



MANUAL DE INJEÇÃO



Injeção

SEÇÃO I	TECNOLOGIA DE MOLDAGEM	PÁG. 3
SEÇÃO II	DESENHO DE MOLDES	PÁG. 19
SEÇÃO III	PROBLEMAS DE MOLDAGEM	PÁG. 38
SEÇÃO IV	TENSÕES RESIDUAIS, ADESIVOS	PÁG. 43

SEÇÃO I

Tecnologia de Moldagem

INTRODUÇÃO	PÁG. 4
TÉCNICAS DE MOLDAGEM	PÁG. 4
MANIPULAÇÃO E ARMAZENAMENTO	PÁG. 4
PRÉ-AQUECIMENTO E PRÉ-SECAGEM	PÁG. 4
FORMA DOS GRÂNULOS	PÁG. 5
LUBRIFICAÇÃO	PÁG. 5
TEMPERATURAS DE MOLDAGEM	PÁG. 6
TEMPERATURAS DE MOLDE	PÁG. 7
PRESSÃO DE INJEÇÃO	PÁG. 7
COLCHÃO DE ALIMENTAÇÃO	PÁG. 8
TEMPO DE INJEÇÃO	PÁG. 8
CICLOS DE MOLDAGEM	PÁG. 9
CONTRAÇÃO	PÁG. 10
TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS	PÁG. 11
ROSCA PLASTIFICADORA NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO	PÁG. 12
INTRODUÇÃO	PÁG. 12
DESENHO DA ROSCA	PÁG. 13
CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA IMPULSOR	PÁG. 14
VÁLVULAS DE RETENÇÃO	PÁG. 14
CONTROLE DE TEMPERATURAS DO CILINDRO	PÁG. 15
PRESSÃO POSTERIOR CILINDRO	PÁG. 15
VELOCIDADE DA ROSCA	PÁG. 16
VELOCIDADE DE INJEÇÃO	PÁG. 16

INTRODUÇÃO

Ao considerar a moldagem dos plásticos pelo processo de injeção deve-se levar em conta a grande quantidade de fatores que podem afetar os resultados finais tanto em termos de performance como econômicos. Têm-se escrito muitos livros e artigos sobre esse tema, e, portanto não é nossa intenção tratar de substituí-los, mas sim de atuar como guia de todos os fatores envolvidos e de sugerir as melhores alternativas de seleção de equipamentos, desenho de moldes e técnicas de processo para utilizar as resinas de Poliestireno

Cristal e de Impacto, afim de obter em cada caso a performance desejada ao mais baixo custo possível. Para facilitar a busca dos temas, este boletim foi dividido em quatro partes começando por tecnologia de moldagem, em seguida, desenho de moldes, problemas de moldagem e finalmente tensões residuais, adesivos e conversão de unidades. Em caso de necessidade de informações adicionais sobre temas mais específicos comuniquem-se com a Gerência de Desenvolvimento e Assistência Técnica.

TÉCNICAS DE MOLDAGEM

Manipulação e armazenamento do material

As resinas de poliestireno são entregues geralmente em bolsas de 25 kg de capacidade. Durante os meses de inverno, quando a temperatura está abaixo de 10°C, as embalagens devem ser armazenadas pelo menos 24 horas em lugar fechado a temperatura ambiente, antes de serem abertos para utilização, porque se são trazidas diretamente a um ambiente quente e com alta umidade relativa, esta pode condensar-se sobre os grânulos frios no momento de abrir as bolsas e causar peças com superfícies defeituosas na moldagem. Portanto, o poliestireno deve ser armazenado em ambiente temperado e seco.

A resina de poliestireno pode apresentar-se em forma de grânulos finos e grânulos médios de aproximadamente 1,6 x 1,6 mm e 3,2 x 3,2 mm respectivamente (ver forma dos grânulos).

A tendência mundial em um grande número de instalações de moldagem, é que o material seja carregado nos silos das injetoras por meio de transportadores pneumáticos.

Pré-aquecimento e pré-secagem

O poliestireno não é um material higroscópico e não requer pré-secagem para sua moldagem, a menos que, tal como indicamos no parágrafo anterior, se houvesse produzido condensação de umidade em seus grânulos.

A experiência demonstra que quando o conteúdo de umidade dos poliestirenos excede 0,2%, as peças moldadas podem apresentar defeitos superficiais tais como manchas prateadas ou similares. Nesse caso, estas resinas devem ser previamente secas antes de moldá-las. Recomenda-se 1 a 2 horas a 80 - 88 °C.

A pré-secagem adiciona ao material o benefício do pré-aquecimento e reduz assim os requerimentos de temperatura das resistências do cilindro de injeção. Sem pré-aquecimento, o cilindro deve aquecer o grânulo dos 20°C até os 240°C (ou seja 220°C). Este valor se reduz se pré -aquecermos a 88°C pois a diferença seria somente de 152°C, com o qual o esforço de aquecimento do cilindro se reduzirá em 30%. Isso permite temperatura mais homogênea na mistura, reduz a possibilidade de

zonas super aquecidas no cilindro e permite ciclos de moldagem mais rápidos.

O pré-aquecimento é altamente vantajoso naqueles casos em que o peso da peça de injeção excede 70% da capacidade nominal da máquina. Por esta razão também é recomendável pré-aquecer os poliestirenos.

Para a secagem do material, são tão eficientes os fornos a bandeira circulares como os silos pré-secadores. Estas últimas, têm a vantagem de reduzir a manipulação evitando contaminação e mantendo o material quente no silo. O uso de ar desumificado é aconselhável somente quando existem altas condições de umidade.

Forma dos grânulos

Os polímeros de moldagem se apresentam em forma de grânulos ou moídos. Os grânulos são de forma pequena e regular, geralmente cilíndricos, que se obtém cortando tiras extrudadas (pellets). O moído de forma irregular se obtém pela moagem de pedaços grossos de polímeros, agregados e peças, isso produz uma ampla distribuição de partículas de diferentes medidas.

A densidade aparente dos materiais é o peso dividido pela unidade de volume e isso nos indica a quantidade de ar em um volume determinado de grânulos. A densidade aparente do poliestireno em grânulos é de 600-700 kg/m³, enquanto que no moído é de 500-600 kg/m³. A moagem recuperada tem uma densidade mais baixa que os grânulos, ou seja, tem maior conteúdo de ar.

Quando as máquinas são alimentadas volumetricamente, a menor densidade aparente requer maior volume de alimentação, porque precisa expulsar mais ar enquanto comprime o plástico injetado. Em se tratando de materiais de baixa densidade aparente, às vezes o pistão deve comprimir em vários golpes para poder acumular suficiente material para encher o molde. Esta operação se denomina “compactar”. Se o ar embolsado não é eliminado, ficará preso no material fundido, a medida que se produz a densificação frente a rosca e logo se deslocará ao molde onde provocará manchas prateadas, ampolas, bolhas, etc.

Os grânulos pequenos oferecem uma maior área superficial por unidade de peso se comparados aos de tamanho regular. A superfície/peso é importante para a coloração a seco e para o uso de lubrificantes. Os grânulos pequenos oferecem uma relação superfície/peso que favorece a coloração a seco e a dispersão uniforme de lubrificantes em pó ou líquidos.

Atualmente, o uso de pequenos grânulos está limitado porque tendem ao super aquecimento ou queima no cilindro de injeção. Por exemplo, a poeira que se produz na moagem pode aderir no espaço compreendido entre o pistão e paredes do forno nas máquinas de injeção a pistão convencionais e pode chegar a queimar-se na zona posterior quando o pistão chega ao final de sua trajetória. Para os polímeros de estireno a medida mínima de grânulos ou grãos moídos para máquinas a pistão é aproximadamente 1 mm x 1 mm. Quando se moldam grânulos ou grão moído fino se aconselha manter a temperatura da zona posterior a uns 15 a 25°C mais baixa que a zona centro e frente. Este procedimento não só reduz a possibilidade de super aquecimento mas também favorece o escape do ar aprisionado.

Lubrificação

Os lubrificantes externos aplicados sobre a superfície dos grânulos facilitam o deslizamento no silo e duto de alimentação da máquina injetora.

Nas máquinas convencionais a pistão, se verifica uma perda de pressão quando se compacta e empurra através da parte posterior do cilindro os grânulos não fundidos. Esta queda de pressão pode chegar a 50 % da pressão aplicada pelo pistão. Com lubrificação externa os materiais deslizam melhor e se reduz significativamente a queda de pressão. Também se evitam manchas de degradação produzidas pelo excesso de fricção.

Os poliestirenos podem ter distintos níveis de lubrificação interna/externa de acordo com o tipo de moldagem.

Durante o processo de injeção, o lubrificante externo se incorpora ao material. Este se perde quando utilizamos a moagem. Portanto esta, ao ser moldada pode gerar aumento de temperatura por

fricção provocando manchas negras nas peças. Nesses casos deve-se agregar lubrificante ao material recuperado antes de moldá-lo. A quantidade necessária é de 0,03 % com uma agitação prevista de 15 min. Este percentual equivale a 30g por 100Kg de recuperado. Além disso, um excesso de lubrificante ou uma má homogeneização do mesmo pode produzir riscos ou manchas nas peças, especialmente nos poliestirenos cristais ou de cores translúcidas. Normalmente se usa o estearato de zinco ou ceras microcristalinas como lubrificantes externos.

Temperatura de moldagem

As resinas de poliestireno devem ser aquecidas pelo menos a 170 - 180°C para tornar-se moldáveis, acima desta temperatura diminui a viscosidade da massa necessitando menor pressão para conseguir o rendimento de injeção desejado.

Acima de 280-290°C de acordo com sua formulação específica, os polímeros a base de estireno começam a se decompor por despolimerização e oxidação e como última etapa se carbonizam. A decomposição dos estirênicos pode começar depois dos 20 a 30 minutos de permanência a 270°C. Os polímeros que contêm butadieno são mais propensos à oxidação a altas temperaturas que o poliestireno cristal de alta resistência à deformação por calor.

Intervalo de temperaturas de massa sugeridas para alguns graus de poliestireno Innova:

Innova N 1921/N 1841	180-220°C
Innova N 2560/N 2380	190-230°C
Innova SR 550/ RT 441M/ RC 600.....	180-230°C

As temperaturas mencionadas são as de “massa” e não as dos pirômetros que controlam as resistências. Nas máquinas, no pistão, a temperatura normal de massa será usualmente entre 10 a 25°C mais baixa que a indicada nos instrumentos de controle. Nas máquinas a rosca será igual ou 10-15 °C mais alta. Um pirômetro instalado perto do bico de injeção é um método

conveniente para medir a temperatura real da massa fundida. Outro método, ainda que menos conveniente, é inserir a agulha de um pirômetro manual no material que está saindo ao realizar uma “purga” quando o cilindro está à temperatura operativa e depois que a máquina realizou entre 10 a 12 injetadas nessas condições.

Para ciclos longos como requerem peças de elevada espessura, as temperaturas tenderão até as mínimas recomendadas e para peças finas com ciclos curtos as temperaturas estarão mais próximas dos valores máximos.

Em geral todas as zonas do cilindro devem estar a uma mesma temperatura. Por exemplo, se temos 300°C na zona posterior e 200°C no meio e na frente, os grânulos se queimarão na zona posterior. Existe, no entanto, algumas exceções:

1. Manter a zona de trás a uma temperatura entre 15 - 25°C mais alta que o centro e à frente quando:

a) O peso da peça injetada, incluindo o galho excede 75% da capacidade nominal da máquina.

b) Em ciclos de moldagem menores que 30 segundos.

2. Manter a zona detrás a uma temperatura entre 15- 25°C mais baixa que o centro e a frente quando:

a) O peso da peça injetada, incluindo o galho é menor que 50 % da capacidade nominal da máquina.

b) Em ciclos de moldagem que excedem os 60 segundos.

c) Em moldagem de grânulos finos ou moídos.

d) Se aparecem manchas prateadas ou defeito tipo mica nas peças moldadas.

Geralmente deve-se deslocar a zona de máxima plastificação da massa até a frente quando existe uma exposição prolongada ao calor ou se estende o tempo de residência no cilindro, ou sempre que exista ar ou excesso de voláteis na massa do polímero.

Temperatura do molde

Uma alta temperatura na superfície do molde reduz tensões internas, produz superfícies mais brilhantes, minimiza as linhas de junção e de fluência do material. Lamentavelmente estas altas temperaturas também requerem extensos ciclos de moldagem que permitirão “solidificar” o plástico para poder expulsar a peça do molde suficientemente rígida para evitar deformações. As temperaturas mais baixas que permitem ciclos mais rápidos tem a desvantagem de causar tensões internas, peças com falta de brilho e linhas de junção muito marcadas. Os moldes frios podem produzir rupturas ao extrair a peça se esta foi moldada com os estirênicos menos dúcteis tais como Innova HH-101.

A temperatura máxima do molde para termoplástico amorfo é praticamente igual a sua temperatura ASTM de distorção ao calor (ASTM D-638). Acima dessa temperatura a peça não manterá sua forma e dimensões ao ser extraída. A temperatura mínima da superfície do molde sugerida para poliestireno oscila entre 30 - 40°C; abaixo destes níveis teremos altas tensões de moldagem (por orientação e choque térmico) e problemas de emcurvamento e de pobre aspecto superficial. A temperatura ideal deve ser um meio termo entre estes dois extremos.

Note-se que estas são temperaturas da superfície do molde e não dos canais de circulação de água. Em ciclos muito rápidos se necessita, às vezes, circular água refrigerada por esses canais para esfriá-los, mas ainda assim a temperatura da superfície da cavidade não pode estar abaixo de 22-25°C.

As temperaturas de superfície do molde recomendadas para diferentes graus de poliestireno são:

Innova	
N 1921/ N1841	40-60°C N
2560/ N 2380	50-75°C SR
550/ RT 441M/ RC 600	40-70°C

Para moldar peças de paredes finas (inferiores a 3 mm), a temperatura aconselhável é a dos intervalos mais baixos, para paredes mais grossas (acima de 3 mm) se requer temperaturas mais altas.

Uma maneira muito efetiva de obter ciclos curtos sem sacrificar brilho é manter diferentes temperaturas em ambas faces do molde. A que vai moldar a superfície visível do objeto pode estar entre 10 - 30°C mais quente que a outra parte. O núcleo mais frio provoca uma maior velocidade de forja, enquanto que a cavidade mais quente conseguirá um melhor brilho.

Este procedimento deve ser experimentado cuidadosamente por duas razões:

1) As áreas planas e delgadas são propensas a curvar-se, pelo que a superfície “mais quente” adotará esta forma.

2) A metade mais quente do molde se dilata mais que a outra mais fria de tal forma que pode causar problemas de descentralização entre as colunas guias do molde e suas buchas por diferença de dilatação do metal, provocando seu desgaste ou torções quando o molde se fecha.

Se não se dispõe de um pirômetro para medir a temperatura da superfície do molde, pode ser feita uma estimativa mediante o tato. A mão pode ser mantida sobre um metal até 50°C. Acima desta temperatura não poderá manter-se por mais de uns poucos segundos.

PRECAUÇÃO: deve-se assegurar que a porta de segurança esteja aberta e o motor da máquina desligado antes de colocar a mão sobre o molde.

Pressão de injeção

A pressão de injeção para moldar resina de poliestireno exercida pela frente do pistão deve ser de 400 a 1.400 kg/cm² (39 - 130 N/mm²), dependendo do tipo e capacidade da máquina, temperatura de massa, diâmetro de abertura do bico de injeção, desenho do molde, tipo de plástico, lubrificação, etc. Se aconselha operar ao

máximo possível a pressão de injeção e reduzir simultaneamente a temperatura do cilindro para conseguir ciclos mais curtos. Uma boa prática é ir aumentando a pressão gradualmente a medida que o ciclo vai se reduzindo antes de aumentar a temperatura do cilindro. Com temperaturas de massa muito altas, o excesso de pressão pode produzir rebarbas na peça ou bloquear o molde, de modo que não se possa abrir pela força hidráulica exercida no lado móvel.

Com temperaturas excessivamente baixas o excesso de pressão pode:

-
1. Danificar o torpedo (difusor) nas máquinas a pistão convencionais.
 2. Originar tensões internas na área de entrada das peças injetadas.
-

Se a máquina permitir, é aconselhável usar uma primeira pressão de injeção muito alta enquanto são enchidas as cavidades e manter em seguida uma pressão de retenção mais baixa para evitar uma retração do material nas cavidades recém preenchidas.

Neste tipo de máquina deve-se sincronizar perfeitamente o momento de passar da pressão inicial alta até a mais baixa assim que as cavidades se preencham e isso ocorre quando o pistão detém seu avanço.

Colchão de alimentação

O colchão de alimentação é a quantidade de material retido entre a posição final do pistão e a de sua máxima posição possível de avanço durante uma injeção. Quando o colchão de alimentação chega a zero, o pistão alcançou o limite máximo de sua possibilidade de avanço e nesse ponto não transmite pressão ao material fundido no cilindro. Um elevado colchão de alimentação requer que o pistão empurre uma maior quantidade de material no cilindro para que o deslizamento seja realizado através do ponto de injeção, o que causa grande perda de pressão desde a frente do pistão até o ponto.

Em geral, a alimentação deve ser ajustada a um colchão mínimo entre 3 a 5 mm. quando se moldam grãos moídos com tamanho de partícula não uniforme, um colchão mais alto (13 a 19 mm) ajuda a eliminar ar embolsado. Se o material conte excesso de umidade ou voláteis que aparecem em forma de manchas escuras nas peças moldadas, é útil aumentá-lo a 25 mm reduzindo simultaneamente a temperatura da parte posterior do cilindro em 15°C abaixo da zona central.

Os alimentadores de carga por peso eliminam a necessidade de um ajuste do controle de alimentação volumétrica e asseguram um colchão uniforme e mínimo uma vez que a carga de alimentação foi ajustada para igualar o peso da peça injetada.

Tempo de injeção

É o intervalo entre o instante em que a rosca começa seu avanço até que a pressão da injetada pára de agir. O timer que controla a trajetória de avanço da rosca inicia sua ação no momento que começa seu movimento para frente e termina imediatamente quando começa o retrocesso.

Nas máquinas a pistão e na rosca direta pode-se observar que a velocidade do pistão diminui quando chega ao final da posição de avanço. Enquanto se realiza o enchimento das cavidades do molde, geralmente a velocidade inicial é de 25 mm por segundo ou mais, diminuindo a 1,6 mm por segundo enquanto são preenchidas, por conseguinte o resto da trajetória do pistão serve para compactar o material plástico nas cavidades.

O período inicial de injeção a alta velocidade é o de “tempo de enchimento” ou “tempo de percurso ou trajetória de pistão”, tão logo este avança lentamente até o momento que as entradas de galho se solidifiquem.

Se colocarmos o timer para que se detenha o pistão quando as cavidades forem preenchidas, a pressão de injeção deixa de agir imediatamente e o material tende a se retrair até que as entradas das mesmas se solidifiquem. Se o pistão começa a retroceder imediatamente após o enchimento, se cria uma pressão negativa ou sucção dentro do cilindro, o que provoca depressões (saliências nas

peças), ou outras marcas superficiais. Por isso deve-se manter uma pressão positiva por um certo período uma vez que as cavidades se preencheram, até que as entradas de galho se esfriem.

Recomenda-se ir reduzindo progressivamente o tempo de avanço da rosca até que apareçam marcas de saliências na superfície das peças. Chegando nesse ponto, deve-se incrementar em uma razão de 1 segundo a cada 3 ou 4 ciclos até que as marcas ou qualquer defeito por baixa pressão desapareçam. Com este procedimento se estabelece o tempo mínimo requerido para o esfriamento da entrada a uma determinada temperatura de massa do material e do molde. Mantendo este tempo, o ciclo total pode ser progressivamente reduzido até que deformações e encurvamentos comecem a surgir na extração.

Ciclos de moldagem

O ciclo de moldagem é o intervalo total entre o instante em que a matriz é fechada durante um ciclo e o instante correspondente ao fechamento do molde no ciclo seguinte enquanto a máquina opera de forma repetitiva. O termo “ciclo de máquina” se refere a parte do ciclo controlada e pré-fixada nos relógios (timers) do painel de instrumentos. O ciclo de máquina começa quando o operador fecha a porta de segurança que ativa o mecanismo de fechamento do molde. As operações subsequentes de fechamento de molde, injeção, esfriamento e abertura de molde se efetuam automaticamente. O ciclo de máquina termina quando o timer de “molde fechado” chega a zero e a máquina se abre no limite pré-estabelecido de abertura de molde.

Portanto, o ciclo total é a soma do ciclo de máquina e o tempo requerido pelo operário para abrir a porta de segurança, retirar a peça injetada e fechar a porta. O ciclo de máquina é a soma total de: tempo de injeção, tempo de esfriamento da peça injetada, tempo de abertura e fechamento do molde. As duas últimas operações são próprias da máquina e independentes da variável de ajuste do molde e das propriedades do polímero. O tempo de esfriamento é o mais extenso de todo o ciclo e depende da espessura das paredes da peça

moldada; da temperatura do molde e das características de esfriamento do polímero.

No geral, se buscam ciclos rápidos. O custo horário de uma máquina de injeção é uma constante, com o que ciclos mais rápidos produzirão peças de menor custo. No entanto, os ciclos muito rápidos podem causar maior quantidade de material defeituoso, reduzindo dessa forma a produção de peças boas por hora, e ainda que as peças defeituosas podem ser recuperadas no material se incrementam os custos. Além disso, os ciclos muito curtos impõem uma carga excessiva ao sistema hidráulico da máquina que finalmente, pode incrementar o tempo de paradas ou de manutenção.

Em alguns casos se pode usar água refrigerada para acelerar os ciclos de moldagem. Isso não é possível sempre que a temperatura do molde não esteja abaixo da temperatura ambiente pois isso pode produzir peças tensionadas e quebradiças com acabamento superficial pobre. Além disso, nessas condições pode-se condensar umidade sobre as faces do molde provocando oxidação.

Como já dissemos, o tempo de resfriamento para que o plástico solidifique está relacionado com a espessura das paredes, temperatura do molde e características do material. Para poliestirenos, os valores típicos de ciclos de máquina em relação a uma média de espessura de paredes é a seguinte:

Espessura (MM)	Ciclo de máquina (segundos)
0.5	10
1.0	15
1.52	22
2.00	28
2.54	35
3.00	45
3.55	65
4.00	85

Para paredes de espessura superior a 3,80 mm só é necessário esfriar a capa externa da peça para permitir sua expulsão. Isso dependerá da medida e

quantidade de roscas de expulsão que o molde possui. Se a superfície de roscas é relativamente grande, praticamente não há perigo que a força exercida pelos roscas ejetores causem deformações a peça, o que poderia ocorrer se os roscas são poucos e de diâmetro pequeno.

Algumas técnicas para conseguir ciclos mais rápidos estão a seguir:

1. Pré-secar o material por meio de um silo pré-secador com circulação de ar a 80 – 90°C. A entrada de material quente permite reduzir as temperaturas das zonas do cilindro produzindo uma abertura de molde mais rápida.
2. Ajustar a alimentação para obter o “colchão” mínimo. Isso reduz a perda de pressão no cilindro permitindo velocidades de injeção mais rápidas a temperaturas mais baixas.
3. Polir todas as cavidades para retirar qualquer imperfeição ou ângulos vivos. As cavidades devem ter a suficiente cônica e ângulo de descarga para evitar dessa forma o uso de agentes desmoldantes. Sua aplicação requer vários segundos que somados são vários minutos de perda por hora.
4. Controlar a temperatura do molde de maneira que a placa da matriz que forma a superfície da peça que ficará à vista esteja entre 12 e 22°C mais quente que aquela que moldará a superfície interna.
Ex.: cavidade externa 60°C.
cavidade interna 40°C.
5. As peças que tem seções acima de 4,8 mm devem ser submersas em um banho de água quente imediatamente após de retiradas do molde.
6. Dispor de um sistema de formas (preferencialmente de madeira ou metal coberto por feltro) para evitar o encurvamento ou deformação das peças imediatamente depois de retiradas do molde.
7. Manter uma ficha de produção para cada molde e cada máquina colocando as variáveis de

processamento. Isto facilitará o início e diminuirá as perdas de tempo em obter as condições ideais de operação.

8. Moer e alimentar a máquina com o material recuperado imediatamente após ser gerado.

Contração de moldagem

Entende-se por contração de moldagem a diferença de medida que existe entre a peça injetada quando alcança o equilíbrio à temperatura ambiente e a medida da cavidade na que foi moldada. A contração para poliestireno de uso geral e resistente à temperatura é de 0,3 % a 0,4 %. Para poliestireno de médio e alto impacto é de 0,4 a 0,5 %.

A contração está relacionada com o desenho do molde (figura A) e as condições de moldagem (figura B). Qualquer fator que tende a aumentar a pressão efetiva dentro da cavidade reduzirá a contração.

Para reduzir a contração se aconselha:

1. Incrementar a temperatura de massa do material.
2. Incrementar a pressão de injeção.
3. Reduzir o colchão de alimentação.
4. Reduzir a temperatura do molde.
5. Aumentar o tamanho da entrada da cavidade ou sua comprimento.
6. Aumentar o tamanho do bico de injeção.
7. Instalar entradas múltiplas.
8. Aumentar o tempo de avanço do pistão.
9. Aumentar a velocidade de injeção.
10. Aumentar o tempo de fechamento do molde.
11. Aumentar os escapes de gases da cavidade.

Para aumentar a contração, empregar os procedimentos opostos aos detalhados.

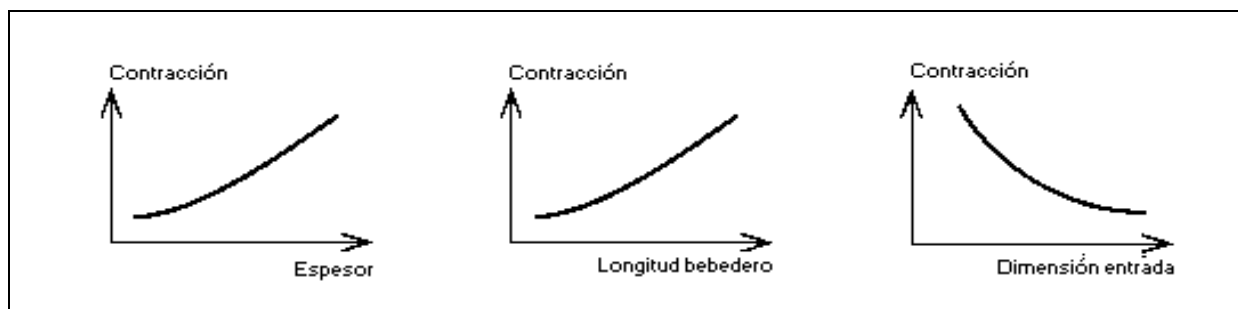


FIGURA A.

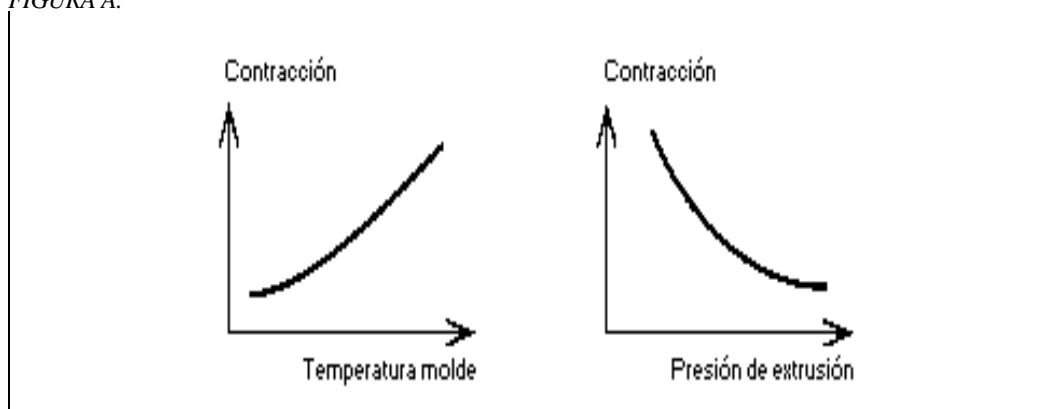


FIGURA B.

Tolerâncias dimensionais

Como já foi dito, as condições de moldagem e desenho do molde afetam a contração do material. Ainda sob as melhores condições podem haver algumas pequenas variações na temperatura de massa do material, pressão de injeção, temperatura de molde, colchão de alimentação ou ciclo total de injeção. Por exemplo, os controles de temperatura do cilindro se apagam e acendem, a pressão de injeção tende a cair quando esquentar o óleo do sistema em seguida de uma prolongada operação, o colchão de alimentação varia de acordo com o tamanho de partículas do material e a temperatura do molde pode flutuar. Também se podem esperar pequenas variações da fluência de acordo com os diferentes lotes de polímeros utilizados.

Por todas estas razões, toda moldagem por injeção requer certas tolerâncias dimensionais. Poliestirenos podem ser moldados dentro de limites de tolerância muito estreitos superando os

conseguidos com muitos outros termoplásticos tais como poliamidas, acetatos, poliolefinas e celulósicos.

As tolerâncias comerciais alcançadas com a maioria dos moldes são: $\pm 0,05$ mm para dimensões de até 25 mm e aproximadamente $\pm 0,001$ mm para cada mm adicional.

Por exemplo; uma peça com uma dimensão de 300 mm terá uma tolerância de aproximadamente 0,325 mm.

Mediante um cuidadoso controle das variáveis de moldagem podem ser obtidas tolerâncias mais precisas quando forem requeridas. Estas são $\pm 0,025$ mm para dimensões inferiores a 25 mm às quais se poderia agregar $\pm 0,0005$ mm para cada milímetro adicional. Por exemplo, as tolerâncias precisas para 300 mm deveriam ser $\pm 0,163$ mm. Manter esta precisão certamente aumenta os custos na ordem de 10 a 20% mais que com as tolerâncias standard.

ROSCA PLASTIFICADORA NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO

Introdução

Antes da introdução da rosca plastificador em 1955-1960, as máquinas de injeção contavam com um pistão para impulsionar o material no cilindro e em seguida dentro do molde. O material era impulsionado por etapas através do cilindro por sucessivos avanços do pistão, cada vez mais fluido a medida que avançava até o ponto de injeção. A pressão exercida pelo pistão para impulsionar o polímero fundido até o molde deveria ser transmitida através de uma massa, parte da qual continha uma certa quantidade de grânulos não fundidos ou semi-plastificados. Esta grande queda de pressão inerente ao sistema limitava a capacidade de injeção de 1 a 1,5 kg.

Com a demanda de máquinas de maior capacidade de injeção os fabricantes acrescentaram um sistema pré-plastificador separado, o qual era montado em cima do pistão obtendo uma máquina de duas etapas. No entanto, este sistema nem sempre fornecia a capacidade calorífica suficiente para fundir o material rápida e uniformemente. Por isso foi adotada a rosca rotativa para conseguir maior produtividade e aquecer o material de maneira uniforme.

A rosca plastificadora (ou de plastificação) se refere ao uso de um rosca extrusor com rotação intermitente no cilindro de injeção.

Existem dois sistemas:

a) máquina injetora de duas etapas

. rosca pré-plastificadora + pistão

b) máquina de rosca direta

. rosca que atua como tal e como pistão

A principal característica da rosca plastificadora em qualquer desses dois tipos de máquina é a capacidade de fundir ou plastificar o polímero de forma rápida e uniforme mantendo a composição e temperatura de massa homogênea. Uma rosca bem desenhada produz uma massa com temperatura e viscosidade uniforme, obtendo altos rendimentos

com uma mínima degradação térmica. Algumas das vantagens que a rosca de injeção possibilita sobre as máquinas de pistão são:

-
1. Os materiais de alta viscosidade são plastificados de maneira mais eficaz.
 2. Maior uniformidade física e de temperatura da massa fundida que proporciona:
 - a) melhor brilho e aparência superficial.
 - b) menores requerimentos de pressões de injeção.
 - c) menor encurvamento e melhor controle das tolerâncias dimensionais.
 - d) redução de tensões por moldagem.
 3. Melhor processamento de moagem e recuperado.
 4. Melhor dispersão dos colorantes na coloração a seco. O mesmo sucede com o concentrado (masterbatch), principalmente quando a relação L/D da rosca é superior a 1511.
 5. Menor sensibilidade às variações de tamanho de partículas do material.
 6. Na zona de alimentação não existe perda de pressão pela pré-compressão dos grânulos.
 7. Mais rápida e eficiente limpeza do cilindro quando se alterna de um material para outro.
 8. Maior facilidade para eliminar voláteis.
 9. Redução de ciclos como resultado de injeções mais rápidas ou maior capacidade de plastificação.
- Mesmo com estas vantagens podem-se produzir peças altamente tensionadas internamente se a rosca é operado excedendo sua capacidade ou em ciclos muito curtos.
-

Os mesmos princípios aplicados aos processos de moldagem em máquinas a pistão servem também para os equipamentos a rosca direta ou com pré-

plastificador. As variáveis de moldagem fora das referentes à rosca são as mesmas que para

máquinas a pistão e são reguladas pelos requerimentos do molde.

DESENHO DA ROSCA

Geometria geral da rosca

A passagem, ângulo da rosca e comprimento das secções são adaptadas geralmente do desenho da rosca das extrusoras convencionais. O mais recomendável é o de passagem constante e diâmetro de raiz variável no qual a passagem da rosca é equivalente ao maior diâmetro. Este tipo de rosca se divide geralmente em três zonas distintas a partir do silo na seguinte ordem:

alimentação – transição ou compressão e zona de calibração (ou dosificação).

A função da zona de alimentação, formada por vários filetes de profundidade uniforme, é a de levar à zona de transição os grânulos requeridos para manter a zona de dosificação (ou descarga) da rosca completamente cheia de polímero fundido.

Compressão, mistura e fusão começam e se intensificam na zona de transição; onde se produz a plastificação e eliminação de ar preso.

A profundidade dos filetes nesta secção diminui uniformemente desde o final da secção de alimentação até o início da zona de dosificação. Esta última zona tem dois filetes praticamente rasos com profundidade uniforme. Sua função é completar a mistura e fusão do polímero até sua máxima homogeneidade física e de temperatura.

O comprimento da zona de alimentação geralmente é de 8 a 10 vezes o diâmetro da rosca, enquanto a da zona de transição e a da zona de calibração de 4 a 6 vezes. Devido a grande diferença de comportamento reológico dos termoplásticos, não há nenhum tipo ou desenho de rosca que se comporte uniformemente bem com todos os materiais. Consequentemente cada fabricante, desenvolveu seu próprio modelo chamado de “uso geral” que é um compromisso entre as diversas possibilidades, para ser usado com uma

ampla variedade de polímeros. A medida que avança o desenvolvimento tecnológico pode-se esperar melhorias no desenho dos roscas que permitirão otimizar resultados.

Relação de Compressão

Refere-se a relação entre o volume (ou a capacidade) entre os dois primeiros filetes da zona de alimentação e os dois últimos filetes da zona de dosificação. As relações mais comuns dos equipamentos atualmente no mercado são 1.5 - 4.5 a 1; nos roscas de uso geral é de 2.5 - 3 a 1.

A relação de compressão em si mesma pode ser menos importante para a performance da rosca que a de sua profundidade na zona de plastificação. Roscas que têm uma alta relação de compressão devem ser operadas a menor velocidade (ej. 10 a 50 RPM), enquanto se a relação é menor que 3:1 podem ser operados a velocidades maiores (50 a 150 RPM) com poliestireno. A experiência demonstra que para poliestirenos e outros polímeros amorfos a relação de compressão preferida é da ordem de 2.5 a 1.

Comprimento da rosca

É expressado em termos da relação L/D, que é a relação entre o comprimento (L) da rosca e seu maior diâmetro (D). Em roscas comerciais a relação flutua de 12/1 a 24/1. Os roscas diretos com relação maior de 20/1 apresentam maiores inconvenientes se desejamos obter uma rotação concêntrica adequada e, portanto estão expostos a um desgaste excessivo. No entanto, como uma relação L/D ampla favorece uma fusão mais

uniforme, as relações 18/1 a 20/1 são as mais usadas. Quanto maior a relação L/D, obteremos melhor qualidade de fundido por: maior área de fricção, maior comprimento de mistura, menor variação de pressão. Na maioria das máquinas a rosca direta, a relação L/D efetiva diminui com o comprimento do golpe de injeção. No entanto, esta diminuição é somente de 2 a 3 unidades e por isso é menos significativa com roscas de alta relação L/D. A mais alta relação L/D a performance da rosca é menos sensível as variações de granulometria do material.

Profundidade do filete (ou rosca)

Geralmente quanto maior a profundidade do filete obteremos uma maior relação de produção a uma velocidade de rosca dada. Na prática se utilizam filetes pouco profundos para os materiais menos viscosos e filetes de maior profundidade para os de alta viscosidade. Não obstante, filetes muito profundos podem causar sobrecargas ao torque e deter a rosca. Os desenhos comerciais tem uma profundidade de 0.15 a 0.18 D na secção de alimentação e de 0.05 a 0.06 D na de plastificação. Devido a operação intermitente da rosca de injeção, a profundidade do filete é menos crítica nas convencionais que naqueles onde a rotação é contínua.

Transporte do material (zona de carga)

O transporte do material depende da diferença de fricção entre:

1) Polímero cilindro (alta aderência)

vs.

2) Polímero rosca (baixa aderência)

Quanto maior diferença entre os coeficientes de fricção 1 e 2 obteremos maior fluxo de deslocamento. “A rosca deve estar mais polido

que o cilindro” “A temperatura do material na zona do silo deve ser mantida o mais baixa possível”.

Esta afirmação depende da relação capacidade de máquina vs. peso a ser injetado.

Características do sistema impulsor de giro ou rotação da rosca

A unidade de impulso da rosca deve fornecer um alto torque de saída com proteção contra sobrecarga do mesmo e contar com velocidade variável.

O sistema impulsor da rosca de injeção difere do sistema impulsor do extruder convencional em quanto se deve arrancar e deter muitas vezes por hora de acordo com os ciclos de moldagem pré-estabelecidos. Necessita-se velocidade variável de rosca para adaptá-lo aos diferentes materiais plásticos e à variedade de moldes que podem ser utilizados.

Com sistema impulsor elétrico, a velocidade se ajusta trocando engrenagens. A velocidade da rosca é uma constante independente da carga, enquanto o torque varia de acordo com a carga aplicada.

O sistema impulsor hidráulico usa bombas hidráulicas e redutores de engrenagens que dão o torque constante e a efetiva proteção contra sobrecarga. A velocidade da rosca pode ser modificada continuamente com um ajuste do variador, mas pode variar com a carga aplicada.

Válvulas de retenção

As máquinas de injeção a rosca direta ou com pré-plastificador geralmente têm uma válvula de retenção na extremidade frontal do mesmo para evitar o refluxo do material nos filetes durante a etapa em que a rosca funciona como um pistão de injeção. Requer-se válvula de retenção toda vez que:

1. A viscosidade do material fundido é baixa;

2. A pressão de injeção é alta;
3. A relação L/D da rosca é baixa.

Existem dois tipos de válvulas de retenção; as que tem um anel externo e as de boquilha interna. Ambos tipos podem causar, por acumulação de material em alguma zona estanca, degradação térmica e carbonização do material, com o que se geram rachaduras escuras.

Devem ser revisadas e limpas periodicamente. As de anel externo devem ser substituídas após algum tempo de uso. O uso excessivo ou manejo inadequado podem ser causa da degradação ou das rachaduras negras nas válvulas com anel externo. Se as rachaduras negras persistem depois de uma cuidadosa limpeza da rosca e válvula e outras possíveis causas das manchas já foram investigadas, deve-se consultar o fabricante da máquina.

Controle da temperatura do cilindro

Os controles de temperatura do cilindro em toda máquina de injeção, na rosca, normalmente não indicam a temperatura real da massa que sai pelo bico. Geralmente é muito mais alta devido à fricção gerada entre a rosca em rotação e o material. As temperaturas das zonas central e frontal freqüentemente podem aumentar mesmo com as resistências desconectadas. Isso pode ocorrer quando o tempo de rotação da rosca é superior a metade do tempo total do ciclo, ou se são usadas altas velocidades, ou mesmo se existe excessiva contrapressão. Qualquer um destes motivos pode gerar excessivo calor por fricção do polímero, de maneira que a temperatura real do material não é controlada pelos reguladores de temperaturas das zonas aquecidas.

Se o excessivo aumento de temperatura por fricção se deve ao prolongado tempo de rotação da rosca durante o retrocesso, o problema pode ser minimizado por:

1. Incremento da velocidade RPM mais altas.
2. Incremento do ciclo de moldagem
3. Diminuição da contrapressão da rosca.

4. Aumento da temperatura na zona de alimentação.

5. Uso de um material de menor lubrificação externa.

Os níveis de temperaturas das zonas dependem primariamente do tipo de polímero a processar. Tal como nas máquinas, no pistão, a temperatura real da massa é a que importa. Os materiais que tem relativamente alta viscosidade tais como os poliestirenos de alto impacto, requerem que a temperatura da zona de alimentação é razoavelmente alta, em particular se o material não foi pré-aquecido ou se o peso da injetada é muito próximo a capacidade máxima da máquina.

Quando se molda poliestireno, as temperaturas das zonas central e frontal devem ser iguais à temperatura de massa que se deseja. Se o peso da injetada excede 75 % da capacidade da máquina (ou se o material não foi pré-aquecido), a zona de alimentação deve estar a uma temperatura 12 a 25°C mais alta que a frontal e central. Se o peso da injetada está entre 50 e 75% da capacidade, todas as zonas devem estar em uma mesma temperatura. Se o peso da injetada é menor que 50% da capacidade, a zona de alimentação deve estar a uma temperatura de 15 a 25°C mais baixa que a frontal e central.

Uma prática recomendável é que maior quantidade de calor seja produzida pela fricção da rosca mantendo as resistências o mais baixas possíveis para poder controlar convenientemente a temperatura do material. Nas máquinas convencionais, a temperatura adequada para o material fundido que sai pela boquilha deve estar entre 200 a 230°C para poliestirenos. A temperatura deve ser medida com pirômetro de agulha em uma injeção de purga depois que a máquina realizou vários ciclos de moldagem nestas condições tomando apropriadas medidas de segurança.

É muito vantajoso instalar uma termopar na massa fundida perto do ponto de injeção que indique a temperatura da mesma de forma continua.

Pressão posterior da rosca (ou contrapressão)

A pressão posterior é a que a rosca deve desenvolver na zona frontal para bombear (empurrar) a mistura fundida para frente. Pode ser ajustada por meio da válvula de alívio sobre a linha de descarga do cilindro hidráulico de injeção.

Nas máquinas a rosca direta, a pressão posterior deve ser superada pela ação de bombeamento da rosca enquanto este gira para alimentar a carga para a próxima injeção. Nas máquinas de duas etapas, é a pressão que deve ser superada pela rotação da rosca (não direto) no cilindro pré-plastificador para forçar o pistão de injeção a sua posição anterior e preparar-se para a próxima injeção.

Incrementando a pressão posterior aumenta-se a temperatura de fusão do material e também o tempo de rotação da rosca. Uma pressão posterior mais alta intensifica o grau de cisalhamento proporcionando melhor uniformidade da massa, melhor coloração e melhor moldeabilidade. No entanto, deve ser mantida ao mínimo com polímeros de baixa viscosidade tais como poliestirenos de uso geral para evitar refluxo de material nos filetes e redução do fluxo de bombeamento.

Velocidade da rosca

A capacidade de plastificação nas máquinas de injeção a rosca tem relação com a velocidade de rotação da rosca. Quanto maior velocidade, maior produção. O calor por fricção gerado pela rotação é aproximadamente proporcional ao quadrado da velocidade de rotação. Por isso existe uma relação direta entre velocidade da rosca e temperatura do material.

A velocidade ideal é uma função do desenho da rosca (relação de compressão e relação de L/ D) assim como das propriedades reológicas do polímero envolvido. A temperatura de massa das resinas de maior viscosidade é mais sensível as mudanças de velocidade da rosca. Um excesso de velocidade de rotação pode causar degradação, provocando manchas escuras, marcas ou peças fracas por excesso de tensões residuais. Não obstante, altas velocidades de rotação de rosca

asseguram uma rápida recarga e uma mistura mais uniforme permitindo dessa forma ciclos mais rápidos, portanto, deve-se buscar um meio termo entre a qualidade requerida e a velocidade de operação.

O ideal é ajustar a velocidade de rotação a um terço do tempo total do ciclo de moldagem e preferentemente parar a rotação da rosca antes que se abra o molde. Se a rosca se detém antes, o polímero fundido se manterá a alta temperatura por mais tempo e com isso estará mais propenso a degradação.

Velocidade de Injeção

Os ciclos de injeção nos equipamentos a rosca são mais rápidos que os de pistão, pois não há perda de pressão para pré-comprimir o material não fundido na zona de alimentação, nem tem necessidade de uso de torpedo, que causa também uma perda de carga. Nas máquinas a pistão a queda de pressão da zona de alimentação pode chegar a ser 50% do total da pressão exercida pelo pistão. Conseqüentemente, em máquinas a rosca se requer uma pressão muito mais baixa para obter a mesma pressão de injeção no bico. Deve-se levar em consideração que uma alta pressão no bico é necessária para todo tipo de máquina se é preciso um elevado nível de velocidade.

Os altos intervalos ou níveis de velocidade reduzem tensões internas e produzem ciclos mais curtos, sendo especialmente vantajosos para peças que possuem paredes de no mínimo 3 mm de espessura. No entanto, entradas ou boquilhas subdimensionadas impõem um limite à velocidade de injeção. Velocidades excessivamente altas podem ocasionar material queimado ou esfoliado na zona de colada. Analogamente, peças de maior espessura, tais como cabos de escovas ou tacos requerem injeções lentas para evitar marcas de fluência ou outros defeitos superficiais.

O controle de velocidade como variável da injeção é mais crítico nos equipamentos com rosca. Pode ser reduzida baixando a temperatura de massa e assim esses equipamentos podem trabalhar com ciclos mais curtos para moldar peças de maior espessura porque a temperatura de massa mais

baixa combinada com uma mistura mais uniforme permite um endurecimento mais rápido no molde.

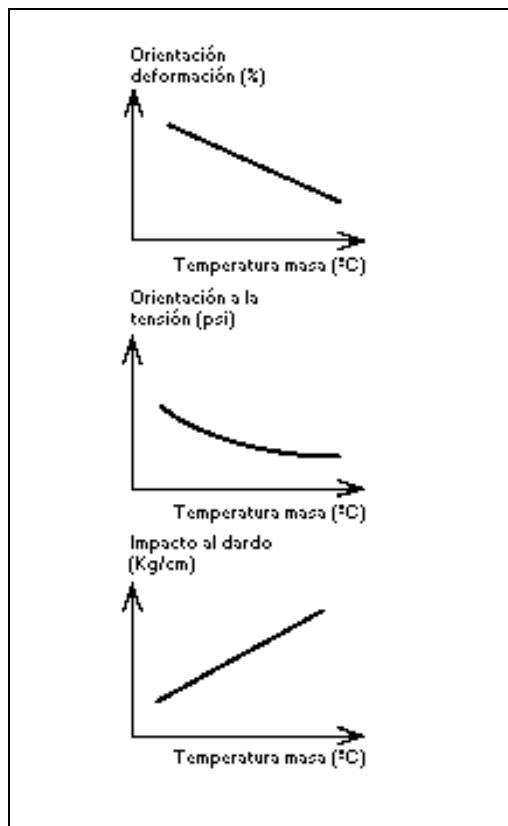
Recomenda-se usar alta pressão de injeção e um tempo de enchimento tão rápido quanto tolerado pelo desenho do molde, quando as cavidades se encherem baixar imediatamente a pressão (pressão residual), assim se minimizam as tensões internas. Exceto para paredes de espessura de mais de 6 mm onde o tempo completo de avanço da rosca não deve exceder 5 ou 6 segundos. Obviamente o tempo de enchimento depende da medida, quantidade e localização das entradas, tamanho dos escapes de gases, medida do bico e propriedades de fluência do polímero.

Influência dos parâmetros de processo

Caracterizamos diferentes parâmetros de processo, analisaremos a influência dos principais deles sobre o grau de orientação molecular que afeta diretamente as propriedades da peça.

Temperatura de massa

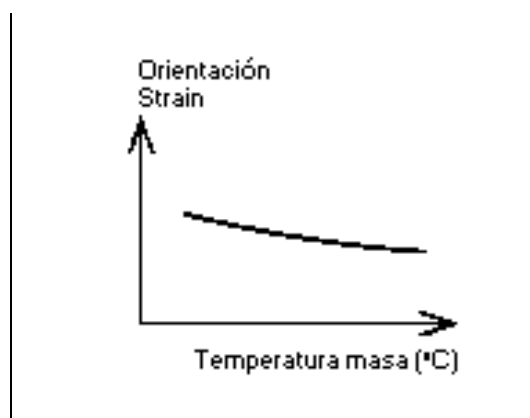
Um aumento da temperatura de massa gera uma diminuição na viscosidade, o que significa que o material é orientado durante a injeção e entra ao molde relaxado, assumindo uma configuração não orientada.



Temperatura de molde

A temperatura do molde influi sobre a resistência ao fluxo do polímero na cavidade.

A curva mostra que um incremento na temperatura do molde reduz levemente a orientação à deformação (Strain) e à tensão (Stress).



Velocidade de injeção

“A orientação à deformação e à tensão diminuem com o aumento da velocidade de injeção”.

Este efeito aparece como paradoxo se o esforço de corte é diretamente proporcional à velocidade de injeção.

Seguindo esta hipótese, com uma injeção rápida ocorre pouco esfriamento do fundido, além do que ao mesmo tempo que a entrada se esfria o nível de temperatura do polímero no molde será alto. Isso permite alcançar maior relaxamento. Esta teoria implica que a orientação nas peças moldadas será mais homogênea com uma injeção rápida.

$$\text{Esforço de corte} = \frac{\text{Velocidade de injeção}}{(\text{espessura cavidade})^3}$$

Conclusões

- A orientação molecular depende das condições de moldagem.
- O grau de orientação tem um efeito definido sobre as propriedades da peça:
 - a) A resistência a tração a deformação e ruptura decrescem na direção transversal à orientação.
 - b) O impacto ao dardo diminui com um aumento de orientação.
 - c) Resistência ao Impacto Izod incrementa quando a proveta /peça é se rompe na direção transversal à orientação.
 - d) O alongamento a ruptura diminui na direção transversal à orientação.
- Os níveis de orientação à deformação e tensão decrescem com o incremento da temperatura de massa e velocidade de injeção.

$$\text{Orientação} = \frac{1}{\text{Temperatura de massa}} \cdot \frac{1}{\text{velocidade de injeção}}$$

- Um aumento na pressão de injeção e temperatura de molde, gera uma diminuição muito pequena do nível de orientação.

SEÇÃO II

Desenho de Moldes

INTRODUÇÃO	PÁG. 20
CONSIDERAÇÕES BÁSICAS DE DESENHO	PÁG. 21
FUNÇÕES DOS COMPONENTES DO MOLDE	PÁG. 25
GENERALIDADES	PÁG. 25
BUCHA DE GALHO	PÁG. 25
CANAIS	PÁG. 25
ENTRADAS	PÁG. 28
CAVIDADES	PÁG. 33
VENTILAÇÃO	PÁG. 34
CANAIS DE ESFRIAMENTO	PÁG. 35
MECANISMOS EXPULSORES	PÁG. 36

INTRODUÇÃO

O molde é o núcleo central do processo de moldagem por injeção, é a ferramenta que dá a forma desejada e a textura superficial ao plástico fundido e determina as condições do artigo final. o molde tem também influência sobre as tensões internas da peça moldada e conseqüentemente um efeito significativo sobre as propriedades e performance no uso final da mesma.

O molde é um instrumento de precisão de alto custo, e deverá ser suficientemente resistente para suportar milhares e milhares de ciclos de moldagem com pressão muito alta. Cerca de 90 % do êxito de qualquer trabalho de moldagem depende da habilidade empregada em seu desenho e construção. É impossível obter peças moldadas satisfatórias com um molde mal construído. Um desenho apropriado e uma cuidadosa fabricação facilitam bastante uma produção de artigos plásticos econômicos e com a máxima performance que possa desempenhar o material.

Desenho de uma peça

O principal propósito do desenho é produzir uma peça funcional que cumpra com todos os requerimentos de uso como: temperaturas de

trabalho, esforços mecânicos e resistência química.

Espessura constante

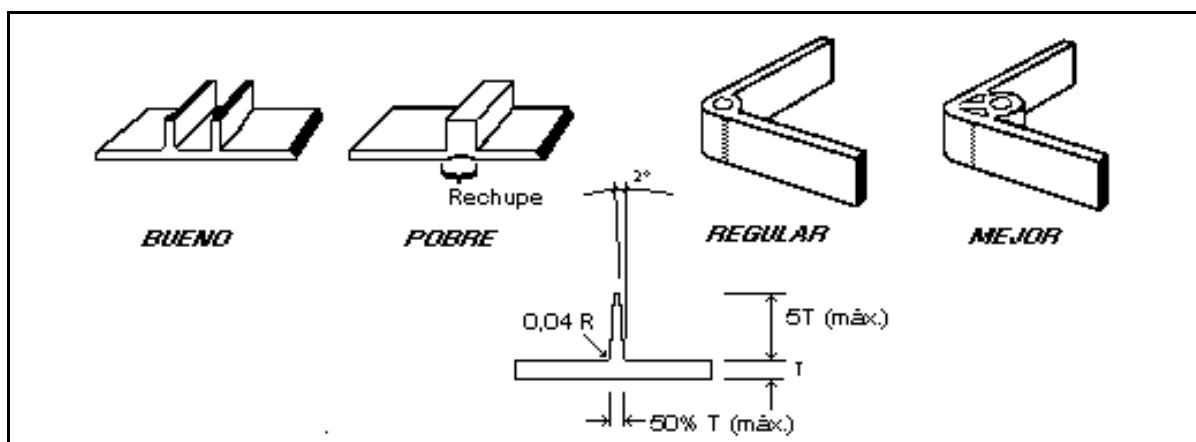
É um ponto básico na análise da construção de uma peça não somente por sua óbvia vantagem econômica, mas também pela uniformidade da contração. É o principal fator para prevenir partes deformadas.

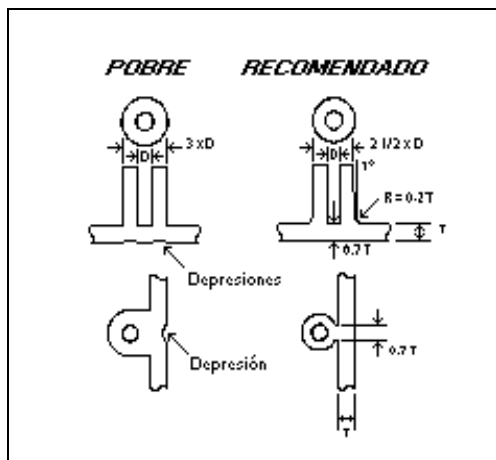
Costelas (Nervuras)

É uma alternativa para aumentar a rigidez no lugar de aumentar a espessura de parede. Esse recurso fornece uma estrutura mais eficiente com menor quantidade de material e ciclos de moldagem mais curtos.

Para minimizar as saliências na zona de localização das costelas se recomenda que estas tenham no máximo 50% da espessura da parede.

Além disso, devem possuir um adequado ângulo de saída pelo lado para facilitar a expulsão (mínimo 1,5°) e uma intersecção arredondada de 0.04 R no mínimo.





Insertos metálicos

Utilizam-se para facilitar o ensablado ou fixação a marcos ou bastidores. Para uma excelente resistência, seguem as sugestões.

1) O diâmetro interno do orifício não deverá exceder 50% do diâmetro externo.

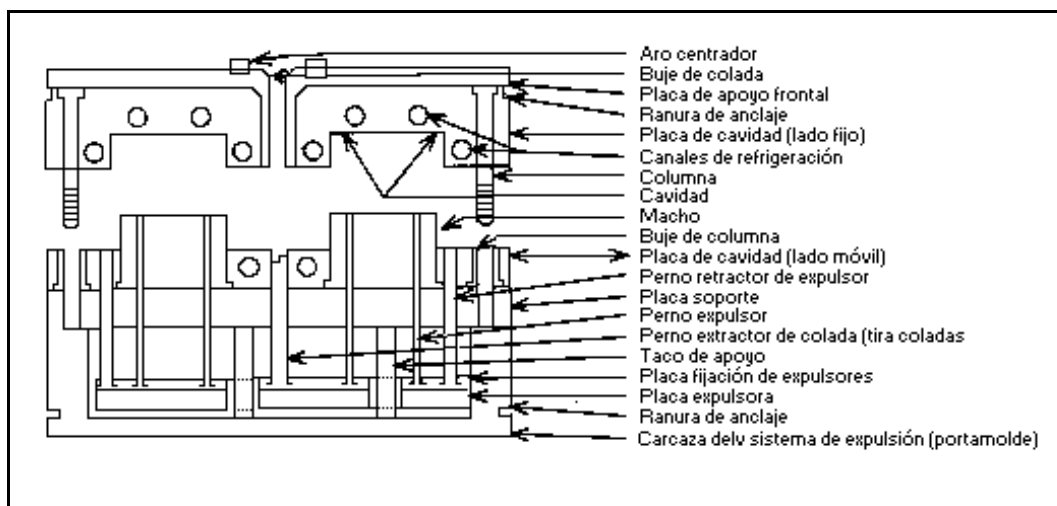
2) O diâmetro interno do orifício deverá medir entre 80 e 85% do diâmetro externo da rosca a ser inserido.

CONSIDERAÇÕES BÁSICAS DE DESENHO

O desenho do molde depende:

- do tamanho e da forma da peça que será moldada;
- do número de cavidades;
- do tamanho e capacidade da máquina de injeção no qual o qual será colocado.

Estes fatores também estão relacionados entre si, mas o tamanho e peso do objeto que será moldado limitam o número de cavidades no molde e também determinam a capacidade requerida da máquina. No caso de uma peça grande, tais como, a grelha de um automóvel ou uma cadeira de uma só peça, se requerem dimensões apropriadas entre colunas para poder colocar o molde.



Da mesma maneira também limita o número de cavidades que podem ser instaladas em um molde de cavidades múltiplas.

A área total projetada de moldagem determina a força de fechamento requerida para manter o molde fechado durante a injeção. A área projetada pode ser definida como a sombra da peça injetada sustentada sob uma fonte de luz com a sombra caindo sobre uma superfície plana paralela a linha de partição do molde. Deve-se levar em conta que a área projetada inclui a zona de canais de galho (exceto no caso de galho quente).

Para um verdadeiro fluido hidráulico tal como a água, a força de fechamento requerida para cada 6,45 cm² de área projetada deve ser igual a unidade de pressão aplicada pelo pistão de injeção. No entanto, devido ao parcial endurecimento do material a medida que flui através do bico dos canais e dentro da cavidade, a pressão real exercida pelo material dentro da mesma é menor que a pressão aplicada ao pistão. Por isso uma pressão de pistão de 1.400 kg/cm² requer uma força de fechamento de no máximo 900 kg/cm² de área projetada.

Para uma determinada pressão de pistão, a pressão real desenvolvida dentro das cavidades varia diretamente com a espessura da peça a injetar e inversamente com a viscosidade do polímero fundido. Seções grossas requerem maior força de fechamento que as finas, porque o material fundido permanece semifluido por mais tempo durante o enchimento da cavidade. Analogamente, material a mais alta temperatura, molde mais quente, entradas mais amplas e maior velocidade de injeção requerem também uma força de fechamento maior.

Como regra geral, uma boa moldagem necessita três toneladas de fechamento por cada 6,45 cm² de área projetada. Com moldes de desenho adequado e condições de moldagem ajustadas podem-se conseguir peças satisfatórias as vezes com apenas uma tonelada de força de fechamento por cada 6,45 cm² de área projetada. No entanto, não é aconselhável operar moldes nestas condições já que o índice de permissibilidade das condições de moldagem é muito limitado e podem não ser completamente preenchidas as cavidades de longo percurso.

Também é importante não exceder a força de fechamento já que se o molde é pequeno e a máquina grande, aquele pode afundar entre os pratos da máquina. Se a superfície de contato do molde na linha de fechamento é insuficiente há risco de que o molde se afunde sob uma força de fechamento elevada demais (excedendo 10 toneladas por cada 6,45 cm² de área projetada). Em casos menos extremos, o molde pode ser deformado ou riscado prematuramente por fadiga de materiais.

Assim como a área projetada determina a força de fechamento requerida, o peso da peça moldada determina a capacidade de injeção da máquina na qual será operado o molde. O peso da injeção inclui o galho em sua totalidade exceto nos moldes de galho quente. As capacidades de injeção são geralmente indicadas em gramas de poliestireno que podem ser injetados de uma só vez. A unidade e medida de capacidade é o volume de material deslocado por uma injeção. Para uma máquina determinada, este deslocamento volumétrico é uma constante independente da densidade específica do plástico. Por exemplo; uma máquina com capacidade de 1,350 kg de poliestireno tem um deslocamento de pistão de 1.288 cm³, visto que 1 cm de poliestireno pesa 1,05 gr. No entanto, esta mesma máquina pode injetar 1,783 kg de PVC rígido de uma vez, mas somente 1,180 kg de polietileno.

É muito freqüente que a máquina opere na sua capacidade máxima de injeção ou mesmo superior. O resultado é inevitavelmente uma qualidade insatisfatória, marcas, saliências, linhas de fluência, linhas de união, terminações opacas e produções erradas fora dos standards previstos. Se operamos com capacidade máxima em geral se necessita um ciclo de moldagem maior para permitir uma plastificação uniforme à temperatura de fusão requerida. Além disso, um uso prolongado da máquina na sua capacidade máxima impõe uma carga pesada ao forno e ao sistema hidráulico provocando desgaste prematuro por sobrecarga das resistências, bombas e válvulas.

Quando se moldam plásticos de estireno deve-se certificar que o peso da peça a injetar não supere 75% da capacidade máxima da máquina. Por exemplo, para uma máquina de 1 kg o peso da peça não deverá ser maior que 750 gr. incluindo o galho. Para obter o máximo de qualidade nas

peças moldadas, onde acabamento, brilho e tensões internas são críticas, o peso da peça não deverá ser superior a 50% da capacidade máxima da máquina.

Se as circunstâncias obrigam a trabalhar em um nível de capacidade superior a 50 %, se sugere:

A. Pré-aquecer o material de 2 a 3 hs.

B. Colocar a temperatura da zona de alimentação de 10 a 20°C mais alta que as zonas de centro e frente.

C. Estender o ciclo entre 5 a 10 %

D. Em máquinas a rosca aumentar a pressão posterior da rosca de 14 kg/cm² (200 psi) a 35 kg/cm² (500 psi).

E. Usar um tipo de material com maior fluidez ou maior nível de lubrificante externo.

Cálculo da Força de Fechamento necessária para um Molde de Injeção

As máquinas injetoras de materiais plásticos possuem uma prensa (unidade de fechamento) que além dos movimentos do molde, fornece a força de fechamento necessária durante o processo de injeção.

Para encher um molde de injeção e obter acabamentos superficiais corretos, são necessárias pressões relativamente altas, da ordem de 180 a 1000 bar dentro do molde.

Estas grandes diferenças entre a mínima e a máxima se devem principalmente à geometria da peça injetada e do material injetado. Por meio da tabela a seguir, pode-se determinar com suficiente aproximação a pressão que necessária na cavidade de um molde de injeção para obter peças de qualidade aceitável.

Devido as altas viscosidades dos materiais plásticos que são injetados em temperaturas compatíveis com sua estabilidade térmica, se produzem quedas de pressão consideráveis durante o fluxo de material dentro do molde. Além do mais, como o molde geralmente está muito mais frio que o material plástico, este se esfria durante o fluxo e com isso aumenta a viscosidade e a perda de pressão.

Vale lembrar que as peças injetadas de materiais plásticos enchem a cavidade desde a entrada, avançando pelo interior da peça até preenchê-la totalmente. Por conseguinte, quanto mais fina é a peça e quanto mais longo é o fluxo para preenchê-la maior será a pressão necessária. Isto é claramente descrito na tabela. Quanto menor é a

espessura da peça e quanto maior é a relação trajeto de fluxo/ espessura de parede, maior é a pressão necessária para encher o molde. Com certeza também influi o material plástico que estamos injetando, já que os diversos materiais têm diferentes viscosidades à temperatura de transformação.

A tabela de referência é suficientemente exata para determinar a pressão máxima na cavidade, levando em conta somente a espessura mínima de parede e a relação trajeto de fluxo/espessura de parede e material. Existem outros fatores que influem nesta pressão, como: temperatura do material e temperatura do molde; em ambos os casos quanto mais altas, menores serão as pressões necessárias para encher o molde.

Vejamos um exemplo prático:

Queremos injetar uma peça que tem uma espessura mínima média de 0,7 mm e um comprimento de fluxo (desde a entrada da cavidade até a parte mais distante) de 63 mm. Se dividimos 63 por 0,7 teremos uma relação de 90:1. Se consultarmos a tabela, obteremos o valor de 370 bar (0,7 mm e relação 100: 1) este valor é válido para PE, PS, PP, mas se desejamos injetar PA (poliamida), teremos que multiplicar a pressão por aproximadamente 1,3 e obteremos uma pressão de 370 bar x 1,3= 481 bar. Com este valor poderemos determinar a força de fechamento necessária para poder injetar esta peça.

Além disso, em todos os casos devemos determinar a superfície projetada da peça sobre a

superfície de fechamento do molde, se este é plano, ou sobre um plano imaginário paralelo às placas portamoldes da máquina. A pressão dentro da cavidade do molde multiplicada por esta superfície nos dará a força que exerce a pressão de injeção no sentido do eixo da unidade de fechamento da máquina na direção oposta.

Continuando com nosso exemplo:

Tínhamos uma pressão no molde de 481 bar e se a superfície projetada da peça é de 215 cm² teremos aproximadamente uma força de 101 toneladas ou 1030 KN (1 bar é aprox. igual a 1 Kg/ cm² e 1T é aprox. igual a 10 KN).

Esta força deve ser resistida pela unidade de fechamento. Portanto, em nosso caso, a máquina que será utilizada deveria ter uma força de fechamento máxima de 120 T, para evitar que o molde se abra durante o processo de injeção.

O valor da pressão dentro do molde também nos informa sobre outro parâmetro que a máquina deve suprir. Se consideramos que a queda de pressão entre a bucha de galho e a cavidade (galho) não deveria superar os 500 bar, teríamos, em nosso caso que 481 bar no molde, mais 500 bar de queda de pressão no galho, resultariam em 981 bar. Sobre isso deve-se somar a queda de pressão no bico de injeção, o que nos informaria que

necessitamos uma máquina capaz de desenvolver a máxima pressão hidráulica com a rosca, uma pressão de pelo menos 1100 bar sobre o material.

Com a tabela e estes dois cálculos simplificados poderemos determinar as características fundamentais mínimas da máquina que deverá ser usada para injetar um determinado molde.

Também o valor da pressão dentro do molde serve para dimensioná-lo, calculando as forças que esta pressão produz e verificando a resistência mecânica de suas peças. Assim podemos calcular pressões específicas de compressão de placas e paralelas, flexão de placas, força sobre novos laterais, paredes de cavidades, etc.

É conveniente fazer estes cálculos antes de projetar o molde, e determinar a máquina com a qual se poderá injetar a peça, conhecendo a força de fechamento necessária e a pressão sobre o material. Com isso podemos determinar os seguintes dados: distância livre entre colunas, dimensões das placas porta-moldes, altura máxima e mínima do molde, trajetória de abertura, trajetória de expulsão, lugar e dimensões dos expulsores, diâmetro do anel de centralização, raio da bucha de galho, comando de noyos se necessário, etc.

Somente depois se poderá desenhar o molde e se poderão evitar inconvenientes posteriores na produção.

PRESSÃO EM CAVIDADE DE ACORDO COM A ESPESSURA DE PAREDE E TRAJETO DE FLUXO (BAR)

Relação: Trajeto/Espes- sura da parede	Espessura da parede (mm)																			
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,5	4,0
50:1						200														
75:1	400	375	325	300	270	240	220	200	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
100:1	480	450	400	370	340	300	290	280	250	230	210	190	180	180	180	180	180	180	180	180
150:1	720	670	580	530	480	440	425	400	375	360	340	320	260	220	210	180	180	180	180	180
200:1	900	850	750	720	700	630	580	520	500	450	430	410	360	320	290	260	240	220	180	180
250:1	1050	1000	900	850	800	700	660	620	560	530	500	480	420	360	330	300	275	250	225	200
FATORES DE FLUXO DE ACORDO COM MATERIAIS: PE, PS, PP = 1 PA = 1,2 ; 1,4 ABS, SAN = 1,3 ; 1,4 PMMA, PPO = 1,5 ; 1, PC, PVC = 1,7 ; 2,0																				

FUNÇÕES DOS COMPONENTES DO MOLDE

Tabela 1

Funções do molde e de seus componentes

1. Base do molde	. Mantém a(s) cavidade(s) em posição correta com referência à boquilha
2. Pistões guias ou colunas	. Mantém alinhadas as duas metades das colunas do molde
3. Buchas de galho	. Assegura e controla a entrada do material no interior do molde
4. Canais fundido à(s) cavidades	. Controlam a passagem do material desde a bucha decorada
5. Entradas	. Controlam o fluxo dentro das cavidades
6. Macho e fêmea	. Controlam a medida, forma e textura
7. Canais de superfície do molde	. Controlam a temperatura na refrigeração, esfriam o material para levá-lo ao estado sólido
8. Sistemas de desenrosque, planos giratórios e sistema de noyos	. Formam os orifícios laterais, marcas, ângulos vivos, roscas e contrasaidas
9. Escape de gases na (ventilação)	. Permite o escape do ar embolsado na cavidade
10. Mecanismo de expulsão (pistões, placa de expulsão, etc.)	. Expulsa a peça em estado sólido, da cavidade
11. Mecanismo de pistões de expulsão	. Os pistões retornam a sua posição inicial retração dos quando o molde se fecha para um novo ciclo

Generalidades

O cilindro de injeção converte os grânulos do material em massa fundida e o pistão leva esta massa através da boquilha sob forte pressão. Quando o material sai da boquilha, o molde é quem efetua todas as funções que se indicam na Tabela 1. Tem-se reafirmado a importância que tem o bom desenho do molde pelo fato que não podem se obter peças perfeitamente moldadas se tão SOMENTE UMA destas funções não se cumpre corretamente.

Buchas de galho

A parte posterior do *Buchas* (Fig. 2) tem uma depressão esférica onde encaixa a boquilha ou bico do cilindro. O canal do *buchas* é de desenho tronco cônico divergindo desde a boquilha afim de permitir a passagem do material com mais facilidade. O gradiente standard deve ser de 2°30', a 4°. O galho se separa rapidamente quando o molde se abre. Este canal deve ser o mais curto possível, e nunca maior que 10 cm. Se pelo desenho do molde se necessita uma bucha de mais comprimento é conveniente encaixá-la o mais profundamente possível, instalando um ponto de aquecimento dentro do cilindro de injeção. A bucha deve estar bem polida e livre de todo tipo de rebarbas, sinais ou marcas de ferramentas.

Nos moldes de uma só cavidade, entra o galho diretamente na mesma, neste caso, o diâmetro na altura da entrada deverá ser o dobro da espessura da peça a moldar. Um diâmetro insuficiente pode causar excessivo calor por fricção e/ou delaminação do material na área de entrada. Se o diâmetro é excessivo se requer um ciclo mais prolongado para permitir à galho direta, tempo suficiente de esfriamento para desmoldá-la. Em todas as galhos diretas se recomenda colocar uma “câmara de esfriamento” que refrigere a superfície do molde diretamente oposta à entrada do galho ou pequenas câmaras na zona circundante. O material injetado no molde bate contra esta superfície e produz um “ponto quente” na parede metálica da cavidade. Nos moldes de três placas e de galho quente, o galho principal é feita como se indica acima. Os canais secundários, que são mais pequenos trazem o material dos canais primários até as cavidades e são desenhados para convergir até as entradas como se mostra na fig. 9 e fig. 9 A.

Canais

Os canais nos moldes de várias cavidades devem ser o suficientemente grandes como para conduzir rapidamente o material fundido até as entradas sem sofrer um excessivo esfriamento pelo contato

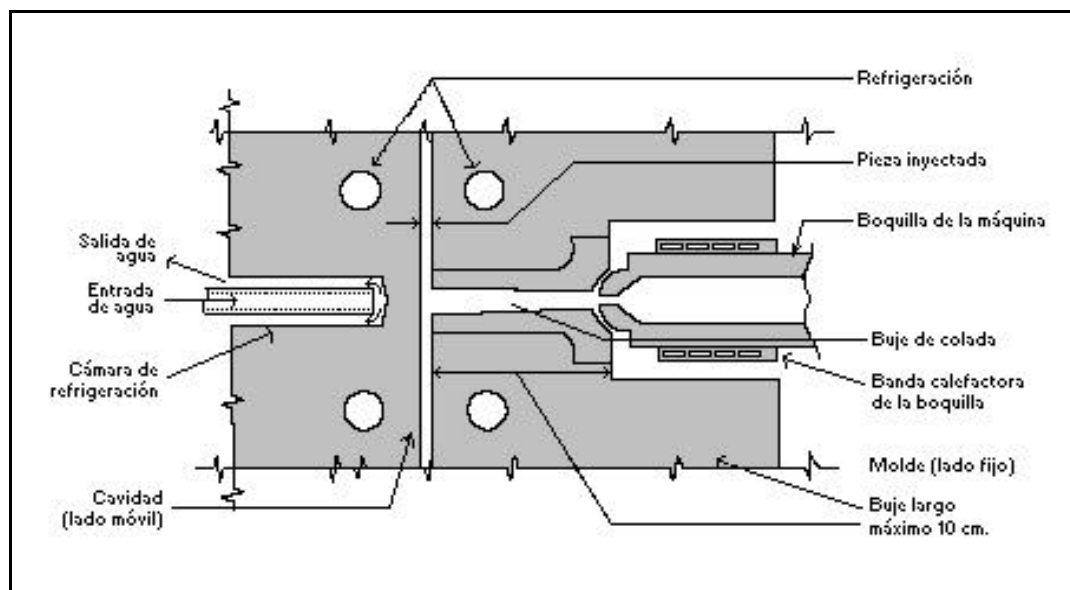


FIGURA 2– Colada Direta

com o molde frio. Os canais de seções pequenas requerem uma pressão de injeção mais alta e maior tempo para encher as cavidades. Os canais amplos permitem um melhor acabado das peças e minimizam linhas de união ou de fluência, marcas de fluxo ou tensões internas. No entanto, deve se evitar que sejam excessivamente amplos pelos seguintes motivos:

1. Se esfriam mais lentamente e prolongam o ciclo da moldagem.
2. O peso dos canais tira a capacidade da máquina, não somente no que diz respeito das quantidades a serem injetadas, mas também na capacidade de plastificação do cilindro.
3. Produzem maior quantidade de moenda, a qual deve ser reprocessada, incrementando o custo operativo e favorecendo as contaminações do material.

4. Nos moldes das placas que tem mais de 8 cavidades a área de projeção dos canais aumenta significativamente a área de projeção das cavidades reduzindo a força efetiva do fecho.

Estas restrições não são aplicáveis aos moldes de galho quente ou moldes sem galho.

Os canais circulares são os mais recomendáveis se comparados com qualquer outro formato porque apresentam uma superfície de contato mínima de material fundido com o molde frio. A camada do material em contato com o molde se esfria rapidamente. Os canais circulares requerem maquinar as duas metades do molde de tal forma que ambas partes estejam alinhadas quando o molde fecha. Este pequeno custo adicional daria maiores rendimentos e melhor moldagem (ver fig.3).

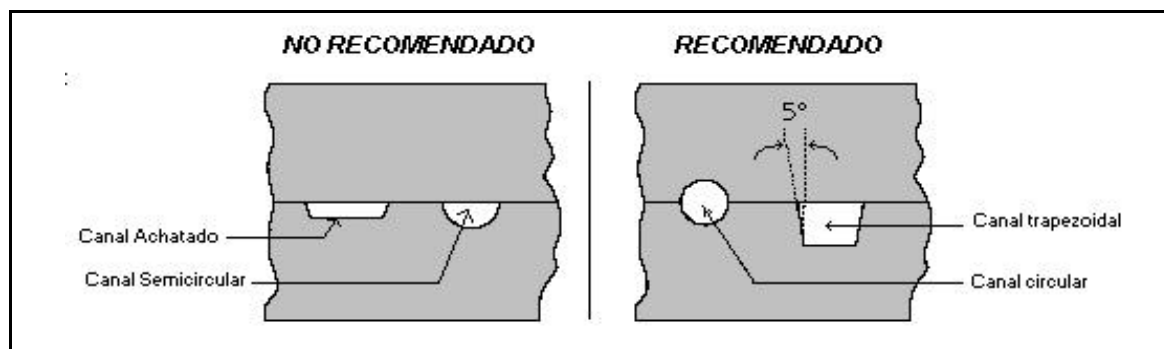


FIGURA 3- Canais

Tabela II

diâm. do canal redondo (mm)	Área de seção (mm ²)	Profundidade equivalente do canal trapezoidal (mm)
3,18	7,94	2,79
3,97	12,39	3,51
4,76	17,81	4,22
5,56	24,26	4,93
6,35	31,68	5,61
7,14	40,13	6,32
7,94	49,48	7,03
8,73	59,87	7,75
9,53	71,23	8,43
10,32	83,61	9,14
11,11	96,97	9,86
11,91	111,29	10,54
12,7	126,71	11,25
13,49	143,16	11,96
14,29	160,26	12,65

Quando o canal é maquinado em uma só parte do molde, a forma trapezoidal é a que mais se aproxima à circular, tal como o mostra na fig. 3. Formas semicirculares ou retangulares não são recomendáveis. No canal trapezoidal, a profundidade é quase igual à largura. O fato que não se possa utilizar uma seção retangular se deve a que há que prover um ângulo de descarga nas paredes laterais do canal para extrair facilmente a peça moldada. Para se obter os 5° de ângulo de

descarga recomendado em cada lado, a largura do canal do lado de cima deverá ser 1.18 vezes o da profundidade.

As interseções dos canais secundários com o principal devem ser “arredondadas” com um rádio de 3,2 mm. Da mesma maneira, a interseção do galho central com o canal principal também deve ter um rádio de 3,2 mm. A profundidade dos canais trapezoidais para se ter uma área seccional equivalente aos circulares se mostram na Tabela II. Os diâmetros de canais devem ser pelo menos de 3,2 mm para poliestirenos. Canais mais longos requerem maiores diâmetros (ver Tabela III). Todos os canais principais de um molde devem ser do mesmo diâmetro, entanto que os secundários devem ser, como mínimo, 0,80 mm menores que os principais.

Nos moldes de cavidades múltiplas, a distribuição das mesmas e dos canais deve ser tal que a distância da bucha do galho central até cada cavidade seja estritamente igual em todos os casos. Isto permitirá obter uma pressão de injeção igual em cada cavidade e conseqüentemente a velocidade de entrada do material em cada cavidade será a mesma. Este princípio denominado “entradas balanceadas”, se ilustra na fig. 4 e mais adiante na fig. 10 Este princípio pode ser aplicado a qualquer quantidade de cavidades. Se for factível, a distribuição circular é a mais adequada (ver fig. 5).

TABELA III

Diâmetros recomendados de canais

Comprimento do canal principal (desde o funil)	Innova Poliestireno	
	Princ.	Secund.
mm.	mm.	mm.
Até 76,2	4,8	4,0
De 76,2 a 152	6,3	5,5
De 152 a 229	7,9	6,3
De 229 a 305	9,5	7,9
Mais de 305	9,5	7,9

Canais quentes

Utiliza-se o sistema de canal quente quando há que alimentar entradas muito distantes e também para facilitar a moldagem automática. Os canais quentes anulam as perdas de material, usual nos sistemas standard e permitem introduzir a totalidade do material fundido na cavidade. No sistema de galho quente o material permanece na mesma temperatura desde o bico de injeção até as entradas. Para operar em ótimas condições com o sistema de galho quente há que:

- 1) se manter o sistema isolado da cavidade.
- 2) todas as juntas devem ser perfeitamente estanques.
- 3) a calefação do sistema deve efetuar-se com elementos calefactores que não ultrapassem os 20 Watt/cm²
- 4) evitar os pontos ou ângulos mortos.
- 5) o desenho do sistema deve ser tal de forma que permita um fácil acesso aos canais para limpá-los e aos elementos de calefação para substituí-los quando for necessário.

Entradas

A entrada proporciona a maneira de controlar a velocidade de escoamento dentro da cavidade e também o grau de compactação do material na mesma. A medida e forma do artigo a moldar

determinam o lugar de localização e tamanho da(s) entrada(s). Devido a que geralmente deixa uma pequena imperfeição, esta deve estar no lugar menos visível possível. O que determina que as vezes não se ponha a entrada no lugar ideal para um enchido ótimo ou que seja muito pequena para eliminar as marcas, o qual leva implícito uma custosa operação de polimento.

Em forma geral se poderia definir a entrada como uma restrição do canal na qual o material, a pressão constante, aumenta a sua velocidade e, conseqüentemente, a sua temperatura ao passar pela mesma, nivelando desta forma as quedas de pressão e temperatura do canal.

A distância do escoamento se refere ao caminho que o material deve percorrer desde a entrada até a extremidade mais distante da cavidade. O termo “relação de escoamento”, é o cociente entre a distância de escoamento e a espessura da seção nominal da peça a se moldar. Cada material plástico tem um limite de “relação de escoamento”, característico de suas propriedades reológicas (e de forja). Para o poliestireno de uso geral, o limite superior (ou a máxima relação de escoamento) é de ao redor de 300 a 1. Para o poliestireno resistente à temperatura, é de 200 a 1. Para o alto impacto, é de 200 a 1 ou 250 a 1. Os médios impactos tem uma relação mais alta que os resistentes à temperatura e de alto impacto. Para o poliestireno resistente à temperatura é de 200 a 1. Para o alto impacto é de 200 a 1 ou 250 a 1. Os de médio impacto tem uma relação mais alta que os resistentes à temperatura e os de alto impacto.

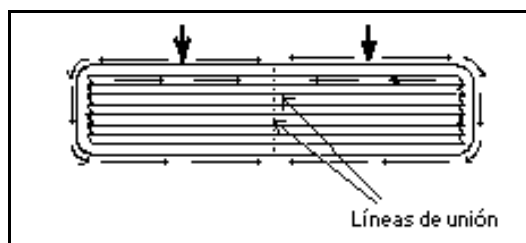
Se ao utilizar uma só entrada se produz uma relação de escoamento que excede os limites destes valores, devem se empregar dois ou mais entradas. Um exemplo típico poderia ser um perfil de 90 cm de comprimento e 1,5 mm de espessura. Com uma só entrada no meio, a relação de escoamento seria 45 cm dividido entre 0, 1 5 cm, ou seja 300 a 1. Neste caso o molde não pode se encher com alto impacto a menos que se utilize uma entrada “laminar” (ver fig. 5). O enchido pode também se assegurar utilizando 2 ou mais entradas reduzindo assim a distância de escoamento. A utilização de duas entradas sempre causa a formação de uma linha de união onde o material das entradas converge e se une. Esta linha é mais notória quando maior é a distância de escoamento entre a entrada e esta linha. Conseqüentemente, seria melhor utilizar 3 ou 4 entradas, assim cada linha de união seria mais resistente e menos visível. Além de mais, múltiplas

entradas permitem que estas sejam menores e desta forma, o processo de solidificação nestas seria mais rápido permitindo assim ciclos mais curtos.

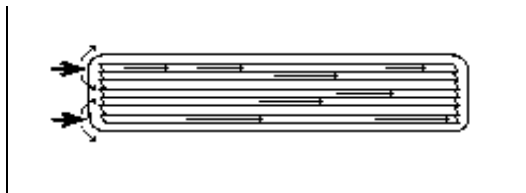
Localização entrada de galho

A entrada deve ser posicionada para que o ar embolsado no molde escape por diante do fluxo de avanço do material.

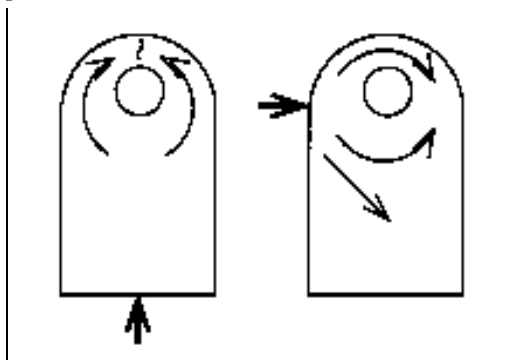
O ar embolsado pode causar linhas de união. Isto é comum no desenho de uma grelha.



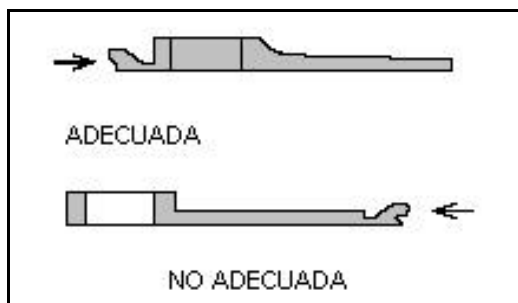
Mudando a posição das entradas estas linhas podem ser eliminadas ou minimizadas.



Em forma similar procedemos quando o fluxo passa ao redor de um inserto ou buraco.



A *entrada* deve ser posicionada na seção mais grossa da peça.



Em um molde de uma só cavidade, esta deve estar localizada em forma simétrica com o eixo do bico de injeção para assegurar uma uniforme distribuição da pressão de injeção e fecho. Nos moldes de cavidades múltiplas, e pelas mesmas razões, estas devem ser localizadas simetricamente à bucha de galho ou galho principal. Estes requerimentos são importantes geralmente na localização das entradas.

As entradas circulares (fig. 6), semicirculares e quadradas foram as primeiras em utilizar-se. Estas entradas são relativamente grandes e oferecem um mínimo de resistência ao fluxo do material. Eram as utilizadas nos primeiros tempos do processo de injeção porque a pressão de injeção que se possuía era limitada, e além do mais os termoplásticos eram bem sensíveis à temperatura ou de baixa fluência. Tais entradas são ainda utilizadas na atualidade para moldar peças de muita espessura, como cabos de escovas (fig. 6) e para moldar polímeros de muito alta viscosidade ou sensíveis a cor. Geralmente estas entradas são para moldagens que excedem os 6,4 mm de espessura e são convenientes para reduzir as tensões internas, mas requerem um tempo mais prolongado de solidificação. Para as resinas de poliestireno a espessura na entrada não deve exceder os 2/3 da espessura da parte a ser moldada na zona próxima à entrada.

A entrada "leque" (fig. 7) é simplesmente uma versão achatada da circular e se emprega para peças de grande superfície em relação a seções relativamente finas tais como frentes de relógios, ponteiros de velocímetros e partes similares de grande superfície em relação à espessura.

A espessura desta entrada não deve exceder o da metade da espessura da peça, de forma de permitir que quando o molde esteja cheio, ele se esfrie rapidamente, evitando assim as tensões de compactação antes mencionadas. A largura da entrada "em leque" se rege pelo tamanho da cavidade do molde, da forma que o material flui na mesma, e da velocidade do enchido requerido. Lamentavelmente não há uma largura estabelecida. A prática aconselha começar com

uma espessura equivalente à terceira parte da espessura da peça e com uma largura de 3,2 mm ou equivalente a cinco vezes a espessura da entrada, e logo paulatinamente alargar até alcançar o escoamento desejado.

Isto, se bem é um processo tedioso e demorado, deve possibilitar o logro de benefícios, já que entradas pequenas permitem ciclos mais rápidos de moldagem.

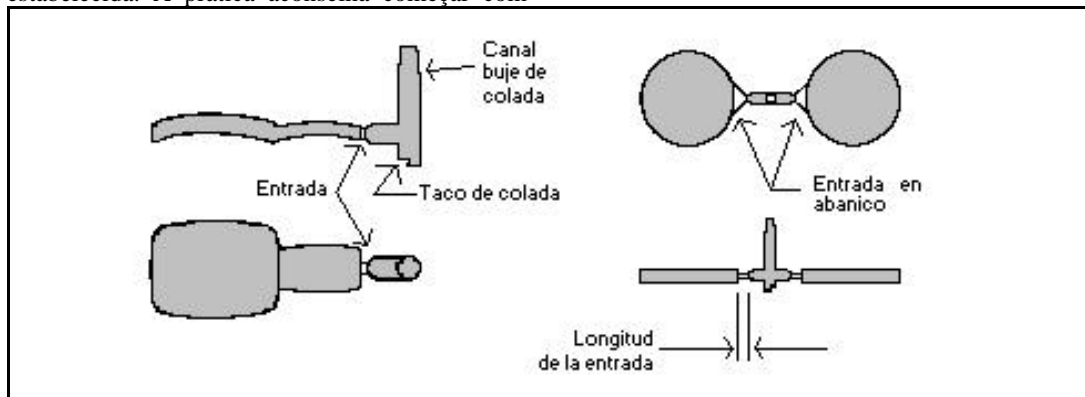


FIGURA 6-Entrada circular

FIGURA 7-Entrada "abanico"

O comprimento de entrada entre o canal e a cavidade deve ser curto, preferentemente entre 0,51 mm e 0,76 mm. Se é menor a 0,51 mm a parede de aço pode não resistir a alta pressão que é gerada na entrada do canal, ou, então, podem-se enfrentar dificuldades para se obter um corte limpo da peça. Um comprimento maior a 0,76 mm provoca uma extrema resistência ao fluxo ou escoamento através de uma entrada restringida, requerendo uma mais elevada pressão de injeção, uma temperatura de massa maior ou ambas as coisas.

A entrada "laminar" (fig. 8) tem sido desenvolvida recentemente e é muito adequada para grandes superfícies planas. Um canal secundário corre paralelamente à entrada da cavidade alimentado no seu ponto médio por um canal principal. O comprimento de entrada ou distância entre a cavidade e um canal paralelo é de 0,5 mm a 0,76 mm. A espessura é quase igual à dimensão lateral do objeto.

A entrada laminar fina permite que a cavidade se encha rapidamente e, conseqüentemente, se esfrie imediatamente, permitindo ciclos rápidos. Observe-se que uma entrada laminar de 0,5 de

espessura por 152,4 mm de largura tem uma seção transversal maior que uma entrada em leque de 12,7 mm X 25,4 mm, daí que permita um enchido mais rápido. A desvantagem da entrada laminar é o longo canal paralelo que deve ser reprocessado. Desta forma se aconselha um desenho de entrada intermediário entre ambos tipos de entrada (em leque e laminar). Assim sendo, se recomenda um desenho de entrada intermediário entre ambos tipos de entrada (em leque e laminar).

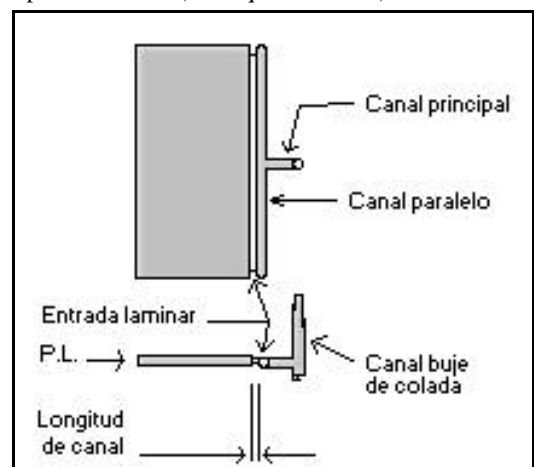


FIGURA 8 - Entrada laminar

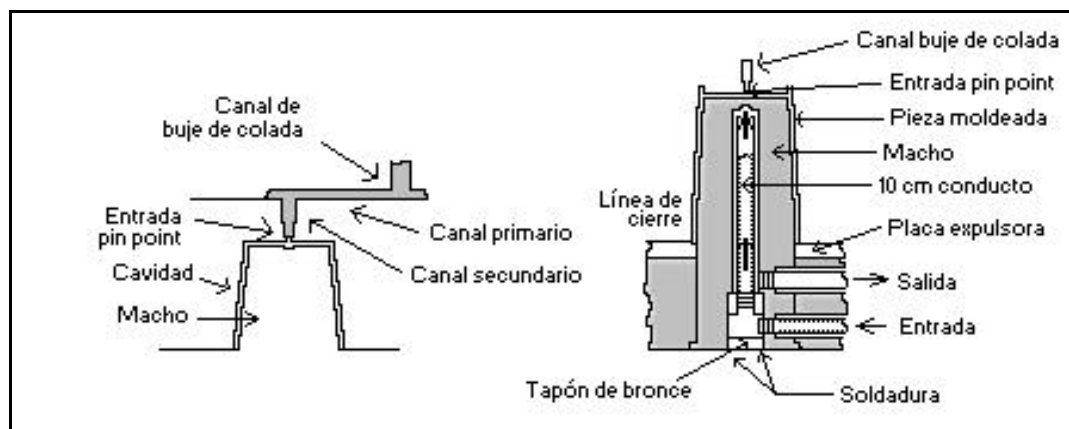


FIGURA 9 - Entrada pin point

FIG. 9 A - Sistema de esfriamento (ou refrigeração)

As entradas *pin point* (ou ponta de alfinete), Fig. 9 devem ser utilizadas toda vez que o desenho ou o tamanho da peça o permita. No entanto, não devem ser empregadas com polímeros de alta viscosidade ou com os que são sensíveis à temperatura. A entrada *pin point* é a melhor forma de controlar o fluxo do material dentro da cavidade e, assim sendo, é de extrema importância para balancear as entradas nos moldes de cavidades múltiplas.

Pelas suas pequenas dimensões a entrada *pin point* solidifica rapidamente possibilitando ciclos curto, minimizando as tensões do compactamento. Seu pequeno tamanho reduz ou elimina o custo da operação de acabado e permite o corte automático em moldes de três placas ou canal quente.

Os poliestirenos são particularmente adequados às entradas *pin point* devido a sua alta sensibilidade ao cisalhamento. Isto significa que a viscosidade do material diminui na mesma medida que se incrementa o coeficiente de cisalhamento.

Desta maneira, a alta velocidade da passagem do material fundido através de uma entrada *pin point* baixa a viscosidade do mesmo e conseqüentemente permite diminuir a temperatura.

Uma desvantagem da entrada *pin point* é que, para uma entrada menor, mais alta é a velocidade do material que flui por ela. Parte da energia cinética desta velocidade é convertida em calor, e, em casos extremos, a temperatura originada por fricção pode queimar ou degradar termicamente o

material. Em casos menos graves provoca um tipo de rastro semelhante à extrusão rápida de um fio muito grosso dentro da cavidade injetada. Este fio se enrosca sobre si mesmo e se solidifica muito rapidamente. Este tipo de “novelo” fica na cavidade e é substituído pela seguinte onda de plástico mais quente que entra. Conseqüentemente, marcas superficiais de fluência e tensões se formam devido ao “amassado” do fio solidificado pelo material que segue. Por este motivo, a entrada *pin point* deve ser sempre colocada de forma tal que permita que o material que entra bata imediatamente contra uma frente (rosca guia, etc.) a fim de se obter uma dispersão imediata e impedir assim a formação do rastro.

A entrada em forma de “apêndice” ou “línguas”. (fig. 10) é uma modificação da entrada *pin point* e é utilizada naqueles casos em que o fluxo do material não pode ser dirigido em forma imediata contra um obstáculo do molde. Pode se notar que o material entra através da entrada *pin-point* sobre um dos lados do apêndice ou língua e bate contra a parede oposta. Isto converte o “serpenteio” ou rastro numa massa compacta que logo flui dentro da cavidade como uma suave onda frontal. A espessura do apêndice ou língua deve ser de 1/2 a 2/3 da espessura da peça a moldar. A largura deve ser de 6,4 a 9,5 mm para poliestireno. O comprimento deve ser 2 vezes superior à largura. A entrada se fará no centro de um dos lados do apêndice ou língua.

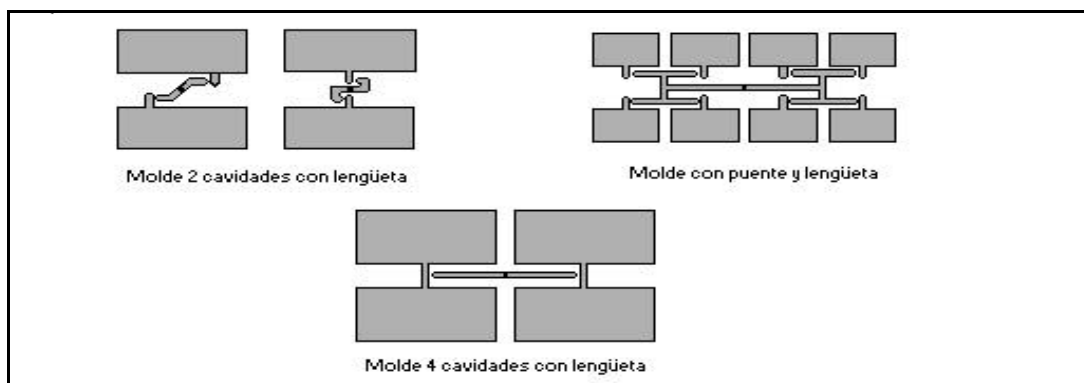


FIGURA 10

No caso das entradas *pin point* é imperativo que estejam localizadas no centro exato do canal circular por onde escorre o material mais quente e conseqüentemente o mais fluído. O mesmo que para outras entradas o comprimento deve ser de 0,51 a 0,76 mm e a abertura da entrada de 0,51 x 0,51 mm para poliestireno de uso geral, e de 0,51 x 1,02 mm para alto impacto. Peças maiores requerem medidas maiores.

A entrada “submarina ou túnel” (fig. 11) é uma modificação da anterior, com o qual a entrada vai dentro da cavidade por baixo da linha de fecho do molde.

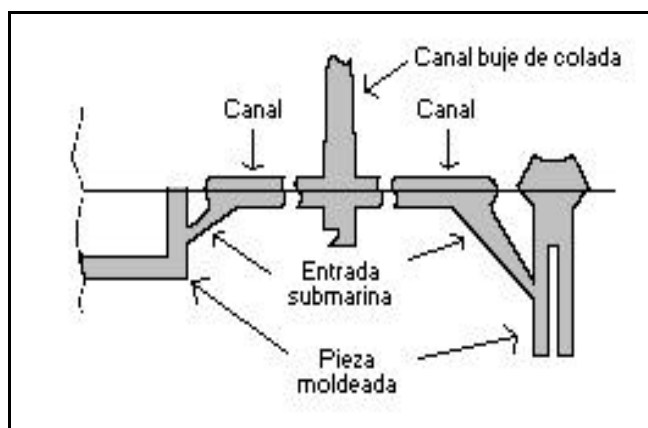


FIGURA 11 - Entrada Submarina

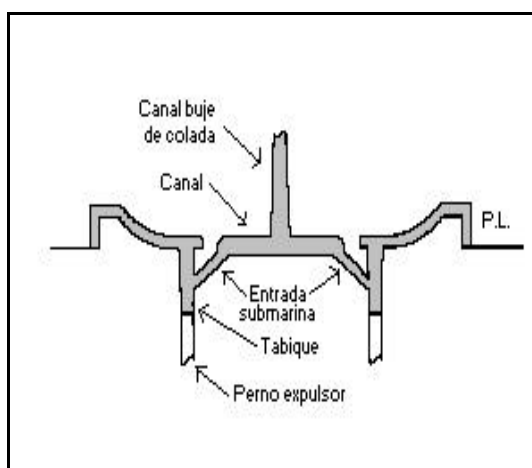


FIGURA 12 - Entrada Submarina com tabique (costela)

O túnel tem uma conicidade de 3 a 5 graus desde o canal até a entrada para permitir uma fácil extração na expulsão de 1 peça. A entrada deve

ser de ao redor de 0,7 mm de diâmetro. A entrada é arrancada na medida em que os pistões de expulsão tiram a peça da cavidade.

A entrada submarina também pode estar colocada sobre um tabique (costela) que é cortado ao raso da superfície do molde depois de tirá-lo. A fig. 12 mostra um pistão de expulsão instalado por baixo do tabique (costela) para depois expulsá-lo suavemente com o objeto moldado e também cortar o galho. O canal submarino é expulso integralmente com o canal principal e o canal bucha de galho. Estas entradas são as mesmas indicadas para peças de forma tipo moldura, tais como os gabinetes de televisores. A principal vantagem é que não deixam marcas visíveis na superfície da peça.

As entradas em forma de “anel” (fig. 13) ou “disco” (fig. 14) são modificações da entrada em “leque” e se utilizam para certo tipo de peças. A

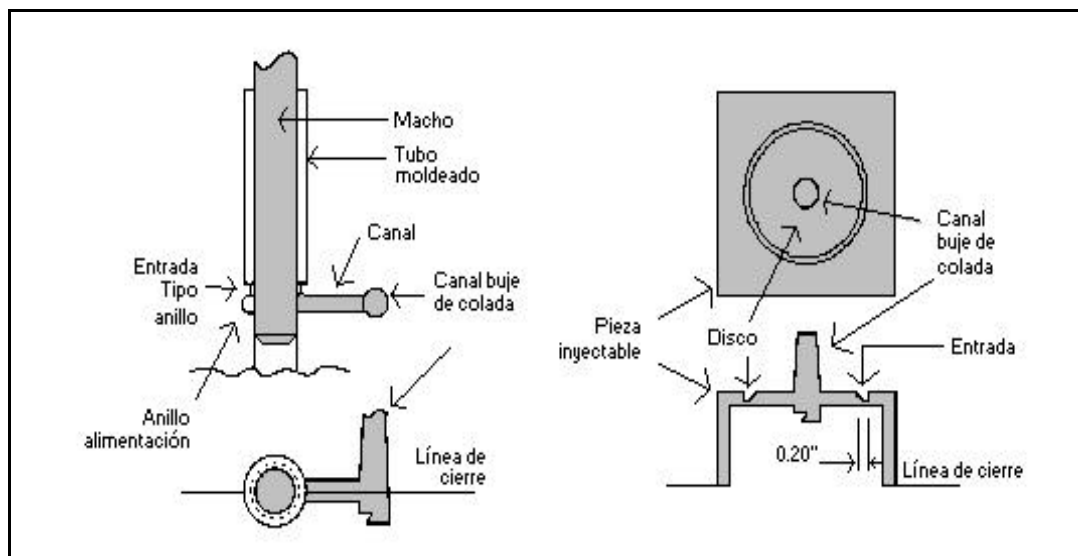
entrada anel se utiliza para peças cilíndricas ou tubulares nas que se prove uma fluência uniforme ao longo do cilindro, e desta forma se evita a tendência do macho a descentralizar-se sob altas pressões de injeção. A entrada do tipo “disco”, é empregada em aberturas circulares e é separada com uma matriz cortante depois que a peça tem sido extraída do molde.

FIGURA 13 - Entrada tipo anillo

Nas aberturas maiores a 5 cm de diâmetro não é nem necessário e nem útil utilizar toda a circunferência como entrada.

Para peças com aberturas maiores a 10 cm é preferível uma série de entradas submarinas nos canais ou pistões.

FIGURA 14 - Entrada tipo disco



Cavidades e elementos do molde

Todo o referente ao desenho e fabricação de moldes, e principalmente as cavidades fica além do que seria o propósito deste folheto, já que existe variada literatura sobre o tema cobrindo os diversos aspectos referidos a aços, maquinário, tornos, reprodução e gravação. Os pontos mais importantes que serão tratados aqui são:

Metais para molde

Aço, e, particularmente as suas ligas especiais para ferramentas, são os materiais mais empregados na fabricação de cavidades e dos elementos móveis do molde. No entanto, a utilização da liga berílio-cobre e o aço inoxidável estão se popularizando, o primeiro por ser de esfriamento rápido e este último pela qualidade de resistência as manchas e à oxidação.

Ferramentas de aço duro e polido se recomendam para moldagem que requerem um acabado espelho. Os componentes destes moldes podem também ser cromados para se manter a superfície polida. Um acabamento mate ou acetinado pode se lograr com jato de areia, ou algum outro processo, na superfície das cavidades. A mesma coisa ocorre com a aparência "granulada" do tipo couro que pode se obter dando ao molde uma textura apropriada. No entanto, toda superfície texturizada tende a se perder depois de centenas de ciclos de moldagem, devido à ação levemente erosiva do plástico. Em corridas curtas e de baixo custo podem se utilizar moldes de ligas brandas ou de alumínio, mas estes devem ser operados com muito cuidado a fim de evitar deformações por altas pressões de injeção.

São recomendáveis os cromados de alta dureza a fim de evitar oxidação na sua armazenagem e porque também facilitam a extração da peça.

Ângulos vivos e contrasaídas

As cavidades do molde, em princípio, não devem ter ângulos vivos ou contrasaídas que impeçam a expulsão da peça. Às vezes podem se moldar peças com ditos problemas utilizando componentes móveis ou pistões laterais, etc., que são retirados antes que o mecanismo de expulsão empurre as peças fora do molde. Estes componentes ou pistões devem ser desenhados cuidadosamente a fim de se ter a segurança de alcançar um total sincronismo durante a expulsão.

Geralmente, é menos custoso e problemático fazer as perfurações ou cortes como uma operação secundária depois da moldagem. Frequentemente um artigo complexo pode ser moldado em duas ou três partes e ensablado posteriormente, a um custo menor que o fabricando em uma só peça.

Conicidade (ângulos de descarga)

Deve existir uma adequada conicidade em todas as superfícies perpendiculares à linha de fecho do molde. Um bom desenho prove um grau (0,44 mm/mm) de ângulo de descarga por parede, para moldar termoplásticos rígidos que tem um baixo alongamento no limite elástico, tal como acontece com o poliestireno de uso geral. Para polímeros mais elásticos, tais como o poliestireno de alto impacto, um ângulo de descarga de grau intermediário (0,22 mm/mm) é suficiente. Com moldes bem construídos de paredes laterais polidas a espelho, é possível trabalhar estes plásticos rígidos com uma conicidade de apenas 0,13 mm/mm.

Muitos moldes para poliestireno têm demonstrado desprendimento satisfatório com conicidade de 1/8 de grau (0,051 mm/mm), mas as paredes laterais devem estar polidas na mesma direção do fluxo da peça.

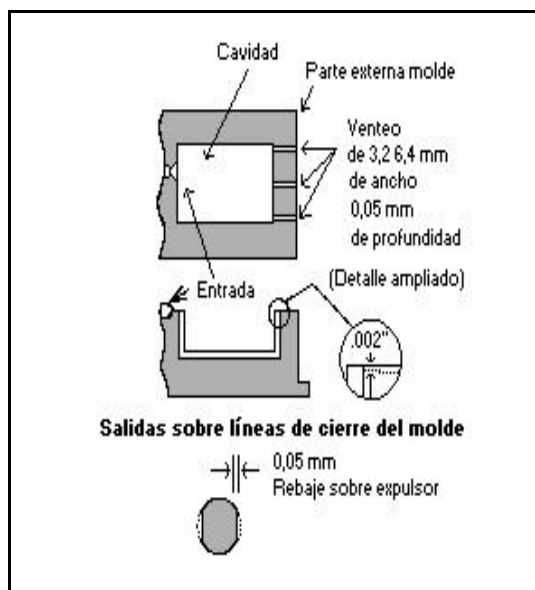


FIGURA 15 – Escape de gases

Escape de gases (ventilação)

Cada cavidade deve ter escapes adequados de gases a fim de permitir a expulsão do ar entrando, que é substituído quando entra o material fundido na cavidade, e além de mais, eliminar resíduos voláteis da massa fundida. Certamente, a cavidade num molde fortemente fechado atua como um recipiente selado com a entrada como única abertura. O material não pode fluir a não ser que o ar tenha uma saída.

Este vital requerimento é, algumas vezes, tratado muito superficialmente e seus inevitáveis resultados são injeções curtas, pontos ou zonas queimadas, uniões fracas, pobre terminação, marcas de fluência ou um enchido muito devagar. A importância de um bom sistema de escape de gases é fundamental e iniludível, e seu desenho deve receber tanta atenção quanto o das entradas. Sem escapes adequados é impossível lograr um bom comportamento na moldagem.

As saídas de ar devem ser incorporadas à linha divisória sobre uma das fases do molde, fazendo uma ranhura de 0.05 mm de profundidade por 6.4mm a 12.7 mm de largura que se prolonga desde a cavidade até o exterior do molde da forma como se mostra na fig.15. A profundidade da ventilação deve ser aumentada levemente na medida em que

se distancia da cavidade, de forma tal que não se obstrua pelo uso. A cavidade também pode se ventilar dando-lhe uma luz de 0.025 mm a 0.050 mm de profundidade, paralela ao eixo do pistão tal como se mostra na fig. 15. Um escape de gás deve ser colocado em todo ponto da linha divisória, onde se produz uma linha de união do plástico fundido, consequentemente devem ser feitos depois da prova de moldagem inicial, uma vez detectada a sua localização.

Em cavidades profundas, ou na parte superior de costelas e nervos, onde o ar tem tendência a se embolsar, se aconselha instalar pistões de expulsão ventilados, perfurando um pequeno buraco através do molde, e fazendo correr através dele uma vareta rebaixada longitudinalmente em ambos os lados em 0.05 mm. Também pode se fazer um excelente escape de gás por meio de um pequeno buraco na base da cavidade conectando ele com outro de maior diâmetro feito no lado reverso.

A linha de união que se produz pela interseção da fluência do material ao redor de um obstáculo (fig. 16) pode se minimizar instalando um escape especial, maior, conhecido como descarga auxiliar. Neste caso, a profundidade deve ser uma terceira parte da espessura das paredes da peça, de forma tal que o material seja forçado a passar através do escape dentro de uma cavidade cilíndrica, a qual está ligada a um pequeno pistão extrator que tem 0.05 mm de luz em relação com o buraco que atravessa. O ar embolsado entre as duas correntes de material que avançam é ventilado através deste pequeno espaço e também o plástico esfriado da frente da corrente é forçado a sair pela descarga auxiliar de tal forma que a união final fica formada pela selagem do material mais quente, sendo mais resistente e quase imperceptível. O restante do material frio que estava na descarga auxiliar é tirado da peça moldada pelo pistão de expulsão, e cortado a raso antes de ser tirado do molde. Estas descargas, cada uma com seu pistão de expulsão podem também ser utilizados para eliminar marcas da superfície de algumas peças que assim o requerem, tais como ponteiros de velocímetros, de relógios, etc.

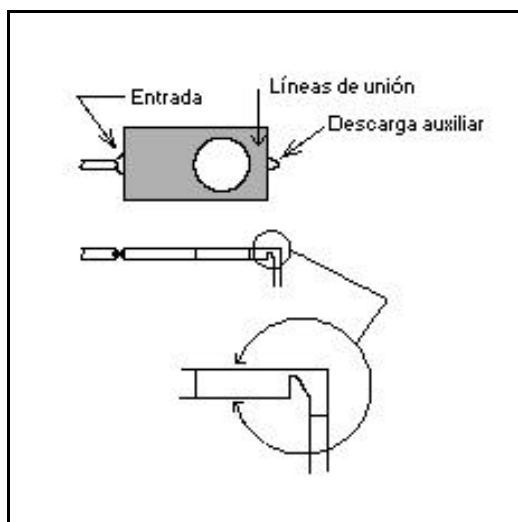


FIGURA 16 - Descarga auxiliar

Canais de refrigeração

A temperatura do molde deve ser mantida constante por baixo do ponto de distorção do material para permitir o seu esfriamento. A temperatura da superfície do molde também deve ser uniforme a fim de evitar que tensões devidas a diferenças de esfriamento produzam distorções nas peças moldadas. A temperatura se controla melhor por meio da circulação d'água a temperatura controlada através de canais perfurados no molde.

Esta importante função nem sempre recebe a consideração necessária na construção ou funcionamento de um molde. Uma certa quantidade de calor medida em calorias por grama deve ser adicionada pelo sistema de calefação do cilindro de injeção afim de que o material se transforme numa massa fluída. Outra similar quantidade de calor deve ser extraída da peça moldada para esfriá-la e assim permitir a sua solidificação e a sua extração. Assim sendo, é essencial colocar um suficiente número de canais no molde, os conectando a uma fonte de circulação d'água e/ou óleo com temperatura controlada.

Os canais d'água devem ter, pelo menos, 12.7 mm de diâmetro e devem estar localizados, no mínimo, a uma distância de 25,4 mm da parede da cavidade. Devem correr paralelos à base mais curta do

molde. A distância de centro a centro, entre eixos, deverá ser de 51 a 64 mm.

Em geral, todo macho ou fêmea com um diâmetro e comprimento de 40 mm deve ter canais de circulação d'água, sejam eles por interseção dos buracos, formando um ângulo em forma de V invertida, ou instalando uma fonte interna d'água como se mostra na fig. 2. Nas cavidades com injeção direta (fig. 2) a corrente de material fundido que penetra a altas temperaturas cria um ponto quente na zona onde bate com o macho. Esta parte deve ser refrigerada mediante a circulação d'água por um canal de refrigeração que deverá estar localizado a 12 mm da superfície do molde.

A circulação d'água deve se controlar separadamente em cada metade do molde. Em geral, é melhor manter a cavidade, (superfície da peça à vista) a uma temperatura mais alta que a da superfície interior, para se obter melhor brilho sem detrimento da duração do ciclo. Nas primeiras etapas do processo por injeção, as duas metades do molde estavam conectadas, de forma que a água fria entrava primeiro na metade do molde que continha a cavidade interna, e logo passava aos canais correspondentes na metade do molde que continha a cavidade externa, através de uma mangueira de borracha. Desta forma, a água esquentava um pouco no seu passo através da parte posterior do molde e automaticamente mantinha a parte dianteira a uma temperatura superior.

Quando se trabalha com moldes grandes, é conveniente ter dois ou mais sistemas de canais de circulação separados em cada metade. Os canais mais externos se manterão a uma temperatura mais alta do que os que ficam mais perto à galho central, para facilitar que o material flua até as extremidades da cavidade.

Cada vez que é instalado um molde numa máquina, deve controlar-se a saída d'água pelos canais para assegurar que os mesmos não estejam obstruídos e que a circulação é correta. O fluxo d'água deve ser suficiente para permitir que a temperatura de saída não supere em mais de 5°C na entrada. Como manutenção se recomenda inverter o fluxo d'água nos canais, de vez em quando, para limpá-los de óxido ou sedimento.

Quando se trabalha em ciclos curtos ou peças muito pesadas, se recomenda fazer circular água refrigerada ou então a utilização de salmoura para tirar o calor rapidamente. Isto se faz tão somente se a temperatura das duas metades do molde não está por baixo da temperatura da habitação, porque neste caso, a umidade da atmosfera se condensaria sobre o molde. Para moldar poliestirenos se recomendam temperaturas de superfície de molde superiores aos 50° C a fim de evitar as tensões internas que pode provocar o excessivo esfriamento. Uma temperatura irregular (não uniforme), através da superfície do molde causa diferentes índices de esfriamento provocando tensões térmicas na peça terminada. Pelo mesmo motivo se recomenda que uma das metades do molde tenha uma temperatura de não mais de 20°C acima do que o da outra metade, dado que a excessiva diferença provoca deformações na peça.

Para moldar poliestireno de alto impacto e se obter uma boa terminação, a temperatura do molde não deveria ser menor a 60°C.

Mecanismos de expulsão

As considerações mais importantes no desenho do mecanismo de expulsão são:

1. O diâmetro dos pistões deve ser tão grande quanto o desenho o permita.
2. Devem ser colocados tantos pistões quanto seja possível sem que estes cheguem a interferir com os canais de refrigeração.
3. Os pistões devem localizar-se de forma uniforme em toda a superfície da peça moldada para poder empurrá-la uniformemente, de forma que a expulsão seja suave e não provoque deformações na mesma.

A pressão requerida para expulsar a peça injetada fora da cavidade depende dos seguintes fatores:

- a) ângulo de saída das paredes.
- b) superfície da área de contato.
- c) polimento das superfícies laterais do molde.
- d) pressão de injeção (ou grau de compactamento)
- e) presença de agentes desmoldantes, já seja no material ou na superfície do molde.

A força total requerida para expulsar a peça pode chegar a ser de várias centenas de quilos. Se os pistões são de diâmetro demasiadamente pequeno, ou então são poucos, a pressão exercida pela fase dos pistões pode chegar a provocar distorção na peça injetada não esfriada totalmente. Quando se trabalha com ciclos curtos, a pressão concentrada exercida pela fase dos pistões pode limitar ainda mais a obtenção de um ciclo de moldagem mínimo, devido ao tempo requerido pelo material para se esfriar e se obter um estado suficientemente rígido que resista a pressão destes pistões. Por exemplo, consideremos uma peça de poliestireno alto impacto que requer uma força de 100 kg para ser expulsa da sua cavidade, se tão somente temos quatro pistões, cada um de 3 mm de diâmetro, cada pistão deverá exercer uma pressão de ao redor de 320 kg/cm^2 , que é maior que a força de cisalhamento do material quente. Neste caso, os pistões passariam através da peça injetada.

Em um molde bem desenhado, com ângulo de saída lateral (ou ângulo de descarga) bem calculado e um sistema de expulsão adequado, não há necessidade de aplicar agentes desmoldantes como estearato de zinco ou spray de silicone. A necessidade de se utilizar este tipo de desmoldantes demonstrou que a superfície do molde deve ter melhor polimento ou que os ângulos de descarga das paredes laterais não são os adequados. Em um novo molde também podem ficar marcas microscópicas produzidas pelas ferramentas que trabalham como “zonas de retenção” ou “ângulos vivos”, de tal forma que se faz necessário o emprego de um agente desmoldante durante a expulsão da peça. Depois de um longo período em operação, os contornos das cavidades na linha de partição do molde sofrem um desgaste que provoca microscópicas arestas. Quando isto ocorre, deve-se retocar as bordas das cavidades a fim de restabelecer o

ângulo correto de descarga. O emprego de um desmoldante aplicado a um molde aumenta o custo da moldagem, especialmente no quesito tempo de aplicação, que é de vários segundos adicionais para cada vez, incrementando em um 5 a 10 % ou ciclo total.

Embora não exista um método de cálculo testado para determinar antecipadamente a quantidade necessária de pistões, a experiência tem demonstrado que é necessário que os pistões tenham uma superfície de $6,45 \text{ cm}^2$ para cada $6,45 \text{ cm}^2$ de área de contato de parede lateral (OBSERVAÇÃO: Não se refere à área projetada). A vantagem de contar com pistões de maior diâmetro fica demonstrada pelo fato que para prover uma superfície de contato total de $6,45 \text{ cm}^2$ requerem-se 82 pistões de 3,2 mm de diâmetro, ou 20 pistões de 6,4 mm de diâmetro, ou 9 de 9,5 mm de diâmetro.

Os pistões devem ser instalados de maneira que fiquem ao raso o bem 0,05 mm por baixo da superfície da cavidade. Se o pistão sobressai tão somente 0.05 mm da superfície, causa uma alta concentração de tensão em material moldado na área de contato. Na moldagem de poliestireno transparente a tensão pode-se observar facilmente através de polarimetria. Por motivos de economia, os ciclos de moldagem se reduzem o máximo possível. Isto representa quase sempre uma falsa economia porque o ganho em quantidade de peças por hora se perde em peças rechaçadas pela inferior qualidade. Em ciclos curtos, o interior da peça fica mais quente do que as superfícies exteriores que tem estado em contato direto com o molde mais frio. Nestas condições, uma concentração repentina de pressão exercida pelos pistões quando se abre o molde, causa tensões internas que permanecem na peça depois do seu endurecimento definitivo, onde praticamente se congelam.

Problemas de Moldagem

INTRODUÇÃO	PÁG. 39
INJEÇÕES CURTAS	PÁG. 40
FALTA DE BRILHO	PÁG. 40
ZONAS QUEIMADAS	PÁG. 40
DEPRESSÕES OU BOLHAS	PÁG. 40
LINHAS DE UNIÃO	PÁG. 41
ADERÊNCIA EM GALHO OU CAVIDADES	PÁG. 41
MANCHAS, FRESTAS PRATEADAS OU POROS	PÁG. 41
REBARBAS NA PEÇA	PÁG. 42
LISTRAS NEGRAS OU COR DEGRADADA	PÁG. 42
ENCURVAMENTO OU CONTRAÇÃO	PÁG. 42

INTRODUÇÃO

É obtido sucesso na moldagem por injeção quando se produzem artigos de boa qualidade e com uma produção de ritmo contínuo. Mas, podem ser encontrados problemas no logro de este objetivo ao se trabalhar qualquer termoplástico; isto ocorre principalmente quando se inicia o trabalho com um novo molde. Também os problemas podem ocorrer quando se muda um molde de uma máquina para uma outra, ou quando se passa a um material plástico diferente. Os defeitos que podem aparecer em peças injetadas podem ser originados por condições de máquina não adequadas, um molde não satisfatório ou um material plástico impróprio. Estes três fatores: maquinaria, molde e material devem ser considerados quando se trata de eliminar defeitos e se obter condições ótimas de moldagem. Com demasiada frequência tende-se a imputar os problemas ao material ou as condições de moldagem, quando, na realidade, a origem do inconveniente é a própria máquina não adequada ou o desenho do molde.

À continuação, detalharemos os dez defeitos mais comuns na moldagem por injeção. Para cada um deles se indicam os possíveis fatores que podem ocasioná-los, separados em três colunas: máquina, molde ou material; sendo qualquer destes fatores os que contribuem para originar um determinado problema.

Por exemplo, se as cavidades não são preenchidas por completo, seus possíveis causas podem ser:

1) condições do equipamento

Pressão de injeção demasiadamente baixa, temperatura de massa do material demasiadamente baixa, alimentação insuficiente.

2) Molde

Temperatura demasiado baixa, entradas e canais demasiado pequenos, ventilação inadequada, etc.

3) Material

A viscosidade do material é muito elevada, os grânulos do material no cone estão demasiado frios ou não são de tamanho uniforme.

Geralmente, a solução para cada possível causa é evidente. No exemplo dado, o primeiro passo a seguir é controlar as temperaturas do cilindro para verificar que elas são as corretas para o material empregado. No possível, há que medir a temperatura de massa do material; a mesma se controla através de pirômetro em sucessivas purgas, para se assegurar que o cilindro esteja com o sistema de calefação adequado. Como segundo passo, deve-se verificar que a pressão de injeção e a correta e também se deve efetuar um ajuste do controle mecânico de alimentação de forma tal que o pistão ou pistão rosca não fique sem material no seu avanço para frente. Da mesma forma é importante se verificar as outras causas estabelecidas no quesito "A Máquina". Se ela está operando satisfatoriamente, investigar as referentes ao "Molde" e por último, as de "Material".

O emprego da técnica "passo a passo" para determinar a causa de um problema pode ser tarefa fácil, no entanto, a sua correção pode levar muito tempo, em especial se devemos ajustar a temperatura do cilindro. Isto deve ser feito diminuindo ou aumentando de 5°C a 10°C de cada vez fazendo uns 10 ou 12 ciclos entre cada modificação para ir permitindo que a temperatura da massa se equilibre com a do cilindro. Uma análise sistemática das possíveis causas e a aplicação das correções necessárias proverá as bases para produzir peças de alta qualidade.

Máquina	Molde	Material
1. INJETADAS CURTAS (Não se encheu o molde)		
Pressão de injeção muito baixa. Temperatura de massa muito baixa. Excessivo colchão de alimentação. Insuficiente alimentação.	Temperatura do molde muito baixa. Entradas muito pequenas. Ventilação insuficiente. Seções da peça demasiado finas.	Muito baixa fluência ou alta viscosidade. Material de esfriamento demasiado rápido. Lubrificação inadequada. Elevado percentual de recuperado na mistura com o material virgem.
Boquilha demasiado pequena. Capacidade de máquina inadequada. Boquilha ou cilindro empastado.	Material frio obstrui as entradas. Barra de galho demasiado comprida.	Material frio no silo. Partículas ou grãos de material de tamanho não uniforme.
Muito baixa velocidade de injeção.	Diâmetro da barra de galho muito pequeno.	
Temperatura da zona posterior do cilindro muito baixa.	Canais muitos pequenos. Orifício de entrada localizado em posição incorreta. Escapes inadequados de gases. Temperatura da matriz muito baixa. Superfície de canais não polidas (rugosas).	
2. FALTA DE BRILHO		
Pressão de injeção muito baixa. Temperatura do material muito baixa. Excessivo colchão de alimentação. Velocidade demasiado baixa.	Temperatura do molde muito baixa. Entradas muito pequenas. Ventilação insuficiente. Abruptas mudanças da espessura de paredes.	Muito baixa fluência ou alta viscosidade. Lubrificação inadequada. Material frio no silo. Partículas de material ou grânulos de tamanho não uniforme.
Diâmetro da boquilha muito pequeno. Ciclos muito curtos.	Nervuras ou pestanas demasiado grandes.	
3. ZONAS QUEIMADAS		
Pressão de injeção muito baixa. Velocidade demasiado rápida. Temperatura do material demasiado alta. Boquilha muito quente.	Ventilação insuficiente. Ventilação obstruída. Má localização ou inadequado tipo de entrada. Excesso de agente desmoldante no molde.	Fluência excessivamente alta. Excesso de lubrificante. Alto conteúdo de voláteis.
Velocidade do pistão demasiado alta.		
4. DEPRESSÕES SUPERFICIAIS OU BOLHAS		
Pressão de injeção muito baixa. Temperatura do material muito baixa. Velocidade demasiado baixa.	Entradas muito pequenas. Temperatura do molde muito baixa. Barra de galho demasiado comprido.	Fluência excessivamente alta. Fluência baixa. Excessivo percentual de recuperado na mistura com o material virgem.

Ciclos muito curtos.	Diâmetro da barra de galho muito pequeno.	A lubrificação externa não é uniforme.
Boquilha demasiado fria.	Ventilação insuficiente.	Excessivo conteúdo de voláteis.
Diâmetro da boquilha demasiado pequeno.	Canais de galho muito pequenos.	
Alimentação insuficiente.		

Máquina	Molde	Material
5. LINHAS DE UNIÃO FRACAS		

Temperatura do material muito baixa.	Temperatura do molde muito baixa.	Fluência muito baixa.
Pressão de injeção muito baixa.	Ventilação insuficiente.	Material de endurecimento rápido.
Velocidade demasiado baixa.	Ventilação obstruída.	Lubrificação insuficiente.
Boquilha muito fria.	Entradas muito pequenas.	Excessivo conteúdo de voláteis.
Diâmetro da boquilha muito pequeno.	Má localização da(s) entrada(s).	
Inadequada capacidade da máquina.	Excesso de agente desmoldante.	
Ciclos muito curtos.	Seções de molde muito finas.	
	Diâmetro da barra de galho muito largo.	
	Diâmetro da barra de galho muito pequeno.	
	Canais muito pequenos.	

6. ADERÊNCIAS NO GALHO OU CAVIDADES

Pressão de injeção muito alta.	Mal assentamento da boquilha na barra de galho.	Insuficiente agente desmoldante.
Temperatura do material muito alta.	Diâmetro da boquilha mais largo que o orifício da barra.	Insuficiente lubrificação.
Diâmetro da boquilha muito largo.	Barra de galho demasiado grande ou demasiado pequena.	Fluência excessiva.
Excessiva capacidade de injeção.	Ângulo de descarga da barra de galho inadequado.	
Velocidade muito alta.	Superfície do molde mal polida ou com arestas.	
Ciclos muito curtos.	Mecanismo de expulsão inadequado.	
	Fecho do extrator de galho inadequado.	
	Bordas da cavidade machucados na linha de partição do molde.	
	Temperatura da matriz, do lado da injeção muito alta.	

7. MANCHAS, VETAS PRATEADAS, POROS, "FAÍSCAS" (ou efeito mica)

Temperatura do material muito alta.	Temperatura do molde muito baixa.	Excesso de umidade.
Temperatura da boquilha muito alta.	Temperatura do molde não uniforme.	Excesso de voláteis.
Temperatura da zona posterior do cilindro muito alta.	Ventilação insuficiente.	Material no silo muito frio.
Incorreto funcionamento das bandas de calefação.	Entradas e canais muito pequenos.	Contaminação com materiais incompatíveis.
Diâmetro da boquilha muito pequeno.	Diâmetro da barra de galho muito pequeno.	Excessivo percentual de recuperado na mistura com material virgem.

Velocidade muito alta. Óleo, graxa, lubrificante ou água no molde.

O cilindro não foi bem purgado do material utilizado previamente.

Capacidade de máquina inadequada.

Máquina	Molde	Material
8. REBARBAS NA PEÇA		
Pressão de injeção muito alta.	Mal alinhamento das metades do molde.	Fluência excessiva.
Inadequada pressão de fecho.	Saliente ou material estranho nas fases do molde ou nas linhas de separação.	Má distribuição ou excesso de lubrificante.
Temperatura do material muito alta.	Excesso de cavidades.	Tamanho dos grânulos demasiado pequenos ou desparelhos.
Solidificação de galho muito lenta.	Área projetada do molde demasiado grande para a capacidade da máquina.	
Ciclos muito compridos.	Temperatura do molde muito alta.	
Excessiva alimentação.	Ranhuras de ventilação demasiado profundas.	
Excessiva velocidade da rosca.		
Excessiva contrapressão da rosca.		
Excesso de velocidade do pistão.		
9. FRESTAS NEGRAS OU COR DEGRADADA		
Temperatura do material muito alta.	Graxa ou óleo nas cavidades.	Excesso de pó.
Temperatura da zona posterior do cilindro muito alta.	Drenagem de graxa através dos pistões expulsos.	Lubrificante em excesso ou mal disperso.
Material queimado no cilindro ou na boquilha.	Canais muito quentes.	Lubrificante inadequado.
Boquilha mal colocada.		Excessivo percentual de recuperado na mistura com material virgem.
Cilindro rachado.		Excessivo conteúdo de voláteis.
Pistão gasto pelo excesso de fricção.		
Aderências na válvula de controle interna.		
Inadequado funcionamento das resistências das bandas de calefação.		
Penetra aceite no cilindro.		
10. TORÇÃO OU CONTRAÇÃO EXCESSIVA		
Temperatura do material muito alta.	Insuficiente conicidade ou ângulo de descarga.	Fluência excessiva.
Temperatura do material muito baixa.	Extração desparelha no macho.	Lubrificante em excesso ou mal disperso.

Ciclos muito curtos.

A máquina se abre muito rápido ou os pistões de expulsão atuam muito rápido.

Os pistões de expulsão atuam demasiado rápido ou então de forma não uniforme.

A área dos pistões de expulsão é muito pequena.

Temperatura do molde desparelha.
Temperatura do molde muito baixa.
Temperatura do molde muito alta.
Espessura desparelha nas paredes da peça.
Pistões do macho inclinados (tortos).

Material de lenta solidificação.

SEÇÃO IV

Tensões Residuais

Adesivos, Uso de desmoldantes,

Tabela de conversão de unidades

TENSÕES RESIDUAIS	PÁG. 44
ORIGEM	PÁG. 44
DEFEITOS	PÁG. 44
SOLUÇÕES	PÁG. 44
TEMPERADO	PÁG. 44
DETERMINAÇÃO	PÁG. 45
ADESIVOS	PÁG. 46
DESMOLDANTES	PÁG. 47
PROPRIEDADES MECÂNICAS: TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES	PÁG. 47

TENSÕES RESIDUAIS

Em várias oportunidades ao longo deste informe se tem mencionado as tensões residuais de moldagem. A sua incidência é de tal importância na obtenção de peças de ótima qualidade que se faz necessário tratá-lo como tema específico. Antes de mais nada, definamos quais são as “Tensões Residuais”. “As Tensões Residuais se definem como um mal acomodamento das macromoléculas em um espaço determinado, que gera uma diminuição das propriedades físico-mecânicas, térmicas e químicas”.

Origem

As variações nas condições de moldagem tem um efeito direto sobre as propriedades finais do produto acabado. Na moldagem por injeção as cavidades do molde se enchem, empurrando o material fundido através de pequenos canais a elevada velocidade e sob alta pressão. As paredes internas das mesmas estão a temperaturas muito inferiores à massa e, logicamente esfriam rapidamente a camada do material que entra em contato com elas, a que se solidifica em forma instantânea. Por “cima” segue passando material que vai se esfriando em sucessivos níveis ou camadas para completar o ciclo de preenchimento. Estas condições geram tensões resultantes da

fricção entre camadas, que serve para “orientar” as moléculas na direção do fluxo e que se estabelecem na massa moldada antes que as macromoléculas possam se acomodar novamente e se livrar dessas tensões ou deformações do seu estado natural. Concluindo, podemos dizer que as Tensões Residuais se originam basicamente quando “uma massa quente entra em contato com uma superfície muito mais fria”.

Defeitos

a - Propriedades físico-mecânicas

1. Diminuição da resistência ao impacto.
2. Aparição antecipada de fissuras em esforços de tração, alongamento, flexão e deflexão.

b - Resistência à deformação pelo calor

Diminuição da resistência à deformação pelo calor. Isto tem sua origem no fato que o calor que pode ser aplicado causa o relaxamento das tensões sob condições incontroláveis provocando a deformação assimétrica da peça.

c - Resistência química

1. Maior sensibilidade ao ataque químico manifestado pelo aparecimento de frestas, superfícies ásperas e descoloração superficial (Ex.: descoloração, aplicação de adesivos no ensablado e pintado).
2. Problemas de ancoragem do cromado/metalizado.

Soluções

Moldar com:

- Mínima diferença térmica possível entre temperaturas de massa-molde.
- Maior uniformidade possível de temperaturas no molde.
- Alta velocidade de injeção.
- Baixa pressão de injeção.

Mínima compactação.

Temperado

O temperado é utilizado para minimizar as Tensões Residuais que não são eliminadas variando os parâmetros de moldagem e que podem estar limitadas pelo desenho da peça, ciclo de moldagem, etc. A operação de temperado consiste em colocar as peças em um forno com circulação de ar ou em um recipiente com água quente. Para determinar a temperatura do forno ou d'água, temos que conhecer o ponto de deformação térmica da peça. O temperado se realiza a 5°C por baixo deste valor durante aproximadamente 2 horas. O tempo depende da espessura da peça. “O

ponto de deformação térmica é a temperatura na qual se observa a deformação da peça, e não o ponto de deformação ASTM do material”. As peças logo do temperado devem voltar a provas, submergindo-as em solventes adequados para verificar se esta operação tem sido eficaz.

Determinação

Para determinar a magnitude das Tensões Residuais que podem afetar a performance final de uma peça moldada, se empregam as seguintes técnicas.

1. Visual

Se utilizando luz polarizada, as áreas de maior magnitude aparecerão como concentrações locais de espectros iridescentes. Aplica-se a plásticos transparentes.

2. Térmica

Aplica-se o mesmo sistema que o utilizado para determinar a temperatura de temperado, utilizando deformações de variado nível (em diversas condições de moldagem) como uma medida da magnitude das tensões.

3. Química

As peças moldadas se submergem durante um tempo predeterminado em reativos específicos para cada tipo de material. A peça é atacada unicamente nos lugares com tensões provocando fissuras ou rachaduras. A maior magnitude ou evidencia destas frestas estará em relação direta com a maior tensão residual existente.

Material	Solvente	Imersão	Escurrido
Poliestireno	N-Heptano	120 ± 5 segundos	30 minutos
Acrílico	Acetato de Etilo	15 ± 5 segundos	5 minutos
Acrílico Alta Temperatura	Acetato de Etilo	120 ± 5 segundos	5 minutos
ABS	Ácido Acético Glacial	30 segundos	0 minutos

PVC	Acetona	20 minutos	0 minutos
SAN (também pode ser ABS)	Tolueno 75%, Nafta Branca 25%	2 minutos	1 hora

ADESIVOS

A colagem por meio de adesivos é um efetivo e versátil meio para produzir uniões duráveis. Os podemos dividir em 4 categorias:

- Solventes adesivos*: são solventes puros ou misturas
- Polímeros termoplásticos*: cianoacrilatos, copolímeros Hot-melt baseados em EVA poliamidas
- Resinas de termoselado*: epóxicas, reativos acrílicos, poliésteres fenólicos, polivinil butiral. Estes provem durabilidade, resistência a alta temperatura e ao médio ambiente.
- Elastômeros*: baseados em neoprene, borracha nitrilo e poliuretano. São utilizados quando é exigido um alto grau de flexibilidade.

Crítérios de seleção

- Natureza química dos materiais a serem colados.
- Processo de transformação (extrusão, injeção, espumado).
- Condições ambientais que devem tolerar (química, luz, temperatura, umidade).

- Resistência à deformação, grau de flexibilidade, etc.
- Resistência ao *cracking* da união no tempo.

Para o caso de poliestirenos, normalmente a ação de um solvente adesivo é suficiente para colar duas peças da mesma família entre sim.

A colagem com outros materiais deve ser tratado separadamente. Cada caso é um caso.

Os solventes se dividem em 3 grandes grupos:

- Evaporação rápida (ponto de ebulição até 100°C)
- Evaporação média (ponto de ebulição entre 100 e 200°C)
- Evaporação lenta (ponto de ebulição maior a 200°C)

Os mais voláteis geram uma união rápida de boa resistência inicial, mas podem apresentar a médio prazo problemas de enrugamento, rachaduras e frestas. Estes defeitos diminuem ao se empregar solventes de evaporação média e lenta.

Poliestireno

Secagem rápida	Cloreto de Metileno
	Acetato de Etila
	Metil Etil Cetona
Secagem média	Dicloreto de Etileno
	Tricloroetileno
Secagem lenta	Tolueno
	Percloroetileno
	Xileno

Cimentos.- Um solvente pode ficar mais espesso dissolvendo 10-15 % do material a colar no solvente a ser utilizado.

DESMOLDANTES

Entre os aditivos que podem resultar mais resultados prejudiciais devemos destacar os desmoldantes; seu uso abusivo pode criar sérios problemas de adesão (impressão, pintado, *hot stamping*).

O estearato de zinco é um dos desmoldantes mais comuns e, se não for utilizado em proporções excessivas pode ser eliminado com facilidade. Pelo contrário, a utilização de silicones deveria minimizar-se ao máximo, pois a sua eliminação é muito difícil e é suficiente a simples presença de traçados insignificantes para criar graves complicações, não tão somente desde ponto de vista da adesão, senão também dos defeitos superficiais que podem gerar (olhos de peixe).

Conseqüentemente, sempre que se utilizar um desmoldante se faz necessária a limpeza previamente à operação de pintura. Para o poliestireno se sugerem, quando se utilizar “estearato de zinco”, as seguintes composições:

a) Álcool etílico 96°

b) Álcool etílico 96°: 70 partes

Acetato de etilo: 30 partes

Para o poliestireno, quando se utilizarem “silicones” se sugere a seguinte fórmula de limpeza:

Solução de hidróxido de potássio ao 25% em metanol com posterior lavagem com água quente.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Tabela de conversão de unidades

Propriedade	Para passar de	a	Multiplicar por
Resistência à tração	Lb/poleg. ² (PSI)	Kilopascal (MPa)	6.895
Impacto Izod	Kg.cm / cm	Joule / m	9.80665
	Kg.cm / cm	pe.Lb / poleg.	0.183719
	pe.Lb / poleg.	Joule	1.355
	pe.Lb / poleg.	Joule / m	53.3786
	pe.Lb / poleg.	Kg.cm / cm	5.44311
	Joule / m	Kg.cm / cm	0.101971
	Joule / m	pe.Lb / poleg.	0.018734
Módulo de flexão	Lb/poleg. ² (PSI)	Megapascal (KPa)	0.00689

Módulo de tração

Lb/poleg.² (PSI)

kg / cm²

0.070307

Observações:

A informação aqui fornecida está de acordo ao melhor do nosso conhecimento e ela é precisa, mas não podemos garantir resultados seguindo as nossas recomendações e sugestões, porque as condições de utilização estão fora do nosso controle.

Nada do exposto deverá ser interpretado como uma recomendação para utilizar algum determinado produto, infringindo as patentes existentes que o amparam, tanto na sua composição, como na sua utilização.

Este manual foi elaborado com base em documento técnico emitido pela Monsanto.