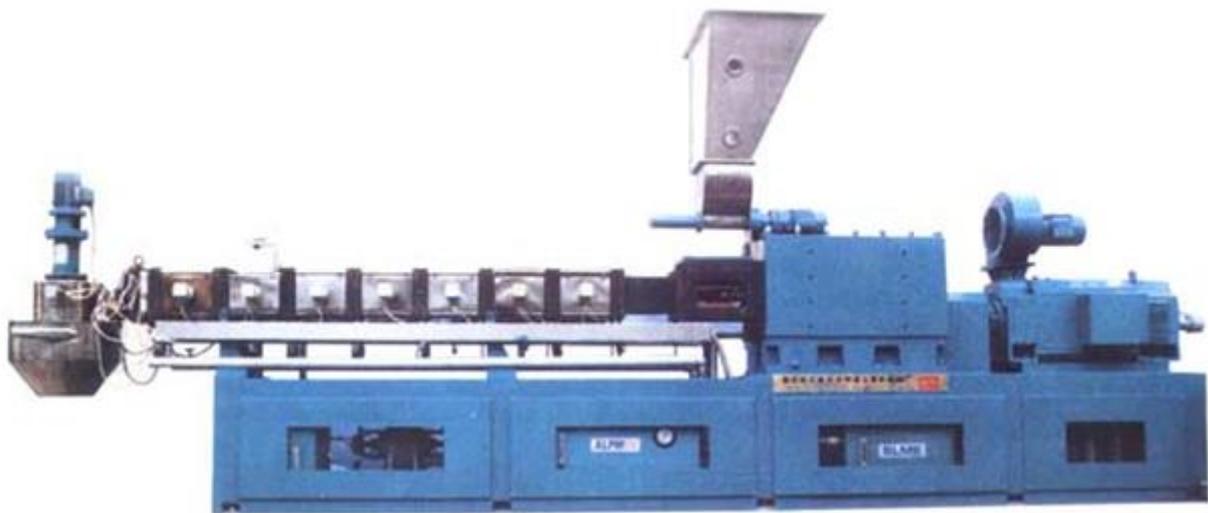


MANUAL DE EXTRUSÃO



SUMÁRIO

Processo de Extrusão - INTRODUÇÃO	3
COMENTÁRIOS GERAIS	3
MATÉRIAS PRIMAS	3
PROCESSO DE EXTRUSÃO	4
EQUIPAMENTOS	5
Capacidade e Requerimentos de Cavalos de Força para vários Equipamentos de	5
PROCESSO	6
TEMPERATURAS DAS ZONAS DO CILINDRO (°C)	6
DESENHO DA ROSCA	6
ZONA DE BOMBEAMENTO - DOSAGEM	7
Misturadores Estáticos ou Inversores de Fluxo	10
DESENHO DA MATRIZ	11
ROLOS DE ESFRIAMENTO E ROLOS DE TRAÇÃO	14
TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS - ROLOS/CALANDRAS (°C) PARA Ps	15
RESUMO CONDIÇÕES EXTRUSÃO (°c)	17
Princípios teóricos da Extrusão - INTRODUÇÃO	18
TEORIA ISOTÉRMICA	18
SIMPLIFICAÇÃO DE EQUAÇÕES DE FLUXO	20
CURVA CARACTERÍSTICA DA MATRIZ	21
FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS DAS ROSCAS	22
VARIÁVEIS DE CONTROLE NA EXTRUSÃO	25
CO-EXTRUSÃO - INTRODUÇÃO	27
SISTEMAS DE CO-EXTRUSÃO	28
PERMEABILIDADE AOS GASES	29
Permeabilidade	30
Métodos Co-Extrusão	31
GUIA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	32

PROCESSO DE EXTRUSÃO - INTRODUÇÃO

Este informativo descreve a extrusão de lâminas de POLIESTIRENOS. As informações apresentadas são resultados de provas realizadas nos laboratórios de investigação da Monsanto e de experiências praticadas em numerosas operações comerciais. Devido as condições de extrusão variarem muito, este material deve ser interpretado como uma série de sugestões, é o leitor quem deve determinar criteriosamente as ações adequadas a sua situação particular.

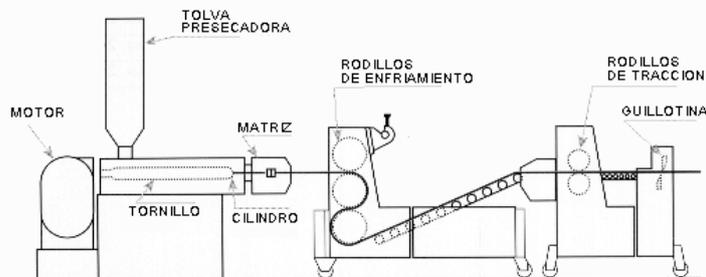


FIGURA 1

COMENTÁRIOS GERAIS

Numa linha de extrusão, o material se alimenta em forma de grânulos, pellets ou pó previamente secado, esquentam-se através de fricção e calor e, na medida que avança ao longo de um cilindro no sentido da parte meia. A ação da rosca sobre este fluido gera a pressão necessária para o fazer sair pelo bico de injeção, que lhe dá a forma desejada, logo é esfriado em rolos, cortado e empilhado ou, enrolado. A qualidade da lâmina acabada se origina em determinadas medidas quantitativas tais como: o controle da espessura (tanto no sentido transversal na direção da extrusão), propriedades físicas e em características superficiais (uniformidade de cor, brilho, etc.). Ao discutir o processo se tratará a operação dos principais componentes de uma linha de extrusão com comentários específicos relacionados com o processamento de POLIESTIRENOS.

MATÉRIAS PRIMAS

ARMAZENAMENTO

Não são necessárias técnicas especiais, se bem que os materiais devem manter-se numa área seca e coberta.

MANIPULAÇÃO DO MATERIAL

Os grânulos de POLIESTIRENO podem ser manipulados mediante equipamentos convencionais. Isso inclui:

- Transporte à vácuo
- Carregadores pneumáticos
- Transportadores à rosca

MOAGEM

Um certo nível de moagem utiliza-se frequentemente, proveniente dos refugos dos processos de extrusão ou termoformagem. Estes podem se misturar e alimentar novamente o equipamento de extrusão com material virgem. Deve-se ter especial cuidado para preservar a moagem de qualquer tipo de contaminação.

Sugere-se utilizar uma percentagem constante deste com material virgem a fim de manter características uniformes de extrusão. Somente devem-se utilizar materiais compatíveis. Não misturar moagem de POLIESTIRENO com moagens de outras resinas. Para manter ótimas propriedades do produto final, os níveis de moagem não devem ultrapassar a 25%. Caso seja inevitável ultrapassar essa marca, a aparência e as propriedades mecânicas da lâmina podem se deteriorar, e se deve limitar a sua utilização às aplicações que aceitem um nível baixo de performance. Para altos percentuais de moagem, podem ser necessárias algumas mudanças nas condições de extrusão a fim de manter os valores de entrega necessários conforme a granulometria da mesma. Esta é, geralmente, uma mistura que pode adquirir desde a forma de pó fino, até a de grandes pedaços irregulares. Este pó pode atuar como lubrificante e ocasionar problemas de alimentação. Nestes casos pode ser necessária a utilização de um sistema de remoção de finos (peneira). É recomendável que o tamanho dos grânulos da moagem seja o mais semelhante possível ao do material virgem. Grânulos por demais grandes podem gerar pontos duros, já que a sua plastificação requer maior tempo de

residência e maior temperatura. Além do mais estes podem levar consigo partículas de ar, o que provoca bolhas na lâmina.

CORANTES

Os POLIESTIRENOS podem ser coloridos mediante qualquer dos sistemas de coloração convencionais. Se forem utilizados corantes líquidos, o transportador deve ser compatível com o material virgem. Se forem utilizados concentrados de cor, a base do polímero deve ser similar ao material virgem, de preferência com menor ponto de fusão. Em geral, deve-se levar em conta que em uma maior concentração de corantes em lâmina final se obtêm menores valores de propriedades mecânicas. "Os materiais incompatíveis podem ocasionar a deterioração das propriedades da lâmina devido à delaminação ou manchas de cor"

SECAGEM

Os POLIESTIRENOS habitualmente se secam para eliminar a umidade superficial e garantir uma temperatura uniforme do material no equipamento de extrusão.

EQUIPAMENTO

O equipamento de pré-secagem é dimensionado em função do equipamento de extrusão a ser utilizado. A capacidade do pré-secador deve ser de 3 a 4 vezes maior que o regime de extrusão para assegurar uma secagem adequada. A maioria das novas instalações utilizam um pré-secador desumidificador (ver figura II). O ar circula, na figura I, através do leito de secagem, que elimina a umidade e o ar seco logo é devolvido ao pré secador. Dito sistema assegura uma secagem apropriada ainda durante os meses quentes e úmidos do verão. Um bom equipamento de pré-secagem deve contar com um sistema bem desenhado para garantir a uniformidade do fluido do material e da secagem. A canalização pode ocasionar uma secagem não uniforme e mudanças no tempo de residência. A instrumentação habitualmente limita-se a medir temperaturas de ar de entrada e saída. A medição do ponto de vazão do ar de entrada e o percentual de fluido volumétrico é útil na resolução de problemas. A determinação do nível real de umidade dos grânulos requer um equipamento especial de laboratório. (Ver anexo I- curva típica de pré-secagem)

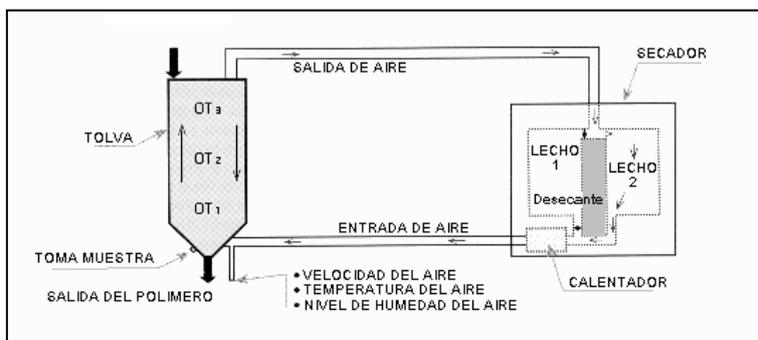


FIGURA II

Os leitos de desecagem contêm sistemas de calefação para regenerar os mesmos em forma periódica. Estes sistemas devem ser examinados rotineiramente para assegurar que estão funcionando de forma adequada. Durante a regeneração, a temperatura do leito eleva-se entre 210o C e 260o C e logo deve esfriar-se antes que o secador se conecte de forma automática ao leito a recarregar. O secador deve ser desenhado para utilizar ar seco a fim de esfriar o leito ao invés de ar atmosférico, que poderia ser demasiadamente úmido.

A obtenção de lâmina com manchas de umidade imediatamente após passar a um leito de secagem regenerado poderia indicar um problema seja com os aquecedores ou com o desenho do sistema de esfriamento do leito.

PROCESSO DE EXTRUSÃO

Os POLIESTIRENOS podem ser extrudados de forma bem sucedida, se transformando numa lâmina de qualidade, quando o nível total da umidade em peso é inferior a 0,03%. Este nível pode ser alcançado num equipamento de secagem adequada, com uma temperatura do ar entre 82 - 93°C, um ponto de orvalho inferior a -180°C (ótimo -290°C), e um tempo de permanência na secadora de pelo menos 3 horas. A temperatura de entrada do ar e o seu baixo



conteúdo de umidade não garantirão um material seco quando entrar na extrusora. Se o problema de umidade persistir, ele provavelmente está sendo causado por uma baixa velocidade de circulação do ar. Um rápido exame da temperatura do material de alimentação que entra na garganta do equipamento de extrusão poderia confirmar o problema. Se todas as condições estão favoráveis, os grânulos devem estar a 60°C ou mais. A ventilação a vácuo é um fator de segurança adicional para a obtenção de uma lâmina livre de umidade.

VENTILAÇÃO: Máximo conteúdo de umidade do material de alimentação após a pré-secagem

Nenhum	0,03%
Vazio simples	0,06%
Vazio duplo	0,10%

Uma ventilação a vácuo deve fornecer um mínimo de 25 polegadas de vácuo de mercúrio. O rendimento total e o desenho do sistema de ventilação (tamanho da abertura) podem alterar o requerimento do conteúdo de umidade do material de alimentação. Os POLIESTIRENOS não requerem pré-secagem, embora seja recomendado para um processo de extrusão mais uniforme e controlado. A umidade superficial, particularmente no verão, deve ser eliminada para assegurar a qualidade da lâmina.

A eliminação da umidade é somente uma das razões para a pré-secagem. Outras duas razões importantes são igualmente aplicáveis:

1. O pré-aquecimento pode aumentar a capacidade de extrusão em pelo menos 10%.
2. O pré-aquecimento fornece uma temperatura do material de alimentação controlada que resulta numa saída mais uniforme e um melhor controle da espessura.
3. Equipamentos de extrusão de dupla ventilação são comercializados no mercado de extrusão de lâminas. O objetivo é garantir uma melhor capacidade de ventilação e eliminar a necessidade da utilização de pré-secadores. No entanto, a tecnologia da dupla ventilação encontra-se atualmente limitada.
4. A instalação de um pré-secador é um apoio aconselhável durante os períodos de alta umidade para oferecer os benefícios adicionais anteriormente expostos.

EQUIPAMENTOS

O tamanho básico do equipamento de extrusão selecionado guarda proporção direta com a medida da lâmina e da produção total desejada. A tabela I resume os valores de capacidade e características dos equipamentos de extrusão utilizados atualmente.

TABELA 1

Capacidade e Requerimentos de Cavalos de Força para vários Equipamentos de Extrusão

Tamanho da máquina	Produção	Potência
Rosca (Ø em in e cm)	(Kg/h)	(HP)
3 1/2" = 8,90 cm	135 - 360	50 - 150
4 1/2" = 11,45 cm	320 - 680	100 - 250
6" = 15,25 cm	540 - 900	150 - 350

Os POLIESTIRENOS necessitam 0,07 - 0,100 HP/Lb/h. As unidades que puxam são geralmente equipamentos com controle de velocidade variável.

O controle da temperatura de massa é de fundamental importância. O controle das temperaturas do cilindro do extruder encontra-se normalmente dividido em várias zonas. As resistências ou bandas aquecedoras são as mais utilizadas. Todas as linhas de extrusão estão desenhadas com controles de aquecimento eletrônico ou de estado sólido, os quais conferem maior confiabilidade e exatidão. É habitual o esfriamento via água ou ar, geralmente se prefere e se utiliza este último.

Devido a maior parte do calor requerido, para fundir os polímeros, ser gerado pela fricção durante o transporte dos mesmos para frente sobre a rosca, as bandas ou resistências aquecedoras ajudam, fundamentalmente, a manter uma temperatura uniforme. Os aquecedores podem ser de uma grande ajuda para modificar os níveis da alimentação na zona posterior, ou modificar propriedades na zona de alimentação para superar diferenças menores no desenho da rosca ou comportamento do material. A maioria dos equipamentos de extrusão estão providos de um indicador de temperatura de massa. Devido ao termopar se encontra no cilindro e não diretamente na corrente da fundição, a temperatura indicada é somente uma medida relativa da temperatura da mesma.

O desenvolvimento da fibra óptica tem fornecido indicadores opcionais de temperatura de fusão que dão o nível real deste valor. Pelo fato de que este é um dos parâmetros mais importantes do processo, se sugere esta opção. É útil para comparar o desempenho do equipamento de extrusão com as mudanças observadas. Juntamente devem ser realizadas medições reais com pirômetro da temperatura da massa e correlacioná-la com as mudanças do processo. A maioria dos novos equipamentos de extrusão possuem ventilação a fim de permitir a utilização das roscas de dois ou três etapas. Os elementos voláteis podem ser eliminados no desgaseificador para melhorar a qualidade da lâmina. Os equipamentos de extrusão com ventilação de uma ou duas etapas são recomendados para POLIESTIRENO.

A criva ou placa porta-filtros e o pacote de malhas estão situados em linha com o equipamento de extrusão, exatamente após a ponta da rosca. O pacote de malhas se utiliza para eliminar qualquer partícula de metal que possa danificar a matriz.

O pacote de malhas é, geralmente, uma combinação de malhas de 20, 40, 60 e 80 mesh. O pacote é trocado normalmente através de uma unidade de remoção automática e hidráulica que é totalmente independente.

Os manômetros encontram-se normalmente na zona da remoção de malhas e se utilizam para medir a diferença de pressão entre a ponta da rosca e o pacote de malhas. Permitem assim, a fácil constatação de pulsações e advertem no caso de um pacote se tampar. A excessiva elevação da pressão posterior proveniente de malhas tampadas, traz como resultado altas temperaturas de fusão e/ou reduz a capacidade de entrega. Uma válvula se situa habitualmente depois do pacote de malhas para ajustar a pressão posterior. Isto pode ser útil na obtenção da fusão adequada de um polímero.

PROCESSO

Os níveis de temperatura das zonas do extruder que mostra a tabela 2 são características para estes materiais. O valor fundamental é a temperatura de massa do material que sai pela matriz. Embora esta seja primariamente uma função da velocidade média de extrusão e do desenho da rosca, os níveis de temperaturas das zonas podem afetar a temperatura de massa em alguns graus, em particular se a temperatura de fusão for baixa. Devem ser mantidas em bom estado as resistências aquecedoras e seus respectivos controladores, para evitar áreas quentes ou frias no cilindro. A temperatura de massa real deve ser controlada com um pirômetro, seja ele do tipo agulha ou óptico.

A unidade propulsora deve manter uma velocidade uniforme sob condições variáveis de carga. Esta deve controlar-se em forma periódica medindo as revoluções da rosca. Um fluxo de saída constante é decisivo no mantimento do controle de espessura uniforme na direção da extrusão.

TABELA 2

TEMPERATURAS DAS ZONAS DO CILINDRO (°C)

	ALIMENTAÇÃO	COMPRESSÃO	DOSAGEM	TEMP. MASSA
POLIESTIRENOS	175 - 204	190 - 220	190 - 232	190 - 232

DESENHO DA ROSCA

A rosca é o coração do equipamento de extrusão. A produção de uma lâmina de qualidade está diretamente relacionada com o desenho da rosca. Este depende de vários fatores que estão, por sua vez, relacionados com a reologia de fusão do polímero, a capacidade de produção e a temperatura de fusão.

ZONA DE ALIMENTAÇÃO

As partículas fluem livremente pela gravidade e são capturadas pelos primeiros filetes, se compactam e formam uma camada elástica que não sofre cisalhamento (corte). Esta camada elástica é acionada pelas forças de fricção existentes entre ela e as superfícies do cilindro e da rosca. O transporte do material (Zona de carga) depende da diferença de fricção entre:

Polímero - cilindro (alta aderência) (1)

vs.

Polímero - rosca (baixa aderência) (2)

Um equipamento alimentado pelo polímero sólido é denominado "Extrusor plastificador". Em todos os casos realiza três operações: transportes de sólidos, fusão ou plastificação e transporte fundido ou bombeamento.

Para compreender o funcionamento, definimos as três zonas que o compõem. (Fig. 3).

Sendo maior a diferença entre os coeficientes de fricção (1) - (2) obteremos maior fluxo de translação. (A rosca deve estar mais polida do que o cilindro). Considera-se que o cilindro está estacionário e a rosca em movimento.

Normalmente a temperatura do cilindro é mantida mais alta do que a da rosca, assim o material tende a aderir ao cilindro na medida que esquenta e escorre da superfície mais fria do cilindro. Se temos uma rosca muito quente o material se gruda e gira com o mesmo, sem servir para frente.

A temperatura na zona da secadora deve manter-se o mais baixa possível.

As roscas são equipadas geralmente com dispositivo de esfriamento a base de água. O filete nesta zona é relativamente profundo.

ZONA DE PLASTIFICAÇÃO/TRANSIÇÃO - COMPRESSÃO

Definida como aquela na qual coexistem polímero sólido e polímero fundido. O objetivo é conferir densidade ao material, eliminando o ar entre as partículas na medida em que são fundidas. Convém destacar dois mecanismos pelos quais acontece a plastificação ou fusão.

O primeiro consiste na transmissão do calor do cilindro até as partículas do polímero, o segundo na transformação de energia mecânica em calor mediante a deformação do plástico sólido. Na maioria dos casos predomina o primeiro mecanismo.

ZONA DE BOMBEAMENTO - DOSAGEM

Esta denominação refere-se à área da rosca onde o material é uma massa totalmente fundida.

A função primordial é a de homogeneizar. Os parâmetros da geometria da rosca (profundidade do canal, passagem, etc.) dependem do tipo de material a ser transformado.

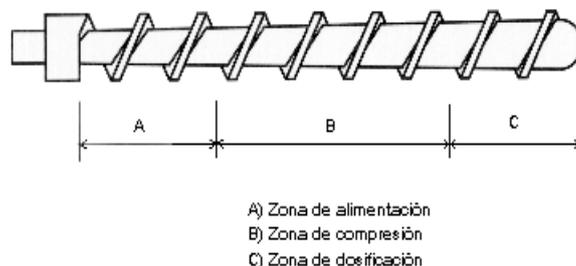


FIGURA 3 - Zonas características da rosca

DIMENSÕES DA ROSCA

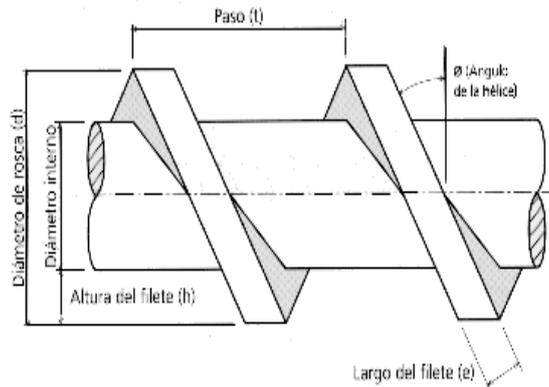


FIGURA 4

Outro valor a ser considerado é a distância entre a borda do filete e a parede interna do cilindro. Se esta distância for grande o material será mais homogêneo, mas é necessário diminuir o avanço do mesmo pois aumenta o fluxo de perda. Em geral, a distância entre o filete e o cilindro deve ser $0,002 D$ para roscas de grande diâmetro e de $0,005 D$ para os de pequeno diâmetro. Em especial quando se trabalha com materiais de baixa viscosidade a distância não deve ser maior do que $0,1 \text{ mm}$.

Equações empíricas para desenhar uma rosca:

equação I: Passo $(t) = (0,8 \text{ a } 1,2) \cdot d$

equação II: Comprimento do filete $(e) = (0,06 \text{ a } 0,1) \cdot d$

equação III: Profundidade do canal na zona de alimentação: $(h) = (0,12 \text{ a } 0,16) \cdot d$

equação IV: Profundidade do canal em zona de plastificação $= 0,5 d - d^2 - 4h/RC$ ($d-h$)

equação V: Compressão em zona de plastificação $= (0,4 \text{ a } 0,6) \cdot RC$

equação VI: Distância radial entre rosca e cilindro $= (0,002 \text{ a } 0,005) \cdot d$

OBSERVAÇÃO: Nas equações IV e V aparece o termo RC: relação de compressão que é também uma função do tipo de material a ser processado.

Muitas vezes os problemas de extrusão são originados pela presença de substâncias voláteis no material. As soluções têm sido a pré-secagem ou máquinas providas com devolatilizadores ou sistemas de ventilação acoplados a uma bomba de vácuo.

Elas seguem basicamente o mesmo processo que os extrusoras de rosca única: alimentação - plastificação - descompressão rápida - recompressão - plastificação.

Os equipamentos de extrusão de uma, duas ou três etapas podem ser utilizados para POLIESTIRENO. Os equipamentos de duas ou três etapas, utilizaram uma rosca simples que possui as características de dois ou três roscas em um eixo comum (Ver figura 5). Esta técnica permite que os compostos voláteis escapem à atmosfera pela ventilação ou zona de descompressão.

Habitualmente se aplica um vácuo à degasagem para incrementar a ação devolatilizadora.

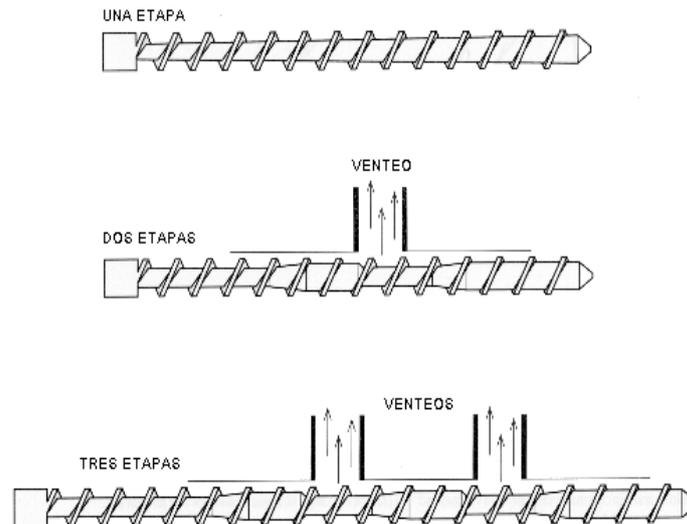


FIGURA 5

No entanto, o desenho da rosca e o controle operacional são mais importantes. O fluxo de fusão entre a primeira e as subsequentes etapas devem ser balanceadas, ou então:

- 1) Parte do material pode sair pela ventilação se a segunda ou terceira etapa não alastra o volume que a primeira lhes entrega.
- 2) O produto extrudado não fica uniforme se as etapas posteriores não estão suficientemente alimentadas. Sugere-se a utilização de uma rosca de passagem constante e diâmetro de raiz variável. A passagem é normalmente igual ao diâmetro do orifício, embora em alguns casos uma passagem que ultrapassa o diâmetro tem sido utilizada com sucesso. (Figura 6).

A escolha de uma rosca se baseia na capacidade desejada e na reologia do polímero a utilizar.

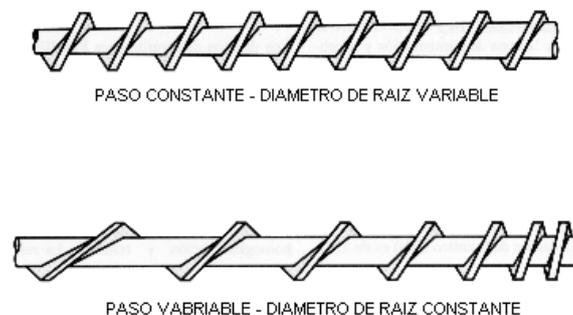


FIGURA 6

Assim sendo, desde o ponto de vista teórico, se requer para cada grau de polímero um desenho diferente.

Na prática, uma rosca de "estireno" se utiliza com a maioria dos produtos de poliestirenos de impacto.

Antes de tratar os pontos específicos do desenho de roscas, as seguintes definições podem ser de utilidade. A rosca de duas etapas de 4 1/2" na figura 7 se utilizará como exemplo. "D" representa o diâmetro do cilindro que neste caso é de 4 1/2". As roscas são definidas habitualmente em termos de L/D onde "L" é o comprimento. Por isso 24/1 L/D, "L" seria 24 x 4 1/2 ou 108".

Os L/D característicos são:

20/1	Uma etapa
24/1,30/1,32/1	Duas etapas
36/1,38/1,40/1	Três etapas

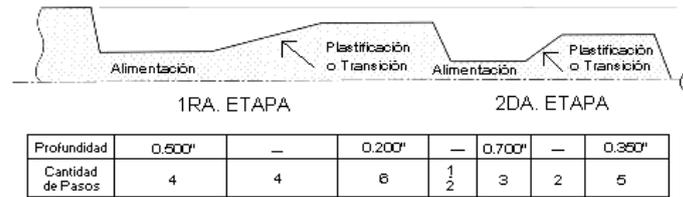


FIGURA 7 - Rosca de duas etapas

A capacidade é proporcional a L/D e, conseqüentemente, pode incrementar-se com roscas mais cumpridos. Relação de compressão (RC) relação entre a profundidade da zona de alimentação e a profundidade da zona de mistura. Relação de bombeamento (RB) relação entre a profundidade da zona de mistura da segunda etapa e a profundidade da zona de mistura da primeira etapa.

Para o desenho da rosca da figura 7, a relação de compressão da primeira etapa (R1C) é de 2.5, a relação de compressão da segunda etapa (R2C) é de 2.0, e a relação de bombeamento (RB) é de 1,75.

Quando um material possui maior sensibilidade ao esforço de corte, ou cisalhamento é que se sugerem baixos níveis de compressão e relação de bombeamento.

Os desenhos de rosca para POLIESTIRENOS são bastante simples se comparados com outras resinas. Uma rosca de poliestireno é habitualmente de uma etapa e possui uma relação de compressão que oscila entre 3:1 e 4:1, (FIGURA 8), também se podem extrusar em uma rosca na qual a relação de compressão da primeira etapa se encontra entre 3:1 e 4:1. Em uma rosca de duas etapas, a maior parte da fusão se realiza na primeira etapa, e a segunda atua mais para homogeneizar e bombear. A relação de bombeamento deve ser ao redor de 1.5:1.

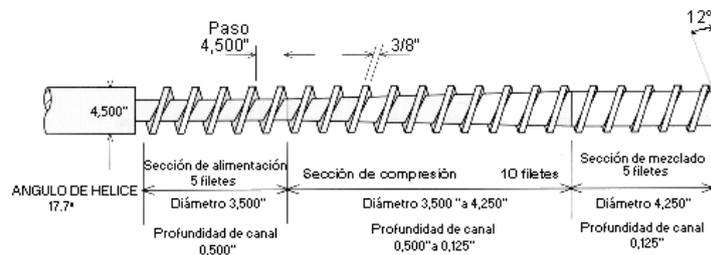


FIGURA 8- Desenho de rosca para POLIESTIRENO de alto impacto

MISTURADORES ESTÁTICOS OU INVERSORES DE FLUXO

A maioria das operações de extrusão compreendem o processamento da moagem com material virgem e/ou adição de corantes. A mistura uniforme é importante para atingir propriedades aceitáveis. A pressão na frente da rosca e a temperatura de massa devem se manter constantes, a fim de controlar a uniformidade da espessura da chapa. Nos últimos anos, a maioria dos equipamentos de extrusão são equipados de um misturador estático para superar alguns dos problemas tratados anteriormente.

Os misturadores estáticos (ver figura 10) contêm uma série de elementos passivos colocados no canal de fluxo. Ditos elementos fazem com que o material se subdivida e volte a se combinar para incrementar a característica homogênea da massa. Não há partes móveis e somente um pequeno aumento da energia da rosca é necessária para superar a resistência dos desvios mecânicos

A instalação de um misturador estático ou inversor de fluxo aumenta o L/D efetivo do equipamento de extrusão e habitualmente se chega a um aumento da temperatura de massa/pressão na frente da rosca. O resultado total é uma fusão mais homogênea e um processo de extrusão mais estável.

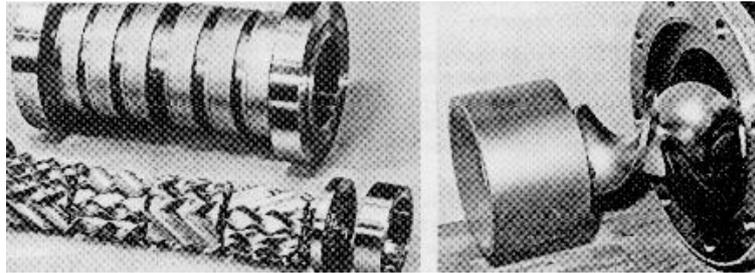


FIGURA 10 -Inversores de Fluxo

Ao utilizar misturadores estáticos deve-se dispor de um tempo de aquecimento prévio antes de iniciar o funcionamento do equipamento de extrusão. Para evitar pressões excessivas, as RPM devem se manter a baixo nível até que o material consiga fluir pela matriz.

CRIVA OU PLACA PORTA-MALHAS

Esta placa consiste numa peça de metal com orifícios que permitem a passagem do material fundido e está adaptada na ponta da rosca ou do cilindro. O dispositivo de fixação da placa serve também como elemento de união entre cilindro e matriz.

O maior problema é evitar zonas paradas onde se detém o movimento do material, que assim se acumula e inicia um processo de decomposição. São sumamente importantes as precauções que devem tomar-se para manter as condições fluidodinâmicas do fundido. O melhor aproveitamento da placa se logra com a maior quantidade possível de orifícios pequenos (Ex. 1/8 a 3/16" de diâmetro).

MALHAS OU FILTROS METÁLICOS

Vão colocadas dentro da cavidade da placa perfurada e o objetivo é o de reter materiais estranhos ou contaminações que se encontrem na massa antes de atingirem a matriz, são úteis, principalmente, quando se utiliza material recuperado.

Normalmente são telas de aço inoxidável e podem combinar-se várias medidas (20, 40, 60, 80, 100 ou 120 mesh). Também são utilizadas a fim de aumentar a contrapressão na extremidade da rosca, eliminando a aparição de pulsações, embora o melhor meio para conseguir o aumento da pressão é através do uso de uma válvula especialmente desenhada.

DESENHO DA MATRIZ

MATRIZES PARA EXTRUSÃO DE CHAPAS

A escolha da matriz é influenciada de forma considerável pela qualidade requerida. Para os POLIESTIRENOS, podem se utilizar matrizes que possuem um diâmetro constante ou então um distribuidor cônico progressivo.

As matrizes desenhadas para um tempo de permanência mínimo oferecem um melhor rendimento e uma extrusão livre de problemas de fluxo.

Nas figuras, vemos esquemas de matrizes planas 11) tipo cauda de peixe 12) tipo cabide 13) tipo T. Este tipo de desenho é utilizado para que as velocidades do material que sai pela matriz seja a mesma em toda a largura. Também para regular e controlar esta velocidade se utiliza uma barra inibidora que atua como uma válvula de contenção.

A espessura é controlada por meio de lábios.

O comprimento da zona de distribuição da matriz para poliestireno deve selecionar-se tendo em conta a espessura da base desejada.

Um comprimento de 2" deve utilizar-se para uma lâmina de oscile entre 0.040" e ao redor de 0.150", enquanto que uma lâmina de até 0.500" pode requerer um comprimento do distribuidor de 3 a 4".

Quanto maior comprimento, maior será a pressão interna que permitirá um melhor controle da fusão na matriz e ajudará a melhorar a qualidade da superfície da lâmina.

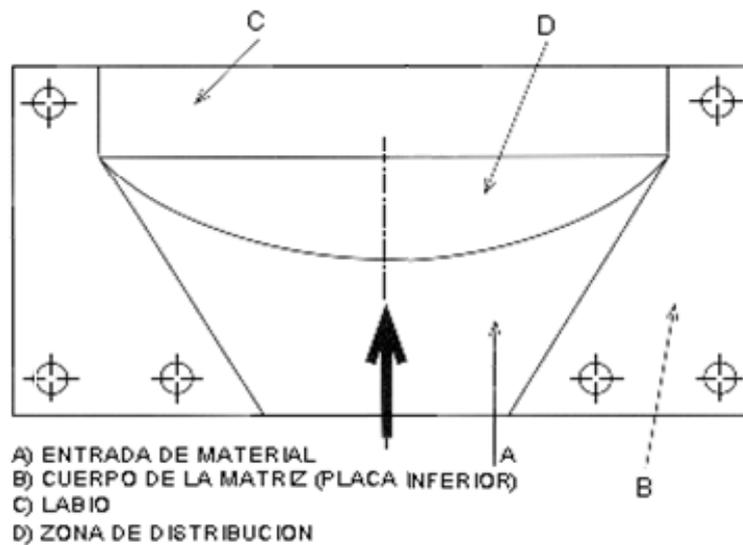


FIGURA 11 - Matriz do tipo Cauda de Peixe

A complexidade da matriz está em função direta do controle da espessura da lâmina e da versatilidade da mesma. Normalmente é necessária uma barra de restrição, embora alguns dos desenhos mais recentes de matriz com lábio flexível, não possuem esta barra. Para uma ótima operação, ambas características se encontram na maioria das matrizes. Estas devem contar com resistências aquecedoras que forneçam uma temperatura controlada dividida a temperatura de massa, assim como também do fluxo através da matriz e pode ser útil na distribuição do polímero para fora e para ambos os extremos.

Todas as superfícies interiores da matriz devem ser cromadas para reduzir ao máximo a resistência ao fluxo e melhorar as características superficiais da lâmina.

Barras de bloqueio sobre ambos os extremos dos lábios as vezes se utilizam para ajustar a largura da lâmina reduzindo os recortes / moagem. A utilização das mesmas apresenta algumas desvantagens.

Podem-se originar zonas de paralisação detrás delas o que pode provocar a possibilidade de decomposição do polímero.

Estas barras rompem o fluxo contínuo do material através da matriz, especialmente naquelas mais recentes desenhadas pelo computador com canais muito fluídos. A acumulação de pressão/material detrás das mesmas, habitualmente deriva em bordas de lâmina de maior espessura que impedem um bom contato do centro desta com os rolos de esfriamento, que por sua vez produzem um brilho mais reduzido. Pode ser vantajoso eliminar este tipo de restrição e fazer sair bordas muito finas e realizar um refilado.

PROCESSO

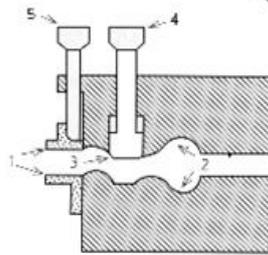
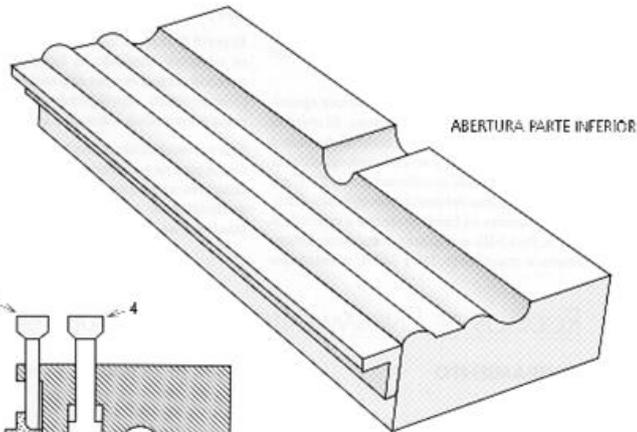
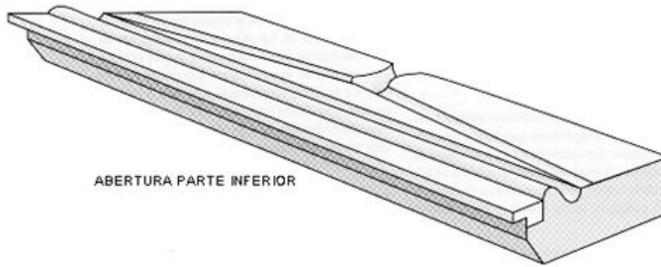
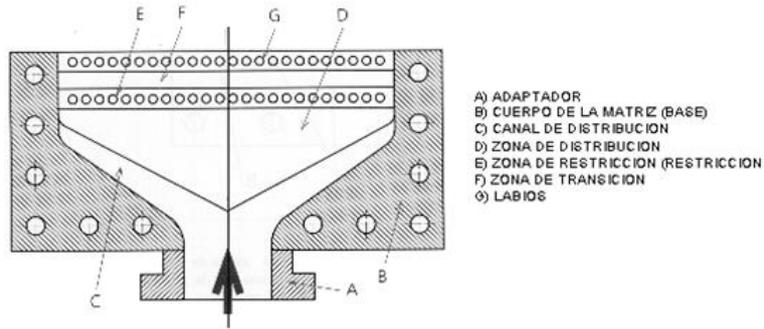
A principal função da matriz é a de controlar a forma do produto extrudado. Para se obter isto a palavra-chave é controle, por meio do qual o equipamento de extrusão entregará material fundido à matriz em forma, temperatura e pressão constantes. É necessária a medição destas variáveis.

A abertura dos lábios é, geralmente, equivalente a espessura da lâmina desejada. Para lâmina maior a 3,0 mm se necessita uma abertura de lábios 5-10% maior para um controle ótimo da espessura. A abertura deve ser uniforme a través da largura total.

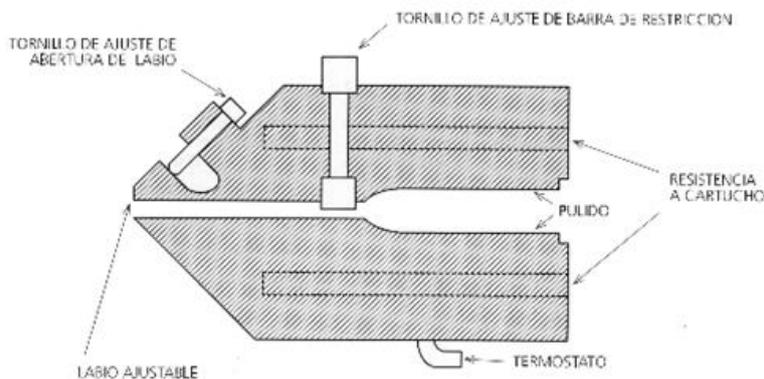
A temperatura do nariz se estabelece aproximadamente com a temperatura da massa. O objetivo é simplesmente o de manter o material fundido a uma temperatura constante e não esquentá-lo ou esfriá-lo. As bordas frequentemente se colocam entre 6-11°C acima das zonas do centro a fim de ajudar na distribuição do polímero de forma uniforme através da matriz. Para POLIESTIRENOS utilizam-se normalmente temperaturas de matriz entre 200 e 230°C.

O perfil da massa fundida que sai pela matriz se equilibra ajustando a barra de restrição. A posição normal é colocá-la arqueada para baixo no centro, restringindo ali a saída da massa e obrigando-a a se dirigir aos extremos.

Uma vez estabelecido o nível adequado, o perfil de fusão para um polímero determinado permanece constante. Não são necessárias mudanças, e a possibilidade de efetuá-las de forma frequente pode ser um indício de outro tipo de problemas.



CORTE TRANSVERSAL



ROLOS DE ESFRIAMENTO E ROLOS DE TRAÇÃO

Os rolos de esfriamento reduzem a temperatura da lâmina à temperatura ambiente, corrigem variações menores de espessura, e são decisivos no acabamento superficial requerido. Os rolos de tração, geralmente feitos de borracha, conduzem a lâmina do rolo de esfriamento e a levam ao sistema de corte.

A qualidade da lâmina está diretamente relacionada com a qualidade da superfície dos rolos. Por esta razão, são necessários rolos com uma profundidade de cromado da ordem de 3 a 6 micro polegadas, para se obter um bom brilho superficial. Os rolos devem ser perfeitamente arredondados e girar com igual velocidade periférica. O volume de água ou óleo que passa através dos mesmos é uma condição importante no controle do esfriamento e da temperatura. O volume oscila entre 40-60 RPM. A capacidade de esfriamento do sistema de rolos deve medir-se tendo em conta a capacidade do equipamento de extrusão.

A temperatura de massa, a espessura da lâmina e a velocidade linear são importantes na otimização do diâmetro do rolo. Pode-se utilizar a saída por baixo como se observa na figura 14 E, e também a saída por cima. Esta última quando se estampa com o rolo impressor no meio (Figura 15). Isto contribui na obtenção do detalhe do modelo ou desenho do rolo estampador porque a temperatura da massa é maior à saída da matriz. Além de mais, a superfície estampada encontra-se acima e não se rascunha no trem de tiragem, que a leva até o sistema de corte.

A saída por cima funciona melhor para uma lâmina grossa (6 - 10 mm) já que a lâmina pode "cair" até os rolos de tração em lugar de ser arrastada até cima. A velocidade de ditos rolos se adapta à velocidade do sistema de esfriamento, de tal forma que não é necessário realizar ajustes duplos. A unidade está equipada com um controle de velocidade diferencial. Os rolos de alongamento ou tração podem se ajustar a fim de girar a uma velocidade ligeiramente superior que a dos rolos de esfriamento para manter uma certa tensão na lâmina.

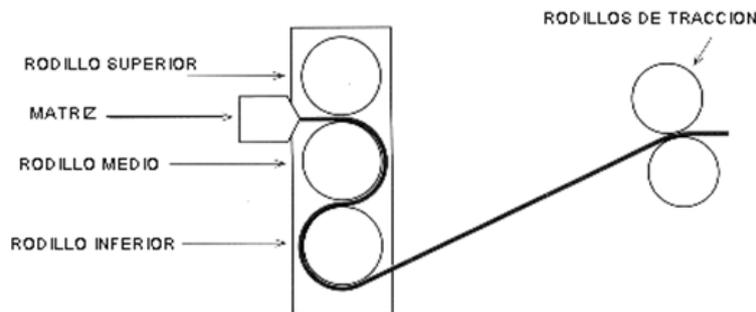


FIGURA 14 - Sistema de rolos (saídas por baixo)

FATORES DE PROCESSO

As temperaturas dos rolos recomendados para esfriar POLIESTIRENOS, com saída por baixo, constam na tabela 3. Tem como objetivo produzir o esfriamento da lâmina sob condições que geram o maior brilho inerente aos polímeros.

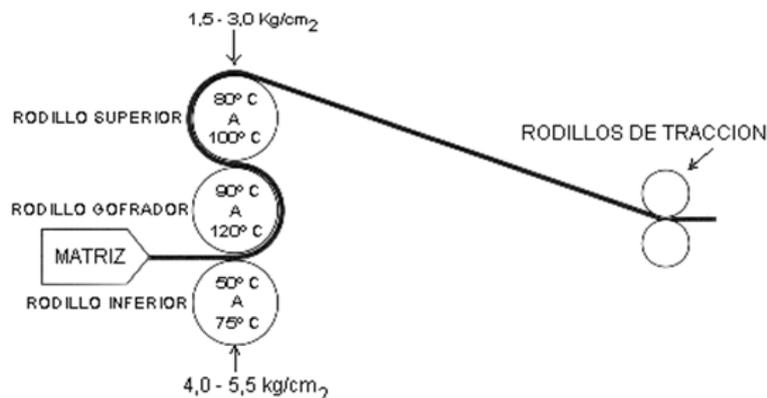


FIGURA 15 - Sistemas de rolos (saída por cima)

TABELA 3

TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS - ROLOS/CALANDRAS (°C) PARA PS

Saída por baixo "Down stack"

Rolo/Calandra superior	65 - 90
Rolo/Calandra central	40 - 80
Rolo/Calandra inferior	60 - 100

Os rolos devem estar tão perto da matriz tanto quanto seja possível, para esfriar a lâmina e assim evitar oxidação superficial. Um pequeno e uniforme rolo (menor que o tamanho de um lápis) deve se manter entre o rolo superior e médio. A distância entre rolos deve ser 3-5% inferior à espessura desejada para produzir um positivo contato entre os mesmos e eliminar defeitos menores na superfície. Estas temperaturas se medem com um pirômetro óptico infravermelho. O brilho é melhorado com a pressão do rolo inferior de moderada a alta para assegurar um bom contato. Estas temperaturas são possíveis mediante a seleção adequada do diâmetro do rolo de esfriamento.

A tabela da figura 17 mostra a relação entre a velocidade linear para várias espessuras de lâmina e o diâmetro do rolo sugerido, para se obter uma temperatura A2 de 150 – 165°C. Por exemplo, se temos uma velocidade linear de 1,52 m/min (5 pie/min) numa lâmina de 5 mm, então estimamos um diâmetro de rolo de 45 cm e uma faixa de aproximadamente 40-50 cm.

A conversão de Lbs/h a Pic/min é:

$$\text{Veloc. (pie/min)} = \frac{0,0361 \times \text{capacidade(Lbs/hr)}}{w \times t}$$

w = Largura lâmina (polegadas)

t = Espessura lâmina (polegadas)

Em geral, com o aumento de capacidade (Kg/h), a linha de extrusão de lâmina está limitada no esfriamento e se necessitam rolos maiores. Assim sendo, resulta necessário estimar os requerimentos com o objetivo de selecionar os tamanhos mais adequados.

Com saída por baixo, recomenda-se uma pressão do rolo inferior entre moderada e alta para assegurar um bom contato com o mesmo e obter um bom brilho.

Da mesma forma, com uma saída por cima, recomenda-se uma pressão de rolo inferior entre moderada e alta, mas neste caso para assegurar o detalhe do estampado.

Em ambos os casos a tentativa é transferir o aspecto superficial dos rolos, sejam eles polidos ou estampados, às lâminas. Esta transferência se realiza com temperaturas e pressões de rolo adequadas.

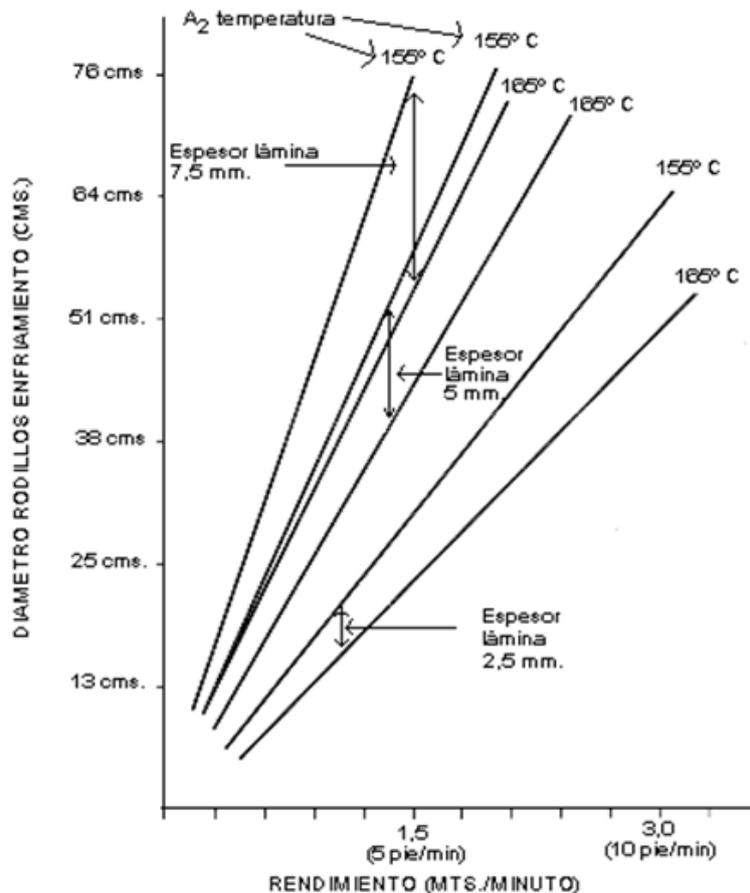


FIGURA 17 - Medidas de rolos de esfriamento (considerando uma temperatura de massa de 230°C)

CORTE E MANIPULAÇÃO DA LÂMINA

A guilhotina deve ser desenhada para cortar a lâmina de forma uniforme e prevenir marcas ou sinais por vibração. Habitualmente se corta até uma espessura de 7 mm. Excedendo essa espessura, frequentemente se utiliza uma serra. A lâmina cortada pode ser empilhada de forma manual, ou mediante um sistema apropriado de empilhamento. Os estrados com lâminas são levados logo ao local de armazenamento. Um ambiente com ar deionizado reduz o acúmulo de pó por cargas estáticas geradas durante o processamento. As lâminas devem ser recobertas, geralmente com uma película de polietileno (200-250 microns de espessura), para reduzir a absorção de umidade e mantê-las livres de poeira.

GUIA E CONTROLE DA ESPESSURA DA LÂMINA

Historicamente, o controle da espessura tem sido mais ou menos de 3 a 5%, baseado em um controle manual na linha de extrusão (micrômetro, calibre, etc.). Quando se originam problemas de distribuição do material no processo de termoformagem (tela de cebola), deve-se aumentar a espessura total da lâmina em mais ou menos 5 a 10%. Atualmente muitos sistemas medem de forma automática e, em alguns casos, controlam a espessura. A maioria deles assegura uma variação da espessura da ordem de 1%, e outros têm mostrado uma variação de menos de 0,5% no sentido transversal da lâmina. Estes resultados determinam um menor número de problemas na termoformagem e uma economia substancial de material, ao permitir uma redução da espessura. Os sistemas deste tipo são recomendados quando são necessários longos períodos de extrusão e uma mínima mudança de materiais e espessuras.

RESUMO

Comercialmente estes polímeros têm sido extrusados com ótima performance em uma grande variedade de equipamentos que incluem roscas de uma e duas etapas e até de 8" de diâmetro e 36/1 de L/D.

Os diversos tipos de POLIESTIRENOS podem ser processados no mesmo equipamento, efetuando somente algumas mudanças menores. A seguinte tabela expõe uma lista de condições típicas para a extrusão destes materiais. A premissa é 450 Kg/h, espessura 3,20 mm e velocidade linear de 1,50 m/min com rolos de 30 cm de diâmetro.

TABELA 5

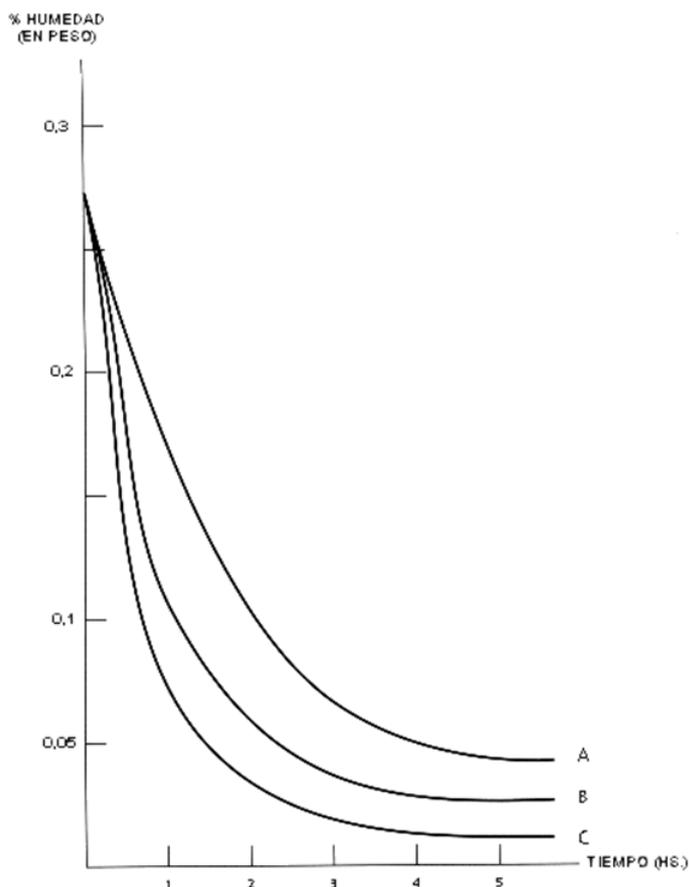
RESUMO CONDIÇÕES EXTRUSÃO (°C)

POLIESTIRENOS

PRÉ SECAGEM	2 h a 72°C	
Rosca - Alimentação	175 - 200	
Rosca - Compressão	190 - 220	
Rosca - Dosagem	200 - 230	
Matriz (°C)	190 - 230	
Massa (°C)	190 - 230	
Rolos/Calandras (°C)	Saída por baixo (Down-stack)	Saída por cima (Up-Stack)
Superior	65 – 90	70 - 90
Central	40 – 80	75 - 100
Inferior	60 – 100	50 - 65

PRESSÃO - Rolos/Calandras (Kg/cm²)

	Saída por baixo (Down-stack)	Saída por cima (Up-stack)
Superior	2,1 - 2,8	1,4 - 2,8
Inferior	4,2 - 5,6	4,2 - 5,6



OBSERVAÇÃO: Estes dados, que figuram no gráfico, estão baseados nas amostras de provas, mais não garantimos a sua aplicação para todos os exemplos.



PRINCÍPIOS TEÓRICOS DA EXTRUSÃO - INTRODUÇÃO

Existem basicamente duas teorias relacionadas com a extrusão:

A ISOTÉRMICA e a ADIABÁTICA. As hipóteses que ambas manejam para serem aplicadas é reconhecer que:

- A rosca funciona como uma bomba.
- Avaliar unicamente a zona de plastificação.
- O plástico fundido se comporta como um fluido newtoniano.

Definimos este último termo:

"Fluido newtoniano é aquele no qual o esforço de corte e cisalhamento entre duas camadas adjacentes que se transladam com um movimento relativo é proporcional à diferença de velocidade entre as mesmas".

Sabe-se que os plásticos fundidos, no geral, não são fluidos newtonianos, de modo que nenhuma das teorias é absolutamente correta. As condições reais provavelmente estão em um ponto intermediário. Se nos baseamos em cálculos ISOTÉRMICOS podemos chegar a resultados que coincidem, com altos índices de aproximação, com aqueles observados na prática.

TEORIA ISOTÉRMICA

"A temperatura de massa do material fundido é constante em toda a zona de plastificação" Esta afirmação, embora a rigor incorreta, é suficientemente aproximada do absolutamente correto para o raciocínio a seguir:

No interior da extrusora se consideram três tipos de fluxo:

FLUXO DE AVANÇO

É o produto do movimento relativo entre a rosca e o cilindro e é equivalente ao volume de material que pode descarregar o extrusor a cabeçal aberto.

É independente das propriedades do material que está sendo processado, por exemplo, viscosidade e temperatura de amolecimento, mas é função da velocidade e das características geométricas da rosca. O valor do fluxo de avanço se deduz multiplicando a velocidade média pela seção transversal do canal.

Equação I

$$Q_a = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot h \cdot \text{Sen } \emptyset \cdot \text{Cos } \emptyset}{2}$$

Onde:

- Qa Fluxo volumétrico de avanço
D Diâmetro interno do cilindro
N RPM da rosca
h Altura do filete
 \emptyset ângulo hélice

FLUXO DE PRESSÃO

Este fluxo aparece quando uma restrição (matriz-placa perfurada-filtros malha) se opõe à passagem do PS na extrusora. Pode-se imaginar este fluxo como parte do material que flui em sentido contrário ao do avanço.

O "Fluxo de Pressão" depende da geometria da rosca, da viscosidade do fundido e da diferença de pressão entre dois pontos da zona de plastificação.

Equação II

$$Q_p = \frac{\pi \cdot h^3 \cdot D \cdot \text{Sen}^2 \emptyset \cdot \Delta P}{12 \mu L}$$



Onde:

- Qp Fluxo volumétrico de pressão
h Altura do filete
D Diâmetro interno do cilindro
Ø Ângulo hélice
ΔP Diferença de pressão entre dois pontos da zona de plastificação
μ Viscosidade do polímero fundido.
L Distância entre os dois pontos da zona de plastificação

Para a medição da pressão se colocam dois manômetros na zona de plastificação, na parte inferior do cilindro. A diferença entre os seus valores nos dá o ΔP. Em relação a viscosidade que varia com a temperatura, deve-se consultar um gráfico ou tabela.

FLUXO DE PERDA

É o fluxo originado pelo gradiente de pressão ao longo da rosca e que tem lugar entre as paredes do cilindro e o filete. A tolerância radial de ajuste entre a rosca e as paredes do cilindro geralmente é muito pequena (da ordem de 0,1 mm).

Este fluxo é oposto ao fluxo de avanço e desprezível com referência a este e ao da pressão.

$$Q_{pe} = \frac{Y \cdot h^3}{\mu L} \cdot \Delta P$$

Onde:

- Qpe Fluxo de perda e Coeficiente que depende das dimensões da rosca
ΔP Diferença de pressão entre 2 pontos da zona de plastificação
μ Viscosidade do polímero fundido
h Altura do filete
L Distância entre os 2 pontos da zona de plastificação onde se mede ΔP.

EQUAÇÕES DE FLUXO

A produção da extrusora é determinada pelo fluxo de avanço tirando os fluídos de pressão e perda. Se representarmos por "Q" a quantidade de material em volume, a produção é:

$$Q = Q_a - Q_p - Q_{pe}$$

Para extrusoras comuns o fluxo de perda é muito pequeno se comparado com os demais termos, pelo que pode ser considerado desprezível.

Equação III

$$Q = Q_a - Q_p$$

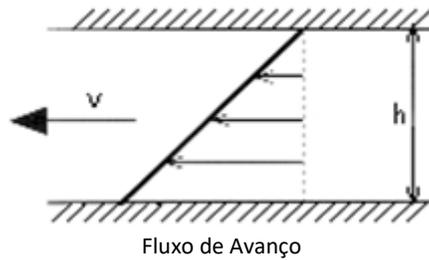
- Q Produção (unidades volumétricas)
Qa Fluxo de avanço
Qp Fluxo de pressão

Substituindo os valores de Qa (I) y Qp (II), na equação (III) obteremos a equação de produção do extrusor.

Equação IV

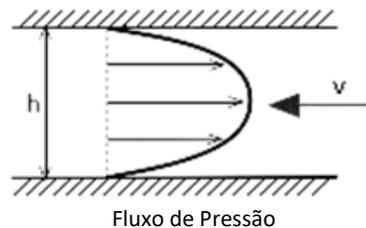
$$Q = \frac{\pi D^2 \cdot N h \cdot \text{Sen } \varnothing \cdot \text{Cos } \varnothing}{2} - \frac{\pi h^3 \cdot D \cdot \text{Sen}^2 \varnothing \cdot \Delta P}{12 \cdot L \cdot \mu}$$

Representação esquemática da distribuição de velocidades no canal da rosca:

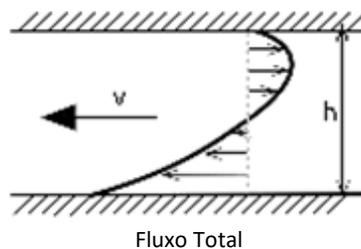


O **Fluxo de avanço** existe porque o material fundido nos canais da rosca se adere as paredes internas do cilindro e à própria rosca em rotação. Se tão somente existisse o fluxo de avanço, o perfil de velocidade seria aproximadamente linear e se a superfície em movimento tivesse uma velocidade C , a velocidade média de avanço do material no canal seria $V/2$.

O **Fluxo de pressão** se origina pelo gradiente de pressão ao longo do cilindro. Como a pressão é maior do lado do bocal, a tendência é que o material flua para trás, opondo-se ao fluxo de avanço.



O Fluxo total do material ao longo do canal da rosca é o resultante dos anteriores. Seu perfil de velocidades pode ser determinado somando matematicamente o fluxo de avanço e o fluxo de pressão.



SIMPLIFICAÇÃO DE EQUAÇÕES DE FLUXO ESQUEMA PRÁTICO

Podemos escrever a equação (IV) de produção da extrusora de uma forma mais simples.

Equação V

$$Q = \frac{A \cdot N - B \cdot \Delta P}{\mu}$$

Onde A e B representam constantes que somente dependem da geometria da rosca.

N R.P.M. rosca

μ Viscosidade polímero

ΔP Diferença de pressão entre dois pontos na zona de plastificação

Se construirmos um gráfico de produção em função da pressão na matriz, obteremos uma linha reta. Para a construção experimental utiliza-se uma matriz com orifício variável. Na medida em que se reduz o orifício, aumenta a contra pressão, diminuindo a produção.

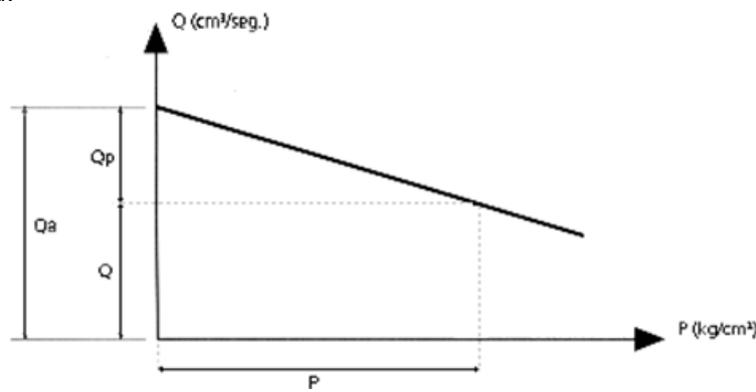
A linha resultante se denomina reta característica da rosca. A pendente desta linha é dada por:

$$\frac{\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot \text{Sen}^2 \cdot \varnothing}{12 \cdot \pi \cdot L}$$

e, conseqüentemente, é proporcional a terceira potência da profundidade do canal "h" e inversamente proporcional ao comprimento da rosca "L".

Se deduz rapidamente que quanto menor é "h" menor é a pendente.

Reta característica da rosca:



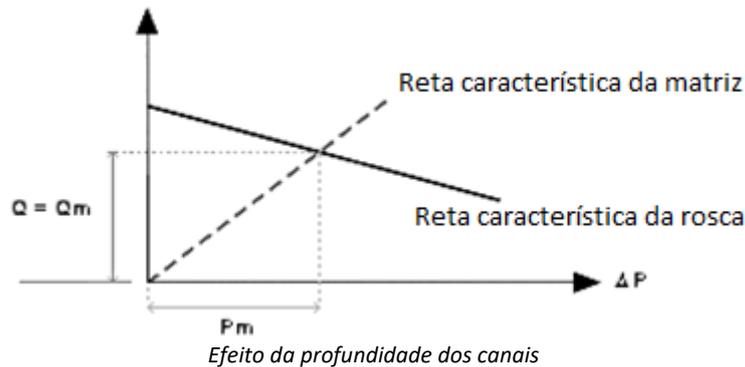
CURVA CARACTERÍSTICA DA MATRIZ

O fluxo através de uma matriz é dado pela lei de Poiseuille e sua expressão é:

$$Q_m = \frac{k \cdot \Delta P}{\mu}$$

Onde k é uma constante de resistência ao fluxo que depende da geometria da matriz e ΔP a queda de pressão que se produz na mesma.

Aparentemente a representação da mesma seria uma reta, mas como a viscosidade (μ) não se mantém constante durante a extrusão, acaba sendo uma linha de característica parabólica. Para simplificar a representação substituímos esta última por uma reta com pendente k/μ , que tal como aquela, parte da origem das coordenadas. A partir deste momento há condições de analisar criteriosamente todas as condições operacionais. O ponto de intersecção da reta característica da rosca com o seu similar da matriz determina um ponto que é o da operação de conjunto. Perante qualquer variação que se produza no sistema e que envolva a rosca e/ou a matriz, dito ponto se desloca e afeta o nível da produção.



FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS DAS ROSCAS

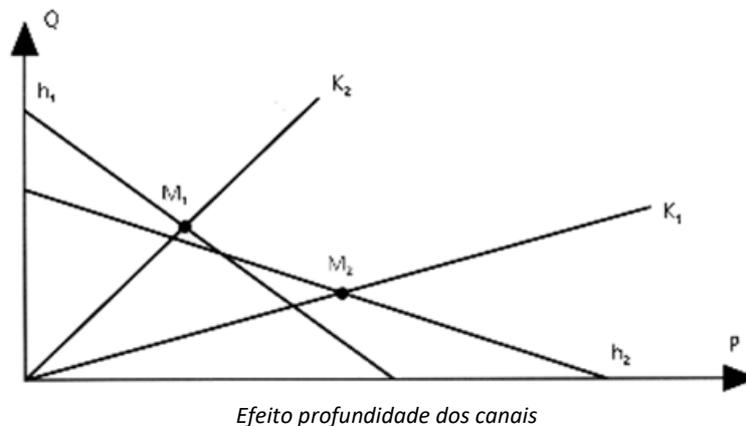
A) PROFUNDIDADE DOS CANAIS:

A variação da altura dos filetes influi nos dois termos da equação IV simplificada:

$$Q = \frac{\partial \cdot h N - \beta h^3 \cdot \Delta P}{\mu L}$$

Mas é muito mais importante no segundo pois está elevada a potência três.

Desta forma, em baixas pressões a rosca de maior altura do filete (h_1) produz mais, porém possui uma pendente muito forte e seu rendimento decai rapidamente.

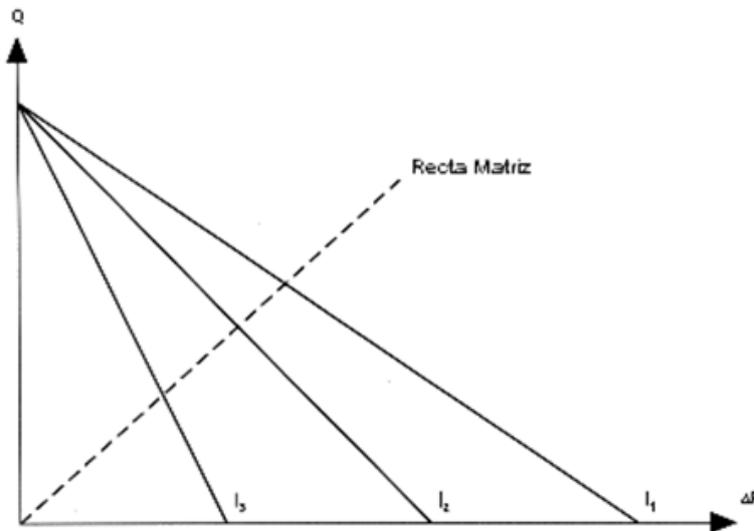


A rosca de menor altura (h_2) se bem que produz menos em baixas pressões possui uma característica mais plana, sendo mais insensível às variações de pressão.

Se estão trabalhando com bocal de pouca resistência, escolhe-se uma rosca de muita altura (ponto M_1). Pelo contrário, se estão trabalhando com bocal de alta resistência (K_1) a opção deve ser por roscas com pouca altura de filete (M_2). Com " h_1 ", na medida em que se cobrem as malhas aumenta a pressão e diminui sensivelmente a produção, muito mais que se fosse usado " h_2 ".

O esfriamento da rosca corresponde a uma redução efetiva da altura do filete, pois a parte do material próxima ao corpo do mesmo aumenta a sua viscosidade, produzindo aquele efeito.

Para uma produção determinada, é aconselhável uma rosca com filete raso e altas RPM, no lugar da rosca com filete profundo e baixas RPM, porque o primeiro é menos sensível às variações de pressão originadas na matriz e às originadas na plastificação ou alimentação heterogênea. Como conclusão: a rosca favorece uma produção mais uniforme.



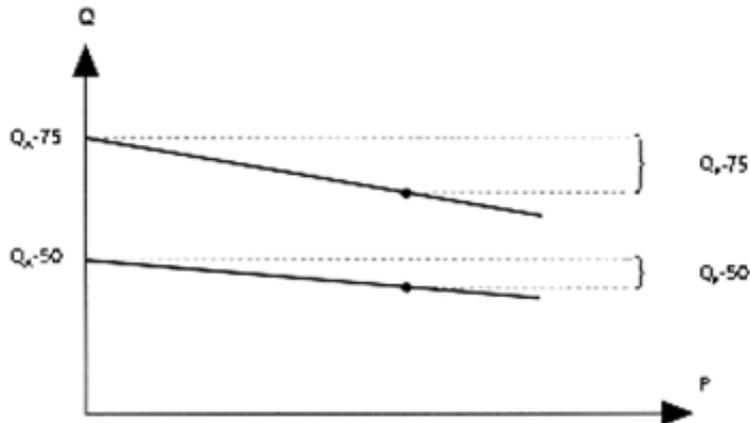
Efeito de comprimento zona plastificação

B) COMPRIMENTO DE ZONA DE PLASTIFICAÇÃO

Se aumentarmos o comprimento da zona de plastificação ou no simples caso de utilizar roscas mais longas a maior (L) na equação IV diminui o fluxo de pressão e como consequência, aumenta a produção.

C) VELOCIDADE DA ROSCA (RPM)

Um acréscimo das RPM da rosca afeta diretamente o fluxo de avanço, aumentando por conseguinte a produção (ver equação IV). De acordo com isto, teríamos duas retas paralelas partindo desde diferentes valores de produção.



Efeito da velocidade da rosca (RMP)

(Qa-50 é menor que Qa-75) proporcionais respectivamente as velocidades de rotação (N50 menor que N75)

$$Q_a - 75 = \partial \cdot h \cdot N75$$

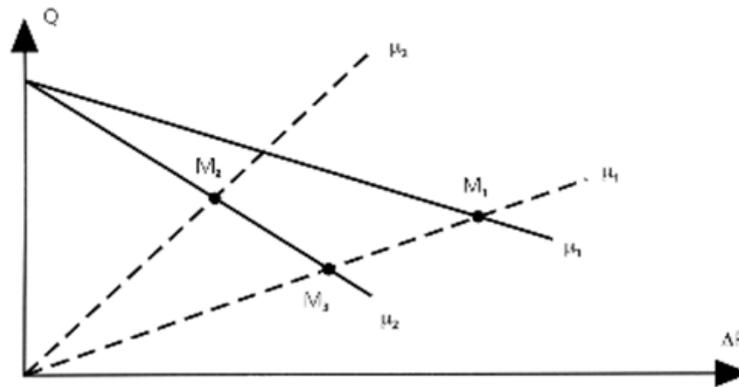
$$QP-75 = \frac{\beta \cdot H^3 \cdot P}{\mu \cdot 7 \cdot S \cdot L}$$

$$Q_a - 50 = \partial \cdot h \cdot N50$$

$$QP-50 = \frac{\beta \cdot H^3 \cdot P}{\mu \cdot 50 \cdot L}$$

No entanto, essas retas não são paralelas, já que ao aumentar o valor de N, aumenta o esforço de corte e com ele a temperatura da massa, diminuindo o valor da viscosidade μ .

Logo após a passagem de N50 a N75 resulta μ_{50} maior que μ_{75} e assim sendo, neste último caso, obtém-se uma queda maior, com o qual as retas deixam de ser paralelas.



Efeito da Viscosidade do Material

D) VISCOSIDADE DO MATERIAL

A viscosidade do material utilizado afeta o fluxo de pressão (Qp).

Na equação IV, vemos que, quando a viscosidade aumenta, o fluxo de pressão diminui e, como consequência, a produção aumenta.

Esta é uma conclusão muito comum na prática, embora equivocada, pois nestes casos devem ser analisadas em conjunto com as retas características da rosca e matriz.

Vimos que a viscosidade varia com o número de RPM, mas também o faz de forma inversamente proporcional à temperatura.

Para um mesmo tipo de rosca mais com o polímero a duas temperaturas (viscosidades diferentes) teremos duas retas características diferentes.

Na figura se identificam por suas respectivas viscosidades (μ_2 menor que μ_1).

Mas também teremos duas características diferentes para a matriz, identificadas da mesma forma e então o ponto operacional muda de M_1 para M_2 com pouca oscilação de produção neste caso.

Se não houvessemos considerado a equação Qm suporíamos erroneamente estar posicionados em M_3 onde se operaria uma sensível diminuição do rendimento

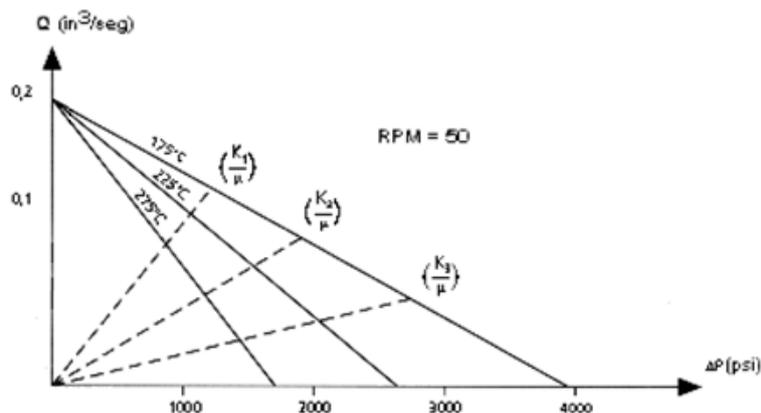
E) TEMPERATURA DE MASSA DO MATERIAL

A temperatura de massa muda de valor de acordo com as características da rosca, mas o efeito da temperatura sobre o nível de produção não é tão importante como pode parecer em um primeiro momento.

Na figura se pode ver como mudam as linhas características da rosca com a temperatura de massa. É conveniente ressaltar que a teoria que estamos desenvolvendo é baseada em hipóteses de condições "isotérmicas" onde não há mudanças de temperatura.

Como vimos, a pendente da linha característica da matriz é igual a k/μ (μ viscosidade) e a viscosidade depende da temperatura, com o qual esta linha depende das mudanças de aquecimento do cilindro.

A figura indica a direção das mudanças destas linhas e de que forma o aumento de produção é mínimo frente às mudanças de temperatura de massa.



Efeito da Temperatura de Massa

VARIÁVEIS DE CONTROLE NA EXTRUSÃO

A) TEMPERATURA

A temperatura do cilindro e a temperatura da massa fundida nunca são as mesmas. Se a quantidade de calor gerado pelo material como trabalho mecânico fosse grande, a temperatura de massa pode exceder a do cilindro.

Isso é o que acontece com os materiais muito viscosos, essa diferença permanece até que o cilindro entre em equilíbrio com a temperatura de massa. Pelo contrário, se a maior parte do calor da massa for gerado pelos aquecedores, a massa terá uma temperatura inferior à do cilindro.

Embora a temperatura de massa é um fator de máxima importância, os termopares de controle não devem ser colocadas diretamente submersos na massa e sim no cilindro.

Isto está certo se reconhecemos que a temperatura do cilindro é proporcional à temperatura de massa e que se controlamos a primeira, estamos efetivamente controlando a segunda.

Para efetuar este controle são utilizados vários termopares distribuídas ao longo do cilindro e também no adaptador da matriz.

Os impulsos obtidos nesses elementos são levados aos controladores, conforme os diferentes tipos de controle utilizado (sim-não), (proporcional) etc.

Estes controles atuam para manter um equilíbrio entre o aquecimento do cilindro e o esfriamento da rosca.

Na prática, os controles reagem mais rapidamente que o sistema de extrusão, pois leva um certo tempo para que uma grande massa de metal atinja o equilíbrio das novas condições.

B) PRESSÃO

A pressão é realmente medida na entrada da matriz. (Seus efeitos já foram analisados anteriormente).

Para modificar o seu valor pode-se aumentar o N.º de telas metálicas, ou então colocar telas com malha mais fechada, ou em certos equipamentos diminuir a distância existente entre a rosca e a placa furada ou introduzir entre a rosca e a matriz uma válvula de controle de pressão.

C) VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA ROSCA

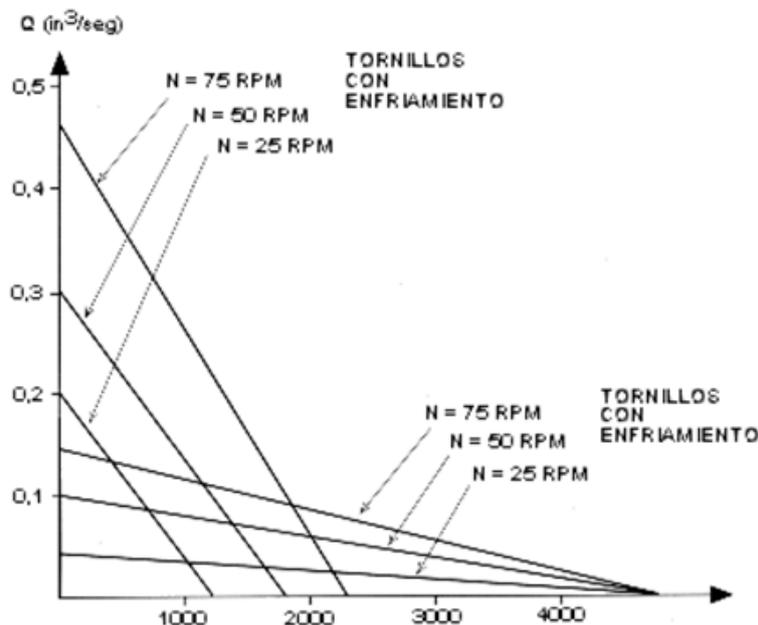
Com uma rosca dosadora (RC=1) a produção da rosca fica diretamente proporcional à velocidade de rotação em quase toda a zona de operação

Está indicada por um tacômetro e é controlada através de um modificador de velocidade do tipo contínuo.

Normalmente o operador tem pouco controle sobre a potência que está sendo absorvida pela rosca para transportar a massa fundida em determinada rotação.

É importante medir o consumo de potência, pois é um indicador da natureza do processo de plastificação que está ocorrendo no extrusor.

Para isso, coloca-se um amperímetro ou wattímetro no circuito do motor.



D) ESFRIAMENTO DA ROSCA

Dentro das variáveis de controle, o esfriamento da rosca permite mudar as características do processo de extrusão. A figura nos mostra seis diferentes linhas características de uma rosca operando em 3 velocidades de rotação diferentes cada uma, com e sem esfriamento na rosca.

Não esfriando, o fundido se gruda sobre o núcleo da rosca reduzindo a profundidade do filete.

Como foi explicado, roscas com filetes rasos são capazes de originar maiores pressões de extrusão.

Normalmente roscas que não são esfriados, são capazes de grandes produções.

Em alguns casos, na rosca próxima à zona de alimentação, o material "patina" (gira) e não avança. A fim de eliminar este inconveniente o mais certo é esperar esfriar.

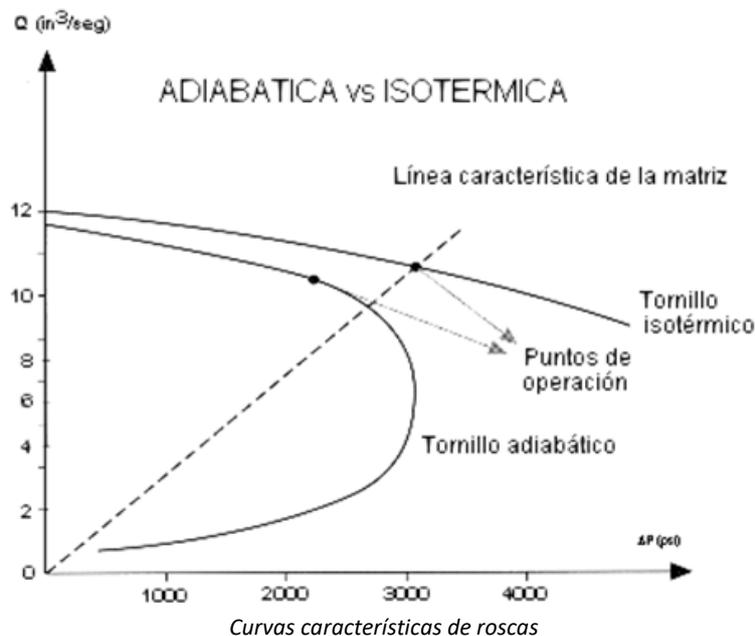
Na figura podemos observar que, quando são necessárias altas pressões, podem ser obtidas maiores produções, com esfriamento na rosca que com o mesma rosca mas sem esfriamento.

TEORIA ADIABÁTICA

A teoria adiabática assume como hipótese que não há transferência de calor externo até o material (e nem também até o exterior) e que todo o calor é gerado por fricção (energia mecânica).

O sistema externo de aquecimento somente compensa perdas por radiação.

Talvez alguns plásticos como o polietileno ou os vinis, possam ser extrusados adiabaticamente. Para materiais mais rígidos como o poliestireno e ABS é necessário fornecer calor para amolece-los.





CO-EXTRUSÃO - INTRODUÇÃO

Co-extrusão: É a extrusão simultânea de dois ou mais materiais através de uma matriz.

Obtém-se:

- Prolongação do tempo de armazenamento
- Aumentar o tempo de vida do alimento
- Prevenir sobre as mudanças e deterioração devido aos microorganismos
- Prevenir processos de oxidação
- Diminuir a velocidade de respiração em frutas e vegetais retardando a sua maturação
- Lâminas de múltiplas cores
- Brilho
- Recuperação da moagem
- Proteção de polímeros que se degradam

Pode ser realizada com 2 compostos do mesmo tipo mas de diferentes cores ou dois ou mais polímeros totalmente diferentes.

A co-extrusão possibilita uma grade completa de novos produtos que combinam as melhores propriedades de cada um deles. Surgiu por não existir uma película que por si mesma cumpra os seguintes requisitos:

- Alta ou baixa permeabilidade ao oxigênio e ao vapor d'água.
- Propriedades de bloqueio frente as graxas.
- Capacidade de impressão
- Capacidade de conformação
- Alta resistência ao impacto.
- Transparência.
- Selado.

As propriedades básicas mais procuradas pela co-extrusão são:

A) APARÊNCIA SUPERFICIAL

- Produtos multicores fabricados a partir de lâminas com diferentes tons em ambas as fases.
- Camada exterior de brilho.

B) PROTEÇÃO SUPERFICIAL

- Co-extrusão de uma camada protetora sobre outra normalmente degradável em contato com o meio ambiente.
- Lâminas resistentes às rachaduras sobre materiais brandos.
- Camada exterior com propriedades antiestéticas.

C) PROPRIEDADES DE BARREIRA

- Uma ou várias camadas para oferecer impermeabilidade aos gases ou vapor d'água (umidade) principalmente em embalagens onde cada uma aporta a sua própria capacidade de barreira.
- Permite a embalagem a vácuo e com substituição de gases (O₂ - N₂ - CO₂) "Embalagens com Atmosfera Modificada".
- Obtenção de embalagens esterilizáveis com alta barreira para produtos alimentícios de longa vida útil que não requerem, nem conservantes, e nem cadeia de frio para a sua preservação.

D) PROPRIEDADES ESTRUTURAIS

- Co-extrusão de superfícies sólidas sobre um núcleo espumado para fornecer maior rigidez e baixo custo.

As aplicações são variadas e abertas a novas estruturas de polímeros. Em alguns casos a não coesão dos materiais requer a presença de um adesivo. "Toda a co-extrusão requer uma temperatura básica de compatibilidade dos polímeros envolvidos, fundamentalmente no final da matriz"

SISTEMAS DE CO-EXTRUSÃO

A- MATRIZ MULTI-DISTRIBUIDORA

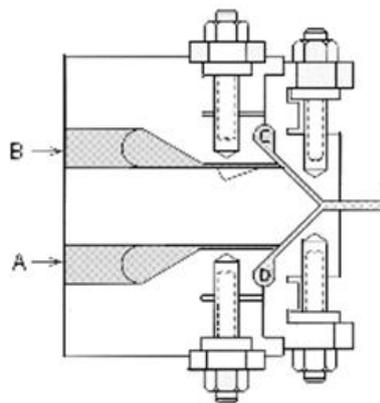
Neste processo as camadas de diversos polímeros são alimentadas independentes de cada distribuidor da matriz e se unem como uma única lâmina apenas antes de atingir os lábios.

Este sistema requer um desenho especial para o controle do fluxo através da largura de cada camada.

O ajuste da espessura é extremamente difícil mas, teoricamente, o sistema permite um controle muito ajustado de camadas, ou seja, de polímeros de diferentes viscosidades.

A medida da espessura é difícil principalmente com camadas de cor similar. Além do mais, este processo não é recomendável para camadas interiores sensíveis ao calor, cujo contato com a superfície da matriz possa ser indesejável.

Este método não tem sido muito utilizado devido ao seu alto custo e dificuldades operativas.



Matriz Multi-distribuidora

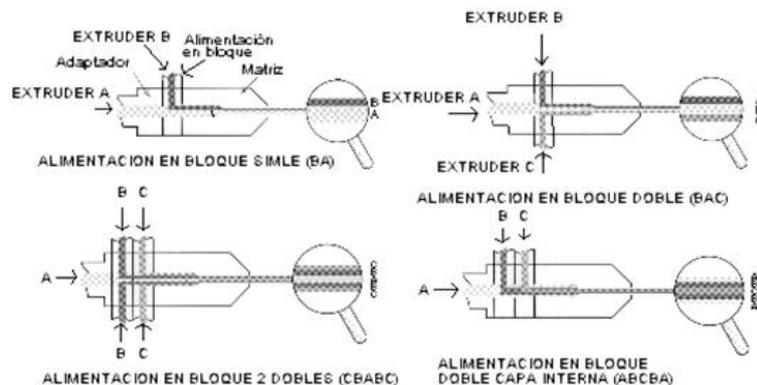
B - ALIMENTAÇÃO EM BLOCO

Em alguns casos também é chamada de "caixa preta".

Neste sistema uma matriz plana é precedida por um dispositivo no qual são reunidas as diferentes camadas. Devido ao fluxo laminar, o produto emerge como camadas. Este método permite a geração de um número infinito com relativo desenho simples. A espessura de cada uma delas é uma função da entrega dos diferentes extrusores e pode ser variável em grandes grades com pequenos ajustes sem necessidade de ajustar a matriz.

Isso permite a co-extrusão de materiais sensíveis à temperatura.

A única desvantagem é a falta de habilidade em produzir camadas uniformes de materiais com viscosidades muito diferentes, já que as camadas de menor índice de fluxo tendem a ser forçadas até os extremos da matriz. Este problema não é frequente e pode ser corrigido elevando a temperatura de fusão de todas as camadas para fazer convergir as suas viscosidades.





PERMEABILIDADE AOS GASES

Devido as moléculas de grande tamanho, todos os plásticos têm uma maior ou menor transmissão ou permeabilidade aos gases, incluindo o vapor d'água. Cada polímero tem características específicas de transmissão para cada tipo de gás.

O poliestireno tem altos níveis para a umidade, oxigênio e outros gases.

É evidente que o EVOH e o PVDC são realmente os dois únicos polímeros que têm baixa permeabilidade. Nenhum deles têm propriedades ideais de processamento e comportamento por si sós.

O PVDC é difícil de ser extrudado devido a sua sensibilidade ao calor e o EVOH perde propriedades de barreira quando é umedecido, além do alto custo que impede que sejam utilizados individualmente (Ver tabelas).

Como consequência, sempre se processam como uma fina camada numa folha multi-camada, que consta principalmente em um polímero rígido de baixo custo, como o poliestireno de alto impacto. Como o EVOH e o PVDC não se aderem ao mesmo são necessárias entre eles camadas adesivas.

ESTRUTURAS DE POLIESTIRENO

POLIOLEFINA
ADESIVO 1
BARREIRA
ADESIVO 2
POLIESTIRENO

A parede interna do container pode ser uma poliolefina. Como barreira se utiliza o EVOH ou PVDC.

A base poliestireno pode ser também subdividida para incorporar material recuperado. Em alguns casos uma camada de brilho/anti-semítico se adiciona à superfície exterior a fim de melhorar a sua apresentação.

TABELA DE PERMEABILIDADE AOS GASES A 20°C
(Comparação com PVC rígido)

Material	O ₂	H ₂ O	CO ₂
Etil Vinil Álcool (EVOH)	0.05	0.8	0,9
Cloreto de polivinilideno (PVDC)	0.09	0.02	0.14
Copolímero acrilonitrilo (PAN)	0.10	1.6	0.12
Poliétileno tereftalato (PET)	0.33	0.65	0.77
Polióxido de metileno (POM)	0.55	3.3	5.4
Poliacetal	0.84	4	7.7
Policloreto de vinil (PVC Rígido)	1	1	1
Poliamida 6 (PA6)	1.5	5.3	4.3
Fluoreto de polivinilideno (FDPV)	9.4	2.4	-
Acetato de celulose	12	35	41
Polipropileno (PP)	16	0.18	30
Poliétileno alta densidade (PEAD)	20	0.09	39
Poliestireno	35	3.8	100
Poliétileno baixa densidade (PEBD)	46	0.24	95
ABS	90	10	26
Policarbonato (PC)	91	4.7	91

Esta tabela mostra a permeabilidade relativa referida ao PVC rígido com os seguintes coeficientes de transmissão a 20°C.



Oxigênio:	3×10^{-5}	<u>cm³</u>	cm x 24h x bar
Dióxido de carbono:	6×10^{-1}	<u>cm³</u>	cm x 24h x Bar
Vapor d'água:	1×10^{-1}	<u>gr</u>	cm x 24h x bar

PERMEABILIDADE

Tabela comparativa de lâmina simples e multi-capa (espessura 1 mm.)

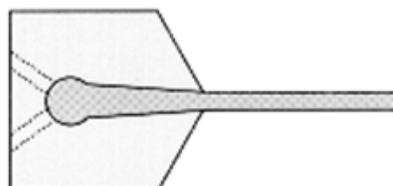
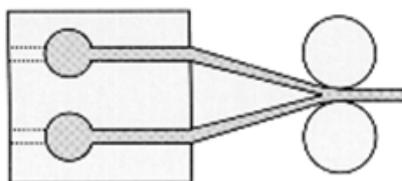
Polímero	Níveis de Permeabilidade			
	Espessuras (em microns)	Densidade (g/ml)	Oxigênio (1) (cm ³ /ml - 24 h - atm.)	Vapor d'água (2) (g/m ² - 24 h)
ABS	1000	1.05	30	2
HIPS	1000	1.05	150	2.5
PVC (rígido)	1000	1.39	5	0.75
PP	1000	0.91	60	0.25
PS/PE o PP	800/200	1.03	140	0.9-1.3
PS/PET	925/75	1.07	75	2.20
PS/EVOH/PE	825/25/1 50	1.05	1-10*	1.6
PS/EVOH/PS	600/25/375	1.06	1-10*	2.5
PS/PVDC/PE	825/50/125	1.07	1	0.4
PS/PVDC/PS	600/50/350	1.08	1	0.5
PP/EVOH/PP	300/40/660	0.93	0.5-1.0*	0.25
PP/PVDC/PP	300/75/625	0.99	0.7	0.15

* Dependendo da umidade

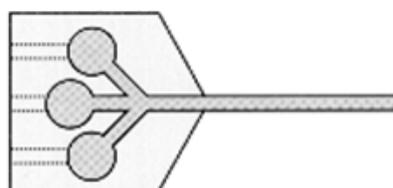
(1) Norma ASTM 1434- 23°C e 50% H.R.

(2) ASTM 96 – 38°C e 90% H.R.

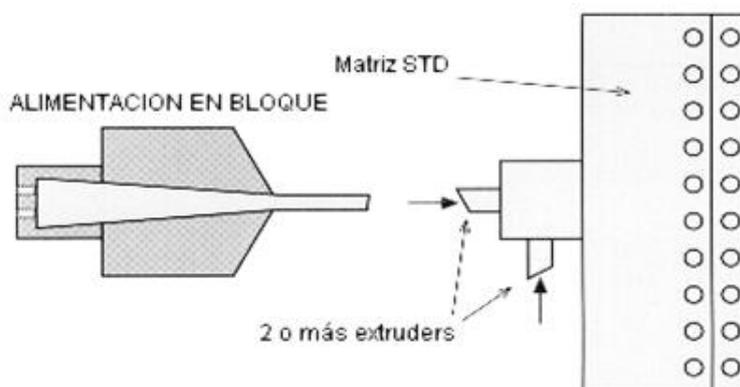
MÉTODOS CO-EXTRUSÃO



DISEÑO COMPLEJO
USO ESPECIFICO
MÚLTIPLES BARRAS
RESTRICTORAS



Matriz Multi-distribuidora (Vista lateral)



Alimentação em bloco



GUIA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A) PULSAÇÃO (SURGING)

É provavelmente o problema mais comum em extrusão, especialmente quando se fazem freqüentes mudanças de material ou se utiliza uma rosca standard para todos os materiais.

A Pulsação representa uma "Operação de extrusão em estado instável". A rosca não envia um fluxo constante de material.

Observa-se através do aumento da espessura ou mudanças na largura da lâmina na direção da extrusão.

Deve ser acompanhado por flutuações consideráveis na carga que toma o motor (amperagem).

CAUSAS	AÇÕES CORRETIVAS
1 - Rosca Subalimentado	
Esta é uma condição (com maior freqüência em roscas de múltiplas etapas) na qual o espaço entre os filetes dianteiros não está cheio de material fundido. Habitualmente, isto pode ser corrigido aumentando a fusão e transporte de material.	<ul style="list-style-type: none">- Diminuir a temperatura na zona de alimentação da rosca. (Esta ação origina um corrimento, para frente da zona de fusão com o qual se deve aumentar o fluxo de material)- Controlar a alimentação na garganta de entrada e o fluxo pela ventilação.- Diminuir a temperatura de pré-secagem para reduzir a temperatura de alimentação.
2- Pressão posterior insuficiente	
Sem pressão posterior sobre a rosca, o espaço dianteiro entre filetes não estará cheio de material e a rosca não poderá enviar um fluxo constante de material ao bombear contra a matriz	<ul style="list-style-type: none">- Fechar a válvula de contrapressão para aumentar a pressão posterior.- Colocar malhas de maior mesh.- Fechar a barra restringidora.- Diminuir o aquecimento na entrada do distribuidor e no trocador de malhas.
3- Temperatura de alimentação não uniforme	
	<ul style="list-style-type: none">- Controlar a temperatura de pré-secagem- Controlar o percentual e tamanho da moagem.
4 -Temperatura de massa fundida muito elevada	
Uma temperatura de massa muito alta pode fazer com que o material tenha viscosidade muito baixa.	<ul style="list-style-type: none">- Diminuir o perfil de temperaturas no cilindro.

B) ESCAPE DE MATERIAL PELA DEGASAGEM

Esta condição é considerada algumas vezes como um problema oposto ao da pulsação (surging).

A rosca funde e bombeia maior quantidade de material do que pode ser usado pelas zonas subsequentes, de forma que o excesso sai através da ventilação.

CAUSAS

AÇÕES CORRETIVAS

1 - Maior entrega de material na primeira etapa da rosca em relação ao que pode processar a segunda

* Reduzir a saída de material na primeira etapa:

a) Aumentando a temperatura da primeira e/ou segunda zona do extruder.

* Aumentando a saída da segunda etapa:

a) Abrindo a válvula de contração .

b) Aumentando a temperatura da zona frontal do cilindro e as temperaturas da matriz.

c) Abrindo a barra restringidora.

C) MARCAS DE VARÍOLA OU DEPRESSÕES

1 - Ar Embolsado

Origina depressões que aparecem sobre a superfície da lâmina ou na termoformagem. A retenção de ar pode ser motivada por grânulos que se fundem prematuramente na rosca enquanto ainda existe ar presente, fechando assim a saída do mesmo pela parte posterior. Desta maneira, o ar embolsado nas cavidades gera pequenos poços na lâmina quente, que se contraem durante o esfriamento, deixando sérias depressões. Estas se tornam ainda mais destacadas na termoformagem.

-Reduzir a temperatura na zona posterior do cilindro para retardar a fusão.

- Reduzir a velocidade da rosca para aumentar o tempo de expulsão do ar.

- Agregando moagem, variar o tamanho de partículas e/ou o percentual de mistura, examinar o desgasificador ante o possível tamponamento.

2-Excesso de umidade

Os defeitos são como crateras causadas pela erupção na superfície e habitualmente estão acompanhadas de rugosidade geral na lâmina, linhas "marcas de pegadas" ou "pegadas de galinha", inclusive pode estar acompanhado de pequenas explosões na saída da matriz pelo excesso de pressão dos bolsões que se formam.

- Aumentar a temperatura de secagem.

- Controlar o funcionamento do sistema de pré-secagem.

- Examinar o sistema de ventilação a vácuo.

3- Voláteis

Estes geralmente são covinhas ou crateras pequenas causadas pela erupção de pequenas bolhas de gás imersas no material através da superfície da lâmina. Habitualmente são muito mais pequenos que os poços de ar. Pode ser que não apareçam até o processo de termoformagem.

- Diminuir a temperatura de massa para reduzir a volatilização ocasionada pela decomposição.

- Controlar possível tamponamento da ventilação a vácuo.

4- Contaminação (não frequente)

Certos tipos de contaminação produzem a geração de gases no equipamento de extrusão e motivam o aparecimento de pequenos poços similares aos ocasionados pelo embolsamento do ar.

- Eliminar a fonte de contaminação.

CAUSAS

AÇÕES CORRETIVAS

5- Pó (Depressões superficiais)

- a) Na chapa: às vezes é necessária uma observação detalhada para observar películas de pó no centro de estas depressões superficiais.
- b) O pó sobre os rolos se pode identificar de imediato se o modelo se reproduz em cada giro.

- Se a lâmina não apresenta defeitos visíveis, deve passar pela termoformagem e logo ser examinada, já que estes podem aparecer nesta operação.
- Eliminar a fonte produtora de pó. Manter limpa a sala de extrusão.
 - Instalar um bom extrator sobre a área quente da lâmina.
 - Limpar a superfície do rolo.

6- Voláteis embolsados entre os rolos de esfriamento e a lâmina

Este problema pode produzir-se em qualquer um dos lados da lâmina.

- Diminuir a temperatura de massa do material.
- Ajustar a temperatura dos rolos.
- Aumentar a ventilação para evitar o embolsamento do ar.
- Empregar um sistema de sopro de ar para eliminar os voláteis. Especialmente efetivo na parte inferior da lâmina.

D) LINHAS NA DIREÇÃO DA EXTRUSÃO**1 - Linhas contínuas**

- a) Imperfeições da matriz, chamadas linhas de matriz, podem ser causadas por arranhões ou bicadas nas bordas da matriz. O defeito pode ser mais evidente quando realizada a termoformagem.
- b) Material retido no distribuidor da matriz.

- Polir e cromar novamente os lábios da matriz.
- Remover material estancado.

2--Linhas descontínuas (pegadas de galinha)

A umidade é a causa mais comum. Finas linhas que variam com o conteúdo de umidade e podem ser acompanhadas por marcas chamadas de "pegadas de galinha".

- Aumentar o tempo de pré-secagem e/ou a temperatura do mesmo.
- Controlar o sistema de ventilação a vácuo.

E) LINHAS PERPENDICULARES À DIREÇÃO DA EXTRUSÃO**1 - Lâmina que se adere ao rolo.**

Um rolo demasiadamente quente faz com que a lâmina seja aderida e separada em forma alternativa, deixando uma marca.

- Esfriar o rolo.

2 - Vibração de calandra

Um movimento de pulsação do rolo, visualmente imperceptível, pode ocorrer e se manifestar mediante linhas que cruzam a lâmina. Estas são, geralmente, numerosas e equidistantes em relação a vibração. Também é um típico caso de vibração do sistema de corte.

- Aumentar a pressão nos rolos, ou eliminar qualquer irregularidade no trem de engrenagens.
- Ajustar a corrente se o trem de engrenagens é utilizado.



F) LINHAS PARABÓLICAS NA DIREÇÃO DA EXTRUSÃO

CAUSAS

AÇÕES CORRETIVAS

1. Formação do cordão

O cordão é demasiado espesso, não uniforme.

- Reduzir a pressão no cordão onde se forma o rolo.
- Se não for uniforme, ajustar a matriz para uma melhor espessura.

2. Pulsação (surging)

Do extruder. Pode ser causado por problemas operativos.

- Examinar granulometria da moagem se está sendo utilizada (fator de volume variável)
- Controlar variações de temperatura de massa.

3. Alimentação insuficiente

Pode ser causada por tamponamento de material na entrada do extrusor.

- Reduzir a temperatura de secagem e limpar o tampão do material semi-fundido.
- Controlar a granulometria do material. (macarrões).

4. Mistura não homogênea

Se foi misturado material virgem com moagem e a homogeneização foi insuficiente, a velocidade da extrusão pode variar e apresentar pulsações.

- Eliminar a segregação de materiais melhorando a mistura.
- Eliminar a canalização colocando vibradores em secadora de pré-secagem.

G) MARCAS TIPO “PEGADAS DE GALINHA”

1 - Umidade

Este é um outro defeito comum associado com uma pré-secagem não adequada.

- Melhorar a secagem dos grânulos (Ver C-2).

H) SUPERFÍCIE RUGOSA

1 - Rolo largo demais

- Minimizar a formação do rolo reduzindo a pressão dos rolos ou ajustando a espessura da lâmina.

2- Incompatibilidade

Mistura de dois materiais com nível de viscosidade ou composição muito diferentes.

- Dado este problema no andamento do processo, continuar abaixando a temperatura de massa a fim de aumentar a viscosidade de fusão.
- Se a contaminação for muita séria, aumentar a temperatura de massa para purgar todo o material que seja necessário.

3 - Desenho deficiente da rosca

Roscas com canais muito profundos e pressão posterior insuficiente, podem oferecer escassa uniformidade de temperatura e até uma fusão inadequada na rosca.

- Incrementar a contrapressão mediante a colocação de malhas adicionais ou fechando a barra restringidora e a válvula de contrapressão se possível.



L) LÂMINA PARCIALMENTE OPACA

CAUSAS

AÇÕES CORRETIVAS

1 - Lâmina fina demais

Verificar marcas opacas (condensação) na superfície do rolo superior.

- Controlar a circulação da água nos rolos
- Ajustar a espessura.

2- Rolos não perfeitamente arredondados

- Pode ser necessário usinar e dar um acabamento superficial nos rolos.

J) VETAS OU PARTÍCULAS COM DESCOLORAÇÃO

1- Contaminação na secadora de pré-secagem

- Segregar em forma estrita os materiais de diferentes tipos.

2-Contaminação no cilindro ou matriz

Originada pela presença de material incompatível e/ou descomposição do mesmo.

- Esfriar o cilindro e a matriz para obrigar o polímero de maior viscosidade a eliminar a contaminação.

K) DESCOLORAÇÃO COMPLETA DA LÂMINA

1 - "Scrap" sujo

Moagem re-extrudada várias vezes.

- Diluir o material virgem com o mínimo percentual de moagem.
- Manter a moagem tão limpa quanto possível e utilizá-la assim que for gerada.
- Reduzir bordas de lâminas e recortes, minimizando assim a quantidade de moagem.

L) SUPERFÍCIE COM TEXTURA RUGOSA (PAPEL DE LIXA OU GRANULADO)

Não deve se confundir com Brilho ou Lustre. A textura pode ser vista como protuberâncias microscópicas sobre a superfície da lâmina.

As variáveis que afetam à rugosidade, habitualmente, também afetarão o lustre (brilho).

1 -Umidade

Ver D-2-a (umidade, linhas descontínuas)

2- Mistura pobre no extruder

Colocar malhas de maior mesh ou fechar a válvula de contrapressão, para aumentar a pressão posterior e o grau de mistura no cilindro.

3- Formação do rolo (Ver H)

Aumentar distância da matriz.

4- Distância inadequada da matriz

Aumentar a pressão do rolo de contato com o rolo de prancha.

5- Pressão inadequada ou temperaturas de rolos

Aumentar a temperatura nos rolos para retardar o esfriamento da lâmina e para melhorar o efeito da pressão do rolo sobre a lâmina quente.

M) BRILHO INSUFICIENTE DA LÂMINA

O brilho é, de certa forma, uma propriedade do material e deve diferenciar-se da textura. O brilho é a quantidade de luz refletida sobre a superfície.

Geralmente, quanto maior é o brilho, menor é a aspereza individual, já que as variáveis que produzem um bom brilho, normalmente também melhoram a rugosidade, mas nem sempre é assim.

Com referência à aspereza, uma simples mudança não é a resposta completa. Na verdade, isso requer o equilíbrio de muitas variáveis. Por exemplo, maior temperatura de material pode ocasionar menores temperaturas de rolo ou pressões, espera-se manter a fácil manipulação da lâmina.

A capacidade de um material para adquirir brilho superficial não deve ser o único fator levado em conta, já que a termoformagem a vácuo pode reduzir todo o aumento do brilho obtido. Em contrapartida, a ductilidade da lâmina para reter brilho depois da conformação a vácuo, deve ser o principal critério a ser seguido.

Para melhorar o brilho da lâmina, o princípio que se deve levar em consideração é que quanto maior seja a temperatura a que o brilho foi colocado na lâmina, maior quantidade de brilho ficará retido na termoformagem.

1 – Abertura insuficiente do lábio da matriz.

- Ajustar a abertura do lábio. Esta deve colocar-se entre 5 e 10% sobre a espessura final desejada.

2- Distância insuficiente entre rolos

- Ajustar distância entre rolos. Esta deve ser 3-5% inferior à espessura de lâmina desejada.

3- Temperaturas de rolos inadequadas

(Ver tema tratado em fatores de processo)

- Ajustar as temperaturas de massa e rolos

4- Espessura excessiva que entra no rolo superior

- Diminuir a espessura de lâmina aumentando a velocidade de rolos e/ou ajustando a barra de restrição.

5- Temperatura de massa muito baixa

Tende a diminuir o brilho.

- Aumentar cuidadosamente a temperatura de massa variando as RPM ou as temperaturas do cilindro na seção de plastificação.

- A temperatura de massa também pode ser incrementada aumentando a contrapressão mediante variações da barra restringidora, a válvula de contrapressão e as malhas mais fechadas.

6 - Baixa temperatura da matriz

- O aumento da temperatura da matriz possui o mesmo efeito e as mesmas limitações que o incremento das temperaturas de massa (manter o controle da espessura).

CAUSAS

AÇÕES CORRETIVAS

7- Pressão insuficiente de rolos.

- Aumentar a pressão do rolo superior e inferior. O brilho pode ser melhorado mediante um cuidadoso polimento dos rolos. Deve se observar especial cuidado com as ondulações das bordas, para prevenir uma excessiva orientação. A uniformidade da espessura da lâmina antes do contato com os rolos deve ser quase perfeita.

8- Pressão não uniforme de rolos

- Uma excessiva e não uniforme acúmulo de material em contato com os rolos deve ser controlada.
- Os rolos desalinhados requerem ajustes de pressão de ar, ressortes (malhas elásticas), etc.

9 - Baixas temperaturas de rolos

- Aumentar temperaturas de rolos, em especial do superior e inferior com máximo cuidado. Uma variação muita elevada de temperatura pode ocasionar a deformação da lâmina ou então a aderência aos rolos.

N) LÂMINA DOBRADA NAS BORDAS

1. Espessura não uniforme, pressão do rolo inferior demasiadamente alta.

Cuidado com as bordas muito grossas.

- Reduzir a pressão do rolo, ajustar a espessura e logo subir lentamente a pressão.

2- Temperatura do rolo pouco ou muito alta

- Reduzir a temperatura.

3- Distância muito pequena do rolo inferior

- Ajustar a distância do rolo inferior. Assegurar que ambos os lados tenham a mesma abertura.

4- Abertura muito pequena do lábio da matriz (material forçado até os extremos)

- Abrir os lábios da matriz.

5- Lâmina desalinhada (bastidor de rolos não perpendicular à matriz)

- Verificar o alinhamento.

O) ORIENTAÇÃO EXCESSIVAMENTE ALTA

Este problema pode reduzir as propriedades físicas da lâmina e poderia ocasionar elevada localização de tensões na peça termoformada. Pode gerar, ao encolher-se durante a termoformagem, o desprendimento da lâmina das mordanças.

**CAUSAS****AÇÕES CORRETIVAS**

1 - Excessivo cordão que entra em contato com os rolos

- Ajustar a espessura
 - Reduzir bordas
 - Reduzir a pressão do rolo superior.
-

2-Baixa temperatura do rolo de brilho ou lâmina.

- Aumentar a temperatura do rolo
-

3- Diferença de velocidade entre os rolos de brilho e os rolos de estiramento.

- Reduzir a diferença de velocidade entre rolos.
-

4- Distância excessiva entre a matriz e o primeiro contato da lâmina com os rolos.

- Reduzir a distância.
-

5- Abertura demasiadamente grande do lábio da matriz.

- Reduzir a abertura do lábio a 5-10% sobre a espessura desejada.

Esclarecimento:

A informação aqui fornecida é resultado do nosso melhor conhecimento teórico e empírico; é precisa, mas não podemos garantir o sucesso das nossas recomendações e sugestões, pois as condições de utilização das mesmas escapam ao nosso controle.

Absolutamente tudo o que foi exposto deverá ser assim interpretado, e nunca como uma recomendação para utilizar algum produto, infringindo as patentes e normas existentes que o amparam, tanto na sua composição como no seu uso.

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