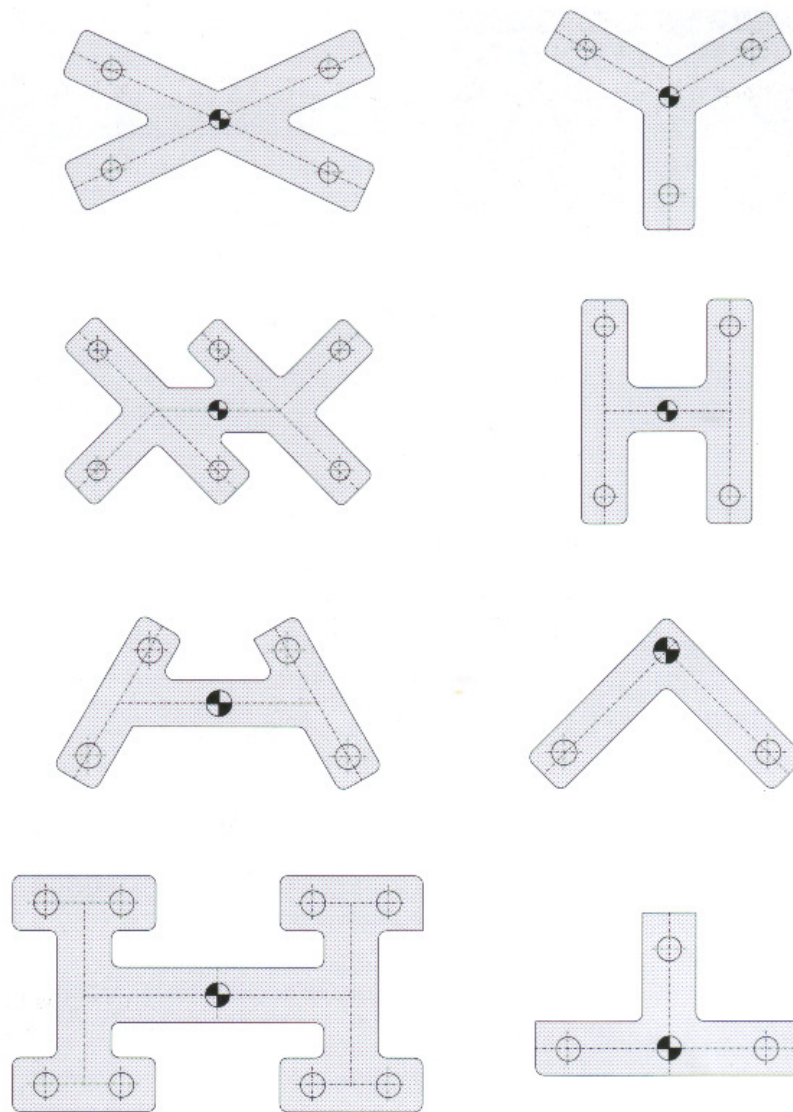
Os moldes de canais quentes podem apresentar vários tipos de configurações genéricas a seguir resumidas:

Tipo	Situação
	<p>Bico central em moldes mono-cavidade É o caso mais simples de molde de canais quentes, no qual o ataque na peça é feito directamente através de um bico quente – ataque directo à peça com bico quente.</p>
	<p>Ataque lateral em moldes mono-cavidade Neste caso, o ataque na peça é feito lateralmente de forma a evitar marcas na peça ou efeitos de orientação do material – ataque indirecto à peça. Um distribuidor assegura o transporte do fundido do bico da unidade de injeção até ao canal frio.</p>
	<p>Distribuidor para moldes multi-cavidade O distribuidor é usado sempre que a distribuição do material seja necessária para ataque directo à peça em cada uma das cavidades ou para ataque indirecto à peça através de canal frio.</p>
	<p>Distribuidor para moldes mono-cavidade Em certos casos, as peças de grande dimensão podem requerer o uso de distribuidor de forma a assegurar o enchimento uniforme da cavidade através de vários pontos de injeção na peça, minimizando a espessura global da peça.</p>
	<p>Ataque lateral em moldes multi-cavidade O ataque lateral através de canais quentes é usada para evitar efeitos de jacto nas zonas de ataque. A localização do ataque é fundamental, devendo ser localizada perto de cantos ou zonas curvas por questões de resistência mecânica e de dissipação térmica.</p>
	<p>Casos especiais O distribuidor pode ser configurado para moldes em andares para injeção de um número elevado de zonas moldantes.</p>

Distribuidores

O distribuidor possui a função de assegurar o transporte do fundido desde o bico da unidade de injeção até aos bicos quentes. Os distribuidores são usualmente usinados a partir de blocos de aço. Os canais quentes dentro do distribuidor devem ter raios de curvatura elevados nas mudanças de direção do polímero de forma a evitar zonas de estagnação do fundido. Em moldes multicavidades, os canais quentes do distribuidor no mesmo plano devem apresentar comprimentos e diâmetros idênticos para que a queda de pressão seja idêntica para cada cavidade do molde.

A figura apresenta configurações típicas de distribuidores. A configuração do distribuidor mais adequada e as dimensões respectivas dos canais para um determinada aplicação devem ser ajustadas com base em estudos de simulação de escoamento. Diâmetros dos canais mais reduzidos aumentam a queda de pressão e as tensões de cisalhamento, mas reduzem os tempos de injeção e os tempos necessários para mudança de cor. Em contrapartida, diâmetros mais elevados dos canais são adequados a materiais termicamente sensíveis e a situações que requeiram pressões mais elevadas.



Configurações típicas de distribuidores

O aquecimento do distribuidor é assegurado por resistências de cartucho ou tubulares. As resistências de cartucho são adequadas para moldes de canais quentes em que os bicos são aquecidos indiretamente pelo distribuidor. Esta solução permite o aquecimento individual de zonas específicas do molde. A distância da resistência ao canal quente é normalmente igual ao diâmetro da resistência. As resistências de cartucho asseguram potências bastante elevadas (até 130 W/cm^2), mas apresentam maior suscetibilidade a avarias e a superaquecimentos localizados do molde. Os valores máximos recomendados variam entre 15 a 25 W/cm^2 .

As resistências tubulares são recomendadas para moldes de canais quentes, com bicos aquecidos diretamente, sempre que se pretenda um aquecimento uniforme do distribuidor. A resistência é revestida com um material condutor e inserida num canal usinado no distribuidor (superdimensionado face ao diâmetro da resistência), e recoberta com uma folha metálica. As resistências tubulares apresentam potências típicas até 30 W/cm^2 .

De forma a garantir o isolamento térmico do distribuidor no molde, deve ser aberta uma caixa que garanta uma folga de 3 a 5 mm do distribuidor face à caixa. De forma a garantir o isolamento adicional, pode ser inserida folha de alumínio.

Bicos quentes

Nos moldes de canais quentes, os bicos são de especial importância, assegurando a ligação entre as zonas moldantes e o distribuidor. Os requisitos de funcionamento dos bicos são:

- transportar isotermicamente o fundido desde o distribuidor até a zona moldante;
- impedir a solidificação prematura na ponteira dos bicos;
- providenciar uma barreira térmica entre o distribuidor quente e a cavidade moldante fria;
- assegurar a separação (sem formação de fio) entre o material fundido e o solidificado na cavidade;
- vedar as zonas de transição entre o distribuidor e a cavidade.

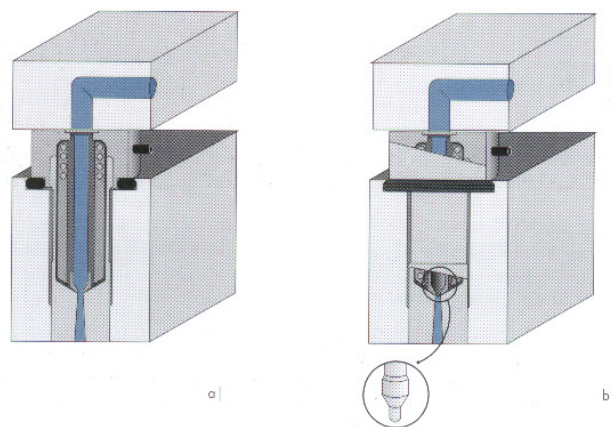
A necessidade de assegurar um conjunto de funções motivou o aparecimento de um conjunto vasto de bicos com ampla gama de especificações. Três famílias genéricas podem ser definidas:

- Bicos para entrada indireta – as ponteiros terminam num pequeno canal frio;
- Bicos para entrada direta – as ponteiros terminam na zona moldante;
- Bicos com acionamento por válvula

Bicos para ataque indireto

O uso de bicos para ataque indireto é feito quando:

- a injeção da peça é realizada através de ataques frios;
- há impedimentos estéticos da peça ao ataque direto;
- existe imposições de forma e posicionamento dos ataques na própria peça;
- os vários ataques na peça estejam tão próximos que seja impraticável o emprego de vários bicos quentes.



a) bico para ataque indireto de canal aberto
b) bico para ataque indireto com torpedo

Os bicos usualmente empregados para este fim apresentam um pequeno canal de injeção frio cujas dimensões dependem da dimensão do bico e do material a moldar.

Estes bicos podem ser utilizados para ataque direto na peça sempre que a presença do canal de injeção seja admissível e são os adequados para injeção em canal frio, pois permitem taxas de compactação elevadas.

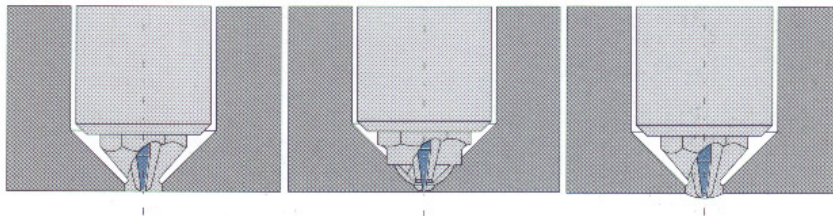
Os bicos de canal aberto são especialmente indicados para materiais com janelas de processamento pequenas, chamados de materiais termicamente sensíveis ou carregados com retardadores de chama.

Vantagens	Desvantagens
- boa capacidade de compactação, baixas quedas de pressão - baixas taxas de cisalhamento - adequado para peças de volume elevado	- requer remoção da entrada sólida - eventuais custos associados à recuperação e granulação dos canais frios.

Bicos para ataque direto

Os bicos para entrada direta terminam na própria zona moldante, ao contrário dos bicos indiretos que terminam num pequeno canal frio. Como conseqüência, deixam uma marca na peça injetada, cuja dimensão depende da geometria da ponteira e das propriedades do material.

A figura apresenta alguns exemplos de ponteiros típicos para este tipo de bicos. A utilização de um torpedo assegura a condução de calor e a inércia térmica na zona de ataque, prevenindo a solidificação na zona da ponteira. De modo a garantir a temperatura elevada nesta zona, são empregados materiais de elevada condutibilidade, como cobre ou cobre-berílio.



Tipos de ponteiros para bicos para ataque direto

De forma a garantir uma boa separação do bico da peça injetada, existe uma grande variedade de ponteiros adequadas à especificidade de cada material. Os ataques de geometria anelar garantem, de forma geral, taxas de cisalhamento e velocidades de escoamento de fundido mais baixas que os bicos com ponteira. A este propósito, o projetista sempre deve consultar as indicações específicas do fabricante selecionado.

Em termos do sistema de aquecimento dos bicos, podem-se distinguir três tipos:

- bicos aquecidos indiretamente
- bicos aquecidos internamente
- bicos aquecidos externamente

Bicos aquecidos indiretamente

Nos bicos aquecidos indiretamente o calor é transmitido por condução a partir do distribuidor. O controle de temperatura do bico requer controle térmico individual da zona a que o bico pertence no distribuidor. Nestas situações, o aquecimento do bico é feito através de resistências de cartucho ao longo do canal do distribuidor.

Este tipo de bico apresenta a desvantagem de, se houver variações térmicas, requerer um aumento elevado de temperatura do distribuidor.

Bicos aquecidos internamente

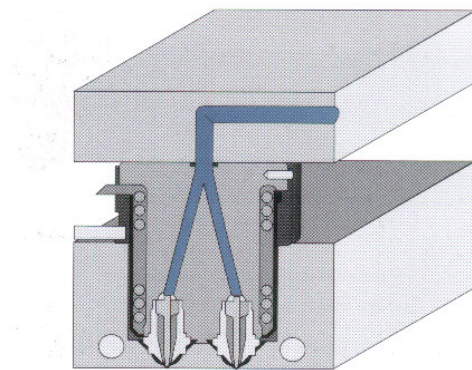
Os bicos aquecidos internamente requerem resistências de cartucho. As dimensões das resistências são determinadas pela dimensão do bico.

Bicos aquecidos externamente

Os bicos aquecidos externamente baseiam-se na utilização de resistências tubulares. A menor potência deste tipo de resistências limita a sua aplicação.

Para peças muito pequenas, os bicos de várias ponteiras (multi-point) permitem a injeção simultânea de várias peças. Este tipo de bico mostra-se competitivo para peças onde seja necessário um acabamento superficial elevado, um controle rigoroso das condições de processamento e uma produtividade elevada.

Este tipo de bico permite com um único controle térmico a injeção de várias peças, possibilitando a construção de moldes mais compactos. São comuns bicos de 3 a 4 ponteiras com distâncias entre 7 a 30 mm. A figura apresenta o esquema de um bico com várias ponteiras.

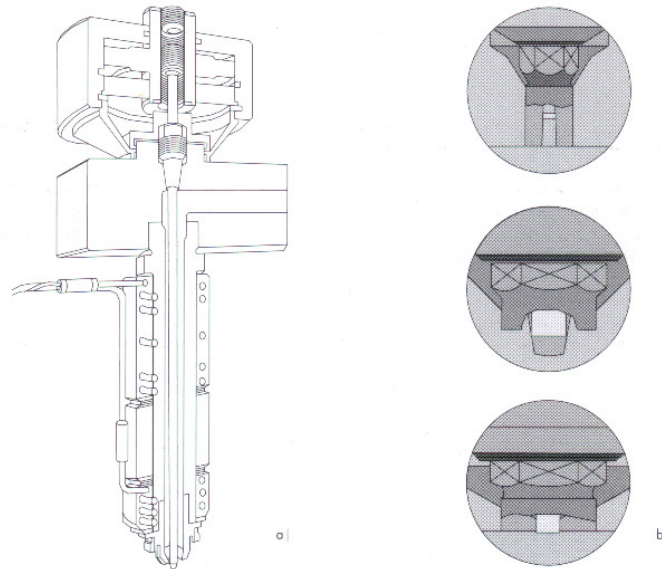


Bico para ataque direto de várias ponteiras

Bicos valvulados

Nestes tipos de bicos, uma válvula de acionamento mecânico (normalmente com acionamento pneumático) pode encerrar o ataque no final do tempo de compactação da peça, requerido. O encerramento do ataque pode ocorrer antes da solidificação do material na zona da ponteira, tornando o tempo do ciclo independente da solidificação do material.

Ao contrário dos outros bicos, os bicos de válvula não originam vestígios na peça, originando apenas uma pequena marca circular. Este fato torna esta solução especialmente indicada para peças que requerem um bom acabamento superficial. O acionamento por válvula permite obter aberturas do bico bastante elevadas durante a injeção e compactação da peça o que garante quedas da pressão e taxas de cisalhamento mais baixas face aos sistemas concorrentes. Os bicos de válvula são também adequados para materiais especialmente exigentes em termos de janela de processamento, permitindo volumes de injeção elevados e tempos de injeção reduzidos.



a) exemplo de bico com acionamento por válvula b) exemplos de configurações de ponteiros

Apesar dos bicos com aquecimento por válvula apresentarem bastantes vantagens face aos demais bicos, o seu uso é limitado pelo seu elevado preço. O campo de aplicação por excelência deste tipo de bicos é a injeção de peças de grande dimensão e elevada exigência superficial, onde a injeção tenha que ser feita com vários pontos de injeção e a existência de linhas de solda não seja permissível. Neste caso, a abertura sequencial dos bicos quentes permite assegurar o enchimento da peça, retardando a abertura dos bicos face à passagem da frente de enchimento na zona moldante durante a fase de injeção, evitando o aparecimento de linhas de solda.

A tabela seguinte avalia as diferenças relativas entre os bicos para ataque direto, indireto e acionados por válvula em relação a vários fatores. A seleção do melhor compromisso técnico/econômico durante o projeto de molde assegura a melhor solução.

Tabela – Comparação entre bicos para ataque direto, indireto e valvulados

Factores críticos	Directo	Indirecto	Válvula
Evitar taxas de corte	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Evitar tensões residuais	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Tempos de ciclo reduzidos	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Bom acabamento	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Preço de molde baixo	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Volumes de injeção elevados	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Capacidade de compactação elevada	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆
Janela de processamento reduzida	◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆

13. SISTEMA DE ESCAPE DE GASES OU SISTEMA DE VENTAGEM

Este sistema, muitas vezes negligenciado, é fundamental para um funcionamento correto do molde. Durante o preenchimento do molde é muito importante que na cavidade do mesmo existam saídas de gases eficientes, de forma a permitir que o ar saia quando a massa fundida entrar nas zonas moldantes.

As saídas de gases deverão estar localizadas nas direções de fluxo do material. Para isso, o molde deve ser dotado de um sistema de escape de gases que permita não só a eficiente saída do ar, mas também, de eventuais elementos voláteis liberados pelo fundido.

Saídas ineficientes ou mal localizadas poderão resultar num mau preenchimento da peça, linhas de solda e contração irregular da moldagem. Esses problemas tornam-se mais críticos em peça de paredes finas quando se usam velocidades de injeção altas.

Na maioria dos casos o ar pode escapar pelo plano de partição do molde. Contudo, devido à elevada precisão de ajustamento entre as duas partes do molde o escape de gases por este plano não é eficiente, devendo ser usinados pequenos rasgos para facilitar a sua saída.

Estes rasgos para escape de gases devem ser colocados ao longo de toda a peça, sendo particularmente importantes nas zonas onde se dá o fim do enchimento ou a confluência de frentes de fluxo. A sua localização pode, em peças mais complexas, ser de difícil determinação. Para ultrapassar este problema recomenda-se o uso de software de previsão de enchimento, que normalmente permitem a obtenção de bons resultados. A profundidade do canal deve permitir a saída do ar mas ser suficientemente pequena para que o fundido não possa sair criando rebarba.

A seguir indicam-se profundidades típicas para alguns dos plásticos mais comuns.

Material	Profundidade (mm)
ABS, SAN	0,051 – 0,076
POM	0,013 – 0,038
PMMA	0,038 – 0,076
PA	0,013 – 0,025
PA – Reforçado	0,013 – 0,064
PC	0,025 – 0,076
PE	0,025 – 0,051
PP	0,025 – 0,051
PPS	0,013 – 0,025
PS	0,025 – 0,076
PVC – Rígido	0,025 – 0,076
PVC - Flexível	0,013 – 0,051

No caso de materiais com aditivos retardadores de chama, é recomendado a construção de saídas de gases contínuas, mais eficientes que as convencionais.

Contudo, em alguns casos, os gases podem ficar presos em áreas onde não é possível fazer o escape de gases pelo plano de partição da peça.

Nestes casos é particularmente recomendada em peças com nervuras. Como estas devem ter uma espessura menor que a peça, para evitar rechupes, são, normalmente, as últimas zonas a encher.

A colocação de extratores, não só promove o escape de gases, devido à folga existente, como, também, facilita a sua extração.

Podem ser uma espécie de “falsos extratores” ou terem formas especiais como, por exemplo, serem constituídos por lâminas com fendas para o escape de gases.

Materiais especiais, tais como o aço poroso, também pode ser utilizado para a saída de gases.

14. SISTEMA DE EXTRAÇÃO

Durante o processo de moldagem por injeção, o plástico fundido é injetado para o molde fechado e frio com pressões relativamente elevadas (fase de injeção). As forças elevadas exercidas pela unidade de fechamento mantêm o molde fechado, evitando que o material possa sair da cavidade. Após a injeção e para aumentar a densidade e compensar a contração, é injetado mais material para a cavidade a pressão constante até que o ponto de injeção solidifique.

Depois desta fase, o material resfria até atingir uma rigidez suficiente que permita a sua extração do molde. Uma vez que a plastificação do material para uma nova moldagem leva tempo, no final da fase de recalque o parafuso começa a rodar e o material é fundido e transportado para a sua extremidade. Após estas fases, o molde abre.

No intervalo entre a abertura e o fechamento do molde a peça é extraída. O ideal seria que a seguir à abertura do molde a peça pudesse cair por gravidade. Contudo, devido à contração e conseqüente adesão e às contra-saídas, a peça tende a ficar presa no molde, geralmente, no macho, e soluções específicas são necessárias para extraí-la. O sistema de extração requer assim, um projeto próprio, tanto mais complexo, quanto mais, por exemplo, forem necessários longos cursos e elevadas forças de extração devido a uma excessiva rigidez ou contração de alguns termoplásticos.

O sistema de extração é, normalmente, atuado pela injetora. Se este método não for possível, o sistema de extração pode ser atuado autonomamente por um sistema hidráulico ou pneumático.

Nos casos em que o molde é constituído para a produção de grandes áreas, o sistema de extração, será atuado um elevado número de vezes (tantas quantas os ciclos que o molde fizer). Deste modo, este sistema deve ser viável, pois as paradas da produção podem implicar custos elevados, especialmente nos casos em que as peças forem incorporadas numa linha de montagem após moldagem. De modo a salvaguardar a seu bom funcionamento, os acessórios que o constituem deverão ser dimensionados adequadamente.

A crescente utilização de robôs para a extração/manipulação das peças pode levar a pensar que este sistema está caindo em desuso. Contudo, isso não corresponde minimamente à verdade já que, por si só, o robô não consegue extrair a peça, devido às elevadas forças necessárias para a extração e às eventuais contra-saídas que a peça possa ter. Assim, terá de existir um sistema de extração que, eventualmente, não fará uma extração completa (para que a peça possa cair por gravidade), mas uma extração parcial (libertar as contra saídas e fazer o deslocamento da peça do macho) para que, então sim, o robô possa “retirar” na peça.

Regras Gerais

Existem regras práticas que devem ser consideradas durante o projeto e a fabricação do molde:

- as placas dos extratores deverão ser guiadas por quatro guias e buchas, colocadas tão próximo quanto possível dos pinos de retorno, que também deverão ser quatro, colocados o mais perto possível dos cantos da placa dos extratores. Deve-se evitar a colocação destas guias sobre as áreas moldantes, de forma a possibilitar qualquer alteração ou colocação futura de extratores;
- as placas dos extratores devem ser separadas da placa porta-extratores por botões de encosto;
- os extratores devem ser colocados nas zonas das peças a moldar que ofereçam maior resistência à fratura, ou que constituam melhor apoio à extração. Deverão ser de diâmetro tão grande quanto possível e ter um comprimento de contato com o furo inferior a 20

- mm. O ajustamento entre o extrator e o furo deve impedir a formação de rebarba, geralmente H7-g6;
- nas peças de grande profundidade e com pouca saída e portanto de difícil extração, ou para evitar marcas de extratores, poderá ser utilizado um aro extrator ou barras extratoras;
 - nos moldes com aro extrator é desejável o uso de saídas de ar sob pressão com o duplo fim de ajudar a extração e garantir a limpeza da área entre a placa extratora e o macho, o que é importante para evitar a deterioração do necessário ajustamento entre as peças;
 - o curso de extração deve ser suficiente para que possibilite a queda livre das peças moldadas;
 - deverá haver o maior cuidado para que não existam peças ou áreas do molde que interfiram com a queda livre das peças moldadas;
 - deve ser usado um sistema de retorno das placas dos extratores que não seja acionado por molas;
 - nos moldes que trabalhem em máquinas com extração hidráulica, deve-se ligar as placas ao sistema de extração por casquilhos roscados, montados entre as placas dos extratores.
 - mesmo nos moldes em que as placas da extração estão ligadas ao sistema hidráulico da injetora, sendo este que promove o seu movimento, quer de avanço quer de recuo, os moldes deverão ter pinos de retorno que, nestes casos, funcionem como sistema de segurança, impedindo que os extratores batam na cavidade e a danifiquem;
 - nos moldes em que exista risco de interferência de extratores com movimento laterais, a extração deverá ter um sistema de segurança para o retorno antecipado, que não seja acionado por molas;
 - os movimentos acionados pela extração do molde, barras extratoras angulares ou articulados, deverão ter na placa das buchas ou reforço, barras de apoio que garantam com precisão o ângulo de trabalho, alinhamento e rigidez do conjunto. Será ainda desejável que estas barras extratoras tenham dois ângulos: o ângulo de trabalho mencionado e o ângulo de vedação na zona moldante, que deve ser pelo menos dois ou três graus superior ao primeiro;
 - as barras extratoras ou articulados devem ser montadas pela frente do molde e ter orelhas de deslize robustas, de forma a suportar os esforços de torção. As barras de deslize destes movimentos deverão ser montadas em caixas próprias a usinar nas placas dos extratores e serem fixadas com parafusos pela retaguarda, isto é, através da placa porta-extratores;
 - sempre que possível, os extratores e componentes de articulados deverão ter uma seção circular, diminuindo os custos de produção e o risco de desgaste prematuro;
 - todos os extratores deverão ser nitretados a gás, retificados e polidos;
 - placas de aros extratores e de extração de canais de injeção nos moldes de entrada capilar, deverão ser sempre executadas em aço pré-tratado;
 - a altura dos suportes não poderá, em caso algum, ser superior a 0,015 mm à dos calços;
 - os extratores com posição definida devem ser impedidos de girar. A restrição deste movimento deve ser garantida através da usinagem de um rasgo e da colocação de um pino;
 - as paredes verticais da zona moldante deverão ser polidas no sentido da saída;
 - nos casos em que os movimentos possam colidir com a extração é aconselhável considerar mecanismos elétricos ou mecânicos no molde que evitem a sua danificação.

EXTRAÇÃO SIMPLES

Na extração de peças que não apresentam contra-saídas ou saídas negativas, a extração pode fazer-se simplesmente pelo avanço das placas extratoras que movimentam os dispositivos de extração que empurram as peças.

EXTRAÇÃO COM EXTRATORES

Os extratores de um modo geral, servem para extrair as peças e, quando necessário, o sistema de alimentação. Estes componentes permitem exercer uma força localizada, sendo muito úteis para a desmoldagem de pequenas saliências, nervuras ou encaixes da peça.

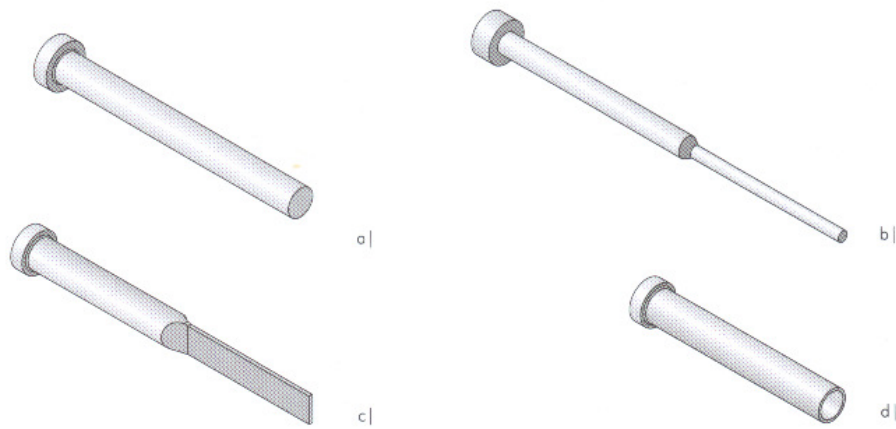


Fig. 8.2 – Alguns tipos de extratores mais comuns
a| Extrator cilíndrico; b| Extrator rebaixado; c| Extrator de lâmina; d| Extrator tubular

Extratores cilíndricos

Os extratores cilíndricos são dos componentes mais utilizados para a extração de peças em plástico. Normalmente, estes componentes são fixos por uma extremidade nas placas de extração, enquanto que a outra se encontra em balanço e em contato com a peça. Quando as placas extratoras avançam pela ação do sistema de extração da máquina, os extratores empurram uma ou mais moldagens e, por vezes, o sistema de alimentação.

A figura representa, de uma forma simplificada, uma parte de um molde com extratores cilíndricos, para a extração das peças e do sistema de alimentação.

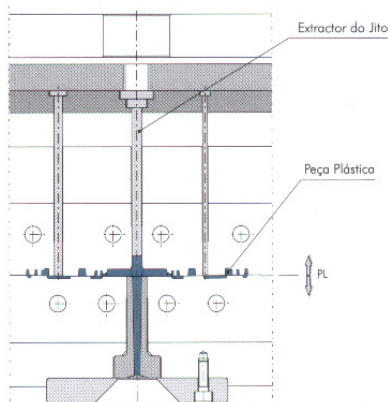


Fig. 8.3 – Extração com extractores cilíndricos

Quando se utilizam estes extratores, as moldagens apresentam marcas circulares na superfície devido ao ajuste entre o extrator e o furo e/ou devido à pressão de contato durante a extração. Quando as marcas nas peças não são aceitáveis é possível, em alguns casos, usinar uma câmara adicional à cavidade do molde onde o extrator pode atuar. Posteriormente, esta parte suplementar em plástico pode ser removida e conseqüentemente, a moldagem não apresenta qualquer marca dos extratores. Este procedimento é bastante utilizada na moldagem de peças transparentes e com elevada qualidade superficial (por exemplo, lentes e visores).

Os extratores rebaixados são uma variante dos extratores cilíndricos e são utilizados principalmente quando estes necessitam ter pequeno diâmetro (devido ao espaço disponível) e grande comprimento. Nestes casos, a força exercida nos extratores, quer durante a injeção quer durante a extração, poderia provocar a sua curvatura. Assim, os extratores rebaixados apresentam duas zonas com diâmetros diferentes: junto à peça um pequeno diâmetro, necessário pelo espaço disponível para a atuação do extrator e, junto à cabeça, um diâmetro maior para lhe conferir resistência.

Extratores de lâmina

Os extratores de lâmina, que apresentam uma seção retangular na extremidade em contato com a moldagem, são frequentemente utilizados para extrair peças com contornos ou nervuras estreitas, como ilustrado.

No caso de peças com nervuras, estes extratores são particularmente úteis por dois motivos principais:

- As nervuras são, normalmente, zona onde a peça fica muito presa ao molde e, conseqüentemente, a força de extração requerida é elevada. Assim para que a peça não seja deformada pelo extrator, este deve ter uma área de contato com a peça tão grande quanto possível, o que não se consegue com um extrator cilíndrico (que obviamente, terá que ter um diâmetro reduzido e logo, pequena área de contato, devido às dimensões da nervura). Os extratores de lâmina, devido à sua forma retangular, permitem aumentar a área de contato extrator/peça, diminuindo assim, o risco de deformação da peça;
- Como as nervuras devem ter uma espessura menor que a das paredes da peça, para evitar os rechupes, são normalmente, as últimas partes a encher, dificultando, ou mesmo impossibilitando, a saída do ar, com o conseqüente aparecimento de queimados ou de preenchimentos incompletos. A folga existente entre os extratores e os furos onde estes estão alojados, permite o escape do ar, evitando os defeitos anteriormente apontados.

Estes extratores devem ser montados em posições, de modo a facilitar o processo de usinagem da caixa. Isto também facilita as operações de acabamento e montagem. Dependendo das dimensões, podem ser componentes com alguma fragilidade. Por isso, deverão ser guiados por buchas, quer da zona circular, quer na zona retangular do extrator. Na figura ilustra-se um exemplo de montagem deste tipo de extratores.

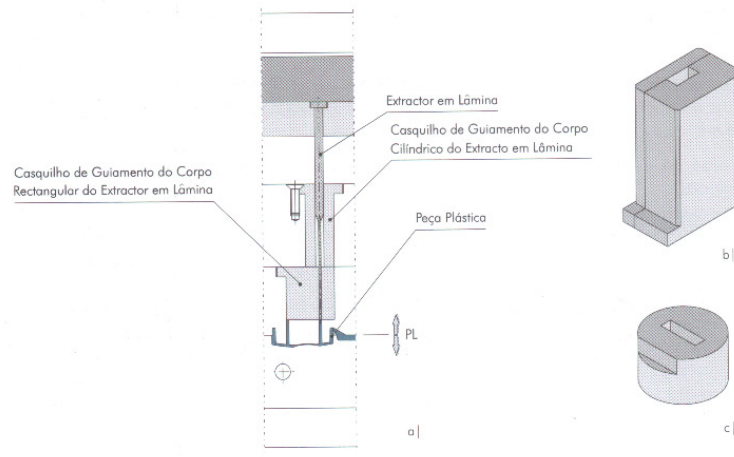


Fig. 8.6 – Montagem dos extractores em lâmina
 a) Esquema geral da montagem de extractores em lâmina
 b) Casquilho de guiamento da lâmina do extractor (rectangular); c) Casquilho de guiamento da lâmina do extractor (cilíndrico)

Extratores tubulares

Os extratores tubulares servem para extrair seções tubulares sem necessidade de reforçar a peça, alterando a sua espessura ou colocando nervuras adicionais.

A utilização deste tipo de extratores, em situações como a apresentada, tem duas vantagens principais:

- Permitir o escape do ar (que pode passar entre o ajustamento do extrator e as placas, permitindo assim, a ventilação natural desta zona) facilitando o seu enchimento;
- Ao exercer uma pressão, uniformemente distribuída ao longo de toda a base, permite fazer uma extração mais suave, diminuindo assim, o perigo de deformação da peça. Além disso, como a pressão é exercida em toda a base, não deixa marcas de extração.

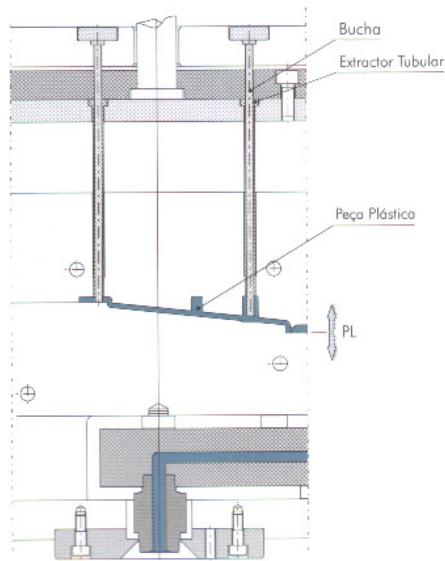


Fig. 8.7 – Extração da peça com extractores tubulares

Quando o sistema de extração é mal concebido, a peça pode deformar excessivamente durante a extração. No caso da figura, a moldagem tem uma seção tubular que pode oferecer grande resistência à extração. A aplicação de extratores em outras zonas poderia causar a deformação e mesmo a ruptura da peça, deixando parte do plástico no molde.

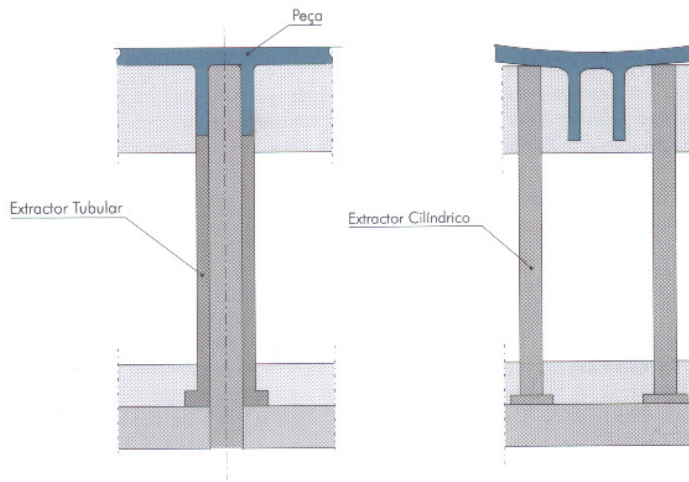


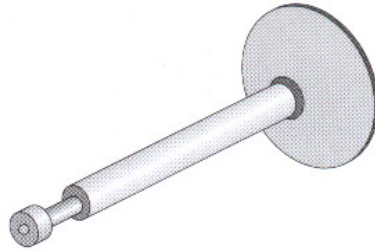
Fig. 8.8 – Vantagens da extração com extrator tubular
a) Situação favorável; b) Situação a evitar

O principal inconveniente deste tipo de extratores é estar limitado no seu diâmetro interior (cerca de 15 – 20 mm). Como um macho, que passa no seu interior, tem de ser fixada atrás das placas dos extratores é, por isso, muito mais comprida que o normal e tem, conseqüentemente, uma maior flexão na extremidade. No caso do macho ser pesado (isto é, de grande diâmetro), a flexão

poderá provocar o “esmagamento” do extrator, com o seu conseqüente mau funcionamento. Nestes casos, é preferível usar, por exemplo, um aro extrator.

Extratores tipo válvula

Este tipo de extrator permite distribuir a força de extração por uma área maior. É usado, geralmente, para a extração de peças profundas, com pequeno ângulo de saída, moldadas em materiais flexíveis e está, normalmente, associada a uma sistema de ar comprimido.

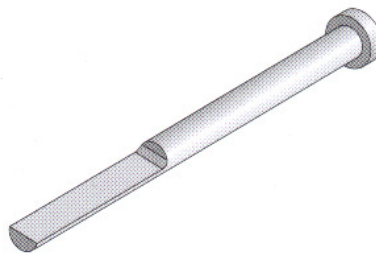


Extrator tipo válvula

Extratores em forma de D

Estes extratores têm uma seção semicircular e utilizam-se para a extração de peças com paredes exteriores finas, moldadas à volta de machos com paredes retas. Têm a vantagem de ser mais resistentes do que os de lâmina e permitem maior área de contato que os circulares.

Contudo, este tipo de extratores é pouco utilizado, já que a sua utilização está limitada a paredes exteriores (não devem ser usados em nervuras onde os extratores de lâmina são mais eficientes) e nesse caso a utilização de um aro ou de uma barra extratora é, normalmente, mais aconselhada, já que evita as marcas deixadas pelos extratores, além de permitir uma extração mais suave da peça. Por isso, a maior parte dos fabricantes de componentes normalizados não os apresentam nos seus catálogos.

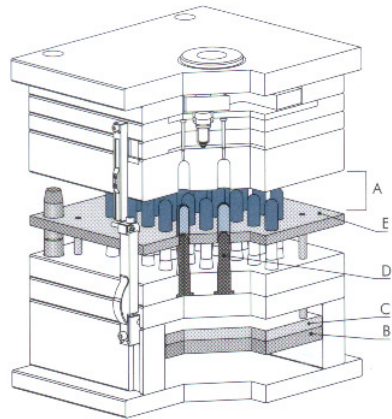


Extrator em forma de D

EXTRAÇÃO COM PLACA EXTRATORA

A extração com placa extratora é utilizada quando não existe área suficiente para a colocação de extratores ou quando se deseja uma extração com a força uniformemente distribuída. A figura mostra um molde com extração deste tipo. Durante o processo de moldagem por injeção, o molde

abre segundo plano de partição A, enquanto que a moldagem permanece agarrada no macho D. Quando o molde abre o suficiente, o avanço das placas B e C promove o avanço da placa E, originando a extração da peça.



Extração com placa extratora

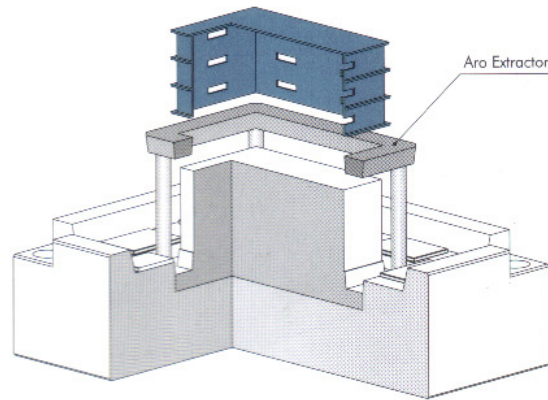
A placa extratora deve ser guiada de modo a que se desloque com um movimento contínuo e uniforme. O seu guiamento pode ser assegurada pelas próprias guias do molde, caso estejam fixas do lado onde a placa se movimentava. Esta placa não deve entrar em contato com as superfícies moldantes, pois poderia comprometer a qualidade superficial destas zonas.

Neste caso, é óbvio que o molde não terá pinos de retorno, sendo o recuo assegurado pela própria placa extratora.

EXTRAÇÃO COM ARO EXTRATOR

O aro extrator tem um funcionamento semelhante ao da placa extratora, mas geralmente tem dimensões menores. Este componente deve ter um ângulo de saída de cerca de 15° a 20° , de modo a evitar que haja deslizamento contínuo com a placa dos machos, o que poderia conduzir ao seu desgaste. O mesmo aro extrator pode remover várias moldagens numa só operação. O aro extrator pode ser ligado às placas dos extratores através de quatro pinos cilíndricos. Neste caso, não é necessário a colocação de botões de encosto, pois o movimento é inibido pelo próprio encosto do aro na placa dos machos.

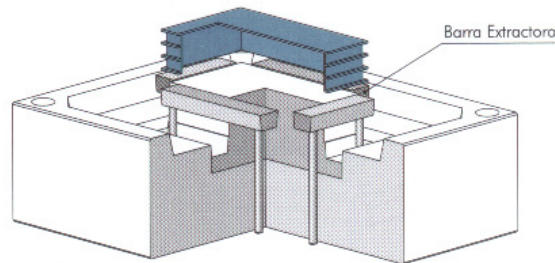
O recuo do aro extrator é normalmente assegurado pelo próprio fechamento do molde. À medida que o molde fecha, empurra o aro extrator para a sua posição inicial. Em moldes de elevada qualidade, esta situação é indesejável, pois pode levar à danificação das superfícies das placas, dependendo do perfil de velocidade durante o fechamento.



Extração com aro extrator

EXTRAÇÃO COM BARRAS EXTRATORAS

As barras extratoras funcionam de maneira semelhante ao aro extrator, mas não atuam em toda a periferia da peça. Estas são usadas nos casos em que a utilização do aro extrator não é economicamente e/ou tecnicamente viável. Podem ser utilizados em moldes com várias peças com geometria retangular e muito próximas entre si.



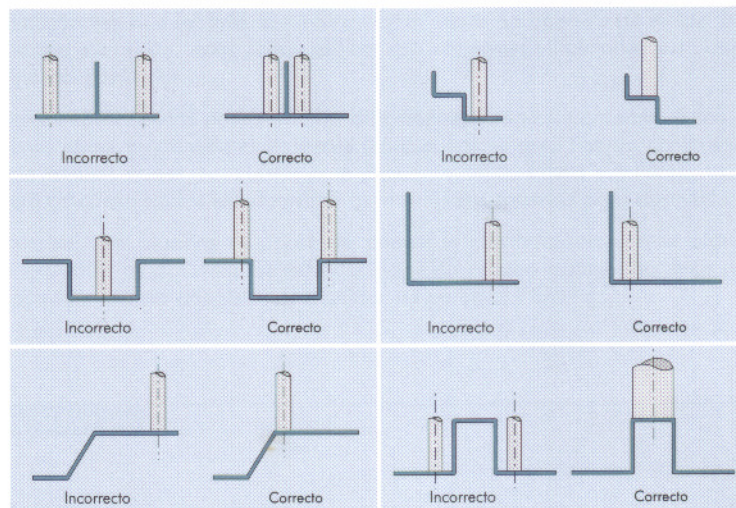
Extração com barra extratora

EXTRAÇÃO COMBINADA (COM AUXÍLIO DE AR COMPRIMIDO)

Este método é cada vez mais utilizado para a desmoldagem de peças profundas em polietileno. Este material tende a criar zonas de vácuo entre a peça e o macho, o que representa um problema durante a sua desmoldagem. Uma vez que este material é também bastante flexível, o uso unicamente de um aro ou placa extratora pode causar a deformação excessiva da peça, o que pode levar à sua rejeição em termos de qualidade. Apesar do aro extrator distribui a força uniformemente pela base da moldagem, o efeito do vácuo causa a deformação do fundo devido à diferença de pressão que existe entre o exterior e o interior da moldagem. A utilização do ar comprimido permite eliminar o vácuo e facilitar a extração.

POSICIONAMENTO DOS EXTRATORES

Relativamente ao posicionamento dos extratores nas zonas das peças a moldar indicam-se, na tabela, algumas boas práticas.



EXTRAÇÃO COM CONTRA-SAÍDAS

Infelizmente, a maioria das peças não pode ser extraída de uma forma tão simples como as apresentadas até aqui, isto é, simplesmente “empurrando” a peça.

Na realidade a maioria das peças apresentam contra-saídas ou saídas negativas, isto é, zonas onde a extração tem que ser feita numa direção diferente da abertura do molde. Isto obriga a que, para a extração destas zonas, tenham que ser primeiro libertadas e só depois o sistema de extração possa atuar.

Para libertar as contra-saídas podem-se usar diferentes estratégias, consoante o seu tipo e localização, como sejam os extratores articulados (principalmente libertar contra-saídas interiores, mas que também podem ser usadas para pequenas contra-saídas exteriores), os movimentos laterais (para as contra-saídas exteriores) ou os movimentos rotativos para desmoldar roscas.

É ainda possível, em algumas situações de pequenas contra-saídas, usar-se alguns tipos de extratores especiais ou aproveitar-se a flexibilidade do próprio material da peça para fazer a sua extração sem recurso aos sistemas referidos no parágrafo anterior.

EXTRAÇÃO FORÇADA

A extração forçada pode ser utilizada na moldagem de peças com pequenas contra-saídas produzidas em materiais flexíveis. Uma situação dessas é a representada abaixo, para a produção de tampas de polietileno de baixa densidade (LDPE). Apesar da peça apresentar uma contra-saída ao longo do seu perímetro junto à base, a grande flexibilidade deste material permite a desmoldagem forçada, evitando assim a colocação de um sistema de extração complexo. Este tipo de extração é muito utilizado para a desmoldagem de peças em elastômeros plásticos.

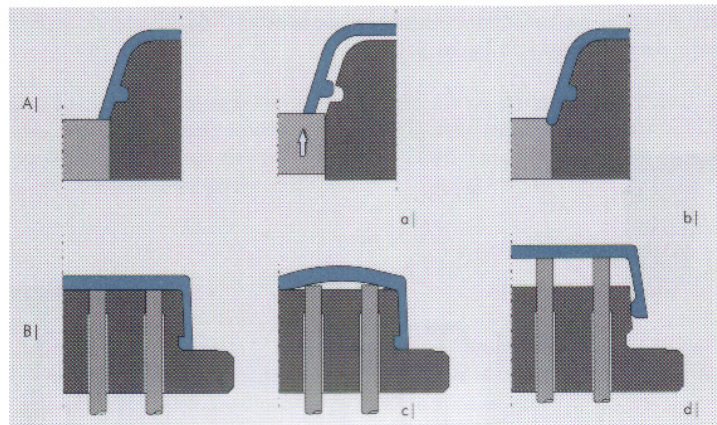


Fig. 8.15 – Extracção forçada
 A1 Com placa extractora; B1 Com extractores
 a1 base plana (correcto); b1 base arredondada (incorrecto); c1 Entalhe recto (incorrecto); d1 Entalhe com chanfro (correcto)

No caso de extração forçada, que normalmente deve ser feita por um aro extrator (ou uma placa extratora no caso de moldes com várias peças) para distribuir a força de extração uniformemente por toda a base e, assim, provocar uma deformação uniforme, deve-se ter especial atenção à forma da peça na zona de contato com o aro extrator, que deve ser plana para que este não impeça sua livre deformação, como aconteceria se a base fosse arredondada. Nas situações de uso de extractores, recomenda-se a colocação de um chanfro no entalhe da contra-saída da peça de forma a facilitar a desmoldagem da mesma.

Na tabela abaixo apresentam-se as deformações admissíveis de alguns termoplásticos, que permitem a utilização da extração forçada. Para valores de deformação superiores têm que ser utilizados outros métodos de extração que permitam primeiro liberar as contra-saídas e depois, extrair a peça.

Tabela – Deformações admissíveis para alguns termoplásticos

Material	Deformação Admissível (%)
PS	0,5
SAN	1,0
ABS	1,5
PC	1,0
PA	2,0
POM	2,0
LDPE	5,0
HDPE	3,0
PVC	1,0
PP	2,0

EXTRAÇÃO COM COMPONENTES FLEXÍVEIS

Extratores em aço mola

A utilização de extratores em aço mola permite a moldagem de pequenas contra-saídas (interiores e exteriores) da peça sem que seja necessária a utilização de articulados ou de movimentos laterais. Este extrator é montado, como os extratores normais, nas placas extratoras. Quando as placas avançam ele deforma-se, devido à sua elasticidade, libertando assim, as contra-saídas da peça como abaixo.

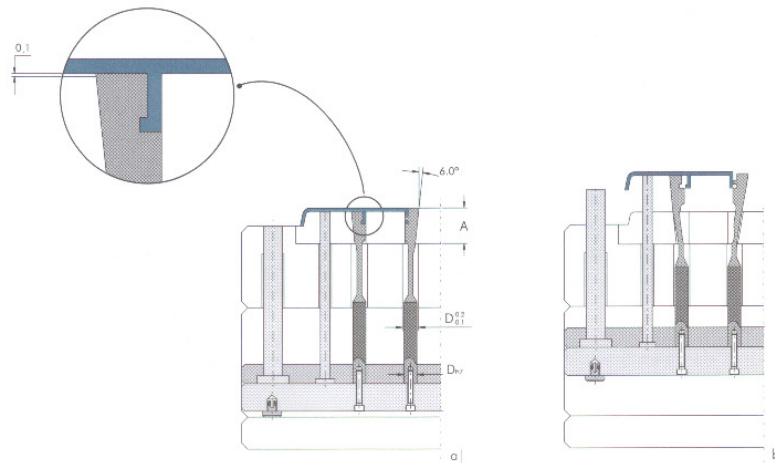


Fig. 8.16 – Extrator em aço mola
a) Posição recuada; b) Posição avançada

Extratores com buchas retráteis (ou expansíveis)

A bucha retrátil (ou expansível, consoante a sua deformação seja para o interior ou para o exterior, isto é, diminua ou aumente de tamanho), permite a desmoldagem de peças com pequenas contra-saídas na parte interior (bucha retrátil) ou exterior (bucha expansível). Os componentes destas buchas são flexíveis, sendo construídos em aço mola.

Na figura representa-se o funcionamento de uma bucha expansível. Quando a bucha está recuada, isto é, dentro do seu alojamento, os elementos flexíveis são obrigados a estar fechados. Por outro lado, quando o sistema de extração avança, a bucha sai do alojamento, permitindo a sua abertura, libertando assim, a contra-saída.

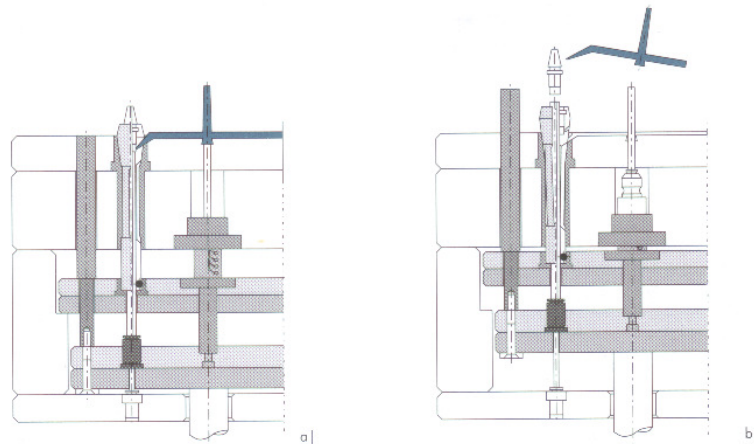


Fig. 8.17 – Bucha expansível
a| Bucha recuada; b| Bucha avançada

O funcionamento da bucha retrátil é em tudo semelhante ao da bucha expansível, porém, neste caso, permite desmoldar contra-saídas interiores. Quando o sistema de extração avança, a bucha inferior (que obrigava os elementos flexíveis a estar abertos) fica parada e os elementos flexíveis podem colapsar, libertando a contra-saída interior.

Extração com pinças

Outro tipo de extração é a extração com pinças, como representada na figura, e pode ser usada, por exemplo, para a extração de tampas invioláveis.

O funcionamento das pinças é semelhante ao da bucha expansível, contudo neste caso, a abertura não é feita devido ao material (aço mola), mas por ação da rotação do extrator semelhante ao articulado com eixo rotativo que será referido mais à frente.

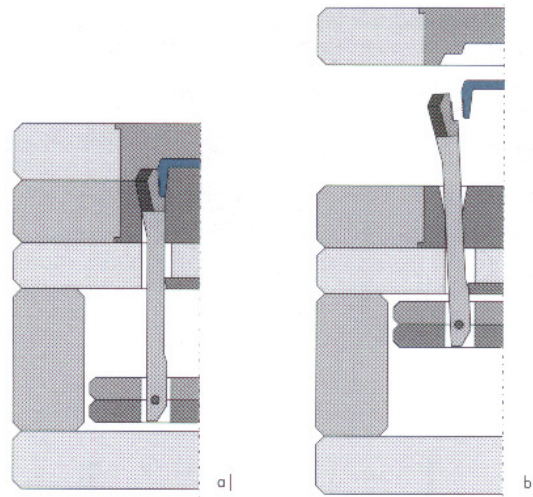


Fig. 8.18 – Extração com pinças
a| Posição recuada; b| Posição avançada

EXTRAÇÃO COM ARTICULADOS

Articulados normalizados

São usados em peças com contra-saídas ou saída negativa. Para extrair estas peças, uma parte da zona moldante tem de ser removida das abas. A solução de desmoldagem condicionada significativamente o custo do molde. Os articulados são muito utilizados pois são dispositivos simples e podem ser acionados diretamente pelas placas da extração.

Os articulados permitem a extração de peças com contra-saída sem a necessidade de se utilizarem movimentos laterais ou quando a sua utilização não é possível, como é o caso da maior parte das contra-saídas interiores.

Geralmente são constituídos pelos seguintes componentes: pino extrator, eixo e bucha de desliz e casquilho com furo inclinado. O avanço do sistema de extração faz deslocar o pino extrator do articulado num movimento inclinado em relação ao movimento de abertura e fechamento, permitindo, desta forma, a libertação das zonas da peça com saída negativa. Quando o molde fecha, a placa das cavidades entra em contato com pino de retorno, fazendo recuar todo o sistema de extração.

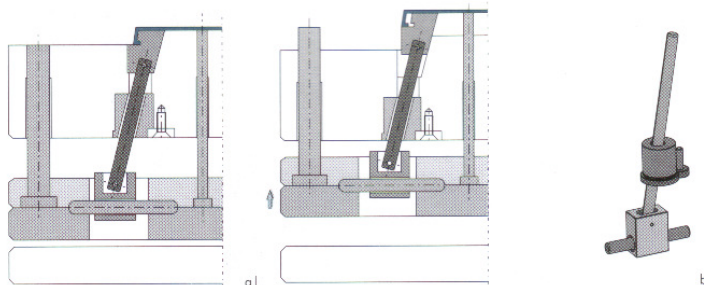


Fig. 8.20 – Extração com balancete
a) Funcionamento de um balancete; b) Balancete

Articulados com eixo rotativo

Outro tipo de articulado, desenvolvido na indústria, é o articulado com eixo rotativo. Este articulado, que não é normalizado, permite a desmoldagem de pequenas contra-saídas através da sua rotação em torno de um eixo. Este articulado pode ser projetado de diversas formas, conforme o tipo de movimento pretendido. A rotação pode ser retardada ou iniciarse no momento da abertura do molde.

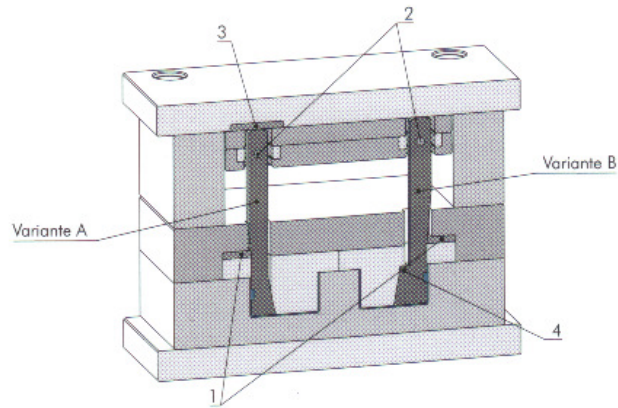
Este tipo de articulado tem como vantagem evitar o atrito que existe, por exemplo, nos articulados que deslizam inclinados, atritos que se podem verificar nas buchas, barras ou guias de desliz localizados nas placas de extratores.

Estes articulados podem apresentar três variantes. Na figura estão representadas as variantes A e B e na próxima figura a variante C.

Variante A

Durante o acionamento do sistema de extração, o articulado desliza sobre a barra (1) movendo-se para o interior ou exterior da peça, conforme a situação requerida, sendo a cavilha (2) o eixo de rotação.

A placa de apoio (3) é necessária para sustentar a pressão de injeção.



Articulado com eixo rotativo, variantes A e B

Variante B

O movimento do articulado processa-se da mesma forma que a descrita na situação anterior, variante A. No entanto, neste caso não é necessária a placa (3), porque o degrau (4) suporta a pressão de injeção. Sempre que for possível este sistema deve ser o utilizado em detrimento do anterior.

Variante C

Nesta situação, em vez da barra que é utilizada nas situações anteriores, o articulado é acionado por uma cavilha (5).

Esta aplicação é vantajosa quando se pretende substituir o movimento lateral quando existe falta de espaço.

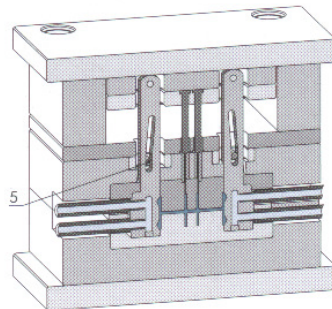


Fig. 8.22 – Balancé com eixo rotativo, variante C

EXTRAÇÃO COM MOVIMENTOS

Movimentos laterais

Este tipo de movimento é necessário para produzir peças que tenham recessos ou saliências laterais, isto é, peças que, pela sua geometria, obriguem a ter duas (ou mais) direções de extração (perpendicular ou não).

No caso de necessidade de movimentos laterais é importante a definição do plano de partição da peça, havendo três hipóteses a considerar:

- 1) a peça é de revolução – qualquer plano é aceitável;
- 2) a peça é simétrica – deve-se escolher o plano que leve ao menor curso possível para os elementos móveis;
- 3) a peça não é simétrica – a solução a adotar deve permitir moldar a peça.

Os elementos que se podem deslocar lateralmente no molde são vulgarmente conhecidos por elementos móveis (ou gavetas) e permitem libertar zonas com a saída, num plano diferente do da extração.

Para o acionamento dos elementos móveis são usadas guias (que é o sistema mais corrente), molas de compressão (para pequenos movimentos) e sistemas hidráulicos (ou pneumáticos).

Movimentos com acionamento por guias

Na figura apresentam-se os principais componentes que permitem a implementação dos movimentos laterais num molde.

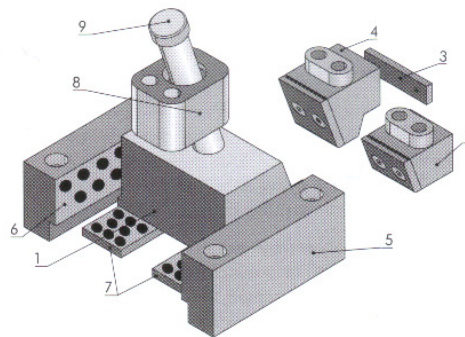
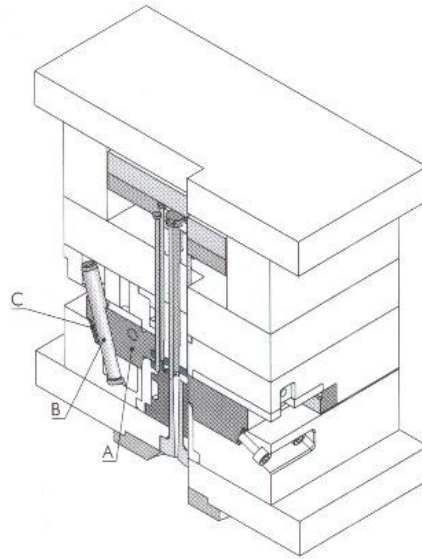


Fig. 8.23 – Principais componentes dos movimentos laterais
1) Elemento móvel; 2) Bloco de travamento simples com placa de ajuste; 3) Placa de ajuste; 4) Bloco de travamento duplo com placa de ajuste;
5) Régua do elemento móvel; 6) Régua autolubrificante do elemento móvel; 7) Placa guia autolubrificante; 8) Suporte da guia inclinada; 9) Guia inclinada

Os movimentos laterais podem ser acionados, como foi referido, de várias formas. No entanto, especialmente nos casos de pequenos e médios deslocamentos, a forma mais comum de acionamento é por meios mecânicos, utilizando guias inclinadas e aproveitando o próprio movimento de abertura do molde para fazer o movimento do elemento móvel, como mostrado.

Neste caso, o elemento móvel A, desliza sobre a placa do lado da extração. Durante a abertura do molde, a guia inclinada B, obriga o elemento móvel a deslizar, libertando a peça

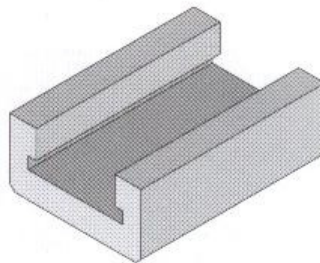
nessa zona. O bloco de travamento C, serve para manter o elemento móvel na posição correta durante a injeção, evitando assim, que a guia inclinada seja sujeita a esforços mecânicos desnecessários, o que provocaria um desgaste mais rápido.



Molde com movimentos laterais e extractores cilíndricos

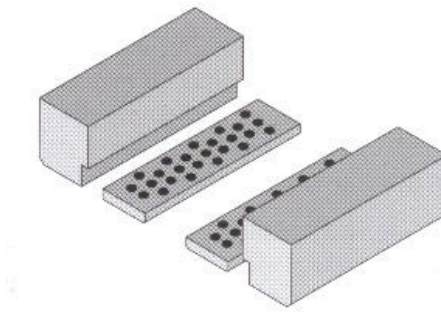
Em relação à montagem, é de se notar que todos os componentes deverão ser montados numa única caixa, o que além de facilitar a usinagem, conduz a menores custos de fabricação. A seguir, apresentam-se algumas soluções de montagem.

A montagem apresentada na figura abaixo é de fabricação fácil, obtida por erosão por fio e é adequada para pequenos movimentos onde a falta de espaço é um fator determinante.



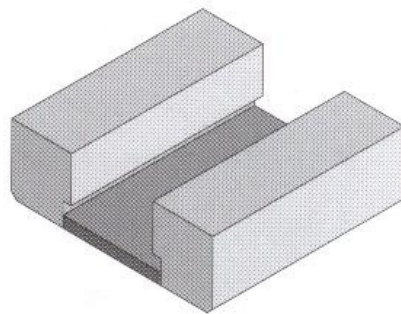
Montagem dos movimentos laterais

Na montagem apresentada na figura abaixo, as réguas do elemento móvel necessitam de ser alinhadas por cavilhas, e necessitam de mais etapas produtivas (furos de encavilhamento calibrados). São colocados em forma de pista, placas guia de deslize (grafitadas).



Montagem dos movimentos laterais

Na montagem apresentada, o guiamento é mais preciso, não necessitando de cavilhas de centramento das réguas do elemento móvel, já que a placa guia ajusta na face inferior ao elemento móvel. É fácil de fabricar e ajustar.

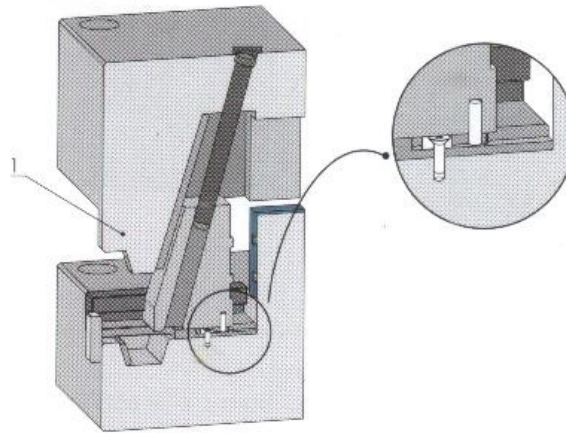


Montagem dos movimentos laterais

Em seguida, são apresentadas três soluções para a movimentação do elemento móvel através de guias inclinadas.

Solução A

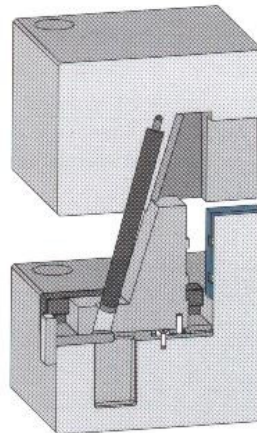
Na solução A, existem guias inclinadas que acionam o movimento. Neste caso, a guia e o movimento irão estar sujeitos a mecanismos de flexão, podendo causar diminuição do ajuste, devido à ampliação das folgas existentes na base (zona deslizante). Também nesta solução é por vezes utilizado um travamento (1), para melhorar o ajuste das partes móveis do molde.



Molde com movimentos laterais através de guias inclinadas (solução A)

Solução B

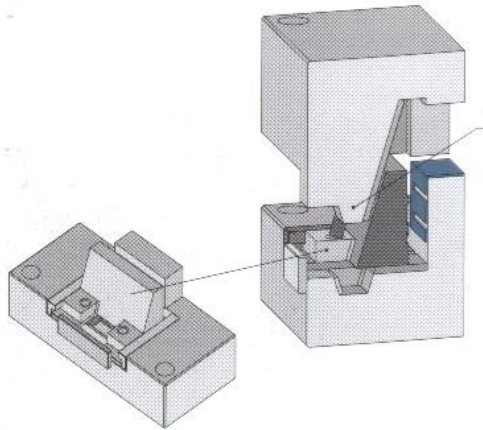
Na solução B, a guia inclinada aciona o movimento pela sua base eliminando as flexões referenciadas na solução. Neste caso, pode-se ter uma maior base de apoio. Nesta solução, não é utilizado um travamento como na solução A, mas, este não deixa de ser possível quando os movimentos têm espaço.



Molde com movimentos laterais através de guias inclinadas (solução B)

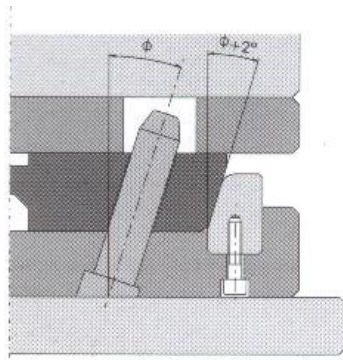
Solução C

No caso onde existe espaço nos movimentos é possível utilizar travamento como na solução A



Molde com movimentos laterais através de guias inclinadas (solução C)

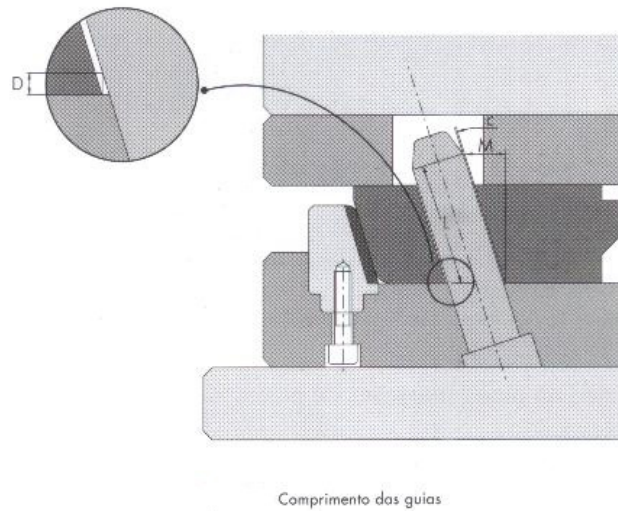
Em relação à inclinação das guias, estas deverão ter entre 10° a 25°, acrescentando-se 2° a 3° para a inclinação a aplicar à zona de ajuste. Quanto maior for a inclinação da guia, maior é o deslocamento lateral, para uma determinada abertura do molde, mas a força a que a guia está sujeita também é maior.



Inclinação das guias e zonas de ajuste

Em relação ao tamanho L, necessário para as guias, este depende do curso necessário para o movimento, M, da inclinação da guia, ϕ , e da folga para o elemento móvel, c, e pode ser calculado por:

$$L = \frac{M}{\text{sen } \phi} + \frac{2c}{\text{sen } 2\phi}$$



Conhecido o comprimento necessário da guia para o acionamento do elemento móvel, escolha-se a guia (normalizada) com o comprimento imediatamente superior. O deslocamento real do elemento móvel provocado pela guia escolhida, importante para a colocação dos retores do movimento, pode ser calculada através da equação:

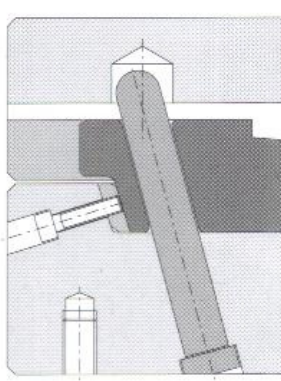
$$M = L \operatorname{sen} \phi - \frac{c}{\cos \phi}$$

O atraso do movimento do elemento móvel do molde, em relação à abertura, pode ser calculada por:

$$D = \frac{c}{\cos \phi}$$

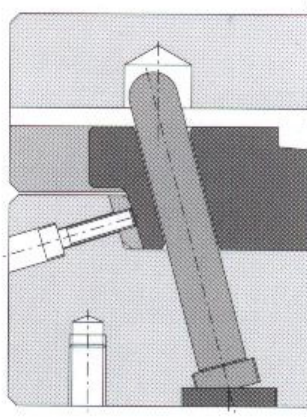
Note-se que este atraso da abertura do elemento móvel, além de facilitar a extração, provoca o afastamento do elemento móvel da barra de ajuste, contribuindo assim, para um menor desgaste. A colocação da guia pode ser feita de várias maneiras, como exemplificado a seguir.

Guia encostada entre placas com cabeça facetada



Guia encastrada entre placas com cabeça facetada

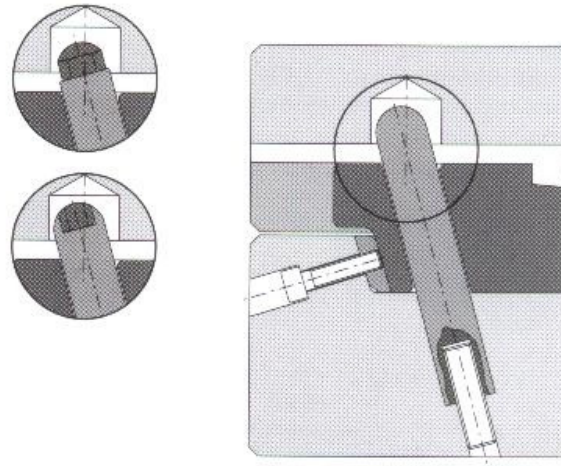
Guia encostada entre placas com cabeça facetada e bolacha distanciadora



Guia encastrada entre placas com cabeça facetada e bolacha distanciadora

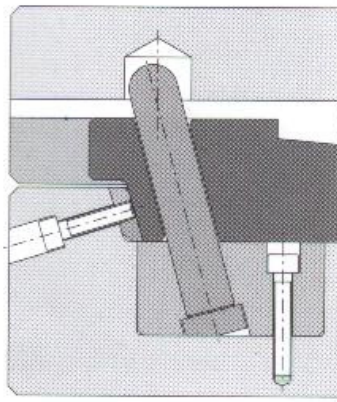
Guia com pino roscado na placa (situações de placas muito espessas)

O topo da guia poderá ter um sextavado interior ou exterior, dependendo do diâmetro da mesma.



Guia com perno roscado na placa.

Guia encostada com suporte de fixação (acoplado por parafusos) na placa (situações de placas muito espessas).



Guia encastrada com suporte de fixação

Em relação à fixação de placas de ajuste, algumas das soluções poderão não ser as mais eficientes, devendo o projetista conceber soluções que se enquadram numa perspectiva de simplificar o trabalho dos técnicos responsáveis pelo ajustamento e montagem dos mecanismos do molde.

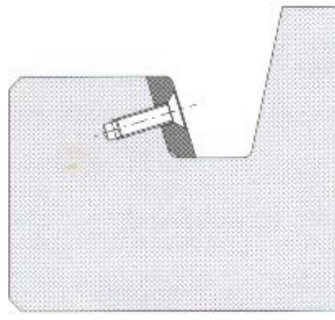
A simples forma de colocação das caixas de fixação do parafuso (pela frente ou por trás) poderá facilitar todo o processo de montagem, além de, muitas vezes, ser a solução, para uma rápida e eficaz resposta nos serviços posteriores de reparação e manutenção dos moldes.

Em seguida, apresenta-se diversas soluções referindo-se as suas vantagens e inconvenientes.

Solução A

A solução A é a mais desvantajosa, aplicando-se em situações de cavidades, onde não existe qualquer obstrução na manipulação (uso) das ferramentas de aperto convencionais.

As placas apresentam uma espessura mais reduzida e a roscagem é feita de forma inclinada, de dentro para fora, na placa das cavidades ou nos blocos de encosto.

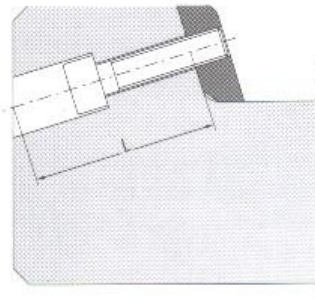


Solução A de ajustamento

Solução B

A solução B é mais adequada sendo a furação feita de fora para dentro e a roscagem nas placas de deslize.

As placas de deslize são mais espessas e, mesmo no caso de machos altos, não há qualquer obstrução no uso das ferramentas de aperto, já que o aperto é por fora nas faces laterais do molde. A dificuldade na furação aumenta quando a distância, L , é muito grande, pois deverá acentuar os desvios da broca.

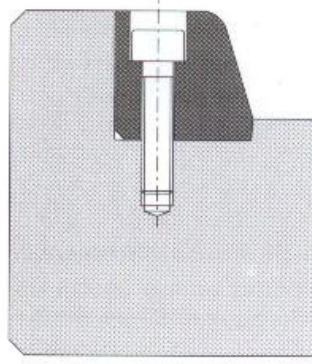


Solução B de ajustamento

Solução C

A solução C aplica-se em moldes de média e grande dimensão, sendo uma forma vantajosa de conceber um mecanismo mais robusto e eficiente, tendo em mente a manutenção e reparação dos componentes sujeitos a maior desgaste.

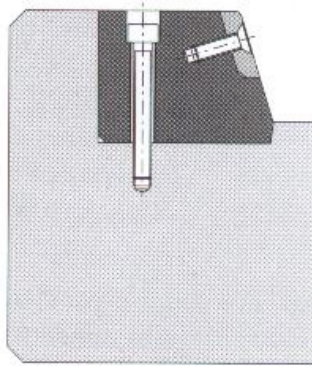
Esta solução tem, no entanto, o inconveniente do reajustamento dos elementos.



Solução C de ajustamento

Solução D

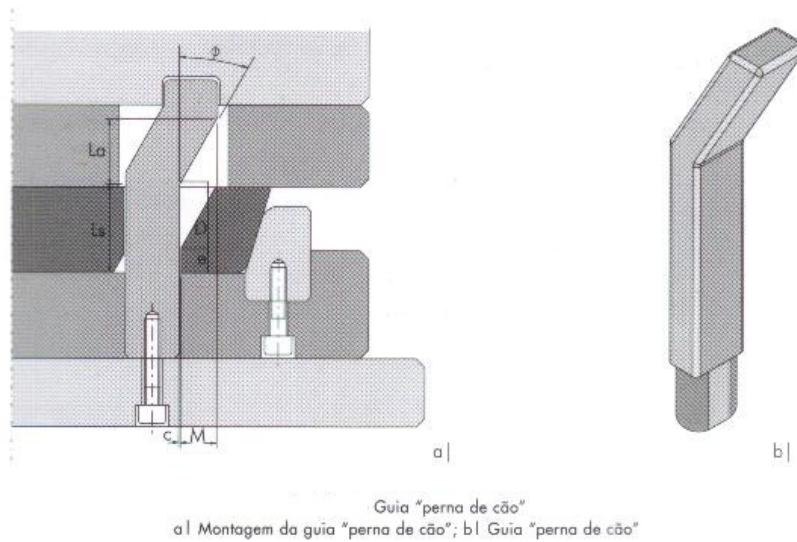
A solução D é a mais eficiente ao nível da confiabilidade e manutenção, permitindo um fácil reajuste.



Solução D de ajustamento

No caso de muitas peças, também é necessária a existência de buchas, na parte fixa do molde. Nestes casos, pode haver o perigo da peça ficar presa nessas buchas dificultando, ou mesmo impedindo, a extração.

Para resolver este problema é conveniente provocar um maior atraso (do que o conseguido com as guias inclinadas) no movimento dos elementos móveis, garantindo que a peça se liberta das “prisões” de parte fixa antes dos elementos móveis a soltarem. Isto pode ser conseguido através da guia “perna de cão”.



Em relação às dimensões da parte inclinada, L_a , da guia “perna de cão”, estas dependem do comprimento necessário para o movimento, M , da inclinação da guia, ϕ , e da folga a aplicar ao elemento móvel, c , e pode ser calculada por:

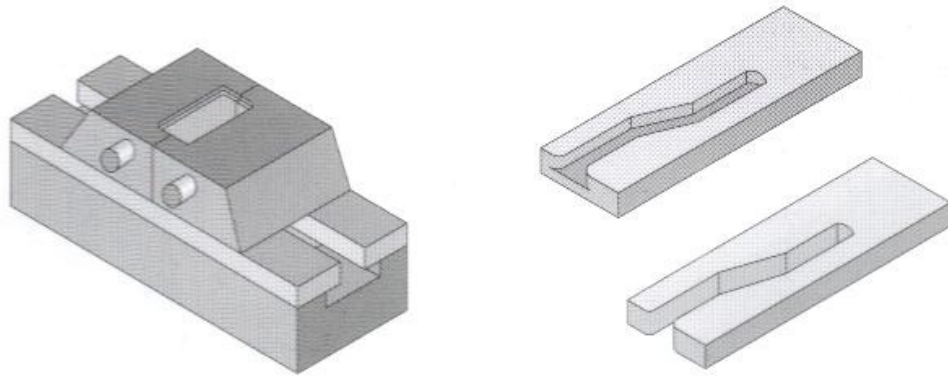
$$L_a = \frac{M + c}{\operatorname{tg} \phi}$$

O atraso do início do movimento, dado pela parte não inclinada da guia, L_s , depende do comprimento de atraso, D , da inclinação da guia, ϕ , da folga do elemento móvel, c , e do comprimento da quebra da aresta, e pode ser calculado por:

$$L_s = D + e - \frac{c}{\operatorname{tg} \phi}$$

Os elementos móveis também podem ser movimentados através de placas guia colocadas lateralmente no molde.

Este tipo de acionamento é vantajoso em relação aos outros acionamentos por guias, principalmente quando os elementos móveis são muito pesados, já que são muito mais robustos. Têm, no entanto, o inconveniente de, devido à sua forma e colocação, poderem dificultar a extração. Por exemplo, se for pretendido fazer o movimento para os lados, as placas guias têm de ser colocadas na parte superior e inferior do molde, o que obriga à sua maior abertura para que a peça possa cair ou o robô possa atuar.



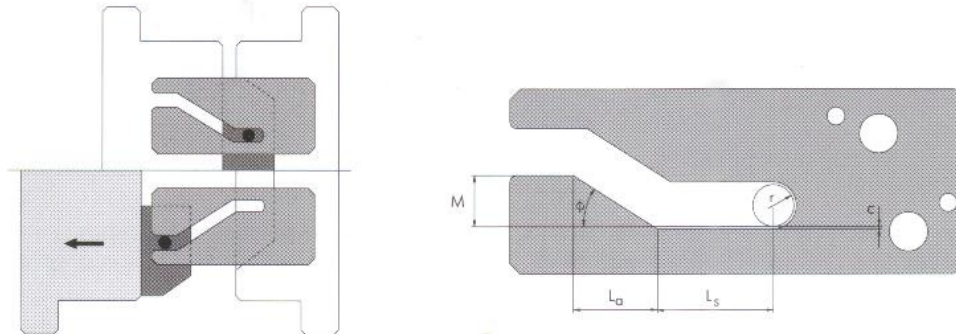
Placas guia para movimentação dos elementos móveis

A dimensão da zona inclinada do rasgo das placas guia, que depende do comprimento, necessário para o movimento, M , da inclinação da guia, ϕ , e da folga a aplicar ao elemento móvel, c , pode ser calculada por:

$$L_a = \frac{M + c}{\text{tg } \phi}$$

O atraso no movimento dos elementos móveis pode ser calculado por:

$$D = L_s + \frac{c}{\text{tg } \phi} + r \left| \frac{1}{\text{tg } \phi} - \frac{1}{\text{sen } \phi} \right|$$



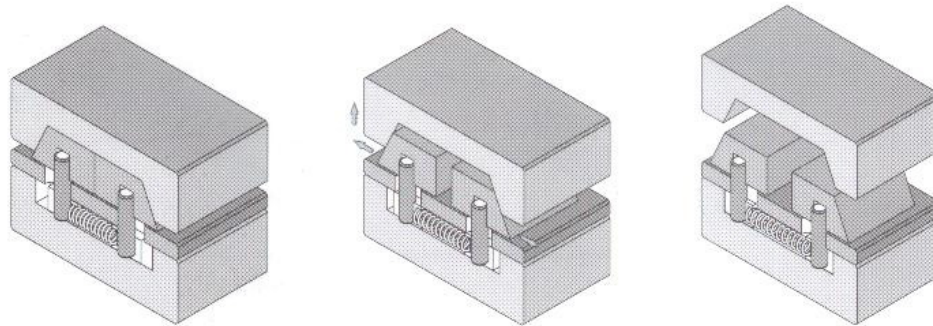
Dimensões e geometria das placas guia

Movimentos com acionamento por molas

Quando o molde está fechado, os elementos móveis são mantidos em posição pela placa das cavidades e as molas encontram-se comprimidas. Logo que se inicia a abertura, as molas afastam lateralmente os elementos móveis, sendo este movimento limitado por batentes. Com

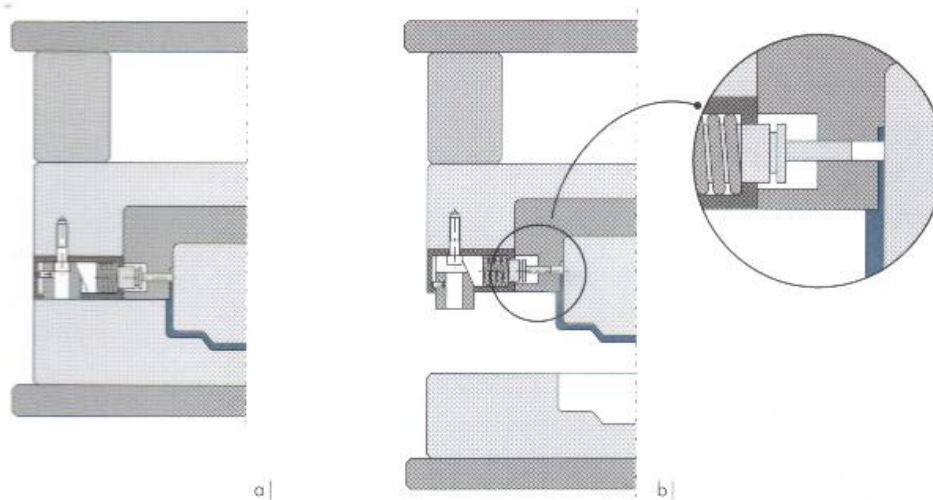
este sistema, não é possível o retardamento da abertura como acontece no caso das guias. Durante o fechamento do molde, os elementos móveis deslocam-se para as suas posições, atuados pela superfícies inclinadas da placa das cavidades. Como os elementos móveis estão sempre em contato com a as barras de ajuste, quer na abertura quer no fechamento do molde este tipo de acionamento apresenta um maior desgaste que no caso das guias.

Até 75 mm de largura dos elementos móveis, pode-se usar só uma mola; para elementos mais largos devem ser usadas duas molas.



Movimento lateral actuado por molas

A utilização do acionamento por molas é particularmente recomendado quando se têm movimentos muito pequenos, permitindo realiza-los usando elementos mais compactos do que seria possível com a utilização de guias. Para movimentos até cerca de 4 mm de deslocamentos existem já soluções normalizadas como a representada.



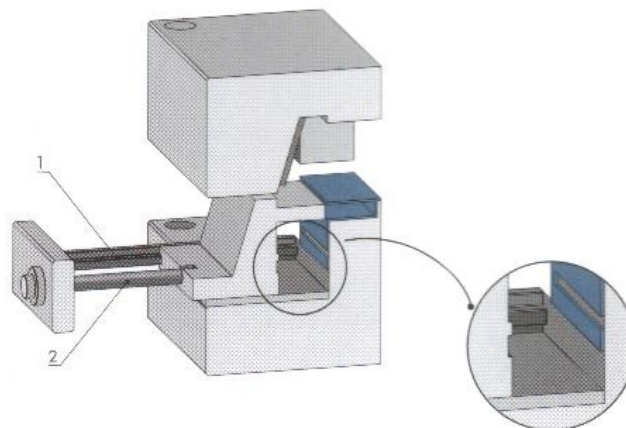
Movimento lateral actuado por molas (normalizado)
a| Molde fechado; b| Molde aberto

Movimentos com acionamento hidráulico

Outra alternativa aos sistemas anteriores de acionamento de movimentos laterais (guias ou molas) é o uso de mecanismos hidráulicos. Este tipo de acionamento é o mais versátil e permite a movimentação dos elementos móveis, independentemente da abertura (ou fechamento) do molde.

Neste caso, não existem guias inclinadas, mas barras de deslize alteradas (1) e um cilindro hidráulico (2).

Esta solução é bastante usada nos casos em que sejam necessários longos cursos por parte do elemento móvel, ou se tenham que fazer movimentos com grande inclinação em relação ao plano de partição do molde.



Movimento hidráulico com travamento mecânico

Quando os movimentos são acionados com mecanismos hidráulicos, os cilindros hidráulicos deverão ser auto-bloqueantes, de modo a impedir a movimentação durante as fases de enchimento e compactação do ciclo de injeção.

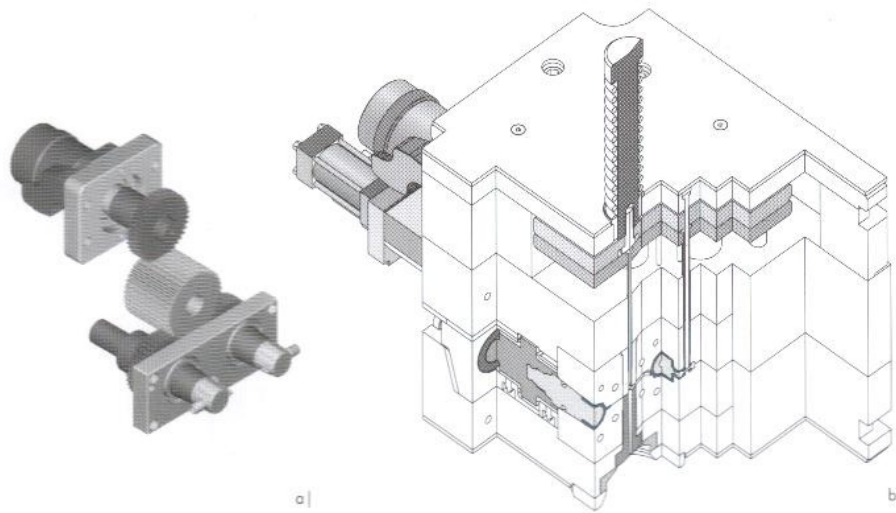
MOVIMENTOS ROTATIVOS

A desmoldagem com movimentos rotativos é normalmente utilizada para a libertação de peças com roscas internas. No caso de roscas externas, os movimentos rotativos só se devem usar se pretender que elas não apresentem marcas, já que podem ser mais facilmente desmoldadas pela abertura do molde (se estiverem no plano de partição) ou com recurso aos movimentos laterais. Em alguns casos, quando a peça tem flexibilidade suficiente, é possível extrair estas zonas através de uma extração forçada.

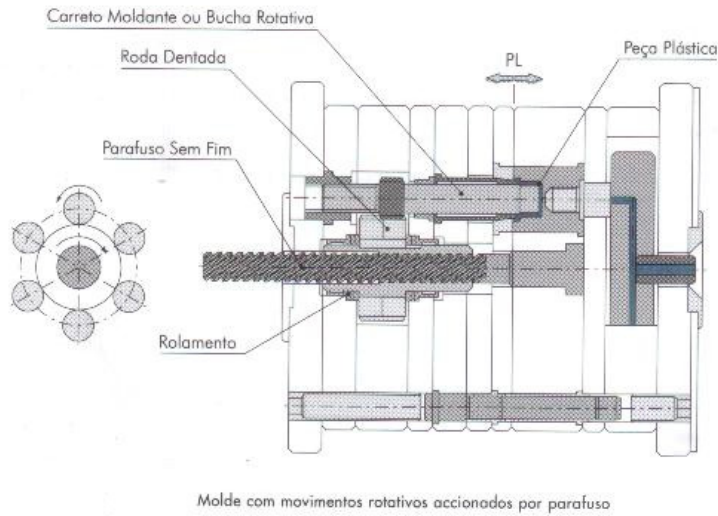
A utilização de movimentos rotativos tem alguns inconvenientes:

- são mecanismos complexos e dispendiosos;
- o resfriamento do macho é normalmente insuficiente. Isto resulta em tempos de ciclo mais longos;
- a peça deve ter alguma característica que impeça a sua rotação durante o recuo do macho, de forma a desmoldar. Isto pode ser um fator pouco apreciado pelo projetista da peça;
- o espaço entre as cavidades é definido pela relação de transmissão das rodas dentadas. Isto pode conduzir a um molde com grandes dimensões para a produção de peças relativamente pequenas.

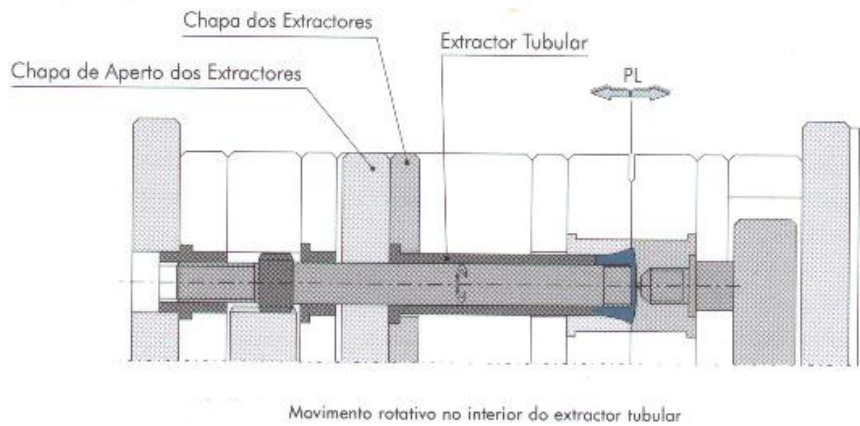
A rotação pode ser acionada por um motor ou aproveitando o próprio movimento de abertura do molde. O molde tem um sistema constituído por um parafuso sem fim e rodas dentadas que transmitem o movimento de translação do molde (abertura e fechamento) ao carroto moldante.



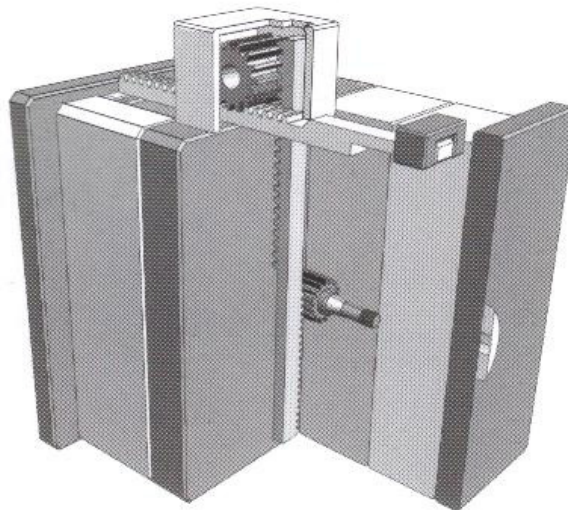
Molde com movimentos rotativos accionadas por um motor
a| Sistema de accionamento do mecanismo; b| Secção transversal do molde com mecanismo



Existem casos em que os movimentos de rotação são realizados no interior de extratores tubulares. Deste modo, existem dois tipos de movimentos na interface macho rotativo/extrator tubular sendo necessário aplicar um tratamento térmico e superficial adequado.



Outra solução para o acionamento dos movimentos rotativos, utilizando o movimento de abertura do molde, é a utilização de cremalheiras.



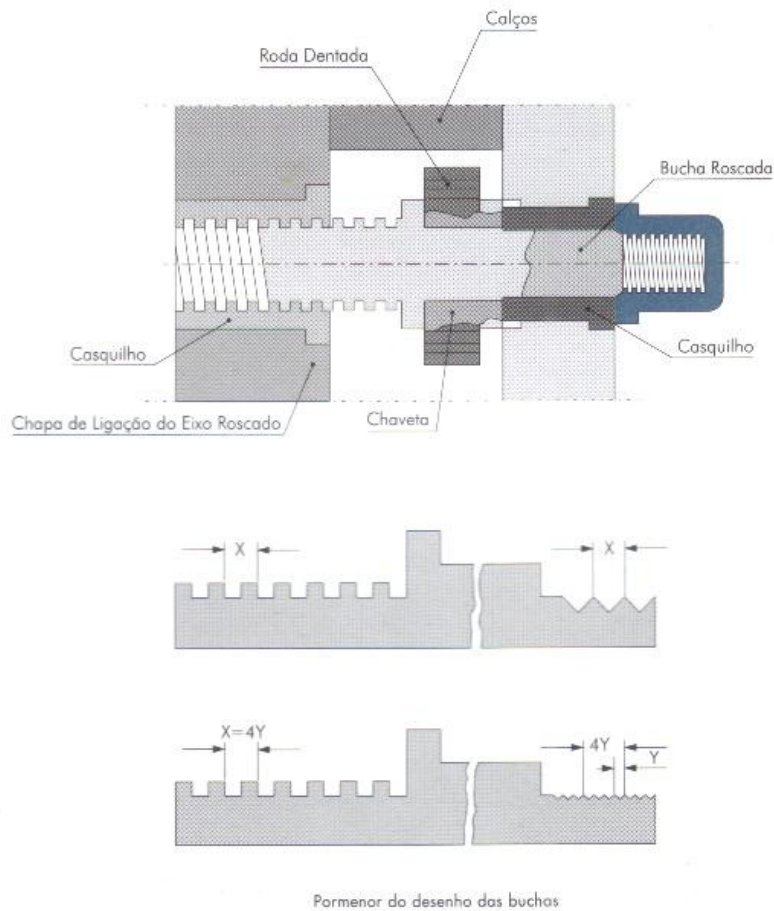
Accionamento de movimentos rotativos através de cremalheira

Apresentaram-se vários métodos de fazer o movimento rotativo do macho, no entanto, o fato do macho rodar não é suficiente para se desmoldar a rosca. Na realidade, quando o macho gira podem-se verificar duas situações, ou a peça também gira agarrada ao macho e nada acontece, ou a peça fica parada e a rosca é moída.

Assim, para se conseguir desmoldar roscas é necessário que o macho tenha um movimento rotativo, mas simultaneamente, um movimento de translação, isto é, que recue.

A forma mais usual de se conseguir este movimento de translação é usar uma rosca (normalmente quadrada, que é a forma mais comum para as roscas de movimento) na outra extremidade do macho. Assim, quando o macho gira, a rosca de movimento vai roscando obrigando ao movimento de translação do macho que vai desenroscando da peça.

Para que a rosca da peça não seja moída, o passo da rosca de movimento tem de ser igual ao da rosca que se quer fazer. Deve-se ter particular atenção ao caso de roscas de mais de uma entrada, em que o passo da rosca de movimento tem de ser igual ao passo real da rosca da peça e não ao passo aparente.



Outro aspecto que se deve ter atenção é a largura da roda motora (a que provoca o movimento de rotação do macho) que tem de ser suficientemente larga para que as rodas dentadas não desengrenem devido ao movimento de translação do macho.

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO

Para dimensionar o sistema de extração é necessário analisar a peça e todas as condicionantes do processo relativos à máquina e ao molde. Nesta análise deve-se verificar se o ângulo de saída das várias superfícies é suficiente para permitir a desmoldagem da peça em plástico. Os extratores devem atuar nas zonas que oferecem mais dificuldade de extração, tais como nervuras e saliências. O próprio projetista deve considerar estes aspectos ao modelar a peça.

Os extratores também podem ser colocados estrategicamente, de modo a eliminar eventuais prisões de ar, devido ao fluxo do material durante o preenchimento da cavidade. Assim, o ar poderá escapar através da folga existente entre o extrator e o furo. Estes componentes apresentam vantagens em relação a sistemas de fuga de ar fixos na cavidade ou macho, pois a sua movimentação em cada ciclo garante que o ajustamento se mantenha limpo e que não fique obstruído pela sujeira. É recomendado que o retorno da extração seja realizado pelo fechamento do molde ou pela própria máquina de injeção. O retorno por mola deve ser evitado, pois as molas perdem as

suas características com o tempo. Isto poderia implicar a danificação da zona moldante, caso a força do molde não fosse suficiente para recuar o extrator.

ESTIMATIVA DA FORÇA DE EXTRAÇÃO

A determinação da força de extração necessária para extrair a peça é vantajosa para definir adequadamente o sistema de extração. A partir da força de extração e da tensão admissível do material pode-se determinar a área mínima de contato dos extratores com a peça. Pela área mínima de contato, o projetista pode avaliar se a área de contato dos extratores ou do aro extrator é adequada para a peça em questão.

De um modo geral, um aumento da área de contato entre o polímero e o aço implica uma maior força para extrair a peça. Quando se produz em peças com materiais poliméricos mais rígidos ou que contraíam mais, também temos necessidade de aplicar uma maior força durante a extração. Estas considerações dizem, fundamentalmente, respeito a situações em que a peça contrai sobre os machos. No entanto, quando uma peça tem nervuras, o uso de materiais que contraem mais, pode facilitar a extração, pois a pressão de contato diminui.

Verifica-se que a força de extração diminui com o aumento do ângulo de saída. Assim, moldagens com geometria complexa, que têm várias superfícies com diferentes ângulos de saída, devem ter uma atenção especial, pois, por vezes, a alteração no ângulo de saída pode melhorar consideravelmente a extração das peças.

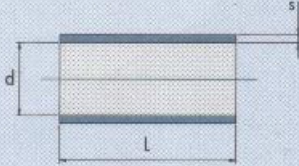
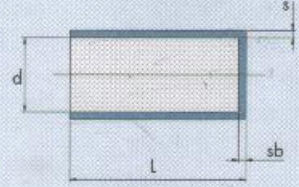
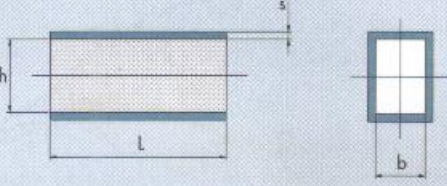
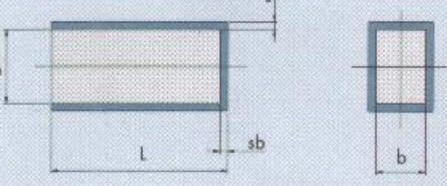
O ângulo de saída típico, para peças moldadas por injeção, situa-se entre $0,5^\circ$ e 3° . Este valor pode aumentar significativamente, caso a superfície da peça seja texturizada. Nestes casos, recomenda-se adicionar ao ângulo de saída, 1° para cada 0,025 mm de profundidade de textura.

A tabela abaixo apresenta o ângulo de saída para as moldagens sem textura em função do tipo de material. Como se pode verificar, de um modo geral, peças produzidas com materiais mais rígidos e/ou que contraem mais, requerem ângulos de saída maiores.

Variável	Ângulo de saída recomendado
ABS	1-2°
PS	1-1,5°
SAN	1,5-2°
PP	0,5-1,5°
HDPE	0,75-2°
LDPE	0,75-2°
PA	0,5-1,5°
PC	0,5-1,5°
PET	1-2°
POM	0,5-1,25°
PPO	0,5-2°
PVC	1-1,5°
uPVC	0,5-1°

Ângulos de saída típicos em função do tipo de material

No caso de uma peça com geometria tubular, a força de extração depende do coeficiente de atrito entre material e o macho, μ (T_e , R_a), ângulo de saída, módulo de elasticidade à temperatura de extração, $E(T_e)$ e contração do plástico até o momento da extração, $\epsilon(T_e)$ e das dimensões da peça.

<p>Cilindro aberto</p> $F_e = \mu(T_e, Ra) \cdot E(T_e) \cdot \epsilon(T_e) \cdot 2\pi s l$		<p>Eq. 1</p>
<p>Cilindro fechado</p> $F_e = \mu(T_e, Ra) \cdot E(T_e) \cdot \epsilon(T_e) \cdot [2\pi s l + d\pi s_b / (1-\nu)] + d^2\pi/a \cdot P_u$		<p>Eq. 2</p>
<p>Caixa rectangular aberta</p> $F_e = \mu(T_e, Ra) \cdot E(T_e) \cdot 8s l$		<p>Eq. 3</p>
<p>Caixa rectangular fechada</p> $F_e = \mu(T_e, Ra) \cdot E(T_e) \cdot \epsilon(T_e) \cdot [8s l + 2s_b(h+h_2)/(1-\nu)] + h \cdot h_b \cdot P_u$		<p>Eq. 4</p>

Equações para o cálculo da força de extracção em peças de geometria simples

Com:

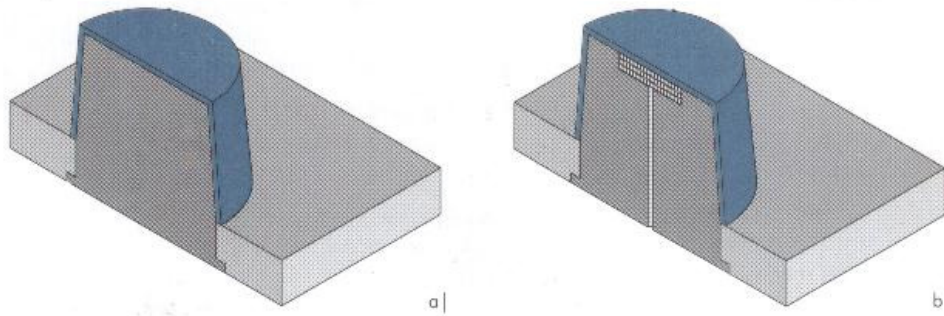
T_e – Temperatura de extração

Ra – Rugosidade média

$E(T_e)$ – Módulo de elasticidade do plástico à temperatura de extração

ν - Coeficiente de Poisson do plástico

P_u – Pressão negativa (vácuo) desenvolvida em machos sem ventilação, 0,1 MPa



Efeito do vácuo na força de extração
a) Bucha sem ventilação; b) Bucha com ventilação

$\epsilon(T_e)$ – Contração da peça em plástico até o momento da extração

$$\epsilon(T_e) = \epsilon(T_{ambiente}) - \alpha(T_e - T_{ambiente})$$

Com:

$\epsilon(T_{ambiente})$ – contração da peça plástica até a temperatura ambiente (23°C)

α - coeficiente de dilatação térmica (1/°C)

T_e – temperatura máxima de extração

Material	Coefficiente de dilatação térmica (10 ⁻⁵ /°C)	Temperatura de extração (°C)
ABS	8,0	95
PS	8,0	95
SAN	7,0	90
ASA	10,0	90
PP	8,0	70
HDPE	12,0	50
LDPE	20,0	50
PA	9,0	140
PC	7,0	140
PMMA	8,0	160
POM	12,0	150

Valores típicos de coeficientes de dilatação térmica e temperatura de extração de alguns termoplásticos

A obtenção do atrito em condições de processamento semelhantes às encontradas nos moldes de injeção não é facilmente quantificável. No entanto, verifica-se que o atrito estático

depende de alguns parâmetros de processamento (temperatura, pressão e rugosidade), os quais não podem ser contabilizados com facilidade, obtidos em ensaios normatizados ASTM-D 1894.

Na tabela abaixo estão indicados valores típicos do coeficiente de atrito do par tribológico plástico/aço obtidos em diferentes condições de rugosidade e temperatura.

Material	Coefficiente atrito
ABS	0,19 - 0,35
PS	0,25 - 0,44
PP	0,26 - 0,47
HDPE	0,2 - 0,38
PA6	0,19 - 0,21
PC	0,38 - 0,66
POM	0,11 - 0,18

Valores típicos de coeficientes de atrito de alguns termoplásticos

As forças de extração na moldagem por injeção podem ser grandes e, nestes casos, é freqüente a utilização de lubrificantes ou de auxiliares de desmoldagem que geralmente são adicionados à matéria-prima para facilitar a extração. Estes agentes tendem a migrar para a superfície durante o processamento, criando uma película lubrificante que facilita a extração. Os lubrificantes deste tipo são usados freqüentemente, especialmente quando se utilizam materiais frágeis como o poliestireno. Contudo, esta solução, além de implicar uma aditivação específica das matérias-primas, pode conduzir a defeitos superficiais indesejáveis. Assim, para a redução das forças de extração, outra alternativa é o tratamento superficial das superfícies moldantes, de forma a conferir-lhes propriedades tribológicas mais favoráveis. Algumas destas soluções consistem em tratamentos de superfície que conferem benefícios adicionais, por exemplo, em termos de melhoria da dureza ou de resistência ao desgaste ou de proteção contra a corrosão. Estes tratamentos superficiais eliminam a necessidade de se usar agentes desmoldantes que podem ter efeitos nefastos quando são necessárias ações pós-processamento, como pintura, colagem ou solda. Contudo, o efeito destes tratamentos superficiais nas forças de extração, na própria microestrutura do material e, conseqüentemente, nas propriedades da peça não está totalmente documentado.

Desenvolvimentos recentes, e ainda em curso, permitem a obtenção mais precisa de informação que ajude a resolver esta dificuldade, em específico, o conhecimento do coeficiente de atrito efetivo em condições de desmoldagem.

15. SISTEMA DE RESFRIAMENTO

O princípio fundamental da moldagem por injeção consiste em forçar um material previamente aquecido (fundido) a entrar, sobre pressão, num molde, onde é arrefecido até uma temperatura que permita que ganhe a rigidez suficiente para que possa ser extraído mantendo a forma da cavidade, isto é, da peça que se quer produzir.

Igualmente, na injeção de materiais poliméricos, o molde deveria estar à temperatura do fundido durante a fase de injeção e, no momento da extração, molde e peças, deveriam estar a temperatura ambiente.

Nestas condições, seria necessária uma pressão de injeção muito reduzida e as peças seriam isotrópicas devido ao modo muito lento como se faria o resfriamento. Desta forma se obteria peças perfeitas. Infelizmente, o seu preço seria proibitivo e a empresa fecharia rapidamente.

Assim, por razões econômicas, deve-se produzir as peças com mais rapidez possível. Sendo, por isso, o resfriamento do polímero fundido um aspecto fundamental no funcionamento do molde, procurando-se conjugar a rapidez do ciclo e o melhor nível de propriedades das peças com as especificações técnicas e econômicas do produto.

Tipicamente, o tempo de resfriamento é cerca de 50%, ou mais, da duração total do ciclo de injeção, sendo mais longo no caso de materiais semicristalinos que nos materiais amorfos. Isto mostra bem a importância que o sistema do controle de temperatura tem no correto funcionamento do molde.

O resfriamento do material injetado é feito por transferência de calor para as superfícies moldantes (que estão a uma temperatura bastante inferior) e através da massa do molde.

Assim, a maneira como se faz o resfriamento deve ser controlada, não só em termos do gradiente de temperatura do fluido refrigerador, mas também, da sua uniformidade na superfície da zona moldante, de forma a evitar empenamentos nas peças.

Para facilitar, acelerar e controlar o processo de transferência de calor são usados, perto das zonas moldantes, furos de passagem para um fluido refrigerante.

Estes furos, também conhecidos por linhas de água, devido a água ser o fluido de refrigeração mais freqüente (e mais barato), constituem o sistema de controle de temperatura.

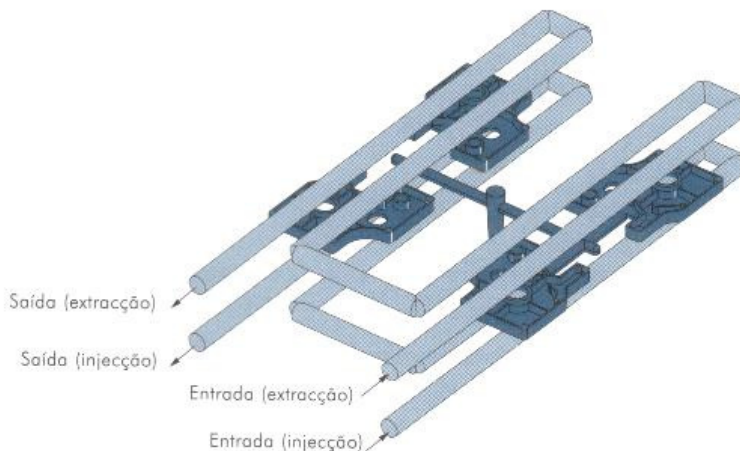


Fig. 7.1 – Representação esquemática de um sistema de controle de temperatura

A temperatura do molde influencia diretamente na qualidade da peça, portanto, um molde mais quente resulta num fluxo do fundido facilitado, com melhor aspecto superficial e menores ten-

sões internas, logo, de melhor qualidade, mas com maior tempo de resfriamento (o que implica maiores tempos de ciclo, logo, peças mais caras). Por outro lado, um molde mais frio possibilita um fluxo do fundido mais dificultado, podendo mesmo não chegar a preencher os pontos mais afastados da cavidade (moldagens incompletas), peças com pior aspecto superficial e maiores tensões internas e menores tempos de resfriamento (ciclos mais rápidos e peças mais baratas).

A otimização de um sistema de controle de temperatura consiste em achar um equilíbrio entre as duas situações extremas acima.

O sistema de resfriamento deve ser usinado quer na zona da cavidade, quer na zona do macho, de forma a controlar a temperatura das duas metades do molde.

REGRAS GERAIS

No projeto dos sistemas de controle de temperatura deve-se considerar regras gerais, tais como:

1. Considerar circuitos independentes e simétricos relativamente à zona ou zonas de preenchimento do molde ou de cada cavidade e acompanhar, o melhor possível, a forma das peças.

Assim, o resfriamento das peças será igual em todas e as temperaturas na superfície moldante mais uniformes. Se, por exemplo, uma peça circular é resfriada com linhas de água retas, o mais natural é que se tenham peças elípticas (em vez de circulares) devido à menor uniformidade da distribuição de temperaturas na superfície moldante, com a conseqüente não uniformidade do resfriamento.

2. O seu percurso não deve ser tão longo que permita o aquecimento do fluido de refrigeração em mais de 5°C. É melhor ter vários circuitos independentes do que um único muito longo.

Se o aquecimento do fluido de refrigeração for muito grande, a uniformidade de temperaturas será obviamente menor. Além disso, a existência de circuitos independentes pode permitir ter diferentes temperaturas no molde. Por exemplo, uma temperatura ligeiramente mais baixa, em zonas onde é necessário retirar mais calor (por exemplo, zonas mais espessas da peça) e, ligeiramente mais alta, onde seja necessário retirar menos calor, contribuindo assim, para um resfriamento mais uniforme.

3. Todos os circuitos de refrigeração devem ser numerados para fácil e clara identificação, quer no desenho do molde, quer em gravações marcadas no exterior do próprio molde. Todas as entradas deverão ter marcadas a designação IN x e as saídas, designação OUT x (onde x é o número da entrada/saída).

Nem sempre as entradas e as saídas do circuito de refrigeração estão perto umas das outras, o que pode levar a enganos na sua ligação, mesmo que o operador tenha à mão um esquema das ligações. A marcação no molde do número da entrada e da saída, permite que não haja enganos na ligação dos circuitos de refrigeração e que as entradas correspondam efetivamente às saídas e assim, o fluido possa circular no sentido desejado.

O fluido de refrigeração que circula no molde em circuito fechado, deve passar por um termoregulador e por um regulador de vazão. O sentido de circulação deve ser: termoregulador, entrada no molde, saída do molde, regulador de vazão, termoregulador. Com este sistema, garante-se que os canais estão sempre cheios e, como tal, a transferência de calor é mais eficiente.

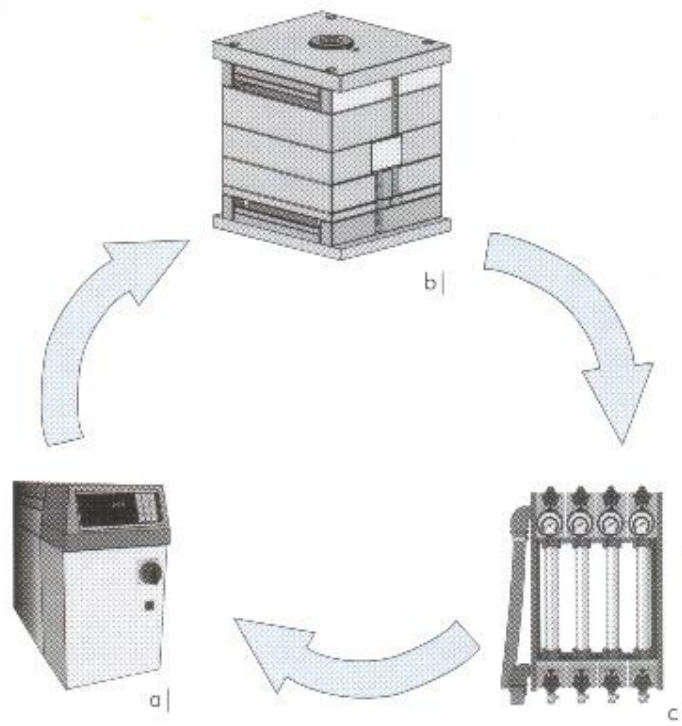


Fig. 7.2 – Esquema da circulação do fluido de refrigeração
a) Termoregulador; b) Molde; c) Regulador de caudal

4. Deve ser evitada a localização de entradas e saídas de refrigeração no topo do molde. Nos casos em que tal não seja possível, deve existir um rasgo de drenagem para os lados do molde. As entradas e saídas de refrigerante devem ser feitas preferencialmente na parte de trás do molde (lado oposto ao operador na máquina de injeção) ou, como segunda opção, na parte inferior.

As ligações são mais fáceis de fazer nas paredes laterais do molde do que nos topos onde, normalmente, o acesso está mais dificultado (principalmente na parte inferior) pela estrutura da máquina e pelas guias (quando os há). Desta forma, a observação, por parte do operador, das indicações das entradas e saídas será mais fácil. As ligações no topo do molde devem ser evitadas, devido a eventuais fugas de água, a qual poderia “escorrer” para as cavidades, manchando as peças. Nos casos em que isto tenha de acontecer, devem-se utilizar ligações rápidas anti-gotejamento.

As ligações do lado do operador também devem ser evitadas, para que não existam mangueiras na parte da frente, que possam vir a atrapalhar eventuais operações que tenham que se fazer no molde.

5. As ligações do sistema de controle de temperatura com o exterior do molde devem ser feitas com peças normalizadas (de acordo com o mercado a que o molde se destina), preferencialmente do tipo rápido e devem ser localizadas em caixas usinadas no interior do molde, isto é, de forma a não ficarem salientes da sua superfície exterior. Estas ligações devem ter uma dimensão que não constitua uma restrição à circulação do refrigerante.

O fato de se fazerem as ligações em caixas usinadas no interior do molde, permite proteger estas peças de eventuais pancadas que possam sofrer e que as iriam danificar. Isto mostra-se particularmente importante nas ligações na parte inferior do molde, não sendo aceitável que o molde seja colocado apoiado nestas ligações, pois poderiam danificar-se ou como a própria instabi-

lidade com que o molde ficaria, seria muito perigosa. No caso de ser completamente impossível colocar as ligações dentro de caixas, o molde deve ser dotado de pés que funcionem como pontos de apoio.

6. O uso de ligações de água com vedantes (O-rings) deve, em princípio, ser evitado. Quando isso não for possível (o que acontece sempre que as linhas de água são usinadas na superfície de postigos, ou passam de uma chapa para outra ou para um postigo) deve-se usar tipos normalizados, resistentes ao calor e seguir rigorosamente as indicações do fornecedor quanto a dimensões para as caixas respectivas.

Para que os vedantes funcionem corretamente têm que estar ligeiramente comprimidos, para assim, fazerem pressão nas paredes e, conseqüentemente, vedarem a passagem do fluido de refrigeração.

Se as caixas para alojamento dos O-rings forem mais profundas do que o recomendado, a compressão é insuficiente e, como tal, a vedação pode ser deficiente. Se forem menos profundas, a compressão é exagerada, tornando a montagem mais difícil, podendo assim, danificar mais facilmente o O-ring.

7. Em média, as linhas de água deverão estar a uma distância mínima de 4 mm dos extratores (ou de qualquer furo que lhes seja perpendicular, parafusos, guias, etc.) e a 15 mm das superfícies moldantes ou do extrator das chapas do molde.

Deve-se notar que estes valores são meramente indicativos e devem variar com a profundidade do furo. Isto é, quanto maior este for, maiores devem ser os valores indicados, resultado do oscilação da broca ou lança de furar, que é tanto maior, quanto mais comprida estas forem.

ARQUITETURA

A arquitetura dos sistema de resfriamento depende principalmente da forma da peça (deve acompanhar a forma da peça da melhor forma possível) e das suas dimensões, porque elas condicionam o “espaço” existente para a sua implementação.

Se para o resfriamento do “exterior” da peça (isto é, da cavidade) não há, normalmente, grandes problemas, uma vez que o “espaço” se pode criar, já o mesmo não se pode dizer do resfriamento do “interior” das peças (isto é, dos machos ou dos elementos móveis) em que o espaço está definido. Para dificultar as coisas, são estes elementos que normalmente necessitam de uma maior remoção de calor.

Convém ainda referir, que este sistema não funciona sozinho no molde, e como tal, tem de “conviver” com os outros elementos funcionais, principalmente o sistema de alimentação e o sistema de extração. Se com o primeiro não há, normalmente, grandes problemas de interferência, o mesmo não se pode dizer em relação ao segundo, levando a que o projeto do sistema de controle de temperatura tenha de ser uma solução de compromisso entre o ideal e o que é possível de realizar.

FURAÇÕES DE ÁGUA PARA CAVIDADES

CIRCUITO EM U

Este tipo de circuito é geralmente usado para refrigeração de cavidades longas e estreitas. A conexão entre as duas “pernas” do U pode ser feita das seguintes maneiras:

- a) conexão do circuito por mangueira - a ligação dos canais é feita fora da placa recorrendo-se a uma mangueira. Esta solução é extremamente econômica, mas de baixa eficiência e, além disso, apresenta o problema da mangueira estar fora do molde, o que implica

que na montagem do molde se tenham de fazer mais ligações ou, se estas ficarem sempre no molde, há o perigo de se danificarem, quer no transporte, quer na montagem do molde.

- b) Furação cruzada – é feita uma furação de forma a promover a ligação interna dos canais de refrigeração, posteriormente o circuito é fechado com um parafuso tampão. É a solução mais eficiente e aquela que apresenta menores problemas de vazamentos.

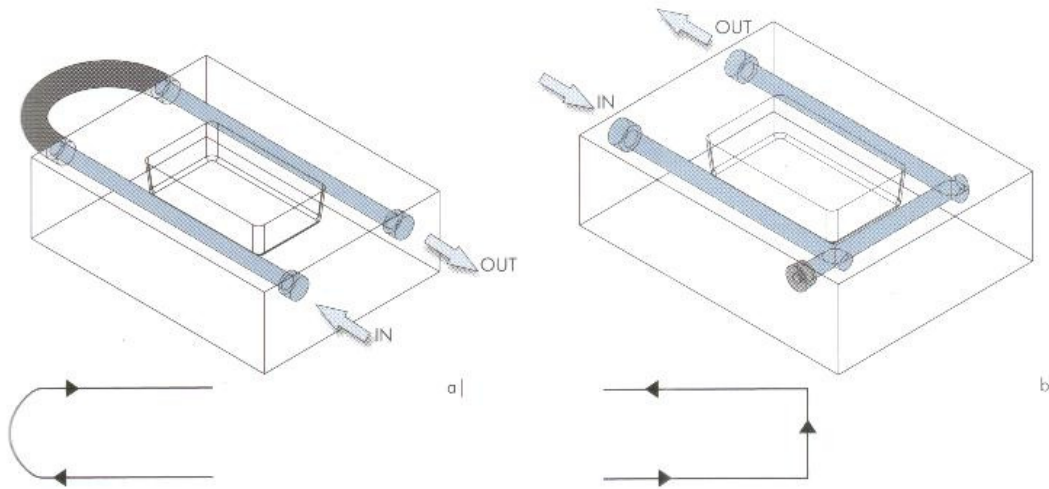
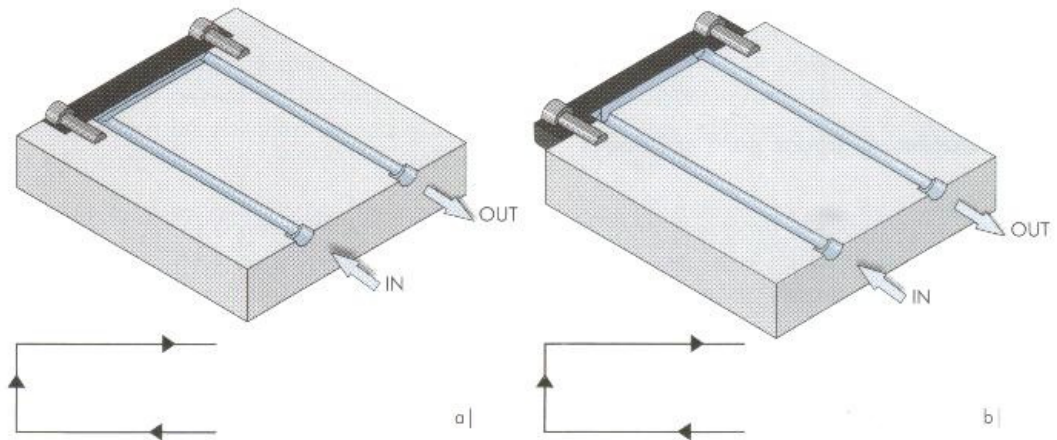


Fig. 7.3 – Circuito em U
a) Ligação exterior por mangueira; b) Furação cruzada

- c) Placa de conexão – é aberta uma caixa para a colocação da placa de conexão na face da placa do molde. A fixação é promovida por parafusos e, para vedar, recorre-se a uma junta de vedação. O mesmo sistema pode ser integrado sem abertura de uma caixa na placa do molde, feita do mesmo modo, havendo o rasgo de conexão na placa de conexão. A fixação é feita do mesmo modo, mas a vedação não é tão eficiente comparativamente à solução de caixa.



CIRCUITO EM Z (ZIG-ZAG)

Este tipo de circuito é geralmente usado para refrigeração de cavidades com grandes áreas. O circuito é basicamente uma variação do circuito em U, com várias interligações.

Neste tipo de circuito deve-se procurar que o número de canais seja sempre par, para que a entrada e a saída estejam para o mesmo lado. De preferência, para o lado do operador.

Para evitar que haja um progressivo aumento de temperatura do fluido de refrigeração ao longo do circuito (da entrada para a saída), deve-se evitar que o circuito tenha muitos canais, com as vantagens e inconvenientes indicados anteriormente.

Nas figuras representa-se um circuito com configuração em Z para um molde com duas cavidades. Os circuitos devem ser simétricos (b), isto é, com as entradas “no centro” e as saídas nos extremos, ou vice-versa, podendo, ou não, ser espelhados (a).

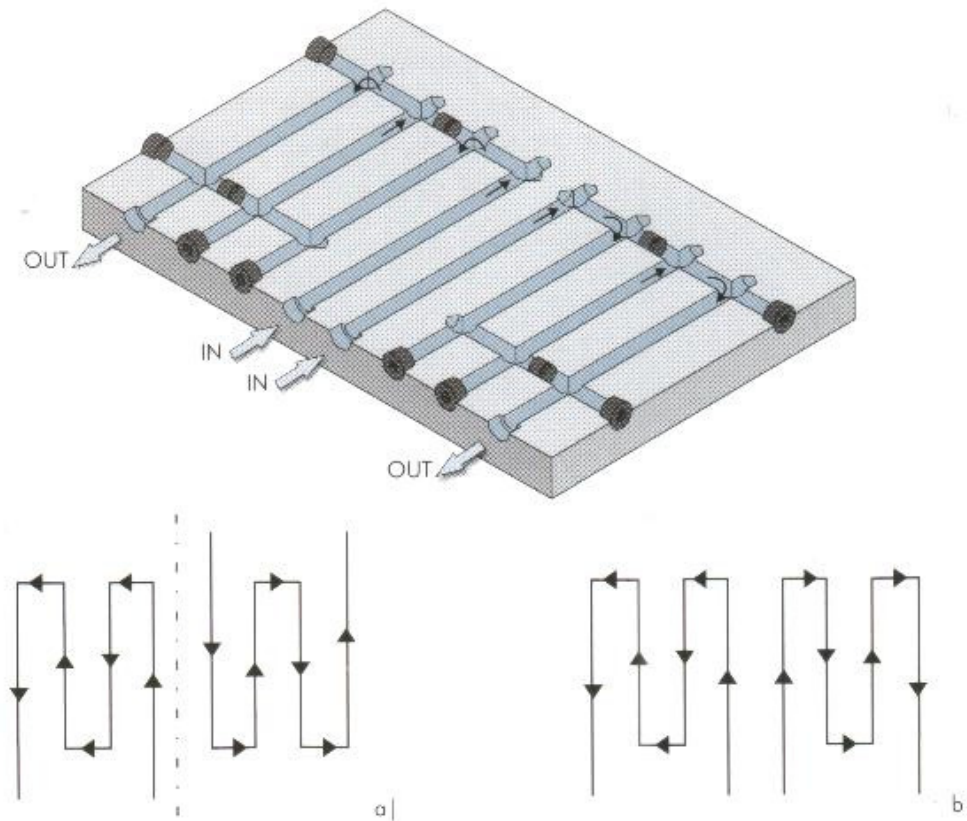


Fig. 7.6 – Circuitos com configuração em Z
 a) Circuito simétrico espelhado; b) Circuito simétrico

A opção (b) é normalmente a melhor, por ter as entradas e saídas para o mesmo lado. A opção (a) (espelhamento), pode ser boa quando se tratam de peças simétricas (direita-esquerda), conseguindo-se assim, um resfriamento mais uniforme das peças. Neste caso, há o inconveniente dos circuitos terem as entradas e saídas em lados opostos.

Para configurar os circuitos em Z, é necessário recorrer-se a tampões de fechamento, de forma a criar os desvios de percurso necessários e, ao mesmo tempo, garantir a vedação do circuito.

CIRCUITO PARA CAVIDADES RETANGULARES

Este tipo de circuito é usado para o resfriamento das paredes laterais de peças retangulares, permitindo um controle térmico mais uniforme do que o circuito em U, em que uma das faces da peça não seria refrigerada.

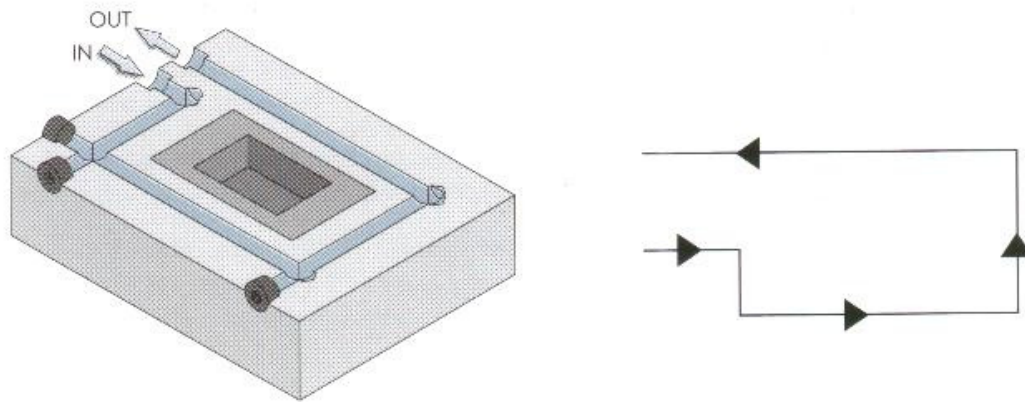


Fig. 7.7 – Circuito rectangular

Nestes circuitos, para que o resfriamento seja o mais uniforme, a distância entre os canais de entrada e de saída deve ser o menor possível, isto é, o “retângulo” deverá ser o mais fechado possível. Contudo, deve-se ter em atenção que, para permitir fazer as ligações, tem que haver uma certa distância entre a entrada e a saída, de acordo com as dimensões dos bocais de ligação.

Para as cavidades profundas, há necessidade de dispor os circuitos por diferentes níveis. Note-se que o mesmo sistema poderá ser feito considerando circuitos independentes, um para cada nível. Isto tem como único inconveniente a existência de muito mais entradas e saídas, logo, mais ligações. Por outro lado, apresenta a vantagem de o fluido de refrigeração ter um período menor de residência dentro do molde, logo, a diferença de temperatura entre a entrada e a saída ser menor e, portanto, ter uma distribuição de temperaturas mais uniforme. A opção por um ou outro tipo de sistema, deve ser principalmente em função do tamanho da peça. Quanto maior esta for, mais circuitos independentes deverão existir.

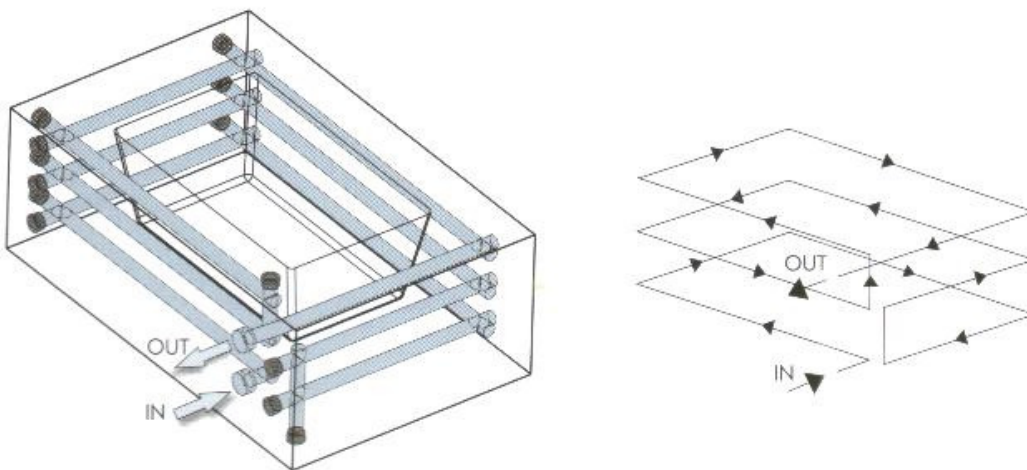


Fig. 7.8 – Circuito rectangular disposto em diferentes níveis (alturas)

Para o resfriamento do fundo podem ser usados circuitos em U ou em zig-zag conforme o tamanho da peça.

CIRCUITO PARA CAVIDADES CIRCULARES

No caso de peças circulares, o resfriamento com canais “retos” não é aconselhável, já que estes não permitem acompanhar a forma da peça e, portanto, provocam um resfriamento não uniforme. Como consequência, as peças sairiam deformadas.

Assim, uma solução seria a de usinar as cavidades em postigos circulares, sendo os canais de resfriamento usinados na sua superfície, permitindo assim, que estes acompanhem a forma da peça.

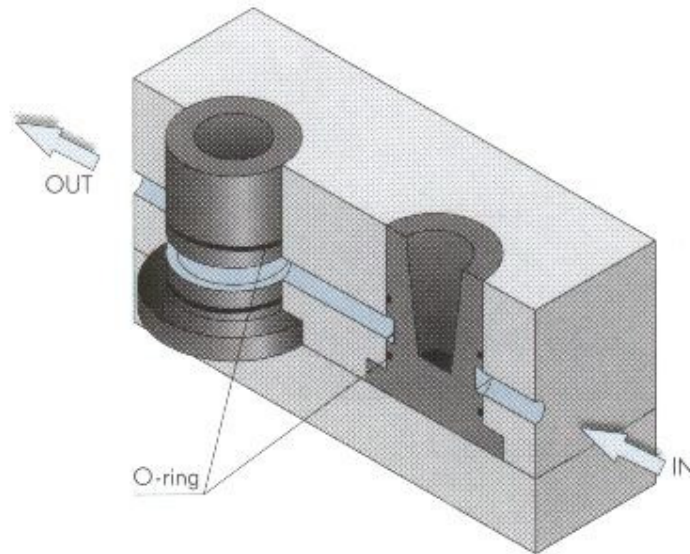


Fig. 7.9 – Sistema de controle de temperatura para cavidades circulares (peça maquinada num postigo)

Neste tipo de circuito, como os canais estão usinados na superfície do postigo, há sempre a necessidade de se usarem vedantes (O-rings) para fazer a vedação do fluido de refrigeração.

Neste tipo de circuito, o fluido de refrigeração pode entrar por um lado e sair pelo outro (percurso contínuo), ou divergir, contornando o postigo pelos dois lados, como se pode ver, de uma forma esquemática.

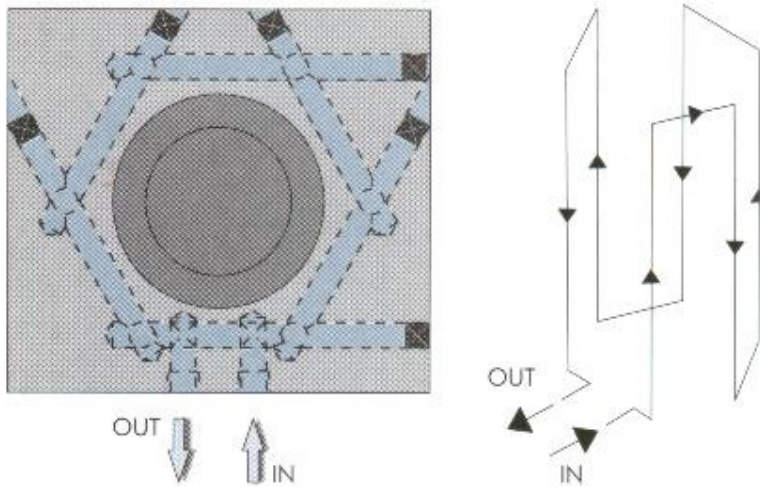


Fig. 7.11 – Sistema de controle de temperatura alternativo

COLOCAÇÃO DE PLACAS DE REFRIGERAÇÃO

As placas de refrigeração, com o circuito de refrigeração já usinado, podem ser fixados às placas do molde através de parafusos ou por meio de solda. A vedação é promovida por uma junta de vedação, à semelhança das utilizadas nas juntas da cabeça dos motores ou por vedantes (O-rings). Esta solução de refrigeração recomenda-se quando se pretende um controle de temperatura individual de cada parede da cavidade. Este tipo de refrigeração, pouco usado em moldes de injeção, é principalmente usado em moldes de sopro.

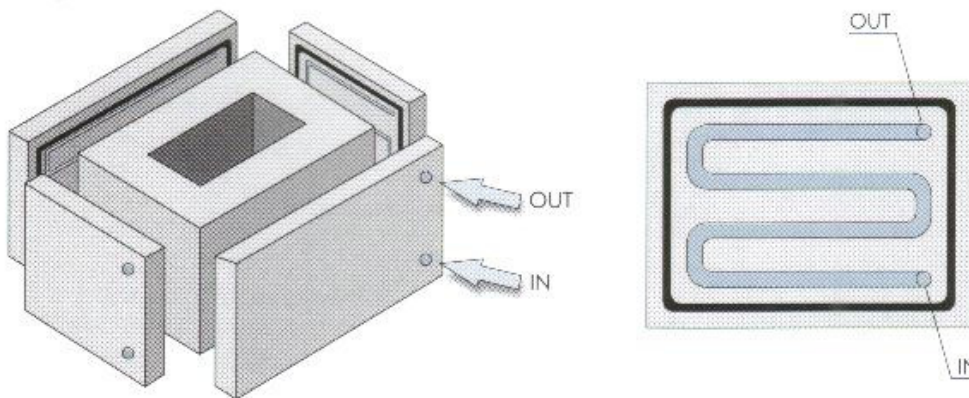


Fig. 7.12 – Placas de refrigeração

USO DE TUBOS DE COBRE

Uma alternativa para refrigerar peças usinadas em posições montados em caixas abertas na chapa, pode ser a utilização de tubos de cobre conformáveis, como é mostrado abaixo.

A folga entre as caixas e o tubo de cobre deve ser preenchida com uma liga metálica de baixo ponto de fusão, para melhorar a transferência de calor entre o postigo e os tubos de cobre. Uma variante a esta opção, é usar os canais de refrigeração na placa e fechar com uma outra placa o circuito de refrigeração. A união entre as placas pode ser efetuada através de solda, à semelhança do que é feito para as resistências conformáveis nos distribuidores. A cavidade poderá ser aberta posteriormente na parte superior da placa.

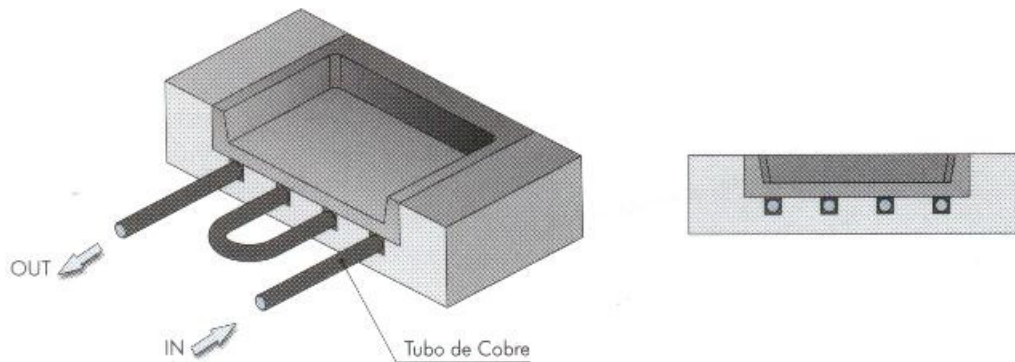


Fig. 7.13 – Circuito de refrigeração recorrendo a tubos conformados em cobre

UTILIZAÇÃO DE PLACA DE REFRIGERAÇÃO EM LIGAS DE ALTA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Quando uma cavidade ou macho tem muitos postiços, extratores, parafusos, etc., não restando espaço para a circulação de refrigeração, pode-se utilizar uma placa de refrigeração. Esta placa é somente atravessada pelos furos para extratores.

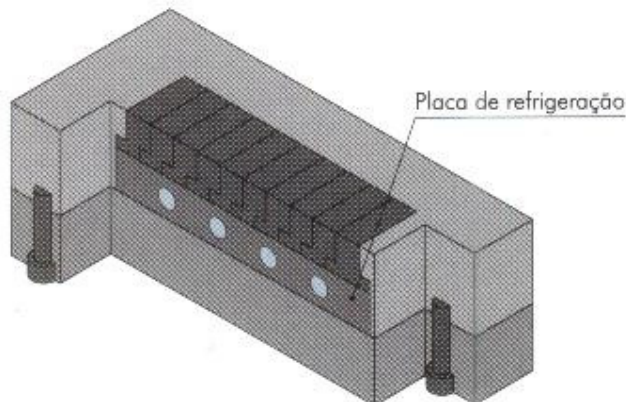


Fig. 7.14 – Utilização de placa de refrigeração em ligas de alta condutibilidade térmica

FURAÇÕES DE ÁGUA PARA MACHOS

O principal problema com a refrigeração de machos deve-se com as suas dimensões e com a compatibilização entre o sistema de controle de temperatura e o sistema de extração.

Além dos tipos de circuitos para as cavidades (que podem ser usados principalmente no caso de machos baixos), existem outros tipos de soluções que permitem refrigerar de uma forma mais eficiente os machos, principalmente, no caso de estes serem altos.

A utilização de outra solução depende, sobretudo, das dimensões do macho.

CIRCUITO DE ÁGUAS ABERTOS EM ESPIRAL

No caso de machos circulares baixos de grande dimensão, pode ser usado um circuito em espiral como o mostrado abaixo. O número de espiras dependerá da dimensão do macho. Este tipo de circuito promove uma distribuição de temperatura bastante uniforme. Apresenta no entanto alguns inconvenientes, como a necessidade de maior tempo para usinagem em comparação com os canais obtidos por furação.

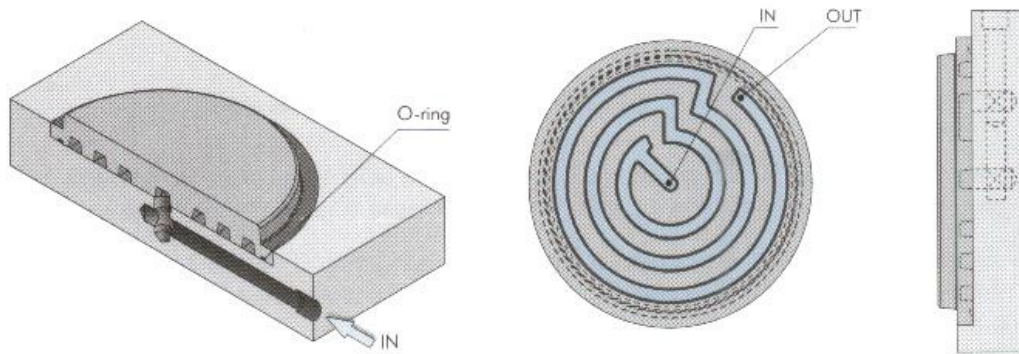


Fig. 7.15 – Circuito em espiral

No caso de machos retangulares, pode ser usado o mesmo tipo de circuito em que as furações em vez de serem circulares serão retangulares, acompanhando a forma das peças.

CIRCUITO DE ÁGUAS COM CANAL HELICOIDAL

No caso de machos altos, em que também há necessidade de refrigerar as paredes laterais das peças, poder-se-á utilizar um canal helicoidal, como mostrado abaixo.

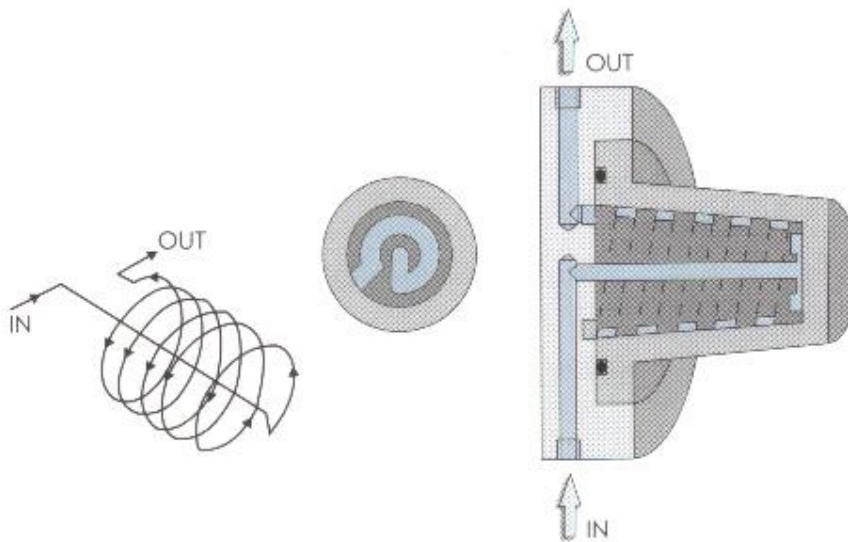


Fig. 7.16 - Circuito de água com canal helicoidal

Dependendo da dimensão do macho, este circuito poderá ser associado/complementado com um circuito em espiral para a refrigeração do fundo da peça.

Note-se que este tipo de circuito pode ser utilizado para qualquer forma de peça, não tendo de ser necessariamente circular. Para isso, basta que o postigo que se coloca no macho, onde é usinado o circuito de controle de temperatura, tenha a forma pretendida que, como já foi referido, deve ser a que melhor acompanhe a da peça.

Neste tipo de circuitos, também se podem utilizar componentes de refrigeração normalizados, principalmente, no caso de peças circulares.

Estes componentes, com diâmetros que variam entre os 12 e os 50mm, podem ser helicoidal simples ou dupla. No primeiro caso, o fluido de refrigeração entra pelo centro e desce pela helicoidal (espiral vertical) e, no segundo caso, sobe por uma helicoidal e desce pela outra.

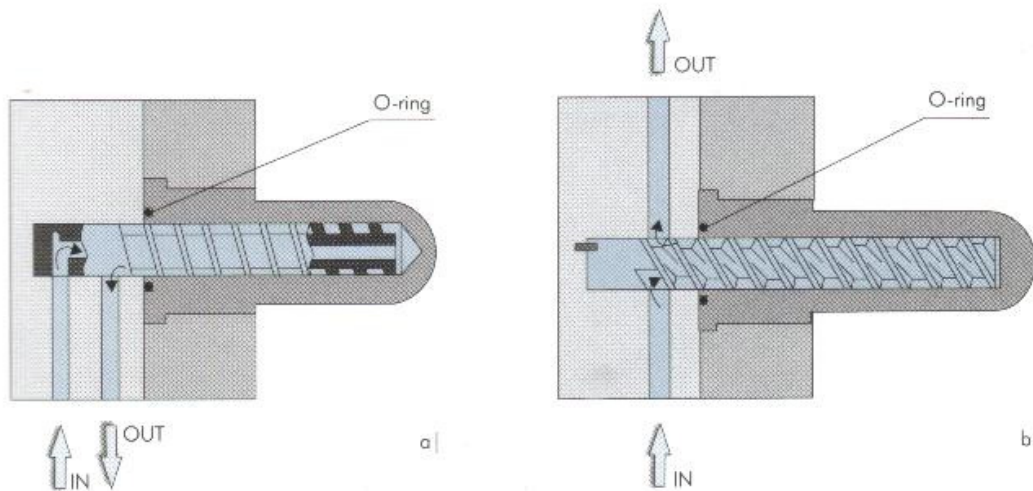


Fig. 7.17 – Diferentes tipos de circuitos de águas com núcleo de refrigeração helicoidal
a) Helicoidal simples; b) Helicoidal dupla

As soluções até agora apresentadas para refrigeração de machos requerem a utilização de postiços dentro do macho, para criar os canais do circuito de controle de temperatura. Contudo, podem ser utilizadas outras soluções para a refrigeração de machos profundos que não requerem a utilização de postiços, tais como: usinados no macho e circuitos de águas inclinados (dependendo da forma da peça).

CIRCUITO DE ÁGUAS USINADOS NO MACHO

Neste caso, o circuito é usinado diretamente no macho. Como este é alto, vai obviamente furá-lo, o que, à primeira vista, seria inaceitável.

Contudo, é sempre possível fechar o circuito com um tampão de fechamento e depois encher o espaço novamente ao tampão com uma liga de baixo ponto de fusão ou colocar um “taco”, de forma a tornar o macho novamente “liso”.

Esta solução tem como vantagem evitar o postiço inferior, mas como grande desvantagem, o fato de deixar sempre uma pequena marca na peça ou afetar o brilho. Isto poderá ser especialmente visível no caso de peças transparentes.

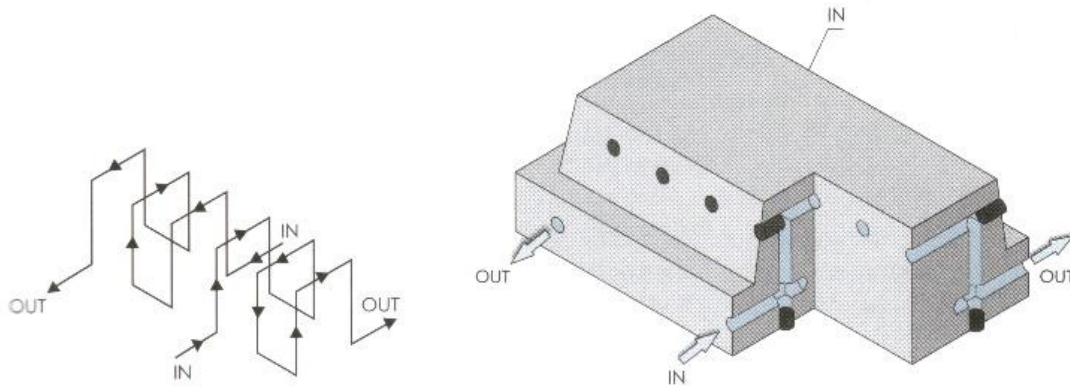


Fig. 7.18 – Circuito de água maquinado directamente na bucha

CIRCUITO DE ÁGUA INCLINADO

Outra solução é a usinagem de furos inclinados no topo, evitando desta forma, furar a parte lateral do macho e os defeitos na peça.

O grande inconveniente desta solução é que, a não ser para formas muito particulares do macho, muito dificilmente o circuito acompanhará a forma da peça e, como tal, o resfriamento será pouco uniforme.

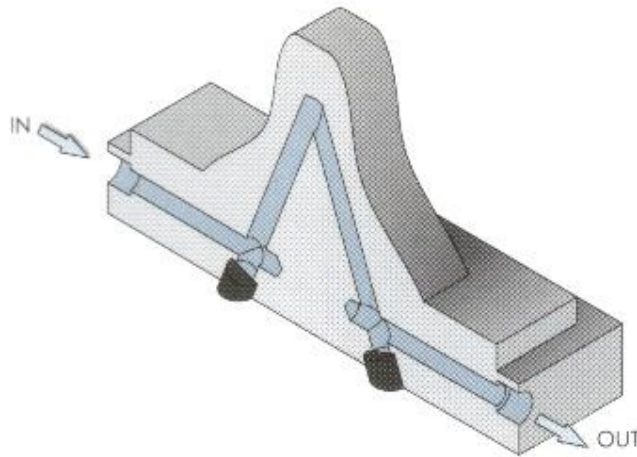


Fig. 7.19 – Circuito de águas inclinadas

CIRCUITO DE ÁGUAS EM CASCATA COM NÚCLEO DE REFRIGERAÇÃO

Uma outra alternativa é a utilização de um circuito em cascata com núcleo de refrigeração, também designado por sistema borbulhante.

Este sistema consiste fundamentalmente, na introdução de um tubo no interior de um furo, por onde entra o fluido de refrigeração que depois “escorre” pela paredes e sairá por um canal de saída.

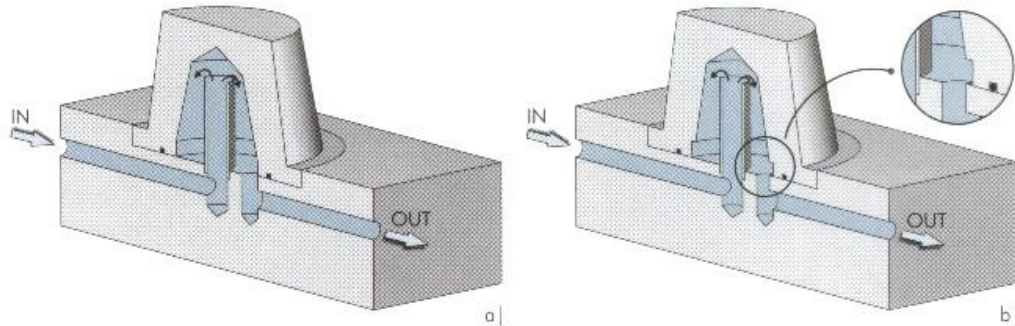


Fig. 7.20 – Circuitos de águas em cascata com núcleo de refrigeração
a) Concepção recomendável; b) Concepção a evitar

Nestes sistemas deve-se ter especial atenção no projeto e na fabricação para evitar a formação de possíveis bolsas de ar na base da câmara do macho, que podem provocar perfis de temperaturas pouco uniformes.

Este sistema também pode ser utilizado em cavidades, principalmente quando se pretende levar a refrigeração a algum lado que, pela falta de espaço, não permite criar um canal de retorno. Assim, consegue-se “levar” e “trazer” a água num só furo.

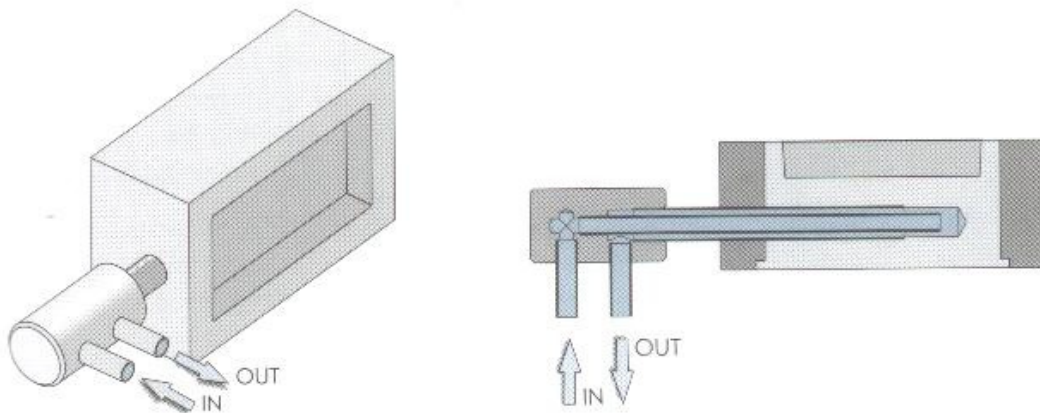


Fig. 7.21 – Circuito de água em cascata com núcleo de refrigeração na cavidade

CIRCUITO DE ÁGUAS EM CASCATA COM LÂMINA SEPARADORA (PALHETA)

Uma alternativa ao circuito apresentado anteriormente é a utilização de lâminas separadoras.

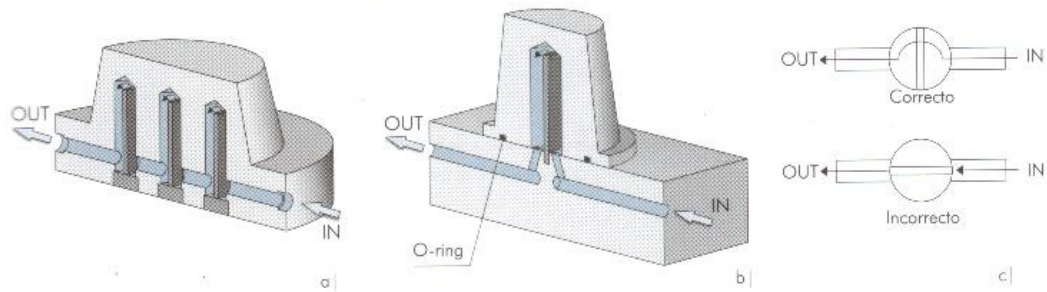


Fig. 7.22 – Circuito de água em cascata com lâminas separadoras ou desviadoras: a) Lâmina separadora com cabeça rosçada; b) Lâmina simples; c) Montagem correcta e incorrecta da lâmina separadora

Neste tipo de circuitos deve-se ter particular atenção à montagem da lâmina separadora. Ela deve ficar “perpendicular” ao furo de passagem para o obstruir, obrigando, assim, o fluido de refrigeração a “subir” por um lado e “descer” pelo outro e que não fique “alinhada” com o furo de passagem.

Este circuito também pode ser usado para refrigerar zonas do molde onde a falta de espaço não permita criar o canal de retorno.

Cavidades profundas também podem recorrer ao sistema de águas em cascata com lâminas separadoras para a refrigeração, por exemplo, de cavidades cilíndricas.

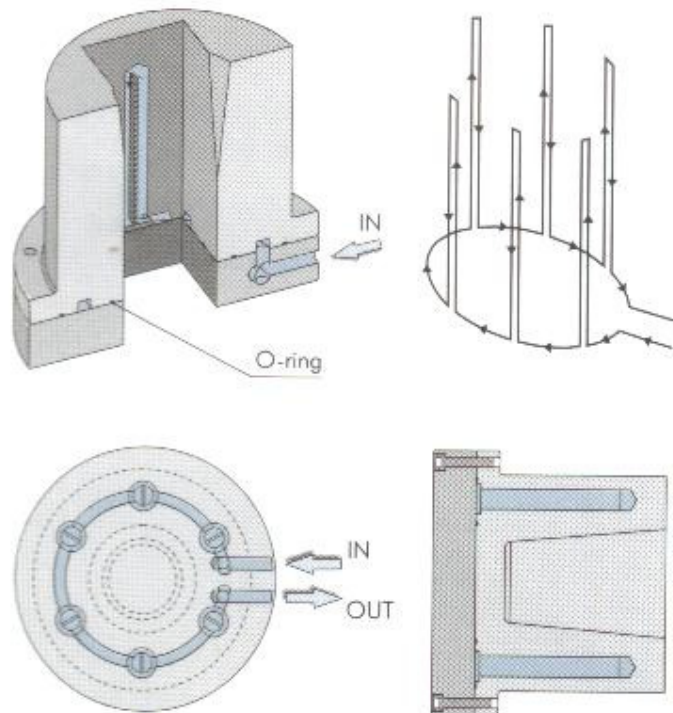


Fig. 7.23 – Circuito de água em cascata com lâminas separadoras de uma cavidade

As lâminas separadoras podem ser planas ou torcidas em espiral, o que as torna mais eficientes devido à maior turbulência induzida.

CIRCUITO DE ÁGUAS COM PINO TÉRMICO

Se as dimensões interiores das peças forem muito pequenas, impossibilitando a utilização de qualquer dos sistemas anteriormente referidos, existe ainda a possibilidade de utilização de pinos térmicos.

No mercado encontram-se pinos térmicos com diâmetros de 2 a 12 mm e comprimento que variam entre 25 e 250 mm.

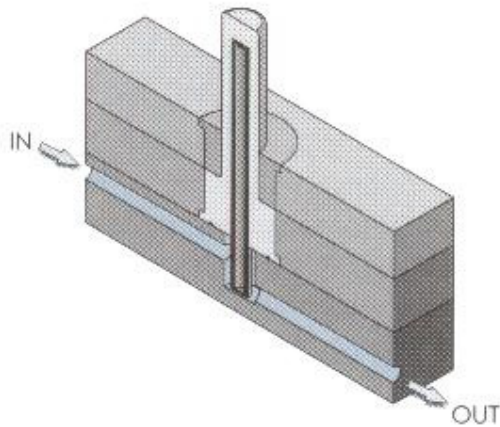


Fig. 7.25 – Circuitos de águas com pino térmico.

Os pinos térmicos são tubos que têm no seu interior um fluido e pequenos canais capilares.

Numa extremidade, onde está a fonte de calor, o fluido vaporiza e desloca-se para a outra extremidade que está mergulhada na água (fonte fria). Aí o fluido perde calor e condensa, voltando por capilaridade, para a outra extremidade, onde volta a vaporizar e assim sucessivamente. O fluido fica por isso, em constante movimento procurando uniformizar a temperatura ao longo do comprimento do pino térmico.

Como numa das extremidades o fluido de refrigeração está constantemente a passar a uma temperatura controlada, o que lhe retira o calor, este é obrigado a uniformizar a temperatura retirando assim, o calor das zonas junto à peça.

A eficiência dos pinos térmicos é muito mais elevada que a da água. O seu principal inconveniente é o fato de não poderem ser cortados (ajustados a altura) e, para serem eficientes, devem ter $\frac{1}{4}$ do seu comprimento “banhado em água”, o que pode condicionar, em certa medida, o projeto do molde. Isto é, enquanto que os sistemas borbulhantes ou as barras deflectoras podem ser cortadas para se adaptarem às dimensões do molde, os pinos térmicos, como não podem ser cortados, é o molde que terá de se adaptar às suas dimensões.

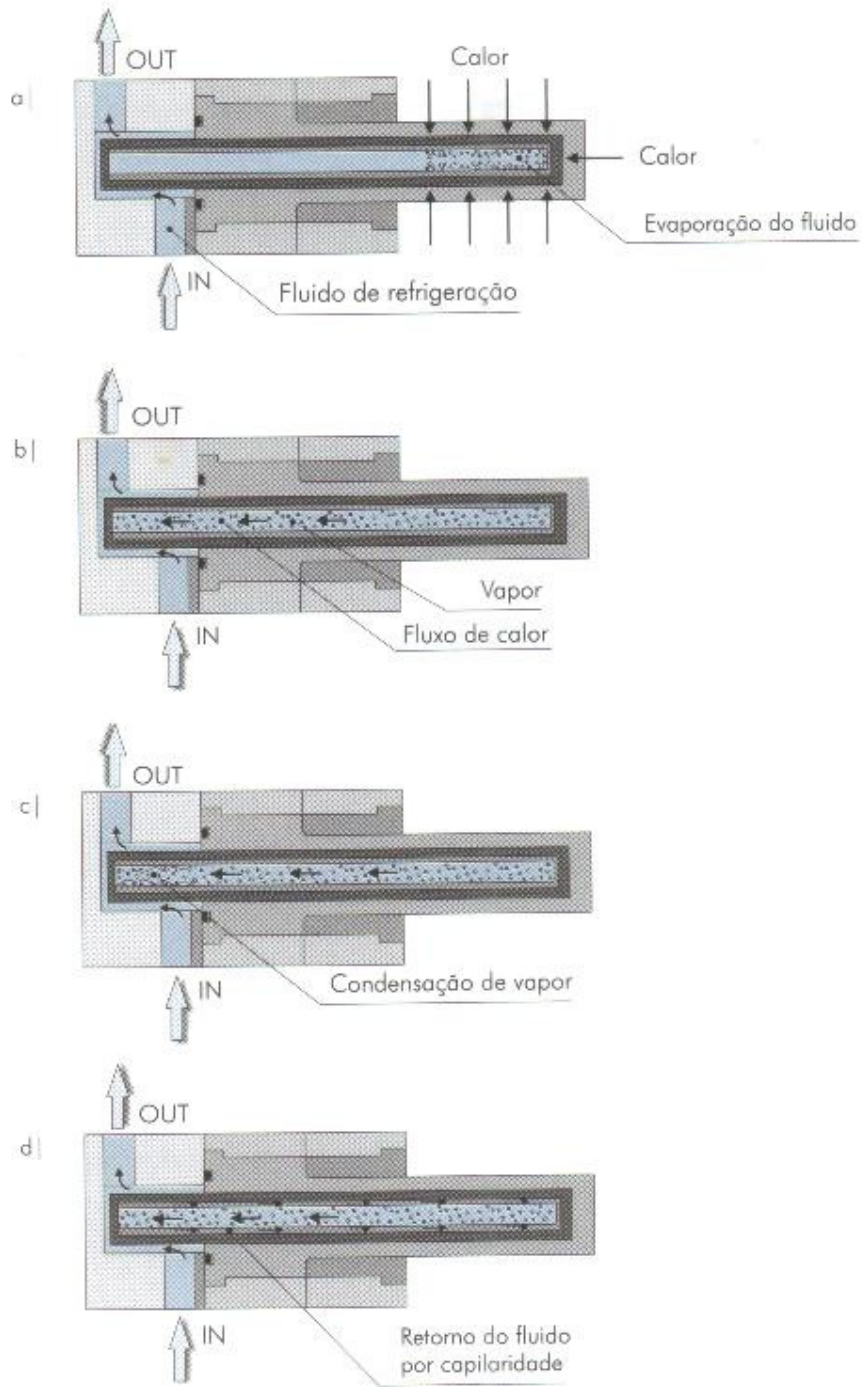


Fig. 7.26 – Funcionamento dos pinos térmicos
a) Vaporização; b) Deslocação do vapor; c) Condensação; d) Retorno do fluido por capilaridade

UTILIZAÇÃO DE MATERIAS ALTERNATIVOS

No caso de machos com espessuras ou diâmetros muito pequenos não é possível utilizar nenhum dos sistemas descritos anteriormente.

Uma solução será a utilização de materiais alternativos que tenham condutividade térmica mais elevadas, como por exemplo, as ligas de cobre (cobre-berílio, cobre-níquel, cobre-titânio, etc.), cuja condutividade é até duas vezes superior à do alumínio e 4 a 10 vezes superior à dos aços.

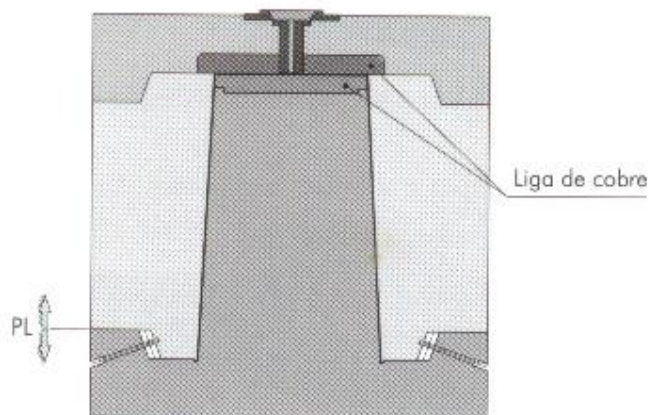


Fig. 7.27 – Aplicação de postigos em ligas de cobre

Para tornar ainda mais eficiente a refrigeração dos postigos feitos nestes materiais, devem ser usinados furos de refrigeração junto à sua base.

No caso de machos de médias/grandes dimensões (por exemplo, moldes para a produção de caixotes ou similares), o topo do macho deverá levar um postigo numa liga de cobre para melhorar o resfriamento e, obter assim, ciclos de produção mais rápidos.

CIRCUITO DE ÁGUAS EM MOLDES COM INSERTOS (POSTIÇOS) INTERCAMBIÁVEIS

No caso de moldes em que se pretenda utilizar a mesma estrutura para fazer diferentes peças, (por troca de postigos) poderá ser conveniente que os circuitos de água estejam na chapa em vez de estarem no postigo, para uma maior facilidade na sua troca.

Neste caso, os postigos devem ser montados numa caixa aberta na estrutura e apertados pela frente, para possibilitar a sua troca com o molde montado na máquina.

Nesta solução, que só deve ser utilizada em cavidades e em machos pouco profundos (já que estas não terão refrigeração direta), a configuração dos circuitos pode ser em U, em Z, retangular ou por níveis.

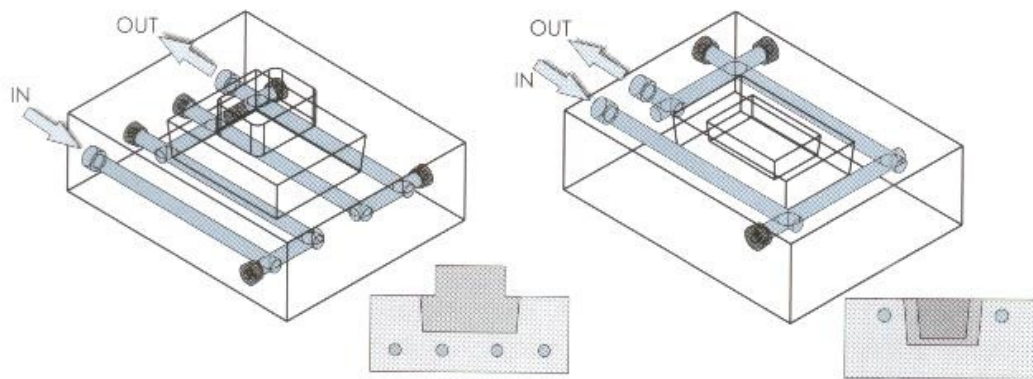


Fig. 7.28 – Diferentes aplicações em pastilhas de cavidade e bucha baixos

REFRIGERAÇÃO DE OUTRAS PARTES DO MOLDE

Além das placas das cavidades, dos machos e dos insertos poderá haver necessidade de manter um controle térmico em outras zonas do molde, como por exemplo, em outras placas do molde, nos elementos móveis ou em alguns tipos de extratores, como nos extratores de válvulas ou nos articulados.

Outras placas do molde

Normalmente, em moldes multi-placas, esta situação é pertinente, particularmente nas placas extratoras e nas placas com os canais de alimentação. Nestes casos, um controle de temperatura separado é recomendável para obtenção de ciclos produtivos mais otimizados.

Elementos móveis

Para controle de temperaturas nos elementos móveis (gavetas), é possível integrar a maioria das soluções apresentadas anteriormente. A escolha da melhor solução prende-se principalmente como a forma e o tamanho do elemento móvel.

No caso do controle de temperatura nos elementos móveis é necessário ter especial atenção aos acoplamentos das mangueiras, para evitar que estas se dobrem no interior do molde. Para evitar que isso possa acontecer, recomenda-se a utilização de records de alongamento até à face do molde.

Nestes casos, deve-se ter particular atenção aos blocos de travamento, para que estes não esmaguem os records de alongamento. Assim, deve fazer-se com que estes passem “por baixo” dos blocos de travamento ou abrindo rasgos com a altura suficiente, de forma a acomodar os records.

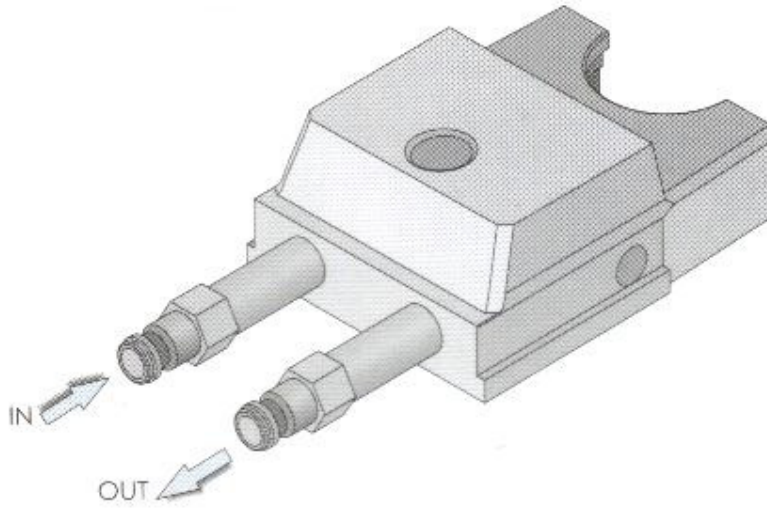


Fig. 7.29 – Utilização de records de alongamento nos elementos móveis

Extratores de válvula

Nesta situação recorre-se a diferentes sistemas de controle de temperatura: circuitos de águas com núcleo de refrigeração que passa pela haste da válvula (a) e, para situações de necessidade de refrigeração da cabeça da válvula, circuitos de águas retangulares ou circulares abertos na cabeça do extrator de válvula (b) e (c).

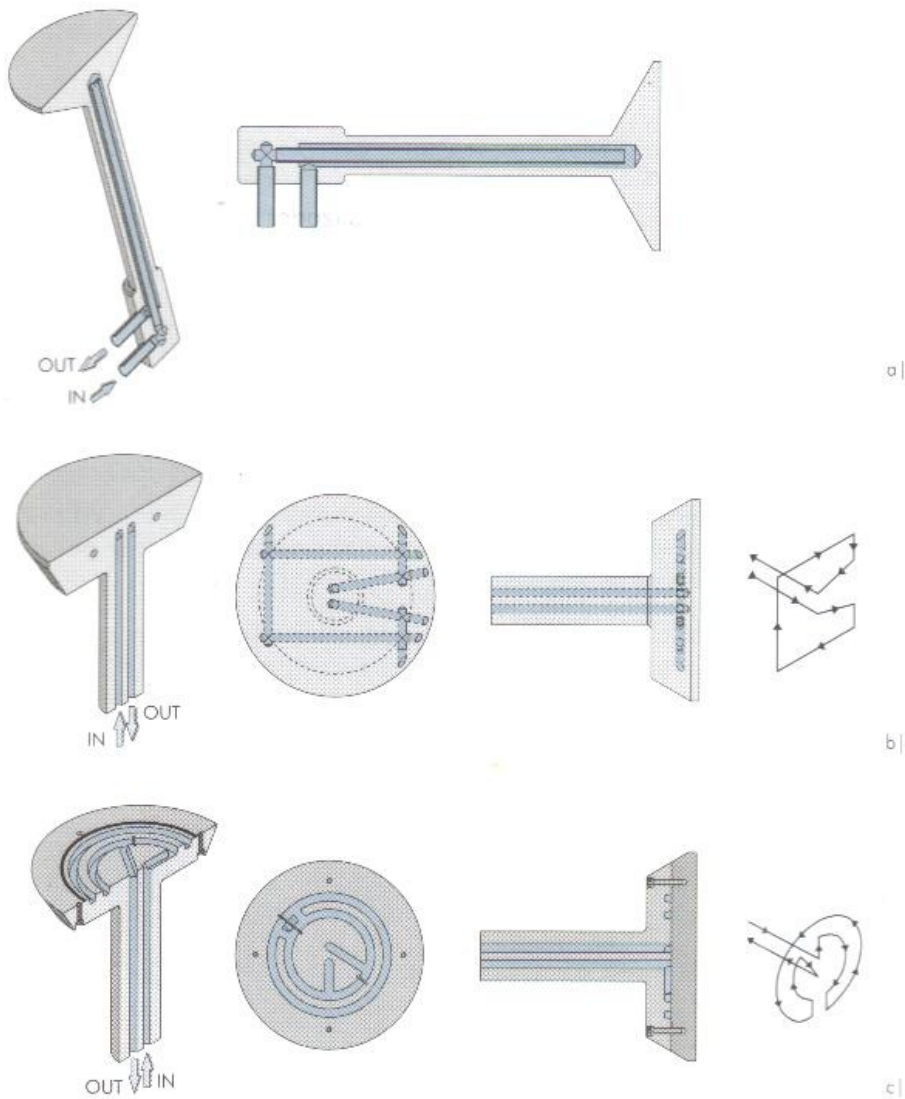


Fig. 7.30 – Sistema de refrigeração para extractores de válvula:
 a) Circuito de água com núcleo de refrigeração na haste da válvula; b) Circuito de água rectangular na cabeça da válvula;
 c) Circuito de água circular na cabeça da válvula

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO

Durante o processo de moldagem, as temperaturas em diferentes partes do molde oscilam devido ao ritmo regular do ciclo e também devido a modificações que se façam nas condições de processamento. A modelagem exata do processo de resfriamento, se possível, envolveria uma quantidade de trabalho matemático impossível em termos práticos. Por isso, costumam aceitar-se algumas hipóteses simplificativas que não só tornam o problema simplificado como não afetam, de maneira significativa, os resultados que tem termos práticos continuam a ser satisfatórios.

Assim, as simplificações implícitas na análise seguinte são:

- a) o processo é quase estático;
- b) as flutuações nas temperaturas e nos fluxos térmicos durante os ciclos são desprezáveis;
- c) consideram-se os valores médios das propriedades durante os períodos em questão.

Para efeitos de balanço térmico no molde, considera-se como positivo o calor recebido pelo molde e como negativo, o calor cedido.

$$Q_T = Q_{pol} + Q_{resf} + Q_{amb} = 0$$

onde:

$$Q_{amb} = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad}$$

sendo:

- Q_T = quantidade de calor total envolvido na moldagem
- Q_{pol} = quantidade de calor do polímero plastificado
- Q_{resf} = quantidade de calor retirado pelo sistema de resfriamento
- Q_{amb} = quantidade de calor perdido para o ambiente
- Q_{cond} = quantidade de calor perdido por condução
- Q_{conv} = quantidade de calor perdido por convecção
- Q_{rad} = quantidade de calor perdido por radiação

A quantidade de calor transportado pelo polímero para o interior do molde, durante o tempo em que a cavidade do molde permanece cheia, é dado pela expressão:

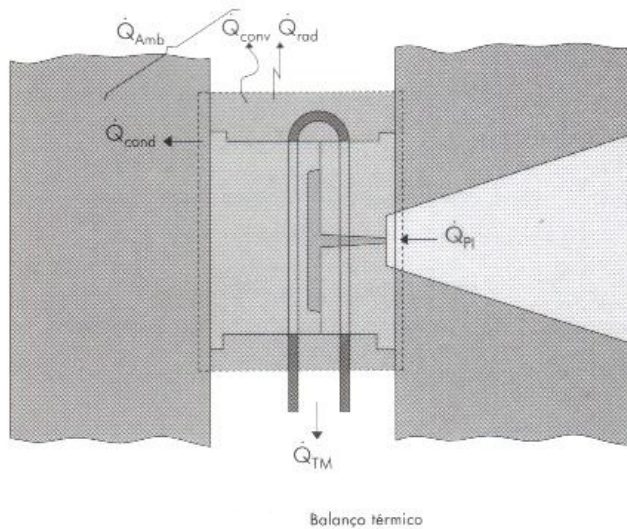
$$Q_{pol} = \frac{m (h_{inj} - h_{ext})}{t_{res}}$$

onde:

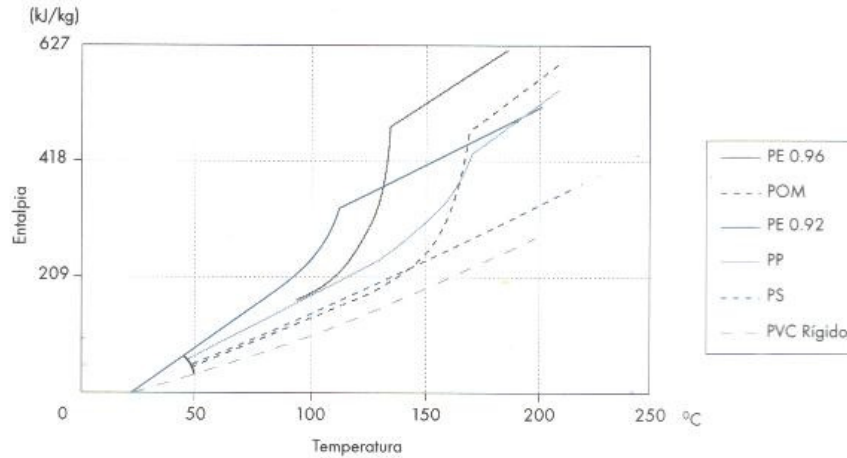
m = massa do polímero plastificado (kg)

$h_{inj(ext)}$ = entalpia específica do plástico à temperatura de injeção (extração) (J/kg)

t_{res} = tempo de residência do material no molde (s)



A variação de entalpia pode ser obtida para alguns termoplásticos da figura abaixo.



Variação da entalpia para alguns termoplásticos

O tempo de residência do material no molde, que se pode considerar como sendo o tempo de resfriamento, pode ser calculado pela equação de Wübken:

$$t_{res} = \frac{s^2 \ln(k \cdot Y)}{\pi^2 \alpha_{ef}}$$

em que:

s – espessura da parede da peça (m)

α_{ef} – difusividade térmica efetiva média (m^2/s)

k – coeficiente dependente da espessura da peça $\frac{4}{\pi}$ - para peças finas ($s \leq 3\text{mm}$) e $\frac{8}{\pi^2}$ para peças espessas ($s > 3\text{mm}$)

Y – temperatura adimensional dada por $Y = \frac{T_{inj} - T_{mol}}{T_{ext} - T_{mol}}$

Em que:

T_{inj} , T_{ext} e T_{mol} – temperatura de injeção, de extração e do molde (°C)

A tabela a seguir apresenta os valores de difusividade térmica efetiva média para alguns termoplásticos.

Material	α_{ef} (nm^2/s)	T_{cav} ($^{\circ}\text{C}$)
Policarbonato	105	
Poliestireno	80	
ABS	80	
PMMA	75	
PVC	70	
PEBD	90	20
PEBD	75	60
PEAD	95	20
PEAD	55	80
Polipropileno	65	20 a 80
Poliacetal	65	60
Poliacetal	50	100
Nylon 6	70	80 a 100
Nylon 6.6	85	80 a 100
PBT	90	80 a 100

Difusividade térmica efectiva média

A transmissão de calor para o ambiente dá-se pelos três processos habituais: condução, convecção e radiação.

a) condução

O fluxo de calor por condução dá-se para as placas de fixação do molde e é proporcional à diferença entre as temperaturas do molde e do ambiente e pode ser calculada pela expressão:

$$Q_{cond} = A_{fix} \cdot \beta \cdot (T_{amb} - T_{mol})$$

sendo:

A_{fix} = área de contato molde – sistema de fixação (m^2)

β = fator de proporcionalidade ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Material	β
Aços de baixa liga	100
Aços de alta liga	80
Ligas de cobre	20

Nas trocas de calor para o ambiente, as perdas por condução são as maiores (aproximadamente 70 a 80% do total das perdas de calor para o ambiente). Para as reduzir, os moldes que vão funcionar a temperaturas elevadas (maiores que 60°C) deverão ter placas isoladoras.

b) Convecção

O fluxo de calor por convecção dá-se pela área lateral do molde e pode ser calculado pela expressão:

$$Q_{conv} = A_{lat} \cdot \alpha \cdot (T_{amb} - T_{mol})$$

em que:

A_{lat} = área exposta do molde (m^2)

α = coeficiente de transferência de calor para convecção livre do ar ($\approx 15\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

T_{amb} e T_{mol} – temperatura do meio ambiente e do molde ($^{\circ}\text{C}$)

c) Radiação

O fluxo de calor por radiação pode ser calculado por:

$$Q_{rad} = A_{lat} \cdot \varepsilon \cdot C_{rad} \cdot \left(\left(\frac{\theta_{amb}}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_{mol}}{100} \right)^4 \right)$$

em que:

ε = emissividade da superfície (0.25 para o aço)

C_{rad} = coeficiente de radiação do corpo negro (5,77 W/m².K⁴)

θ = temperatura absoluta (K = °C + 273.15)

Conhecido o valor do calor transportado pelo fundido (que no caso dos termoplásticos é sempre positivo) e das trocas de calor com o ambiente (geralmente negativo, exceto quando a temperatura do molde é inferior à ambiente), a quantidade de calor que terá que se retirar com o fluido de resfriamento é calculada pela equação de balanço térmico.

$$Q_{resf} = -Q_{pol} - Q_{amb}$$

A vazão do fluido de resfriamento estima-se fixando o aumento da sua temperatura durante a passagem pelo molde. Esta variação de temperatura deve ser em geral de 2 a 5°C. A vazão é dada pela equação:

$$m = \frac{|Q_{resf}|}{C \cdot \Delta T}$$

C = calor específico do fluido (4.186 kJ/kg°C para a água)

ΔT = variação de temperatura do fluido

Conhecida a vazão de fluido refrigerante pode-se determinar o diâmetro recomendado para “as linhas de água” através da tabela.

Vazão (l/min)	Diâmetro (mm)
3,8	8
9,5	11
38	19
85	23,8

Para que a transferência de calor seja mais eficiente, deve-se garantir que o escoamento é turbulento. Assim, este regime deve sempre ser imposto. Isto ocorre quando o número de Reynolds é superior a 3500.

O comprimento dos canais deve ser o maior possível e, por isso, não deve ser calculado. Deve-se sim, verificar se o comprimento de “linhas de água” realmente existente no molde, é superior ao mínimo necessário para assegurar a transmissão de calor pretendida. O comprimento mínimo pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$L = \frac{2 |Q_{resf}| e}{k \pi d \Delta T}$$

onde;

e – distância dos canais à superfície moldante

k – condutividade térmica do material do molde (J/m.s.°C)

d – distância dos canais (m)

ΔT – diferença de temperatura entre a parede da cavidade e o líquido de resfriamento

Normalização para furações

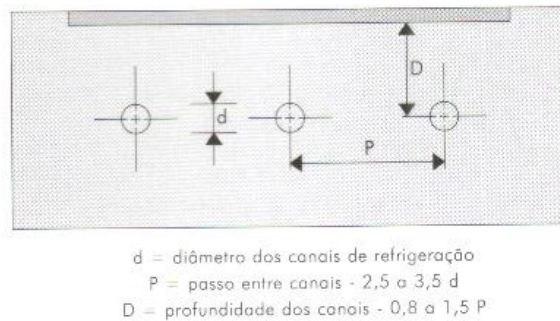
Os furos estão conectados de forma a fechar um circuito e esse circuito pode estar disposto num único nível ou em vários, dependendo da altura da moldagem. Os diâmetros típicos para os canais de águas são: 6, 8, 10-11, 14, 16 e 18 mm.

Como boa prática, recomenda-se o diâmetro de 10 mm para molde de pequena e média dimensão. A disposição das águas é dificultada pelo fato de não se poder fazer as furações muito próximo de outros furos (furos para extratores, parafusos, postiços ou insertos, guias, casquilhos, injetores, bicos quentes, etc.)

A distância mínima de afastamento de um furo de águas para outro qualquer furo na placa, que lhe seja perpendicular, depende da profundidade de furação (a broca ou haste de furar tende a desviar-se do seu curso) e deve ser:

- furações até 150 mm – proximidade de 3 mm
- furações superiores a 150 mm – proximidade de 5 mm

Recomenda-se que as furações para os canais das águas não sejam posicionadas a uma distância inferior a 15 mm das zonas moldantes seja mais uniforme, e como tal também o resfriamento, o distanciamento entre canais deve, na medida do possível, obedecer às relações apresentadas abaixo.



Dimensionamento das distâncias dos furos de água em elementos moldantes

16. SISTEMA DE ALINHAMENTO

FUNÇÃO DO CENTRAMENTO

É fundamental promover um perfeito centramento do molde, para assim garantir uma alta precisão de funcionamento do mesmo quando montado na máquina de injeção.

O acoplamento das duas metades do molde na unidade de fechamento da máquina de injeção, constituída por uma placa fixa, uma placa móvel, colunas da máquina (ou não, dependendo do tipo de máquina) e os respectivos sistemas de acionamento e fechamento da placa móvel, é efetuada com distintos sistemas de aperto como por exemplo grampos, garras hidráulicas, entre outros. Esses diferentes sistemas de acoplamento não garantem por si só, que o molde esteja centrado com a unidade de plastificação da máquina de injeção. Há assim, a necessidade de se recorrer a outras soluções, que promovam um centramento rápido e preciso do molde com o bico da máquina de injeção.

Por outro lado, sendo o molde uma ferramenta constituída por duas metades, que moldadas na máquina de injeção têm que abrir e fechar durante o ciclo de moldagem. Existe assim, também a necessidade de promover o guiamento e centramento, entre as duas metades do molde.

Um mau centramento do molde provoca desvios no processo de injeção, entre ciclos sucessivos de moldagem, levando a variações das espessuras das paredes de peças moldadas, não garantindo assim, a precisão dimensional requerida para as peças plásticas e em casos extremos, poderá levar à destruição de componentes internos do molde.

CENTRAGEM DO MOLDE NA MÁQUINA DE INJEÇÃO

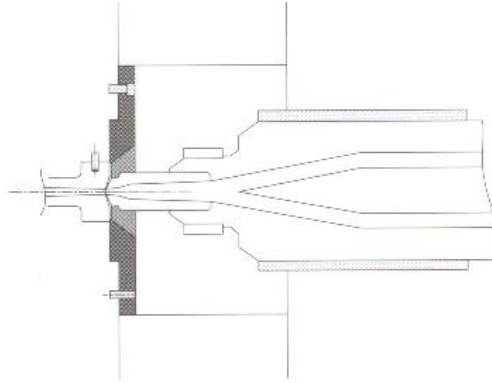
O primeiro aspecto a considerar no início do processo de moldagem por injeção é o de encontrar a forma mais correta de fixar e centrar com rapidez e precisão o molde às placas da injetora.

A precisão de centramento é fundamental. Por sua vez uma falha no centramento entre o bico da unidade de plastificação da máquina de injeção e o injetor do molde leva a uma má selagem bico/injetor e a constantes interrupções no processo de injeção.

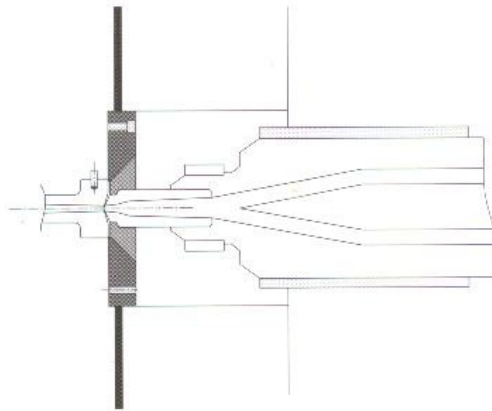
ACESSÓRIOS DE CENTRAGEM DO MOLDE

Para resolver este problema os moldes são equipados com anéis de centragem, ou outros sistemas que promovem o centramento do molde na injetora.

Atualmente estes componentes são disponibilizados por diferentes fabricantes de acessórios normalizados para moldes. Dependendo do tipo de máquina de injeção existem diferentes dimensões e tipos.

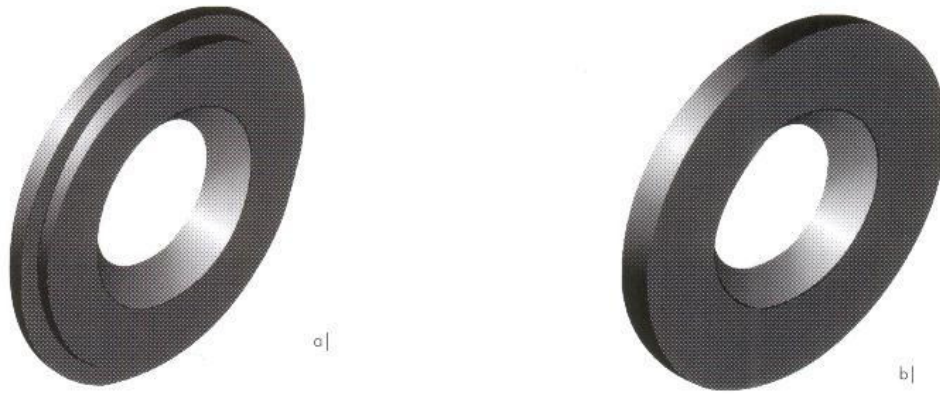


Colocação do anel de centragem em moldes que trabalham a frio



Colocação do anel de centragem em moldes que trabalham a quente

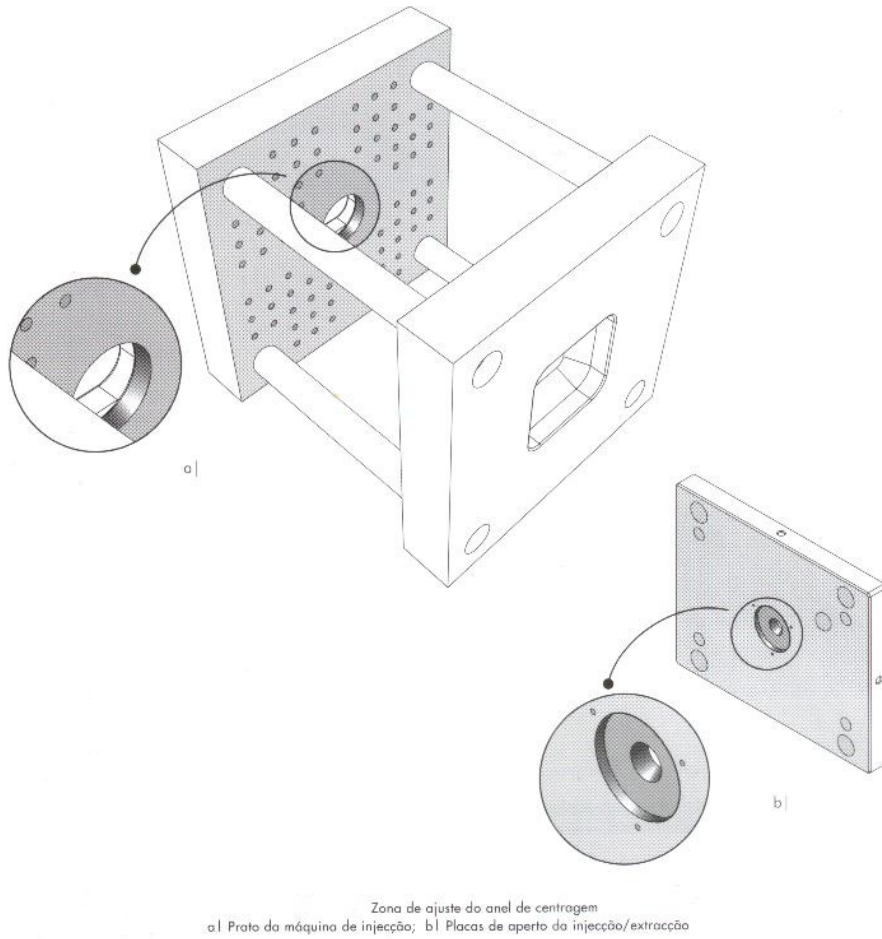
Normalmente o anel de centragem encontra-se encastrado numa caixa na face posterior da placa de aperto da injeção e a centragem do molde, é promovida pelo ajustamento do mesmo no furo da placa da injetora. Como boa prática recomenda-se a colocação de um anel de centragem também do lado da extração (placa de aperto da extração). A colocação de anéis de centragem nas duas placas de aperto garante que o molde não caia no caso de haver alguma perda da eficiência do sistema de aperto das placas do molde.



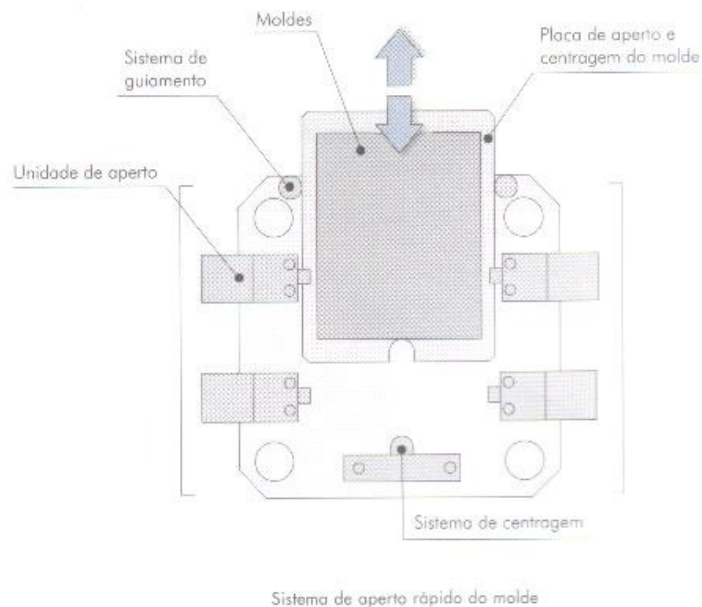
Anéis de centragem
a | tipo A – dois corpos; b | tipo B – corpo simples

Para moldes de maiores dimensões recomendam-se anéis do tipo A (dois corpos), nesta situação o anel não sai fora já que está encaixado na placa e simultaneamente encostado a placa da máquina de injeção.

O anel de centragem tem um ajustamento de aperto na placa do molde (placa de aperto da injeção e aperto da extração) e um ajustamento de deslize no furo da placa da máquina injetora.



O sistema de centragem do molde à máquina, pode também ser feito por outros sistemas, chamados sistemas rápidos de aperto que incluem também centramento do molde.



SISTEMA DE LIGAÇÃO À MÁQUINA DE INJEÇÃO

A escolha dos sistemas de ligação, guiamento e centragem dependem também do tipo de molde:

- moldes residentes – são moldes que estão por longos períodos a trabalhar na máquina de injeção (mais de 6 meses). Neste caso o sistema de ligação, aperto e centragem não é necessário ser do tipo rápido, pois seu custo não seria rentabilizado;
- moldes que mudam de máquina ou saem e entram em produção muitas vezes – (mudam todas as semanas ou até todos os dias). Justifica-se ter um sistema rápido, pois seu custo é rentabilizado com a enorme redução dos tempos de montagem dos moldes.

ALINHAMENTO E GUIAMENTO DO MOLDE

Existem nesta situação dois casos distintos:

- Guiamento e alinhamento das duas metades do molde.
- Alinhamento entre placas do molde. Nas soluções atualmente mais usadas, os próprios acessórios de guiamento também fazem o encavilhamento e alinhamento das diferentes placas do molde.

FUNÇÃO DO GUIAMENTO

Além do guiamento feito pelas colunas da máquina de injeção e por sua unidade de fechamento, deve-se salientar os próprios sistemas de guiamento internos do molde, podendo esses ser divididos em dois grupos: guiamento principal e guiamento da unidade de extração.

De fato o guiamento promovido pelas colunas e sistema de fechamento da máquina de injeção, não é suficiente para garantir a necessária precisão de trabalho de um molde.

O guiamento é fundamental para o funcionamento de um molde, pois, cada vez que o molde abre, ele tem que regressar exatamente para a mesma posição em que se encontrava de modo a se iniciar um novo ciclo de moldagem.

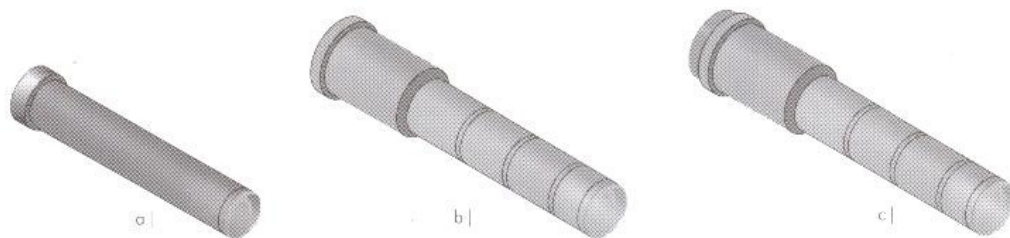
Regra geral, o guiamento de um molde é feito basicamente através de guias e respectivas buchas.

É importante salientar que as guias e as buchas têm como função guiar o molde.

TIPOS DE GUIAS

Existem vários tipos de guias, mas independentemente das suas configurações a sua função é guiar as duas metades do molde e as placas de extração.

A seguir apresentam-se alguns exemplos de configurações possíveis de guias que se podem aplicar em moldes.



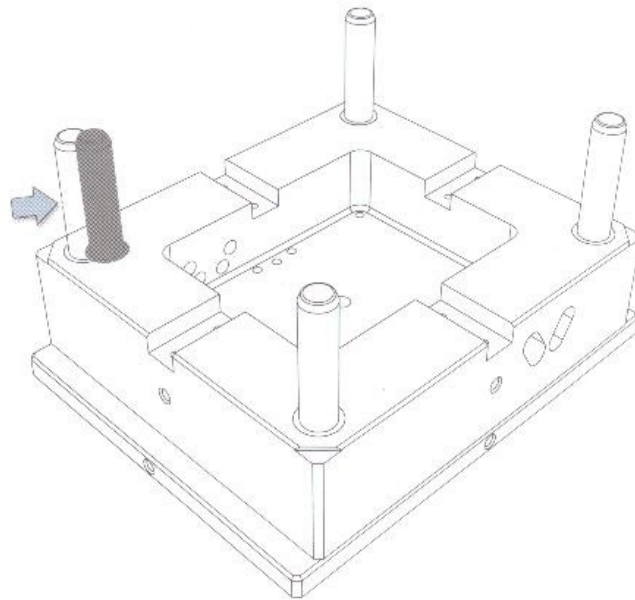
Diferentes tipos de guias
a) Guia; b) Guia de corpo respigado; c) Guia respigada com cabeça de centragem

Montagem de guias

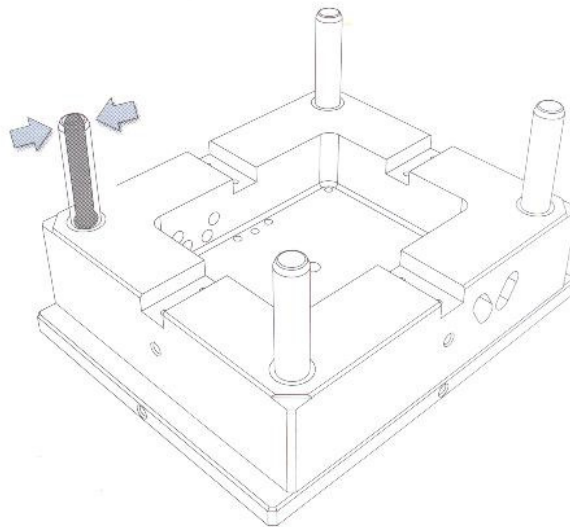
No molde são normalmente montadas 4 guias principais e as correspondentes buchas. Para facilitar a montagem e garantir que o molde é sempre corretamente montado, uma das guias é deslocado ou tem diâmetro diferente das restantes.

Os métodos mais utilizados para a colocação de uma guia deslocada são:

- deslocar o posicionamento do furo de uma guia em relação a outras três;
- guia com dimensão diferente das restantes (guia deslocada tipo alemão);

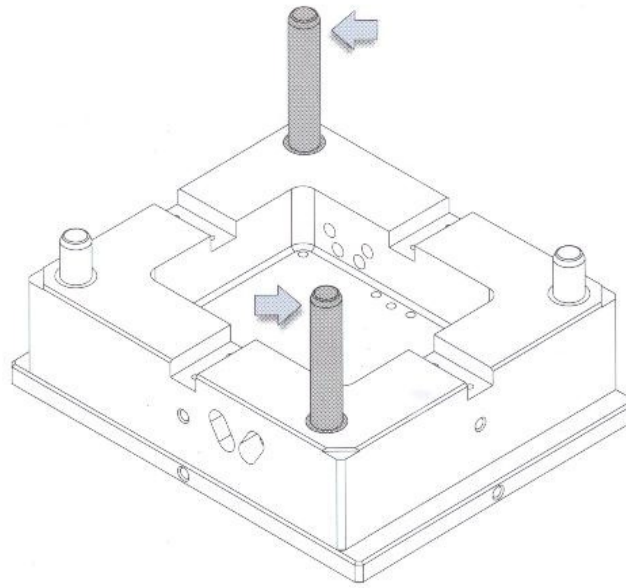


Guia deslocada em posição



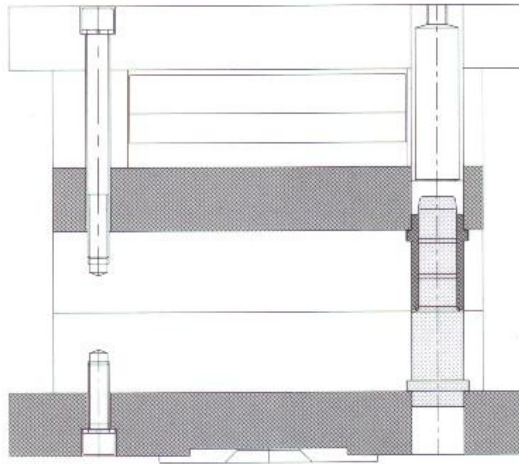
Guia deslocada (tipo alemão)

Há situações de montagem das duas metades do molde, em que se colocam duas guias diagonalmente opostas com acoplamento maior que as restantes, permitindo assim um deslize mais fácil das metades, quando estas são montadas na máquina de injeção ou durante a montagem do molde.



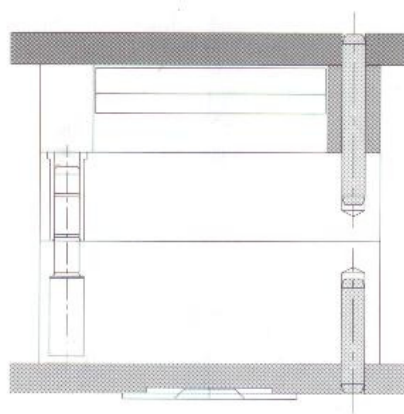
Guias diagonalmente opostas (diferentes em comprimento)

As guias respigadas com cabeça de centragem e buchas correspondentes além do guiamento permitem o encavilhamento e alinhamento das placas de trás.



Encavilhamento de placas por guia respigada com cabeça de centragem

O uso de guias lisas e cavilhas para alinhamento/centramento das placas do molde, é cada vez mais evitado por ser um método pouco eficiente com custos acrescidos.



Centragem de placas com cavilhas

Para melhor aproveitamento de toda a área das placas, os furos das guias devem ser colocados o mais próximo da extremidade, sem fragilizar estruturalmente as placas (seguir os exemplos das placas normalizados, disponibilizada por diferentes fabricantes de acessórios para moldes).

Esta regra permite obter mais espaço para as cavidades e para a colocação de linhas de água.

BUCHAS

Um alinhamento eficiente só é conseguido se as apertadas tolerâncias entre as guias principais e os furos são mantidas constantes. Esta exigência leva à incorporação de acessórios designados por buchas, que evitam o trabalho direto entre as guias e os furos das placas, situação que levaria ao desgaste da mesma.

As buchas das guias têm como função contrapor os desgaste provocado pelas guias, garantir confiabilidade no alinhamento e ao mesmo tempo serem acessórios de fácil substituição.

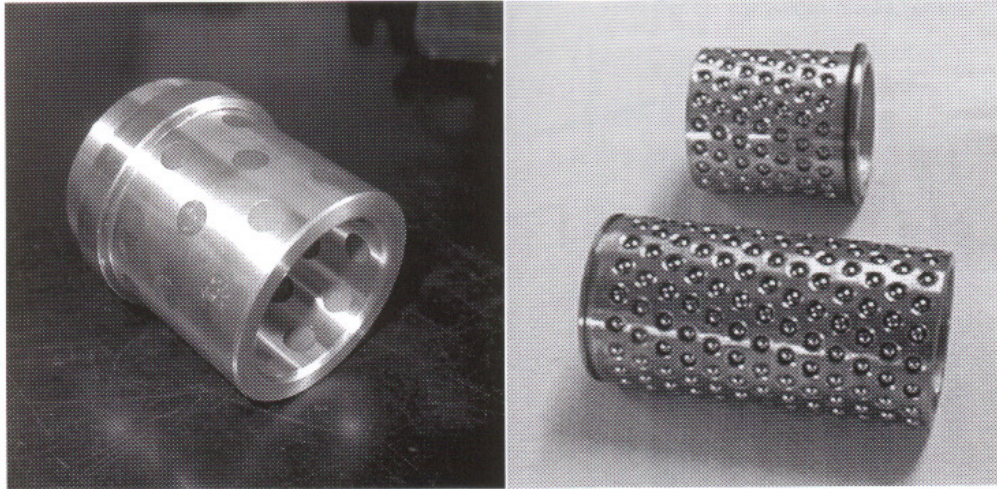
Os casquilhos são feitos do mesmo aço das guias, com uma dureza de 60/62 HRC, existindo no mercado diversos tamanhos e formas.

O desgaste pode ser reduzido recorrendo-se à lubrificação, para isso poderão ser usadas guias com rasgos de lubrificação ou buchas com rasgos de lubrificação. Para moldes pequenos, elementos móveis ou aplicações especiais onde haverá necessidade de utilizar buchas com gaiola de esferas. Neste devem utilizar-se guias sem rasgos de lubrificação.



Diferentes tipos de casquilhos
a| casquilho; b| casquilho respigado; c| casquilho com cabeça de centragem

As buchas podem ser lisos, grafitados ou com gaiola de esferas.



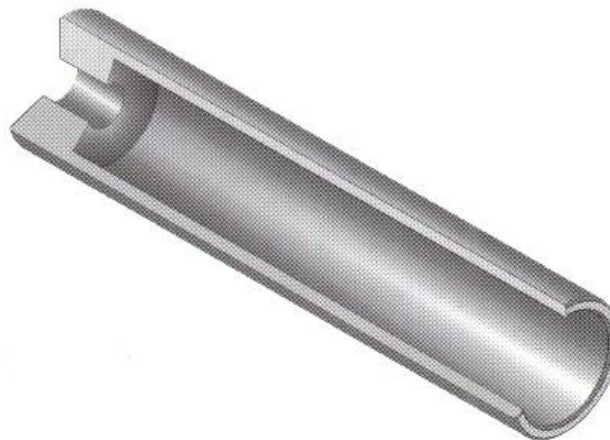
Casquilhos especiais.
a) autolubrificado (grafitado); b) gaiola de esferas

O uso de buchas com gaiola de esferas é recomendado em situações em que há placas suspensas, ciclos muito rápidos de moldagem, necessidade de alta confiabilidade nos moldes, moldes em andares, moldes de três placas e placas extratoras.

MONTAGEM DE BUCHAS

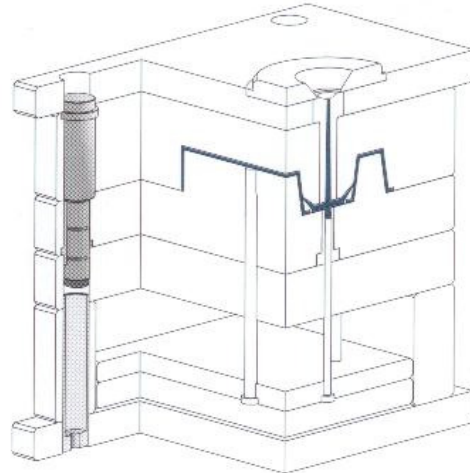
A seleção do comprimento da bucha é importante, já que este poderá encavilhar mais que uma placa do molde. O casquilho respigado com cabeça de centragem além de alinhar a placa da bucha com a da cavidade, encavilha e alinha a placa que se posiciona atrás desta.

A bucha de centragem é extremamente importante para alinhar e encavilhar as restantes placas do molde e é colocado por detrás da bucha da guia principal.



Casquilho de Centragem

A furação de todas as placas com o mesmo diâmetro para encavilhamento e alinhamento, apresenta-se como uma solução mais eficiente (maior produtividade) e rápida, além dos erros no alinhamento serem reduzidos ao mínimo.



Encavilhamento das placas do molde

GUIAMENTO PRINCIPAL

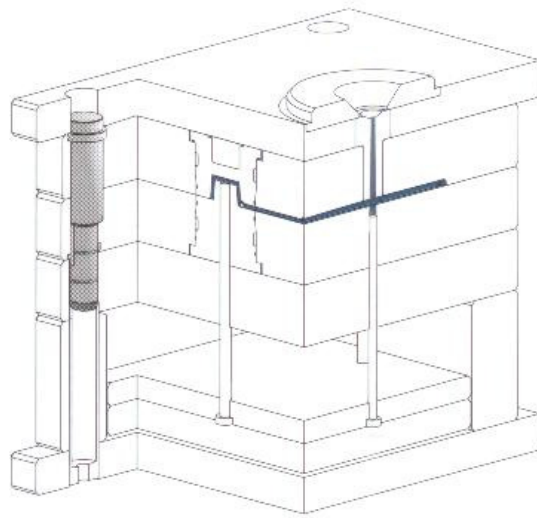
O guiamento principal tem como função fundamental guiar as duas metades do molde.

As guias estão salientes numa das metades do molde, quando o molde se encontra aberto, entrando na outra metade quando este se fecha. As buchas garantem o ajustamento e alinhamento, de forma a conferir uma maior precisão de trabalho.

A situação mais comum é a utilização de guias do lado da injeção e as buchas do lado da extração, embora possam surgir por vezes situações em que a montagem é feita ao contrário ou mesmo nos dois lados.

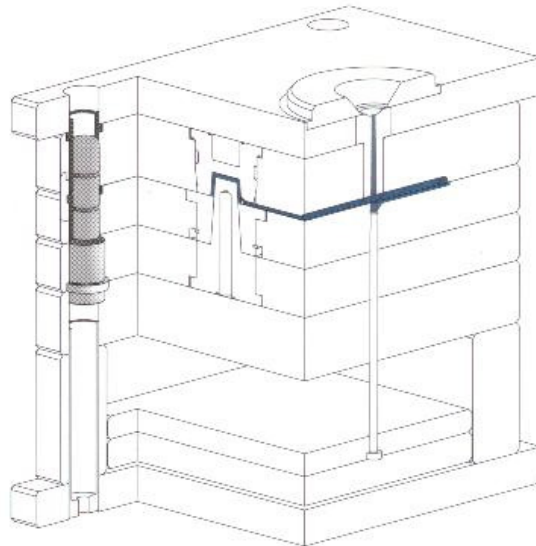
Como é natural, todas estas utilizações têm razões de ser, tais como:

- as peças sejam extraídas sem terem as guias impedindo a sua saída;
- quando é necessário permite que um robô retire as peças.



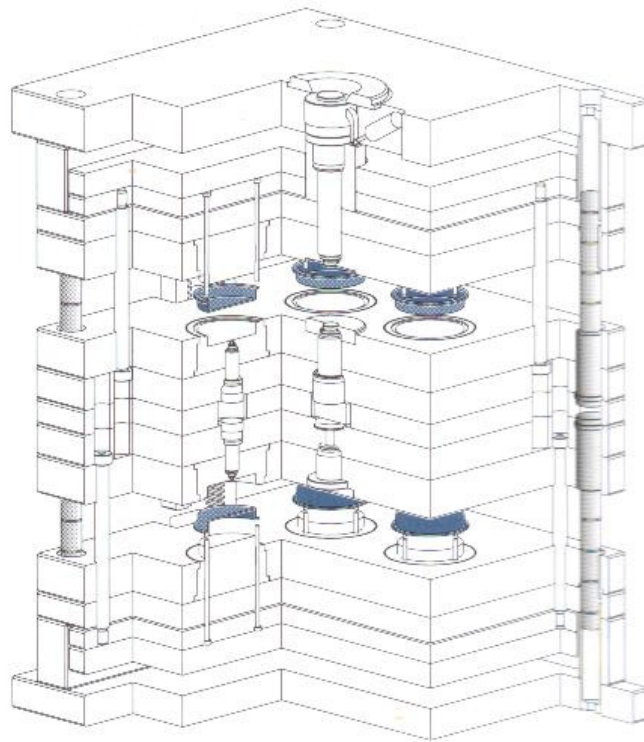
Guias colocadas do lado da injeção

Guias do lado da extração aplicam-se por exemplo:
- nos moldes com extração por placa (placa extratora).



Guias colocadas do lado da extração

Também podemos ter 2 conjuntos de guiamento, por exemplo:
- Em moldes de 3 placas + extração por placa extratora ou moldes em andares.



Molde com dois conjuntos de guiamento

Este tipo de guiamento poderá ser suficiente para moldes com zonas moldantes planas e relativamente baixas.

Em moldes com cavidades profundas e paredes acentuadamente verticais, o que corresponde a machos altos, o guiamento através de guias principais não é eficaz, podendo ocorrer o deslocamento do macho. Por isso é necessário recorrer a outras alternativas para promover o alinhamento e ajuste das duas metades do molde.

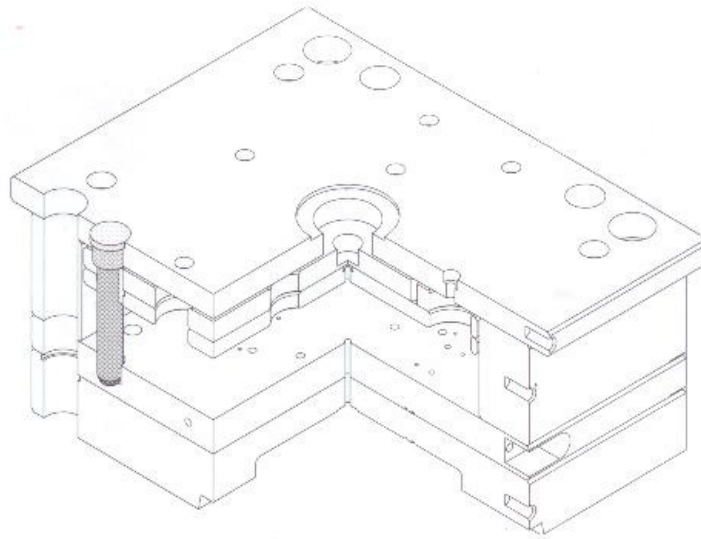
GUIAMENTO DAS PLACAS DE EXTRAÇÃO

Deve-se ter algum cuidado na seleção das guias das placas extratoras relativamente ao diâmetro das mesmas, já que estas, serão submetidas a carregamentos laterais, que em situações extremas poderão ultrapassar a flecha máxima admissível. Para o seu dimensionamento recorre-se às convencionais equações de resistência de materiais. Por vezes é possível, recorrer aos exemplos dos acessórios normalizados (estruturas de catálogo) dos fabricantes de componentes para moldes. Em moldes de maiores dimensões, onde não existe equiparação com os acessórios normalizados, deve-se ter maior atenção na seleção das guias, principalmente na relação entre o diâmetro da guia e o seu comprimento.

As empresas devem normalizar ao máximo, todos os acessórios dos moldes.

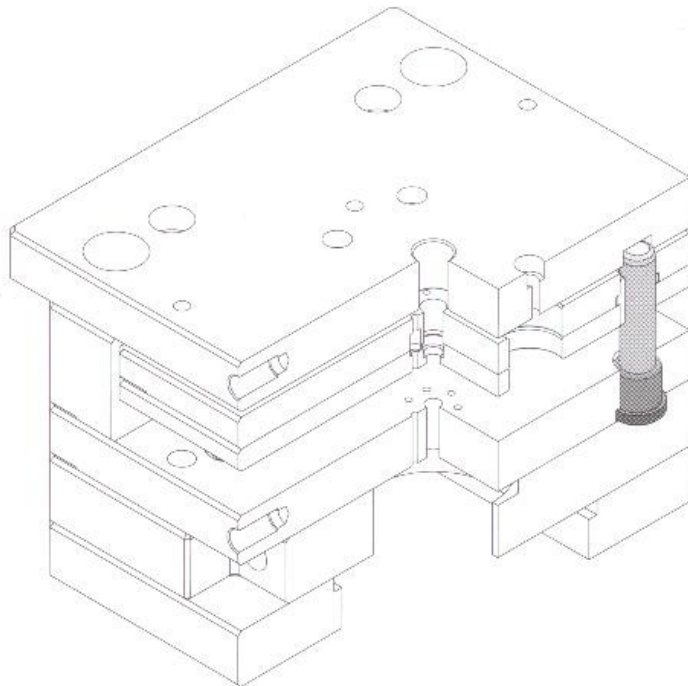
MONTAGEM DAS GUIAS E BUCHAS NAS PLACAS DE EXTRAÇÃO

A montagem habitual das buchas e guias nas placas de extração está representada abaixo.



Montagem normal das guias das placas extractoras

As guias poderão ser também montadas ao contrário, o que facilita a montagem quando os sistemas de extração são muito complexos (articulações ou outros elementos), permitindo fazer um guiamento prévio das placas dos extratores no momento da montagem dos diversos componentes.

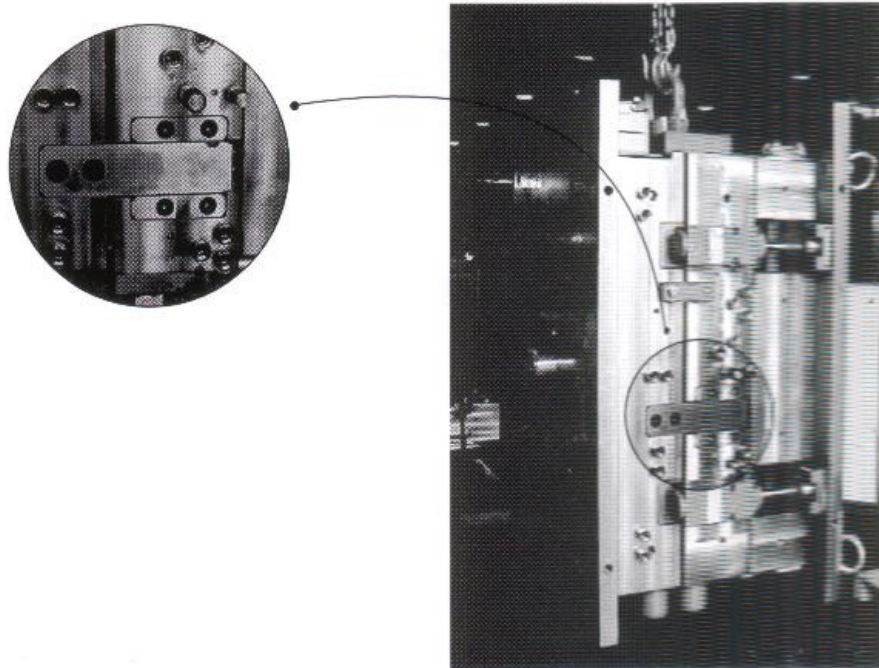


Montagem invertida das guias das placas extractoras

As buchas são montadas entre a placa dos extratores e a placa de aperto dos extratores.

GUIAMENTO DE MOLDES MUITO PESADOS

Em moldes muito grandes e pesados não se deve utilizar no guiamento principal as guias e buchas descritas anteriormente, pois não suportariam os esforços associados a este tipos de moldes, sendo por esse fato recomendável a aplicação de guiamentos retangulares, mais robustos.



Guiamento rectangular ("guias prismáticas")

Como os guiamentos muitas vezes não são suficientemente rigorosos e seguros para centrar e alinhar as duas metades do molde, incorporam-se quase sempre outras soluções, vulgarmente designadas por travamentos (elementos de guiamento e ajuste mais preciso).

TRAVAMENTO

Para um maior rigor de guiamento e proteção das zonas moldantes, existe a necessidade de se conceber sistemas mais eficientes – Sistemas de travamento.

Moldes muito precisos

Para guiamentos rigorosos, como por exemplo no caso de ajustamentos de 3 graus entre a cavidade e o macho, é necessário travamento de 2 graus de inclinação.

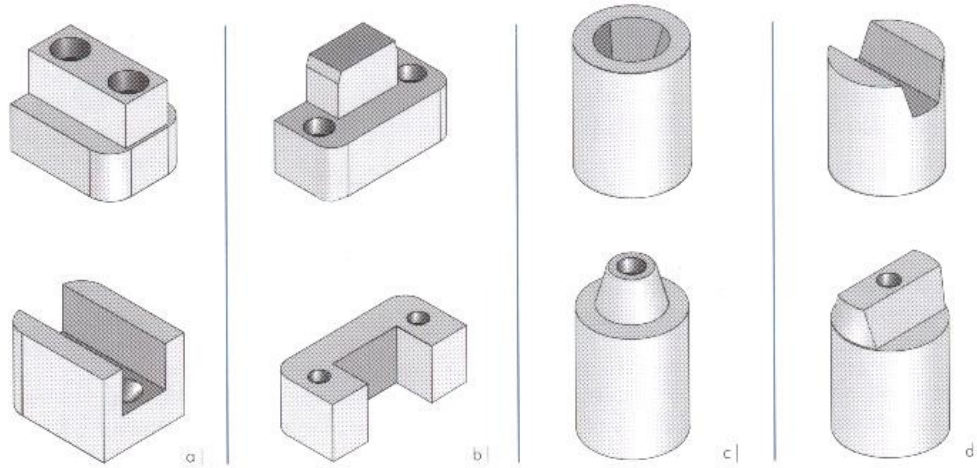
Nestas situações pode-se complementar o guiamento clássico por guia e bucha, com blocos de travamento ou blocos de encosto lateral. Este tipo de solução elimina as folgas normais do guiamento convencional.

O uso de blocos de travamento é muito importante para garantir um grande rigor no guiamento de moldes precisos.

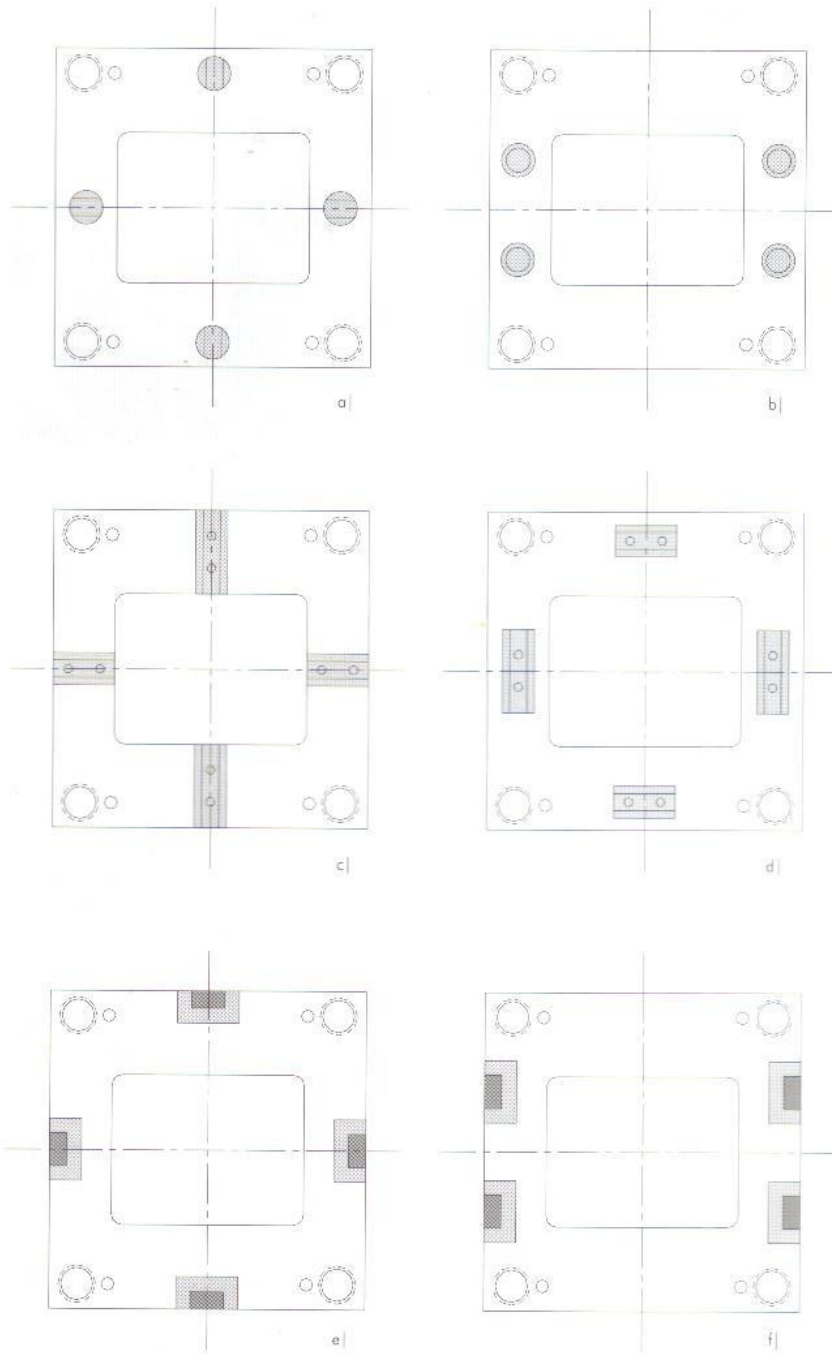
Blocos de travamento

Existem no mercado vários tipos de blocos de travamento normalizados com diferentes formas, ângulos de travamento e tamanhos. A inclinação mais comum é 15°C.

A seguir mostra-se algumas disposições dos blocos de travamento dependendo das condições de funcionamento do molde.



Alguns tipos de blocos de travamento
a | Bloco de travamento rectangular tipo A; b | Bloco de travamento rectangular tipo B
c | Bloco de travamento circular tipo B; d | Bloco de travamento circular tipo A



Disposição dos blocos de travamento

- a) Travamento circular para moldes de pequena/média dimensão que trabalham a quente;
- b) Travamento circular para moldes de pequena/média dimensão que trabalham a frio;
- c) Travamento rectangular para moldes de média/grande dimensão que trabalham a quente;
- d) Travamento rectangular para moldes de média/grande dimensão que trabalham a frio;
- e) Travamento rectangular para moldes de grandes dimensões que trabalham a quente;
- f) Travamento rectangular para moldes de grandes dimensões que trabalham a frio;

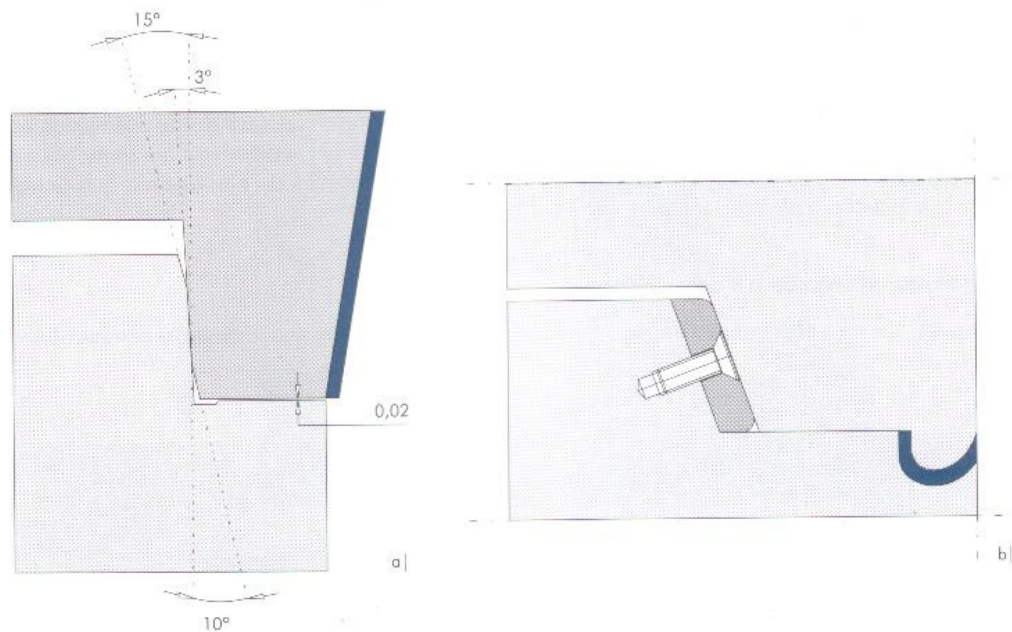
Na figura, a) representa-se um travamento simples e econômico para moldes de pequena e média dimensão que trabalham a quente e a disposição b) representa um travamento simples econômico muito adequado para moldes pequenos e médios que trabalham a frio. Por sua vez, a figura c) representa um travamento mais caro e robusto, para moldes de média e grande dimensão que trabalham a quente. d) representa um travamento mais caro e robusto adequado para moldes de média e grande dimensão que trabalham a frio.

d) e f) apresentam disposições similares para moldes de grandes dimensões.

Moldes de grande dimensões

O alinhamento de moldes de grandes dimensões não é conseguido com os convencionais sistemas de guiamento (guias e buchas), sendo por isso, necessário o recurso a sistemas de travamento.

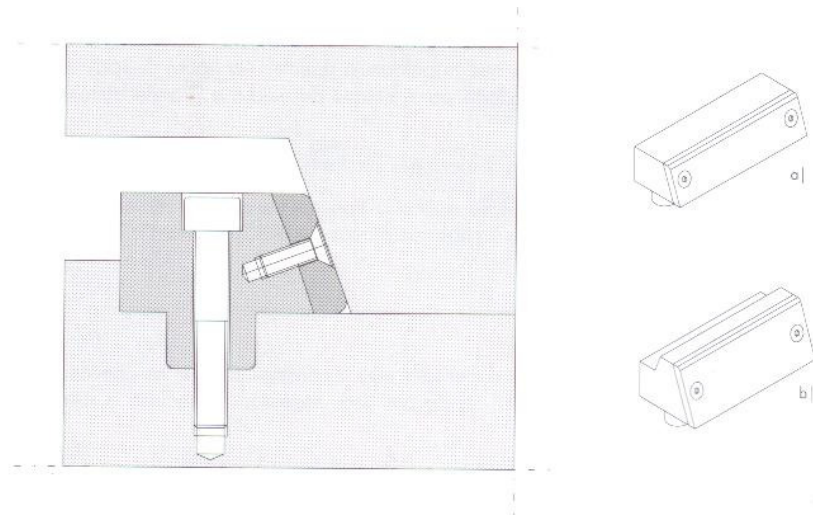
Há mesmo casos em que o guiamento é deixado à unidade de fechamento da máquina de injeção, sendo o travamento efetuado pela estrutura do próprio molde.



Configuração de travamentos efectuado pela estrutura do próprio molde
a | Ângulos típicos usados no travamento; b | Uso de placas de ajuste no travamento

Em b), o travamento recorre a placas de ajuste removíveis que permitem um melhor ajustamento. Essas placas podem ser retificadas para um ajuste mais fino entre o macho e a cavidade, ou até substituídas no caso de desgaste.

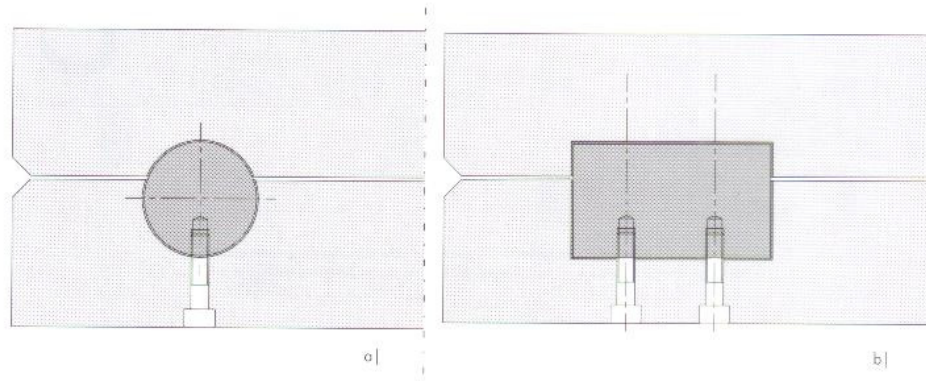
As placas de ajuste tem rasgos que permitem a lubrificação e a redução do efeito de atrito.



Uso de blocos de encosto com placa de ajuste
a) Bloco de encosto com travamento simples; b) Bloco de encosto com travamento duplo

Este tipo de travamento simplifica grandemente a fabricação do molde, sendo largamente utilizado no travamento de elementos móveis. Existem diversas formas de colocação destes elementos no molde. As suas maiores vantagens são sem dúvida o fato de serem substituíveis em situações de maior desgaste, a sua facilidade de fabricação e ser uma forma de ajustamento que permite um alinhamento mais preciso.

Travamento recorrendo a troncos cilíndricos



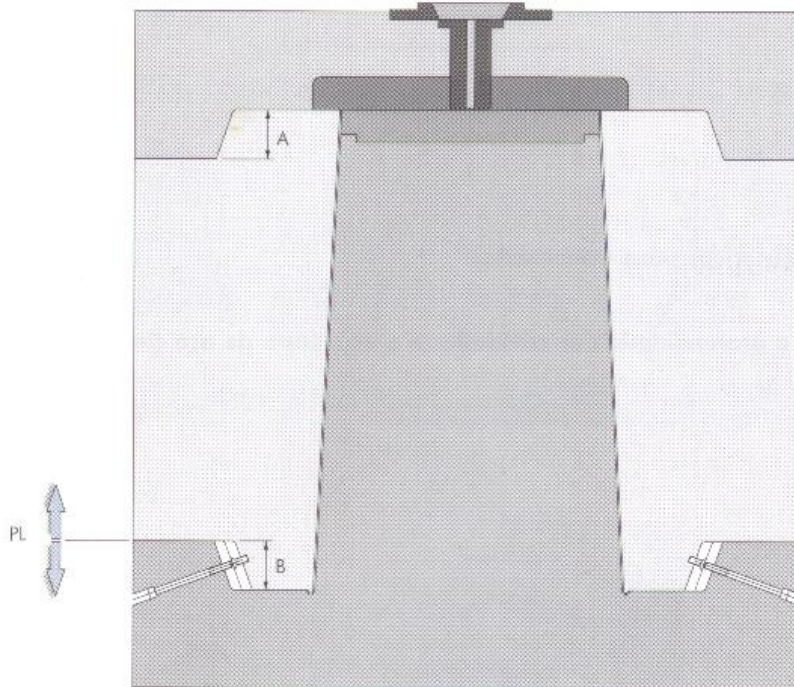
Travamento c/ troncos cilíndricos
a) Vista frontal; b) Vista lateral

Nota-se que a linha de centro do tronco cilíndrico não coincide com a linha de junta do molde.

Travamento de molde com caixotes de grandes dimensões

O travamento típico dos moldes para caixotes de lixo ou similares basicamente deve responder as seguintes exigências:

- não permitir deslocamentos entre cavidade e macho de modo a garantir que o preenchimento se proceda de forma equilibrada e que se mantenha a espessura da peça rigorosamente igual em toda a sua extensão;
- não submetam os componentes do molde (principalmente a cavidade), a flexões. Fator esse que provocaria desequilíbrio no enchimento das peças e por efeito de memória, o aço da cavidade teria tendência a fechar, dificultando a abertura do molde no final do processo de injeção.
- Facilidade de usinagem.



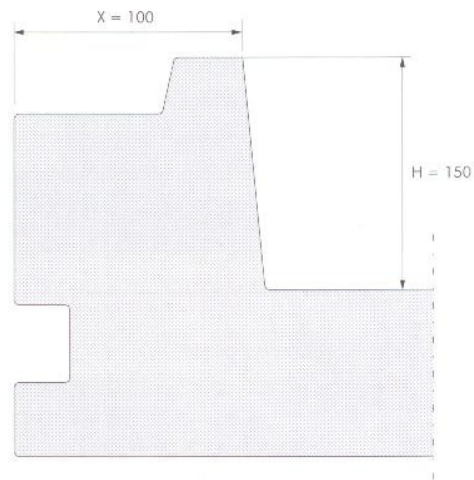
Exemplo de travamento de moldes para caixote do lixo:

O exemplo anterior, é um projeto equilibrado porque:

- é robusto;
- permite boa usinagem;
- facilita a refrigeração.

Regras genéricas para travamento

Relação entre a profundidade das cavidades e a espessura de aço circundante

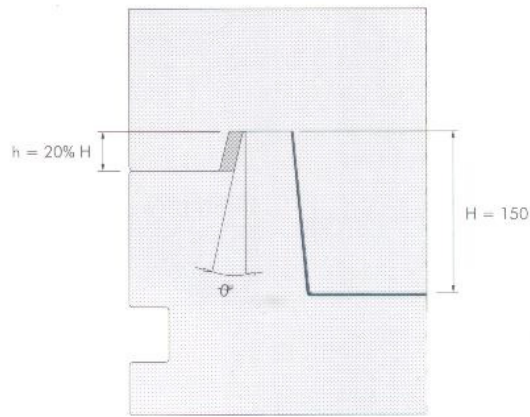


Dimensionamento da estrutura

- Cavidades pouco profundas ($H \leq 150$ mm) $\Rightarrow X_{\min} = 100$ mm
- Cavidades profundas ($H \geq 150$ mm) \Rightarrow O aço que circunda a peça deve aumentar proporcionalmente à profundidade da cavidade

- cavidades pouco profundas ($H \leq 150$ mm) $\Rightarrow X_{\min} = 100$ mm
- cavidades profundas ($H \geq 150$ mm) \Rightarrow o aço que circunda a peça deve aumentar proporcionalmente à profundidade da cavidade

Dimensões dos travamentos



Dimensionamento dos travamentos

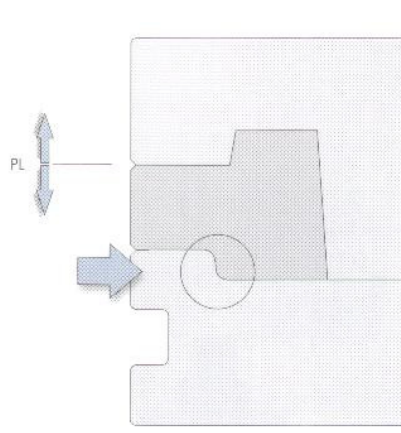
Peças plásticas com:



▪ Nota: para θ é aconselhável um valor médio de 15°

<p>Peças plásticas com:</p> <ul style="list-style-type: none"> - menores espessuras de parede - maiores profundidades das cavidades - menores ângulos de saída da peça <p>Para θ é aconselhável um valor médio de 15°.</p>	}	<p>- travamentos de maior precisão</p>	}	<ul style="list-style-type: none"> - $h_{min}=20\%H$ - $\theta =100-200$
---	---	--	---	--

Estrutura não monobloco

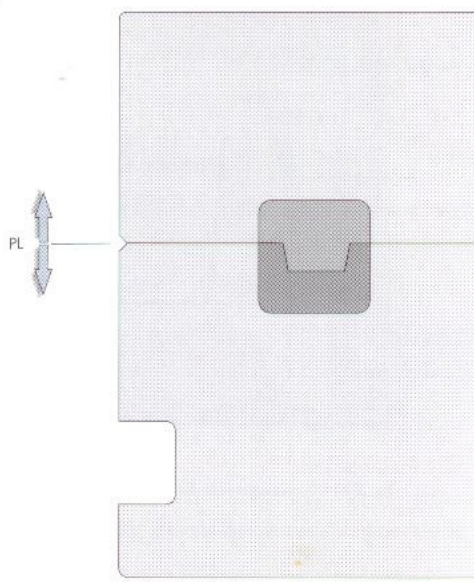


Configuração de travamentos

- Usar travamento também na linha de junta do fundo

- usar travamento também na linha de junta no fundo

Peças de pouca profundidade



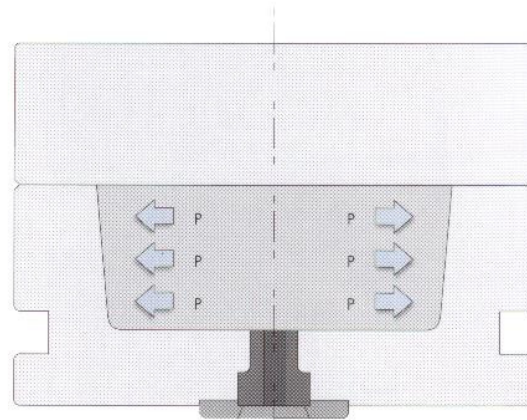
Elementos de travamento (blocos de travamento)

- Os travamentos poderão ser posições (blocos de travamento)

- Os travamentos poderão ser posições (blocos de travamento)

Moldes com pouca saída e sem adequado travamento

A pressão lateral que se exerce nas paredes do Molde faz com que cavidade “abra”.

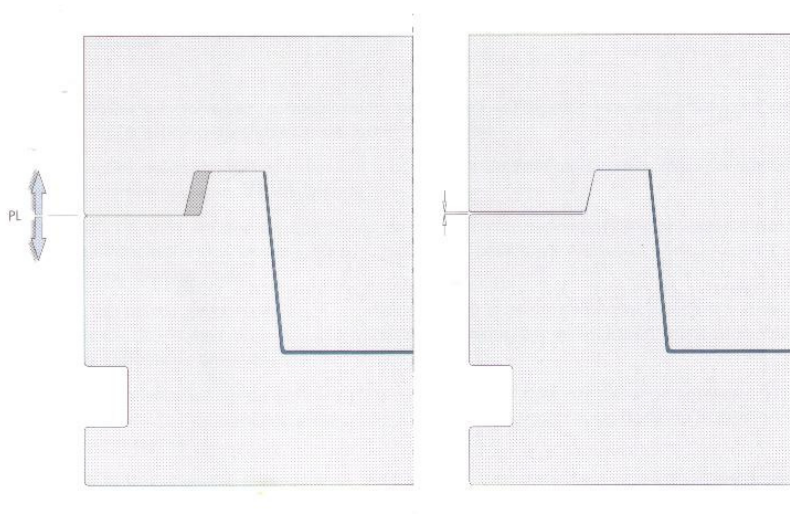


Travamento de cavidades profundas.

- Travamentos equilibrados, de preferência dois em cada um dos eixos do Molde

- travamentos equilibrados, de preferência dois em cada um dos eixos do molde

Folgas na linha de junta



Configuração de travamentos.

- Situação correcta

- Situação incorrecta - quando existem travamentos, é errado dar folga entre placas. Nessa situação a força de fecho será suportada apenas pelos travamentos e pelas guias.

17. ESTIMATIVA PARA CUSTOS DE MOLDES DE INJEÇÃO

ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MOLDES

Moldes de injeção são fabricados com alta precisão e devem satisfazer a uma grande variedade de requisitos. São geralmente compostos de uma parte ou poucas partes.

Os moldes são produzidos com elevados tempos e custos de fabricação que são um fator decisivo no cálculo dos custos de um produto moldado. Os custos do molde para pequenas séries afetam a introdução de um novo produto no mercado. Apesar disso em muitas empresas o cálculo de custos não ocupa o lugar que deveria.

Os respectivos custos dos moldes são frequentemente calculados com base na experiência ou em comparação com moldes já existentes. Isto é também uma consequência do fato de que o número de pedidos é apenas 5% do número de orçamentos. As incertezas resultantes em tais situações são compensadas com mudanças para segurança, que é determinada por critérios subjetivos. Isto gera diferenças nos orçamentos que resulta em incertezas para os clientes.

Portanto, um procedimento para estimativa de custos de um molde deve:

- aumentar a certeza e precisão do cálculo de custos,
- reduzir o tempo de consumo para o cálculo,
- fazer o possível para calcular os custos dos moldes para os quais não hajam dados disponíveis,
- assegurar cálculos de custos coerentes mesmo sem muita experiência.

Precauções devem ser tomadas se moldes forem cotados consideravelmente com custos inferiores aos obtidos nos cálculos, pois eventualmente importantes etapas foram omitidas resultando em perdas irreparáveis.

Procedimentos para estimativa de custos de moldes

Os custos de moldes podem ser calculados de duas maneiras diferentes: baseados em dados já existentes de planilhas de produção ou baseado no procedimento de previsão.

O primeiro procedimento fornece os custos para cada etapa de trabalho e o material utilizado. Este procedimento apresenta desvantagens e dificuldades. É um método que consome tempo e necessita de conhecimentos detalhados de horas de trabalho e custos na fabricação de moldes. Por outro lado, este método pode ser aplicado depois que o projeto do molde foi finalizado.

Uma base para a estimativa de custos de moldes de injeção foi desenvolvido por Fachverband Technische Teile im Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie (GKV) (Associação Profissional de Peças Técnicas – Associação de Indústrias de Processamento de Plástico). Isto facilitaria a estimativa de custos de moldes. É baseado na experiência prática, por exemplo, tempo de trabalho para canais de alimentação. (Fig. 1). O custo de um molde de injeção são obtidos pela combinação dos custos de moldes baseados em padrões obtidos de catálogos de fabricantes e os custos de fabricação e projeto. A tabela proposta pela GKV pode ser vista na (Fig. 2).

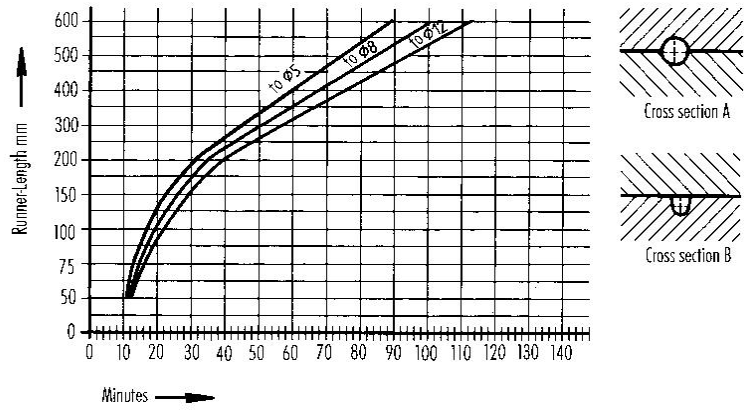


Figure 3.1 Time for machining runners [3.4]. The stated times relate to milling in one platen only (cross section B), excluding set-up time. The set-up time is 30 min for platen up to 100 mm diagonal or in diameter, 35 min for up to 250 mm and 40 min for up to 500 mm.

Fig. 1 – Tempo para usinagem de canais de alimentação

Fig. 2 – Planilha para estimativa dos custos de moldes sugerida pela IKV

Os custos de fabricação de moldes são, geralmente, determinados com a ajuda de procedimentos estimativos. Da literatura, tem-se dois métodos básicos para prever custos de moldes: função de custos e custos por similaridade. (Fig. 3) O primeiro método, a função de custo inicia com a suposição de que há dependência entre os custos de um molde e suas características. Esta dependência é expressa por uma função matemática. Estas características são variáveis independentes ou quantidades dependentes que determinam os custos.

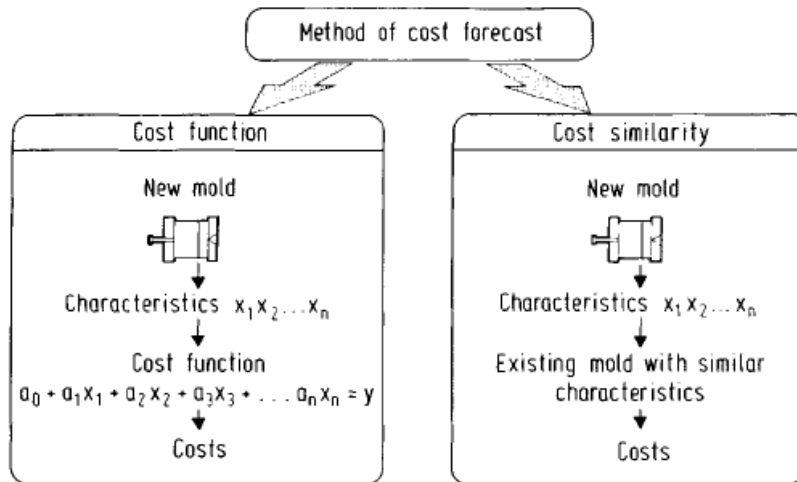


Figure 3.3 Method of cost forecast [3.3]

Fig. 3 – Método de previsão de custos

O segundo método é de custos similares. O custo de um molde pode ser estimado a partir de outro existente com características similares. Os custos para o molde existente são, geralmente, conhecidos e podem ser utilizados para o molde a ser fabricado.

Ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens. A função de custos prevê resultados precisos apenas se as grandezas envolvidas são muito parecidas. Atualmente não é o que ocorre devido a grande variedade de moldes de injeção.

Com o método de similaridade apenas podemos estimar custos de moldes projetados da mesma forma e, portanto, tem custos efetivos similares. Para usar os benefícios de ambos os métodos são necessários combina-los como mostra a (Fig. 4). Isto pode ser conseguido por agrupamento de moldes de injeção similares ou componentes estruturais de mesmo tipo e determinar a função de custo dentro de cada grupo.

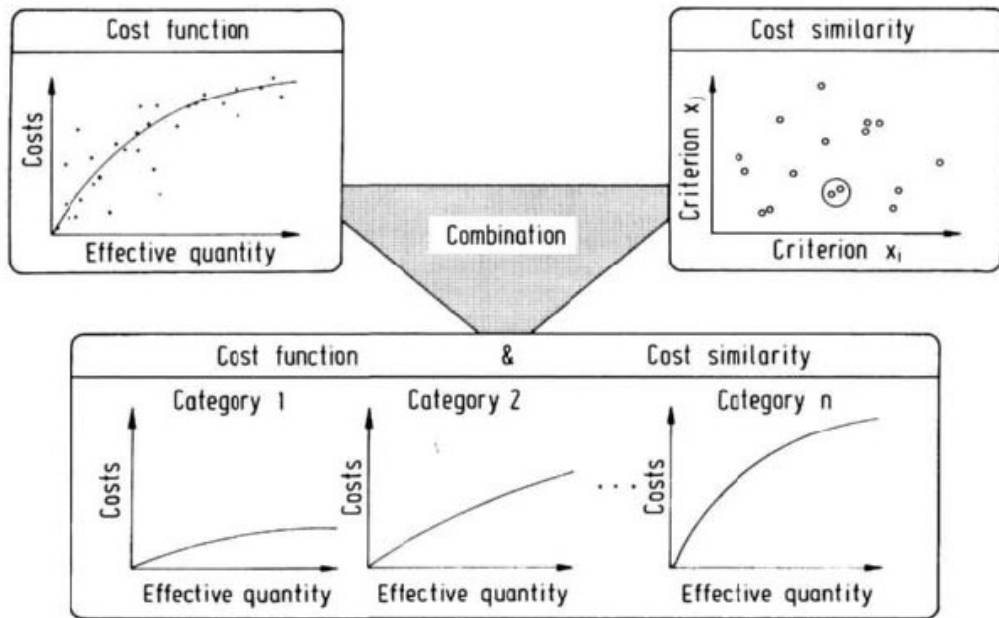


Figure 3.4 Combination of cost function and cost similarity [3.3]

Fig. 4 – Combinação da função de custos e custos por similaridade

Há uma proposta, portanto, de dividir o cálculo total de quatro grupos de custos relacionados pelas correspondentes funções de custos. (Fig. 5).

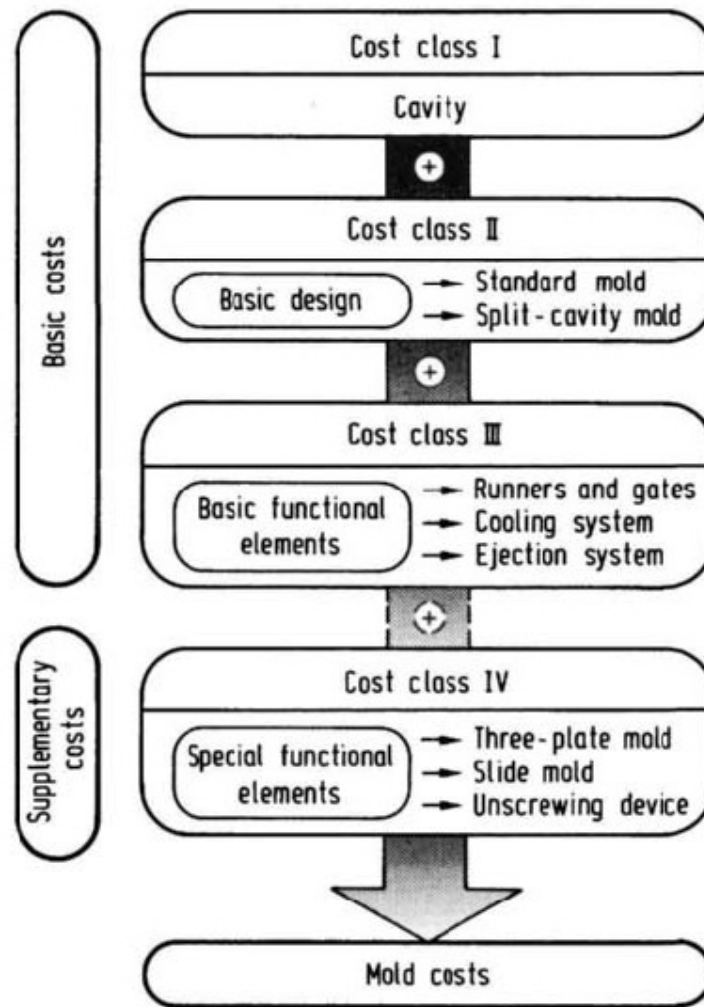


Fig. 5 – Classes de custos para estimativa de custos de moldes

Os custos são determinados para cada grupo de custo e adicionado aos custos totais. O trabalho sistemático em grupos individuais e a estrutura adicional reduzem os riscos de erros de cálculo e seus efeitos nos custos totais.

A seguir temos o detalhamento da estimativa de custos para os grupos individuais.

CUSTO GRUPO I: CAVIDADE

O grupo de custos I considera os custos para fabricar as cavidades. Eles são essencialmente dependentes do contorno da peça, da precisão requerida e do acabamento superficial desejado. Os custos são determinados pelo tempo de consumido para fabricar a cavidade e os respectivos salários por hora.

Os resultados gerais são:

$$C_C = (t_C + t_E) \cdot S_{MW} + C_M$$

C_C (\$)	custos para cavidade
t_C (h)	tempo gasto na cavidade
t_E (h)	tempo gasto com EDM (electric-discharge Machining)
S_{MW} $\left(\frac{\$}{h}\right)$	custo médio da máquina e mão-de-obra
C_M (\$)	custos de material adicional (insertos, eletrodos, etc.) podem, frequentemente ser desprezados em face dos custos totais

Cálculo de horas trabalhadas na cavidade

O tempo t_C necessário para produzir a cavidade pode ser calculado estatisticamente ou por análise de parâmetros.

$$t_C = \{(C_M \cdot (C_D + C_A))C_P \cdot C_S + C_C\}C_T \cdot C_{DD} \cdot C_N \quad [h]$$

C_M	procedimento de usinagem
C_D	Profundidade da cavidade
C_A	Área superficial da cavidade
C_P	Forma da linha de partição
C_S	Qualidade da superfície
C_C	Número de machos
C_T	Tolerâncias
C_{DD}	Grau de dificuldade
C_N	Número de cavidades

C_D, C_A, C_C são horas reais de trabalho, os demais são fatores de tempo.

As seguintes correlações são usadas para determinar os tempos individuais ou fatores de tempo.

Fator de tempo para procedimento de máquina

Os tipos de máquinas individuais para fabricação de partes macho e fêmea da cavidade são identificadas como uma porcentagem e multiplicada pelo fator de usinagem f_M . Este fator foi obtido na prática e seu valor para as diferenças de velocidade de várias técnicas de usinagem do contorno das cavidades são obtidos da tabela 1.

$$C_M = \sum_{i=1}^{n_M} f_{Mi} \cdot a_i$$

Mas $\sum_{i=1}^{n_M} a_i = 1$

- C_M Fator de tempo de usinagem
- f_{Mi} Fator de usinagem (tabela)
- a_i Porcentagem da respectiva usinagem
- n_M Número de usinagem

Tabela 1 – Fator de usinagem f_M

Fresamento	Eletroerosão	Fresamento duplo	Torneamento	Retificação	Trabalho manual
0.85	1.35	1.0 a 1.35	0.4	0.8 a 1.2	0.8

Tempo de usinagem para a profundidade da cavidade

Há usinagem acima e abaixo da linha de partição, portanto há distinção entre elevações (E) e depressões (D).

O tempo consumido resultante da profundidade da cavidade é determinado pela média de elevações e depressões acima (1) e abaixo (2) da linha de partição. Estabelecendo as elevações como suas áreas projetadas no plano da linha de partição. Se o macho não é usinado diretamente na placa, mas feito como um postigo, o resultado para metade da cavidade é

$$C_{D(1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_E} (m_{EI} + m_{Di}) \cdot f_{EPi}}{m_R \cdot n_E}$$

} elevação com depressão; macho usinado na placa

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n_E} m_{EI} \cdot f_{EPi}}{m_R \cdot n_E}$$

(elevação) } elevação com depressão; macho como postigo

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n_D} m_{Di} \cdot f_{DPi}}{m_R \cdot 2n_D}$$

(depressão) }

$C_{D(1)}$ tempo consumido por uma metade da cavidade [h]

m_E altura de elevação [mm]

m_D profundidade de depressão [mm]

n_E número de elevações [-]

n_D número de depressões [-]

m_R média de removido = [1 mm h⁻¹]

f_{EP} razão entre área de elevação

f_{DP} razão entre área de depressão

$C_{D(2)}$ é calculado por

} do moldado

} e área projetada

$$C_D = C_{D(1)} + C_{D(2)}$$

C_D tempo de consumo para a profundidade da cavidade [h]

Tempo consumido para a superfície da cavidade

A superfície da cavidade ou do moldado é a segunda variável básica que afeta o tempo de usinagem da cavidade.

$$C_s = f_s \cdot A_M^{0.77} \quad [\text{h}]$$

com fator de torneamento f_s

$$f_s = (1 - 0.5a_T) \cdot 0.79 \quad [\text{h}]$$

C_s tempo de consumo para a superfície da cavidade [h]

A_M área superficial do moldado [$\text{mm}^2 \cdot \text{E-02}$]

a_T torneamento como parte da usinagem [-]

Fator de tempo para linha de partição

Passes na linha de partição são considerados pelo fator tempo C_p .

Fator de tempo para linha de partição C_p

Tabela 2 – Fator de tempo para linha de partição C_p

Número de passos	C_p para faces planas	C_p para faces curvas
0	1.00	1.10
1	1.05	1.15
2	1.10	1.20
3	1.15	1.25

Fator tempo para a qualidade da superfície

Na qualidade da superfície é tão importante a aparência do moldado como a ausência de defeitos. O fator de superfície da qualidade C_s é afetada pela altura de rugosidade, que pode ser obtida com procedimentos de usinagem corretas. Pode ser obtido da tabela abaixo.

Tabela 3 - Fator para a qualidade da superfície C_s

Qualidade da superfície	Rugosidade μm	Fator de qualidade C_s	Observação
grosseira	$R_a \geq 100$	0.8 – 1.0	faces transversais na direção de desmoldagem
padrão	$10 \leq R_a < 100$	1.0 – 1.2	rugosidade EDM
fina	$1 \leq R_a < 10$	1.2 – 1.4	tecnicamente polida
ultra fina	$R_a < 1$	1.1 – 1.6	superfina

Tempo de usinagem para machos fixos

A usinagem e ajustamento de machos em ambas metades dos moldes é considerado pelo fator de tempo C_c . Este trabalho torna-se mais difícil se o macho não é de forma circular. O fator de contorno é multiplicado pelo número de machos com igual área de ajuste.

$$C_c = \sum_{i=1}^j t_B \cdot f_{CF} \cdot n_i \quad [h]$$

- C_c tempo de usinagem para machos fixos [h]
- t_B tempo base = 1 [h]
- f_{CF} fator de contorno [-]
- n número de machos com igual área de ajustamento [-]
- j número de diferentes áreas de ajustamento [-]

Tabela 4 - Fator de contorno para machos f_{CF}

Fator de contorno f_{CF}	Área de ajustamento
1	Circular
2	Angular
4	Circular, grande
8	Angular, grande
10	Contorno curvo

Fator de tempo para tolerâncias

Tolerâncias apertadas aumentam os custos. Para produzir moldagens economicamente viáveis não deveriam ser consideradas tolerâncias mais apertadas do que as necessárias para a função técnica.

Um padrão para fabricar moldes de precisão implica que, as tolerâncias dos moldes não deveriam exceder 10% das tolerâncias finais de moldagem. O fator de tolerâncias dimensionais C_T inclui o custo esperado para a precisão e pós-tratamento. Tolerâncias apertadas tanto quanto tolerâncias críticas para superfícies (centricidade, precisão angular, paralelismo, planicidade, folgas) consideravelmente aumentam o tempo necessário para a produção da cavidade. Ver Fig. 6.

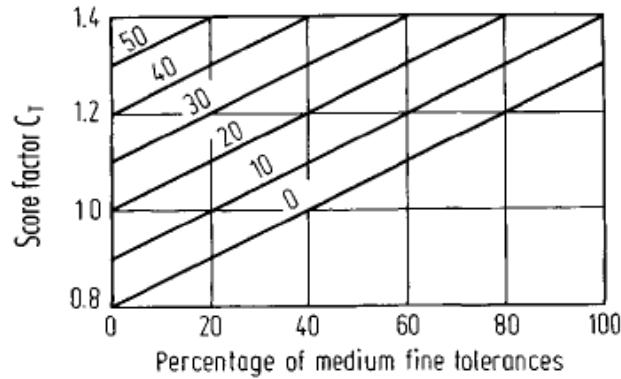


Fig. 6 – Fator de tempo para tolerâncias

Fator de tempo para grau de dificuldade e grande variedade

Um grau de dificuldade médio ($C_{DD} = 1$) é considerado uma razão comprimento/diâmetro para machos, onde um grande número de machos com pequena área e superfície complexas. Para grandes partes planas sem aberturas o fator de tempo é reduzido ($C_{DD} < 1$). A tabela abaixo mostra a relevância do critério com seu correspondente fator.

Tabela 5 - Fator de tempo para grau de dificuldade e grande variedade

C_{DD}	Dificuldade	Critério	
0.7	Muito simples	Moldagem padrão	Grande, áreas planas, peças circulares
0.8	Simple		Peças retangulares, áreas com algumas aberturas, relação profundidade/diâmetro: $L/D \leq 1$
1.0	Médio	Moldagem técnica	Aberturas circulares e angulares, $L/D = 1$
1.2			Troca possível, $L/D \approx 1-5$ peças pequenas
1.4	difícil	Moldagem de precisão	Alta densidade de machos $L/D \approx 5$, superfície complexa
1.6	Extremamente difícil		Muito alta densidade de machos $5 \leq L/D \leq 15$, faces esféricas complexas

Fator de tempo para número de cavidades

Para um elevado número de insertos de cavidades iguais ou várias cavidades iguais uma compensação por cavidade tem de ser considerada baseada na fabricação em série. A correlação entre um fator de tempo C_N e o número de cavidades n_C é apresentada na Fig. 7.

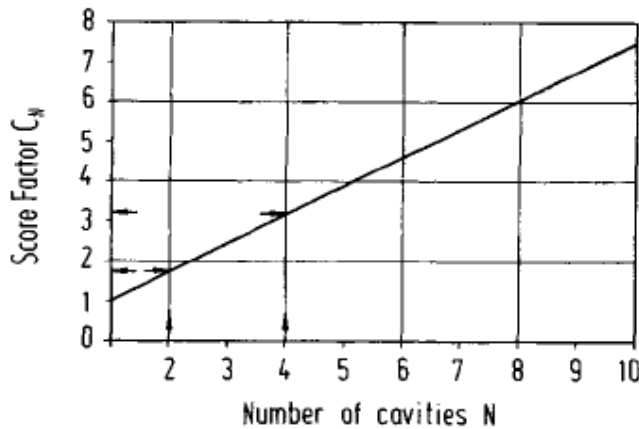


Fig. 7 – Fator de tempo para número de cavidades

Cálculo das horas de trabalho para eletrodos EDM

Devido a geometria da superfície do eletrodo corresponde ao contorno da peça, o tempo de trabalho pode ser calculado da mesma maneira feita para as cavidades.

$$t_C = \{ (C_M \cdot (C_D + C_A \cdot a_E)) \cdot C_S + C_C \} \cdot C_T \cdot C_{DD} \cdot C_N \quad [h]$$

- C_M torneamento para eletrodo
- C_D como no fator de tempo procedimento de usinagem
- C_A como no fator de tempo para profundidade da cavidade
- a_E parte da EDM para produzir a cavidade
- $C_S = 1.3$
- C_C, C_T, C_{DD}, C_N como nas considerações anteriores.

GRUPO DE CUSTOS II – BASE DO MOLDE

A base do molde contém as cavidades, os componentes funcionais básicos (canais, sistema de refrigeração e sistema de extração) e os elementos funcionais especiais (moldes de três placas, gavetas, unidade de núcleo rotativo). Um base de molde de classe I é para um pequeno número de moldagens com baixa precisão, por exemplo testes em série. Não é endurecido.

Uma base de molde classe II tem placas cementadas, alinhamento adicional, isolamento de calor na metade estacionária e, se o molde é circular, é equipado com três pinos guias. Usado para produzir peças técnicas e quantidades médias.

Um molde de classe III apresenta elevada dureza, para grandes quantidades, alta precisão e confiabilidade.

Os moldes de injeção são largamente construídos com moldes padrão. Desse modo o custo total de uma base do molde é primeiramente o custo de padrões e gastos com operações de usinagem específica não incluída. Isso sugere, ainda que, deve-se consultar os catálogos de fabricantes para atualizar preços e verificar a disponibilidade das bases do molde de um projeto diferente, tal como, placa flutuante etc. Ver Fig. 8.

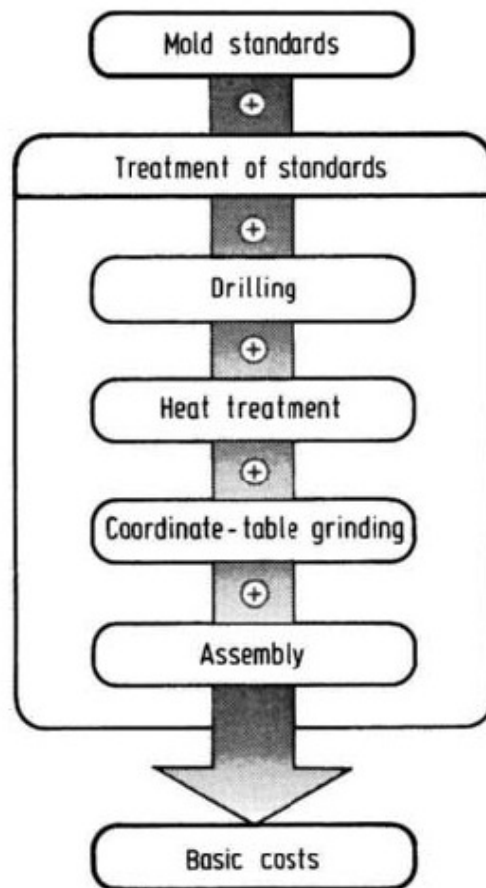


Fig. 8 – Custos básicos totais

Bases de molde padrão são de alta qualidade e diferem apenas na classe do aço que está sendo empregado, que afeta a vida útil do molde, sua capacidade de ser polido e sua resistência a corrosão. Os custos apresentados na Fig. 9 são baseados no uso do aço AISI 4130.

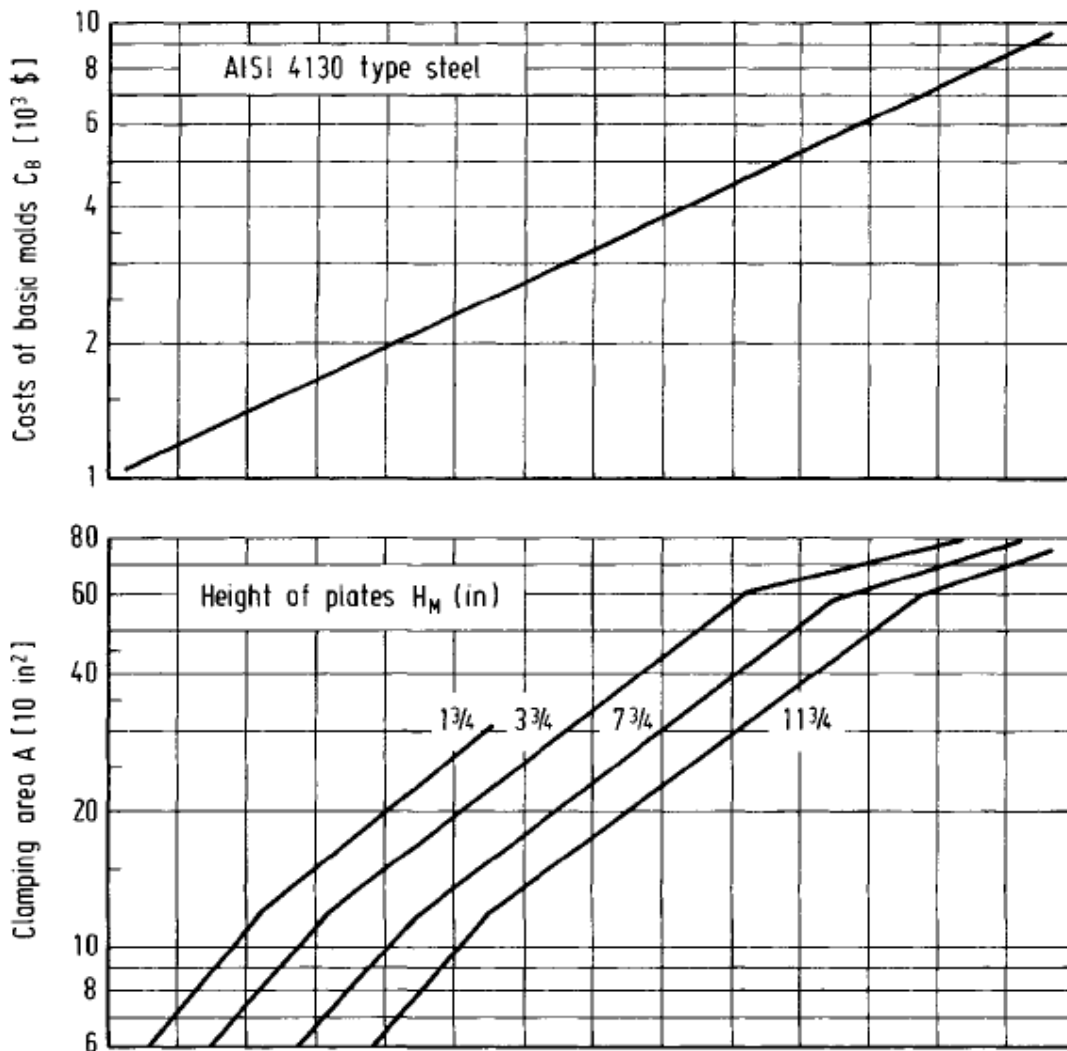


Figure 3.9 Costs of basic molds [3.7]

Fig. 9 – Custos básicos de moldes

GRUPO DE CUSTOS III - COMPONENTES FUNCIONAIS BÁSICOS

Canais de alimentação, sistema de refrigeração e sistema de extração são componentes funcionais básicos de todo o molde de injeção. Se os elementos individuais são associados para esses componentes básicos, seus custos, incluindo gastos adicionais, podem ser determinados de uma forma mais geral. Dessa forma, listando esses componentes é o suficiente para o cálculo desde que as dimensões tenham apenas um efeito modesto. Um uso extensivo de padrões é assumido como no grupo II. A Fig. 10 apresenta os fatores de influência para o custo do grupo III.

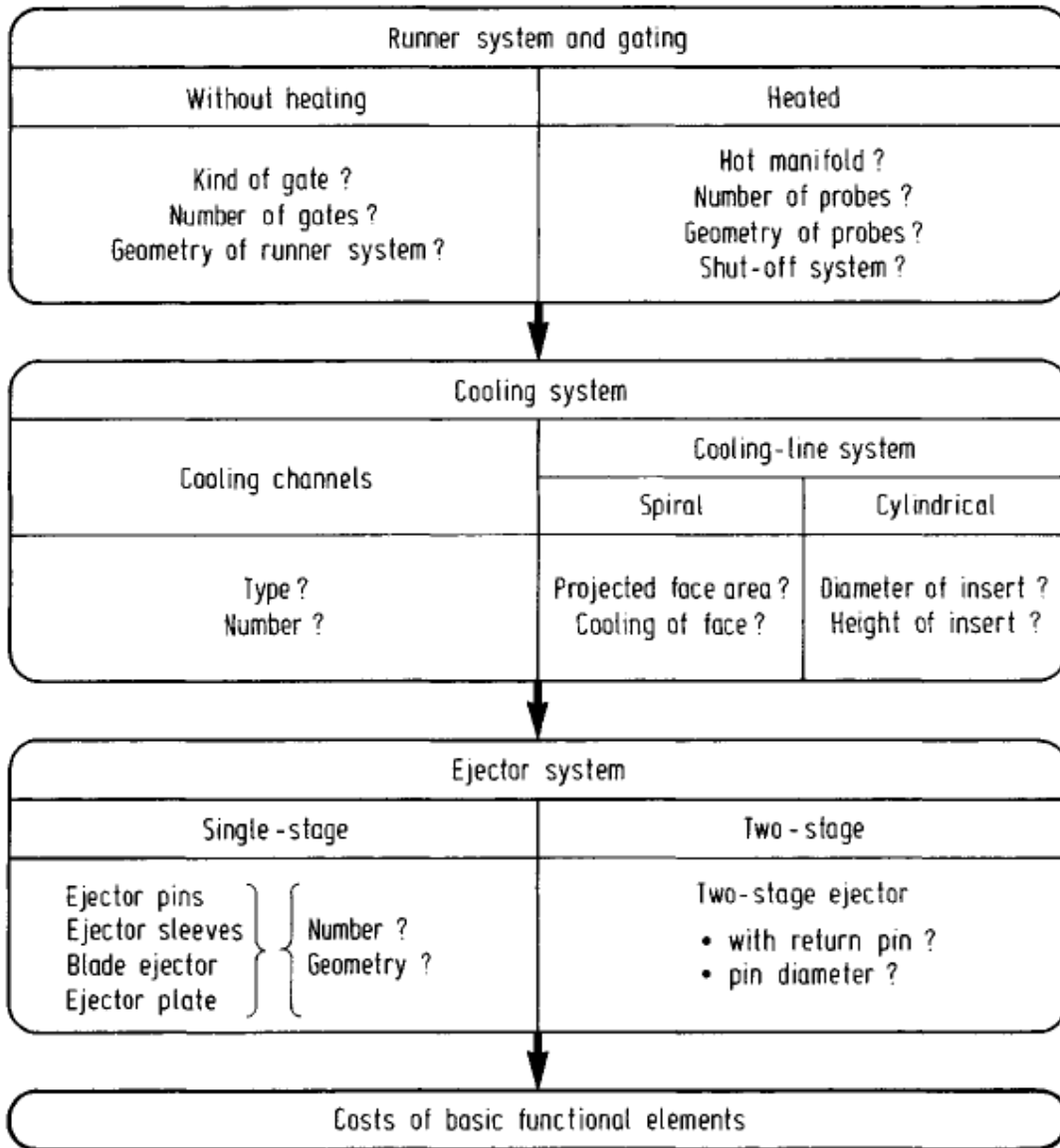


Fig. 10 – Efeitos nos custos da classe III: elementos básicos funcionais

Bucha e Sistema de alimentação

O tipo de canal de alimentação é determinado por requisitos econômicos, geometria da peça e qualidade requerida.

O custo para bucha de injeção, entrada em disco, entrada em túnel e entradas em leque e flash podem ser calculadas com

$$C_G = t_G \cdot S_{MW} \quad [\$]$$

t_G horas de máquina para usinagem de entradas (tabela abaixo)
 S_{MW} custos médios da máquina e custos de mão-de-obra [\$/h]

Tabela 6 – Tempo de trabalho para usinagem de entradas

<i>Tipo de entrada</i>	<i>Tempo</i>					
bucha de injeção	contida na base do molde					
bucha com n entradas capilares	n	1	2	3	4	
	t(min)	35	50	65	70	
entrada em disco	30 min					
entrada em túnel	15 min					
Entrada em leque	$t=(0.35 \times b + 50) \times i$ b largura da entrada (mm) t (min)					
	n	1	2	3	4	5
	i	1	1.4	1.8	2.2	2.5
	n número de entradas					

Considera-se que todos os passos usando as mesmas operações de usinagem são feitos em um único passo. Tempo de preparação já foi considerado pelo custo do grupo II.

Sistema de alimentação

Custos dos canais de alimentação são determinados pelo seu comprimento necessário:

$$C_R = g_R \cdot I_R \cdot S_{MW} \quad [\$]$$

- C_R Custos dos canais [\\$]
- S_{MW} custos médios de máquina e mão-de-obra [\\$]
- I_R Comprimento do canal [mm]
- g_R Fator de correção do diâmetro do canal
 0.14 min./mm para $d_R = 5mm$
 0.16 min./mm para $d_R = 8mm$
 0.18 min./mm para $d_R = 12mm$
- d_R diâmetro do canal [mm]

Se os canais são usinados em ambas as placas do molde, os custos podem ser duplicados. Os tempos de preparação podem ser desprezados.

Sistema de canais quentes

Os custos totais de um sistema de canais quentes podem ser determinados com a equação:

$$C_{HR} = \{(C_{BHR} + g_A \cdot A) + n_N \cdot (C_N + 225\$ + C_{NS})\} \cdot g_G \quad [\$]$$

- C_{HR} custos totais dos canais quentes e montagem [\\$],
- C_{BHR} custos básicos para canal quente [\\$]
- g_A coeficiente de área [8.E-03 \\$/mm²]
- A área de fechamento
- n_N número de bicos [-]
- C_N custo de um bico [\\$]
- C_{NS} custo de um shut-off bico [\\$]
- g_G 1.1 a 1.2 para moldagem de plástico reforçado com fibra de vidro, 1.0 para moldagem de plásticos sem reforço.

Os sistemas de canais quentes são padronizados. Portanto, custos de um sistema de canais quentes e custos para bicos podem ser obtidos de catálogos de fabricantes de câmaras padronizadas. Adicionado ao custo básico para placa flutuante, o sistema de canais, o material para a montagem, vedações e usinagem. Devido a grande variedade de sistemas de canais quentes não é possível considerar em detalhes o custo dos mesmos.

Sistema de Resfriamento

Para um dado número de linhas de resfriamento os custos dos sistemas C_H podem ser calculados com

$$C_H = k_D \cdot n \cdot S_{MW} \quad [\$]$$

- k_D fator para o grau de dificuldade permitida pelo tamanho do molde, forma dos canais
- n número de linhas de resfriamento (sem conexão)

Tabela 7 – Coeficiente de para a usinagem dos canais de resfriamento k_D

Coeficiente k_D	Área de fechamento A (10 ² cm ²)				
	4.00	6.25	9.00	12.25	16.00
furo reto	0.41	0.45	0.50	0.56	0.60
furo oblíquo	0.68	0.75	0.83	0.93	1.00
inserto helicoidal no núcleo ou tubo de calor	0.81	0.90	0.99	1.11	1.20

Sistema de extração

Os custos do sistema de extração das peças (pinos de extração, luvas, lâminas, pinos de retorno, etc.) são facilmente obtidos dos catálogos dos fabricantes.

Os custos para furos, para fabricação dos elementos extratores e da placa porta-extratores são obtidos da geometria de moldagem são determinados com a equação abaixo:

$$C_{EM} = S_{MW} \sum_{i=1}^5 \frac{d_i - I_{Gi}}{1850 \frac{mm^2}{h}} + 0.8h.n_i.r_H \quad [\$]$$

d	diâmetro do elemento extrator
I _G	comprimento guiado do elemento extrator,
n	número
r _H	dificuldades com a usinagem das buchas guias
r _H = 1	para pinos ejetores e pinos com saliências
r _H = 2	para luva e lâmina extratora
r _H = 0.2	para pinos de retorno

GRUPO DE CUSTOS IV – FUNÇÕES ESPECIAIS

Rebarbas produzidas pelo sistema de alimentação ou a peça obstruída na desmoldagem podem usualmente ter um projeto especial.

Os custos para funções especiais tais como moldes de três placas, gavetas, núcleo rotativo devem ser determinados e adicionados ao custos básicos calculados. A figura 11 mostra os fatores que afetam o custo do grupo IV. As funções especiais podem ser feitas com elementos padronizados, é possível compilar diagramas de custos como os do grupo de custo II, que também consideram a usinagem e montagem.

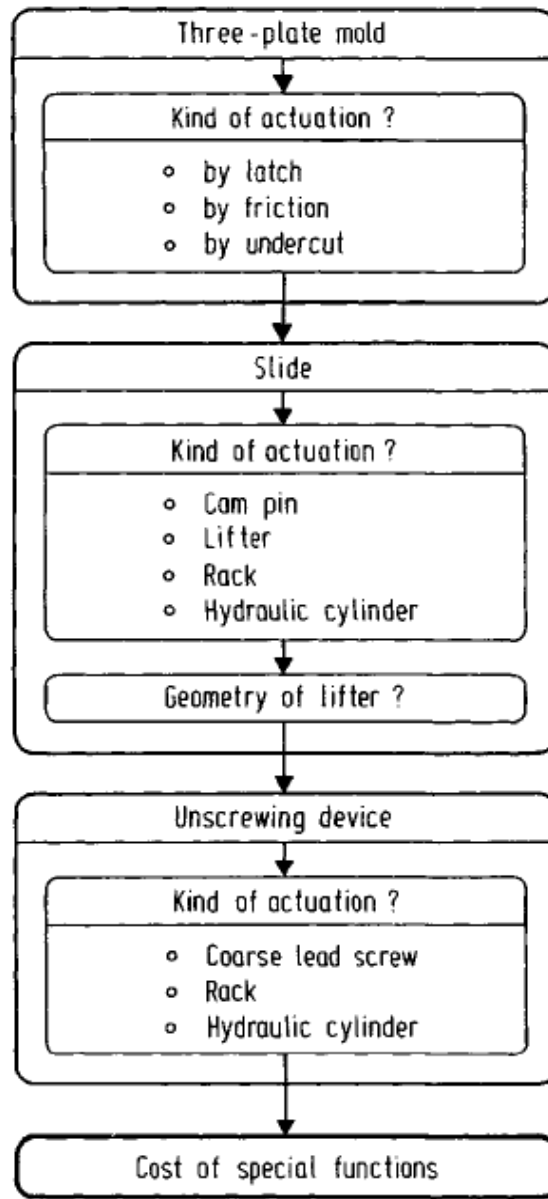


Fig. 11 – Efeitos nos custos classe IV: Elementos funcionais especiais

18. BIBLIOGRAFIA:

[1] BRITO, A. M. et al., **Manual do Projectista para moldes de injeção de plástico**. CENTIMFE-Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos, 10v. 2004.

[2] MENGES & MOHREN, **How to make injection molds**. Munich: Hanser, 2000, 612 p.

[3] HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos – Projetos e Princípios básicos**, São Paulo: Artliber, 2004, 308 p.

[4] PROTEC, **Moldes para plástico**. São Paulo: Editora F. Provenza, 1976.