

CONTROLE

DO PROCESSO

DE EXTRUSÃO

DE FILME TUBULAR

Controle do Processo de Extrusão de Filme Tubular

A otimização do processo de extrusão é atingida somente em situações em que haja um elevado grau de compatibilidade entre:

- o projeto do equipamento (extrusora);
- o projeto da ferramenta (matriz);
- as condições operacionais; e
- as características térmicas e reológicas dos compostos poliméricos.

Partindo do pressuposto do conhecimento já adquirido dos componentes da linha de extrusão, suas funções e também das características térmicas e reológicas dos polímeros, nosso estudo será focado nas condições operacionais do processo, ou seja, entender como manipular corretamente as variáveis do processo e os parâmetros de máquina influentes.

Processo de extrusão:

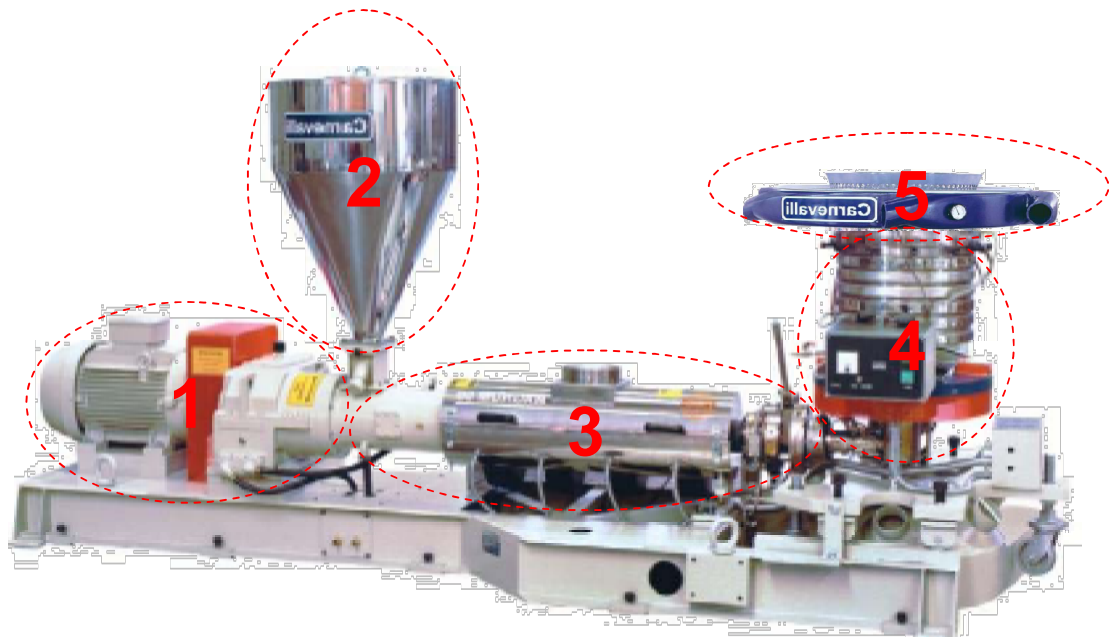


Figura 1 - Componentes principais de uma linha de extrusão: 1 - Conjunto moto reator; 2 - Funil de alimentação; 3 - Extrusora e Placa-filtro; 4 - Cabeçote e Matriz; 5 - Anel de ar de resfriamento. *Obs.: nesta figura não estão demonstrados o sistema de tiragem e bobinagem do filme*

Medições em Extrusão

O grau de controle do processo que pode ser alcançado na extrusão é determinado fortemente do modo como as medições são feitas. Isto significa não somente a medição dos parâmetros apropriados do processo, mas também como usar os sensores e os transdutores certos e colocá-los na posição correta.

Parâmetros Importantes do Processo

Em um processo típico de extrusão há vários parâmetros que devem ser monitorados para controlar o processo e para assegurar sua consistência. Os parâmetros mais importantes, em ordem de prioridade, são:

- As dimensões do extrudado
- A distribuição molecular balanceada nos sentidos de extrusão e transversal
- A pressão do cabeçote (depois do filtro)
- A temperatura da massa fundida do polímero
- A pressão do cilindro (antes do filtro)
- O consumo de potência do motor
- A velocidade da rosca
- A velocidade de tiragem
- O consumo de potência das várias zonas de aquecimento
- A taxa de resfriamento na zona de solidificação
- As temperaturas da extrusora e da matriz

As medições mais importantes são as dimensões do produto, a distribuição molecular balanceada nos sentidos de extrusão e transversal, e a pressão do cabeçote. Obviamente, as dimensões do produto têm que ser monitoradas para certificar-se de que o produto está dentro das especificações dimensionais. O método ideal é o da medição em linha de forma contínua (monitoramento em tempo real). Se os dados da medição forem alimentados a um computador, então médias, escalas, limites de controle, desvios padrão, e assim por diante, podem ser calculados quase instantaneamente. Assim os gráficos de controle podem ser gerados e indicados dentro de poucos segundos a partir medição real. Isto fornece o CEP em tempo real e é muito útil na monitoração e no controle exatos do processo.

Dimensões do extrudado

Várias técnicas de medição estão disponíveis para determinar as dimensões do produto extrudado. Elas estão baseadas em medições a laser, ópticas, eletromagnéticas, ultrassom, indutivas, e as pneumático-indutivas. As primeiras três são usadas na maior parte para determinar dimensões exteriores de produtos extrudados; as últimas quatro são usadas para medir a espessura de parede. Os medidores a laser são usados frequentemente para medir o diâmetro exterior de mangueiras, tubos, e de fios revestidos. A definição varia de 0,001 a 0,01 milímetros, dependendo da escala.

A espessura de parede é medida frequentemente com instrumentos de ultrassom. Ele trabalha bem em mangueiras e tubulações de diâmetro grande; entretanto em diâmetros menores que 10 milímetros de tubulações de parede fina esta medição é problemática. A medição de ultrassom é basicamente uma medida de tempo; mede quanto tempo uma onda percorre o curso da parte externa da parede ao interior e retorna. Deve-se observar que a propagação de ondas depende não somente do tipo de material, mas também da temperatura do material. Em consequência, um erro de medição considerável pode ocorrer quando há modificação grande da temperatura dos materiais extrudados. Isto pode acontecer quando a velocidade da linha muda, quando as temperaturas da extrusora são mudadas, quando há mudanças de temperatura da água de resfriamento, e assim por diante. O cabeçote de medição é tipicamente submerso na água para fornecer o bom acoplamento entre o cabeçote e o produto a ser medido. Cuidado deve ser tomado para que a água seja limpa e sem bolhas de ar. As bolhas de ar podem causar erro de medição consideráveis.

A escolha do método de medição dependerá de diversos fatores, tais como a forma e as dimensões do produto, a tolerância, o custo do instrumento, adequação do usuário, e assim por diante. A medida das dimensões do produto é frequentemente a medida mais crítica no processo. Em consequência o instrumento deve ser rotineiramente calibrado para certificar-se de que seja aceitável para a aplicação.

Pressão

A medição da pressão é importante por duas razões principais: controle e segurança do processo. A pressão do cabeçote, isto é, a pressão depois do filtro, determina a produção. Uma pressão constante originará uma produção constante; entretanto, uma pressão variando resultará em uma produção variando. A produção propriamente dita não é medida facilmente no processo de extrusão. Entretanto a pressão pode ser medida muito facilmente. O mais importante é determinar como a pressão do cabeçote muda com tempo; a simples leitura instantânea da pressão não é muito significativa. A variação da pressão com o tempo pode ser registrada em um registrador de carta simples ou, melhor ainda, monitorada em computador, com *software* específico.

A mudança de produção, δQ , resultando de uma mudança na pressão, δP , é determinada pela seguinte relação:

$$\delta Q (\%) = \delta P (\%) / n$$

Nesta expressão n é o índice da lei de potência do material. Para o polímero fundido o n varia entre 0 e 1; para a maioria dos polímeros a escala é de 0,3 a 0,7. Isto significa que uma flutuação da pressão de 2% para um polímero com um índice $n = 0,4$ da lei de potência resultará:

$$\delta Q (\%) = \delta P (\%) / n; \delta Q (\%) = 2 / 0,4; \delta Q (\%) = 5\% \text{ de flutuação na saída.}$$

Ou seja, a flutuação da produção é consideravelmente maior do que a flutuação da pressão. Isto é verdadeiro para todos os polímeros. As flutuações da produção tenderão a causar variações nas dimensões extrudadas do produto. Assim é muito importante manter a flutuação da pressão tão pequena quanto possível.

Por exemplo, se considerarmos a extrusão de uma haste de 10 milímetros de diâmetro. As especificações são 10,3 a 9,7 milímetros; isto é 10,0 milímetros \pm 3%. A variação máxima da produção que pode ser tolerada neste caso é aproximadamente 6% (duas vezes a porcentagem das especificações). Se o material for PEBDL com um índice $n = 0,3$ da lei das potências, uma flutuação da pressão de 2% causará:

$$\delta Q (\%) = \delta P (\%) / n; \delta Q (\%) = 2 / 0,3; \delta Q (\%) = 6\% \text{ de flutuação na saída.}$$

Neste caso, a flutuação máxima da pressão que nós podemos tolerar é 2%. Isto, naturalmente, supondo-se que não há nenhuma outra fonte de variações dimensionais, o que é uma suposição questionável. Conseqüentemente, nós teríamos que manter a flutuação da pressão em menos de 2% a fim manter o produto extrudado dentro das especificações. Logicamente, se a flutuação real

da pressão for 5%, não há quase nenhuma possibilidade que nós possamos extrudar o produto dentro das especificações.

O aspecto de segurança da medição da pressão é criticamente importante. Sob determinadas circunstâncias (por exemplo, partidas a frio) uma extrusora pode gerar altas pressões perigosas, excedendo de 70 MPa (aproximadamente 714 kgf/cm²). Se nenhuma segurança de alívio de pressão estiver atuando, tais altas pressões podem arrancar o cabeçote da extrusora com alta velocidade. Toda a pessoa no trajeto deste cabeçote será provavelmente ferida severamente. Infelizmente, acidentes sérios aconteceram em consequência do acúmulo excessivo de pressão. Todas as extrusoras devem ser equipadas com um dispositivo de alívio de pressão, tal como um disco da ruptura ou um pino de ruptura. Infelizmente, este não é sempre o caso. É extremamente importante, conseqüentemente, que uma medição correta da pressão de funcionamento esteja disponível em cada extrusora operando, preferivelmente com um alarme de alta pressão e desarme automático. A posição mais crítica do transdutor de pressão para determinar pressões excessivas é imediatamente antes do filtro. Assim para o controle do processo a pressão medida depois do filtro é a mais importante, enquanto para a segurança a pressão imediatamente antes do filtro é a mais importante. É aconselhável, conseqüentemente, ter ao menos dois transdutores de pressão em uma extrusora. A diferença nas duas leituras de pressão é uma boa medida do acúmulo de contaminação no filtro.

A maioria dos transdutores de pressão usados no processamento de plásticos são os transdutores eletrônicos que usam medidores de tensão em um diafragma para medir a pressão. O diafragma do medidor de tensão é colocado a uma distância considerável do diafragma que está realmente dentro em contato com o polímero fundido. Isto é feito para minimizar o efeito da alta temperatura da fusão do polímero. Dois tipos de transdutores eletrônicos de medidor de tensão são usados: o tipo capilar e o tipo de bastão de empuxe; veja a figura 2.

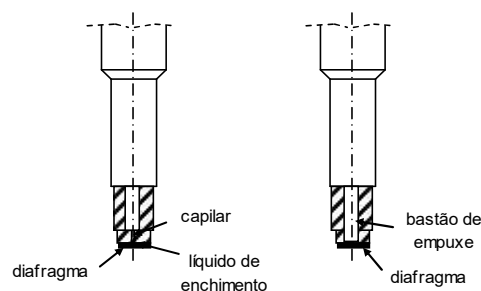


Figura 2 - Transdutor capilar (esquerda) e transdutor de bastão de empuxe (direita)

No tipo capilar um fluido é usado para acoplar hidráulicamente o diafragma do fundido e o diafragma do medidor de tensão. O fluido é geralmente mercúrio. Um inconveniente destes transdutores eletrônicos é que são suscetíveis aos danos. Nos transdutores preenchidos com mercúrio pode

haver a liberação do mercúrio no polímero fundido e no lugar de trabalho, o que é altamente indesejável. Os danos são devido ao diafragma fino no contato com o fundido. Um transdutor de pressão que não seja removido antes da limpeza de um cilindro, pode ser danificado.

Na outra mão, há os transdutores de pressão piezo resistivos que são mais robustos e menos suscetíveis aos danos, devido a um diafragma mais grosso. Estes tipos de transdutores de pressão caracterizam a tecnologia do silicone encapsulado em safira para obter a exatidão, a estabilidade, e a sensibilidade boas em uma escala de temperatura de até 370°C.

Os transdutores de pressão eletrônicos são equipados às vezes com um sensor de temperatura. Estes transdutores são conhecidos tipicamente como transdutores de pressão e temperatura da massa fundida (P/T). Entretanto, deve-se pensar que nos transdutores capilares o sensor de temperatura está colocado geralmente a uma distância considerável do diafragma. Conseqüentemente, a temperatura detectada não é uma indicação boa da temperatura real do fundido. Pode haver diferenças consideráveis entre a temperatura detectada e a temperatura real do fundido, ao redor de 50°C.

Temperatura

A temperatura do fundido é a mais importante no processo de extrusão. É medida geralmente na extremidade da extrusora com um sensor de temperatura de imersão. Para uma medição boa da temperatura do fundido é importante que haja um bom contato entre o polímero fundido e o sensor.

As temperaturas do cilindro, placa-filtro, adaptador, cabeçote e matriz são também importantes no processo de extrusão, entretanto, como são medidas geralmente com uma baioneta tipo termopar (TC) montada nas paredes metálicas, não são confiáveis, porque a temperatura medida é na maior parte representativa da temperatura da parede do metal (servem como um referencial de controle sem indicação real da temperatura a que o polímero está submetido). Os testes com termopares convencionais mostram que erros de medição significantes podem resultar das seguintes causas:

- As correntes de ar em torno da unidade de plastificação podem causar erros de até 50°C.
- A profundidade insuficiente do poço do TC pode causar erros de até 10°C. A profundidade deve ser de ao menos 25 milímetros.

Termopares especiais foram projetados para minimizar o erro da condução. Estes TCs tem tipicamente um elemento detector encapsulado em substrato cerâmico para isolamento térmica.

Ao medir temperaturas do cilindro, é importante medir perto da superfície interna do mesmo. Apesar de tudo, aí estará com uma temperatura do polímero que seja realmente importante no processo de extrusão. Deve-se pensar, entretanto, que em algumas máquinas comerciais, o sensor de temperatura está colocado perto da superfície externa do cilindro. De fato, em alguns casos os

sensores de temperatura são colocados nos calefadores do cilindro. Isto renderá em um bom controle de temperatura; entretanto, temperatura errada está sendo controlada. Nós temos que conhecer é a temperatura do polímero e conseqüentemente, devemos medir e controlar a temperatura tão perto do polímero quanto seja possível.

A temperatura do fundido pode também ser medida pelos sensores (IR) infravermelhos. A vantagem da medição IR da temperatura do fundido é que as mudanças muito rápidas na temperatura do fundido podem ser medidas; um tempo de resposta típico é de aproximadamente 10 milissegundos. Uma desvantagem da medição IR da temperatura do fundido é que é mais cara do que o termopar de imersão (na atualidade isso já não é tão verdadeiro).

Ao analisar o processo, se deve saber que tipo de sensores e transdutores são usados e onde estão colocados. Se esta informação não for conhecida, conclusões incorretas podem ser extraídas. Por exemplo, com TCs no calefator do cilindro, o controle de temperatura parecerá ser excelente. Ao mesmo tempo, entretanto, a temperatura interna no cilindro pode flutuar descontroladamente, causando instabilidades grandes no processo. A melhor situação é ter uma medição profunda e uma rasa da temperatura do cilindro, sendo que a temperatura profunda é a boa, e é essa que deve ser controlada. Isto permite a determinação do gradiente radial da temperatura, e assim da quantidade de calor que está sendo adicionado ou removido do processo. Há também os sistemas de controle de sensor duplo de temperatura que usam os sensores de temperatura rasos e profundos. A temperatura profunda é que é controlada; entretanto, a temperatura rasa participa no processo do controle através de um processo em cascata.

Funcionamento de um sistema de controle de malha fechada de temperatura

Um sistema de controle em malha fechada pode ser entendido pelo exemplo de uma pessoa ajustando a temperatura da água do banho, conforme a figura 3. O chuveiro possui uma resistência elétrica de potencia fixa (sem ajustes), portanto, o ajuste pretendido da temperatura da água pelo usuário, é restrito à vazão da água. Com a mão direita ele avalia a temperatura da água (sensor), esta mensagem é enviada ao cérebro (controlador) que mensura esta temperatura, compara com o valor pretendido (*set-point*) e envia uma mensagem para a mão esquerda atuar (atuador), fechando ou abrindo mais a água, a fim de corrigir a temperatura para o valor desejado. Esta malha atua continuamente até que se estabeleça o valor desejado e permanece atuando em caso de necessidade de correção. No caso das malhas de controle de temperatura em extrusoras, o sensor é o termopar, o controlador é o termoregulador (pirômetro), e o atuador é a resistência de aquecimento e/ou a ventoinha de refrigeração.

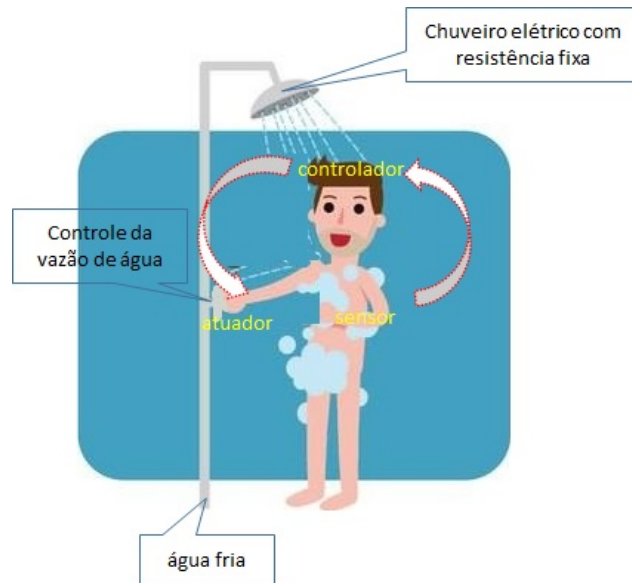


Figura 3 - Demonstração de uma malha fechada de controle

Velocidade da Rosca e da Tiragem

A produção da extrusora é determinada diretamente pela velocidade da rosca. É importante, conseqüentemente, que a velocidade da rosca possa ser exatamente medida e controlada. A velocidade da rosca deve ser medida e indicada ao menos com 0,1 rpm, preferivelmente 0,01 rpm ou menos. Ou seja, a sensibilidade e a definição da medição da velocidade da rosca deve ser 0,1 rpm ou melhor. Supondo uma escala inteira de 200 rpm, isto representa 0,05% da escala total. Isto é particularmente importante quando uma extrusora é operada com velocidade baixa da rosca. Por exemplo, se uma extrusora funcionasse em 5 rpm e a definição da velocidade da rosca fosse 1 rpm, a velocidade real da rosca poderia variar 20% sem nenhuma indicação de leitura da velocidade da rosca. Com uma definição de 0,1 rpm, a velocidade real da rosca pode variar 2% sem uma indicação de leitura da velocidade da rosca.

Uma outra consideração importante é a relação da velocidade da rosca e da velocidade de tiragem. Motores típicos de C.C., com tacômetro, tem uma indicação de velocidade de 1% da escala total. Supondo uma velocidade plena de 100 rpm, isto significa que em 10 rpm a variação de velocidade da rosca é de ± 1 rpm. Isto representa $\pm 10\%$, uma variação total de 20%. Isto é inaceitável na maioria de operações de extrusão. O melhor ajuste da velocidade pode ser obtido com dispositivos digitais, tais como um motor C.C. sem escovas ou um com escovas e com encoder, e ainda atualmente com motores de C.A. com inversores de frequência e encoder. Estes motores têm um ajuste de velocidade de 0,01 % da escala total, ou melhor. Isso significa que mesmo em velocidade baixa da rosca, estes motores podem manter uma velocidade muito constante.

Da mesma forma, o bom ajuste da velocidade é igualmente importante para a tiragem. Se a produção da extrusora for constante, mas a velocidade de

tiragem estiver variando, as dimensões do extrudado variarão também. Recomenda-se, conseqüentemente, que a extrusora e o equipamento de tiragem estejam equipados com motores que forneçam um ajuste de velocidade de 0,01 % da escala total, ou melhor.

Influencia das variáveis de extrusão nas características do filme e ajustes no processo de extrusão de filme tubular

O filme é normalmente dobrado a quente nos rolos puxadores para evitar o aparecimento de rugas, muito prejudicial à qualidade do filme; logo, o fechamento do balão deverá começar imediatamente acima da linha de névoa, especialmente para filmes mais finos.

As características de um filme produzido pelo processo de extrusão tubular são diretamente afetadas pela maneira como o filme é fabricado.

Três são os principais fatores que interferem diretamente no processo de extrusão do filme:

- Alterações na Temperatura da massa;
- Alterações na razão de sopro;
- Alterações na altura da linha de névoa.

Temperatura da massa

É importante que o polímero seja trabalhado no seu estado fundido logo no início da extrusão, atingindo os valores de 170 a 190°C, para o PEBD, e de 200 a 220°C, para PEBDL e PEAD, na massa polimérica. Caso as temperaturas de processo sejam muito baixas, poderá ocorrer uma plastificação inadequada da massa com conseqüente prejuízo da aparência superficial do extrudado, na forma de escamas, o que compromete a sua qualidade. Valores muito altos trazem efeitos negativos nas propriedades físicas do filme, maior probabilidade de oxidação do filme e instabilidade do balão. Um perfil de temperatura recomendado para processamento é:

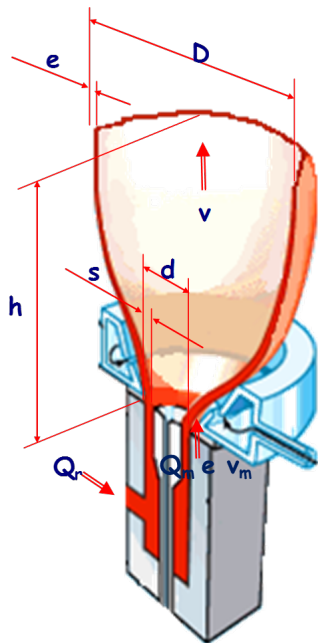
Temperaturas referenciais (°C) (sempre consultar fabricante do polímero)

| Polímero | Extrusora | | | | Placa-filtro | Adaptador | Cabecote | | Matriz Lábios |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------------|-----------|----------|-----|---------------|
| | Zona alimentação | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | | | Sup | Inf | |
| PEBD | 150 | 160 | 170 | 175 | 180 | 180 | 170 | 170 | 170 |
| | | | | | | | 190 | 190 | 190 |
| PEBDL/ PEAD | 160 | 185 | 190 | 195 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| | | | | | | | 230 | 230 | 230 |

Destaca-se que este fator é muito importante e que uma elevação da temperatura de extrusão melhora as características óticas - o fluxo do material fundido sofre menos atrito na matriz, e um aumento da temperatura diminui sensivelmente a pressão na saída da matriz. Há uma melhora da homogeneidade do material e um incremento nas propriedades mecânicas de

resistência a tração (tensão de ruptura e alongamento de ruptura), resistência ao impacto.

Altura da linha de névoa



- D - diâmetro do balão (mm)
- d - diâmetro da matriz (mm)
- e - espessura do filme (μm)
- s - abertura dos lábios da matriz (mm)
- h - altura da linha de névoa (mm)
- $\pi = 3,14\dots$ - constante
- v - velocidade de tiragem (m/min)
- v_m - velocidade do fundido na matriz (m/min)
- L - largura do filme plano (mm)
- K = 0,85 - coef. relação das densidades do material fundido e do material sólido
- Q_r - vazão da rosca (kg/h)
- Q_m - vazão da matriz (kg/h)
- RS = D / d - razão de sopro longitudinal
- REL = v / v_m - razão de estiramento longitudinal
- RC = RS / REL - razão de conformação longitudinal

Figura 4 - Detalhes de geometria da matriz e do balão

Na verdade, a linha de névoa não é uma linha - é uma região na qual o filme que está no estado fundido passa para o estado sólido. Pode ser definida como o ponto onde a temperatura do filme fica imediatamente abaixo da temperatura de amolecimento do material. Neste ponto é onde ocorre a solidificação do termoplástico. É a distância entre a superfície da matriz e o ponto de início de expansão do balão - também denominado altura do pescoço.

A altura da linha de névoa é ajustada principalmente através da vazão e temperatura de ar oriundo do anel de resfriamento, mas também é controlada pela temperatura da massa, rotação da rosca e velocidade de arraste. É essencial para o controle da orientação molecular do filme nas direções de extrusão (DM) e transversal (DT).

A linha de névoa no processamento dos filmes de polietileno deve situar-se aproximadamente 2,5 cm acima da altura onde o balão adquire o seu máximo diâmetro, após o insuflamento. Deve ser controlada de modo a não ser muito alta nem muito baixa. Bons resultados são encontrados para valores que fiquem entre:

PEBD / PEBDL: 2 a 4 vezes o correspondente diâmetro da matriz

PEAD: 7 a 10 vezes o correspondente ao diâmetro da matriz.

Acima deste valor máximo, o filme demora a esfriar-se e provoca oscilações e perturbações no balão, que irão afetar a estabilidade dimensional e, conseqüentemente, a espessura ao longo do filme. Por outro lado, uma linha de

névoa baixa provoca uma forte orientação das moléculas na direção de extrusão, o que prejudica a orientação transversal do filme, causando uma baixa resistência ao rasgo.

Razão de sopro ou razão de insuflamento - $RS = D / d$ ou $RS = L / (d \times \pi)$

Razão de sopro é definida como sendo a relação entre o diâmetro do balão (D) e o diâmetro da matriz (d). Valores situam-se entre:

PEBD: RS de 2,0 : 1 a 4,0 : 1

PEBDL: RS de 2,5 : 1 a 3,0 : 1

PEAD: RS de 4,5 : 1 a 6,5 : 1

Valores abaixo desta faixa prejudicam a resistência ao impacto e melhoram a resistência ao rasgo transversal; valores acima da faixa melhoram a resistência ao rasgo longitudinal e a resistência ao impacto. A opacidade diminui, o contraste aumenta, e a resistência mecânica global do filme tubular é melhorada quando RS aumenta dentro da faixa de trabalho sugerida.

Em conjunto com a temperatura do material e a linha de névoa (solidificação) proporcionam a orientação molecular balanceada nos sentidos de extrusão (DM) e transversal (DT) do filme produzido, o que resulta em melhoria de suas propriedades óticas e mecânicas.

Os testes de tração no sentido de extrusão e transversal são o melhor meio de definir os ajustes otimizados de razão de sopro e de altura da linha de névoa.

Razão de estiramento longitudinal - $REL = v / v_m$

A razão de estiramento longitudinal (REL) é a razão entre as velocidades dos rolos puxadores (v) e de escoamento do polímero ao sair da matriz (v_m). Esta razão define o estiramento do filme no sentido da máquina.

Razão de conformação - $RC = RS / REL$

Um terceiro parâmetro, que quantifica a relação proporcional entre os estiramentos transversal e longitudinal, é a razão de conformação.

- Se $RC = 1$ - balanceamento perfeito entre estiramentos transversal e longitudinal;
- Se $RC > 1$ - estiramento maior no sentido transversal do que no longitudinal;
- Se $RC < 1$ - estiramento maior no sentido longitudinal do que no transversal

A figura 4.1 mostra o relacionamento existente entre as razões de estiramento longitudinal e transversal na orientação de filmes tubulares.

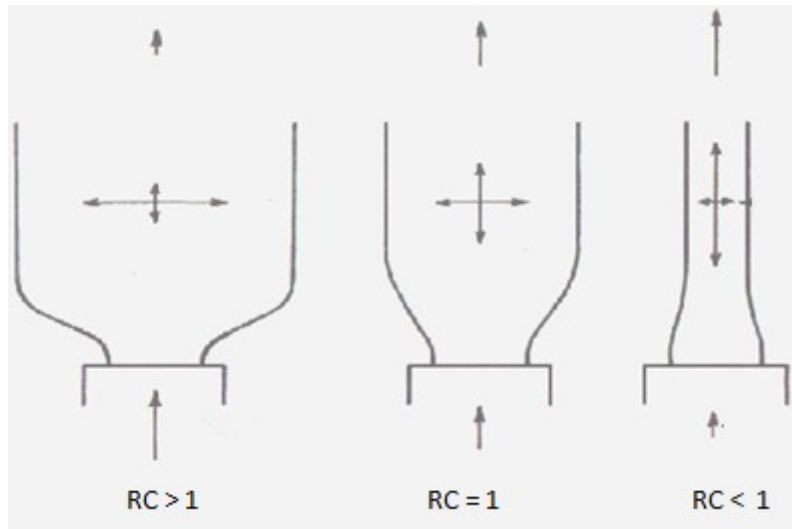


Figura 4.1 - relação entre estiramento longitudinal e transversal, e impacto na geometria do filme tubular.

Largura do filme - $L = D \times \pi$

É o perímetro do balão. Esta é a largura do filme aberto, ou seja, quando se corta uma lateral do filme tubular (duplo) de forma a torná-lo de uma só parede (simples ou plano).

A largura do filme é ajustada pela quantidade de ar insuflada dentro do balão. Esta quantidade é definida pela relação de sopro adequada ao diâmetro da matriz e ao polímero utilizado.

Espessura do filme - $e = (k \times s) / (RS \times REL)$

É a espessura da parede simples do filme plano.

A espessura do filme é ajustada pela velocidade de tiragem que se dá ao filme em relação à produção desenvolvida pela linha de extrusão. Esta espessura tem limites ótimos de trabalho que são definidos pela abertura dos lábios da matriz, como a própria fórmula indica.

Produção da linha de extrusão

A produção de uma linha de extrusão depende de todo conjunto projetado, baseando-se em:

- Polímero utilizado
- Diâmetro, projeto e rotação da rosca
- Diâmetro, projeto e abertura dos lábios da matriz
- Potencia motriz instalada

Na prática diária há dificuldade de obterem-se todos os dados necessários de projeto e desenho da rosca, bem como da matriz, a fim de procederem-se aos cálculos. Deste modo, utilizam-se fórmulas bastante simplificadas que servem como uma orientação básica permitindo a análise e programação de parâmetros operacionais.

Dados e fórmulas

- Rotação da rosca = 80 rpm (padrão do que há instalado no mercado)
- $c_m = 0,71 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ - calor específico do PEAD
- $\delta t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ - diferença entre as temperaturas do material como massa fundida e na alimentação (*pellets*)
- d_r - diâmetro da rosca (mm)
- d_m - diâmetro da matriz (mm)
- ρ - densidade da matéria-prima (kg/cm^3)
- e - espessura do filme (mm)
- v - velocidade de tiragem do filme (m/min)
- L - largura do filme plano (mm)

$$Q_r = 0,000436 \times d_r^3 - \text{produção da rosca (kg/h)}$$

$$Q_m = 0,7 \times d_m - \text{vazão pela matriz (kg/h)}$$

$$Q_T = v \times L \times e \times \rho \times 0,06 - \text{produção de uma linha de extrusão (kg/h)}$$

$$v = Q_T / (L \times e \times \rho \times 0,06) - \text{velocidade de tiragem do filme (m/min)}$$

$$N = 0,002 \times Q_r \times c_m \times \delta t - \text{potencia do motor (HP)}$$

Orientação molecular

Durante o processamento, as macromoléculas dos termoplásticos amorfos ou semicristalinos tendem a ser orientadas preferencialmente na direção em que sofrem algum esforço. Com a solidificação do extrudado, a orientação molecular se mantém, embora haja certo grau de relaxação molecular.

Na direção da orientação preferencial, o produto apresenta uma maior resistência à tração.

Em contrapartida, na direção transversal à preferencial, a resistência à tração é muito inferior. Além disto, a resistência ao impacto também fica muito baixa.

Assim, para muitos produtos, o processo não deve causar excessiva orientação numa única direção.

Por exemplo, para que um filme extrudado tenha boa resistência ao impacto é fundamental que além da orientação na direção longitudinal haja igual orientação na direção transversal.

Esta situação é chamada de bi-orientação molecular.

Aplicação de cálculos

Calcular a razão de conformação (RC) para a linha de extrusão de filme tubular Carnevalli que possui vazão de 10 kg/h de PEBD, produzindo filme tubular de 500 mm de largura, com 50 μm de espessura de parede de filme. A matriz utilizada tem diâmetro de 80 mm com uma abertura dos lábios de 1 mm.

Dados:

$d = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$ - diâmetro da matriz

$e = 50 \text{ }\mu\text{m} = 0,00005 \text{ m}$ - espessura do filme

$s = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$ - abertura dos lábios da matriz

$\pi = 3,14\dots$ - constante

$L = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$ - largura do filme plano

$\rho = 0,93 \text{ g/cm}^3 = 930 \text{ kg/m}^3$ - densidade do PEBD sólido

$K = 0,85$ - coeficiente de relação das densidades do material fundido e do material sólido

$Q = 10 \text{ kg/h}$ - vazão de extrusão

Incógnitas:

$D = ?$ - diâmetro do balão (mm)

$h = ?$ - altura da linha de névoa (mm)

$v = ?$ - velocidade de tiragem (m/min)

$v_m = ?$ - velocidade do fundido na matriz (m/min)

$\rho_m = ?$ - densidade do PEBD fundido (kg/m^3)

$RS = ?$ - razão de sopro

$REL = ?$ - razão de estiramento longitudinal

$RC = ?$ - razão de conformação

Cálculos:

$D = ?$ - diâmetro do balão (mm) = P / π

$P = ?$ - perímetro do filme tubular (mm)

$P = L \times 2 = 500 \times 2 = 1000 \text{ mm}$

$D = P / \pi = 1000 / 3,14\dots = 318,31 \text{ mm}$

$h = ?$ - altura da linha de névoa (mm) = 2 a 4 x d (para o PEBD)

$h = 2 \text{ a } 4 \times d = 2 \text{ a } 4 \times 80 = 160 \text{ a } 320 \text{ mm}$

$v = ?$ - velocidade de tiragem (m/min) = $Q / L \times 2 \times e \times \rho \times 60$ (correção h para min)

$v = 10 / 0,5 \times 2 \times 0,00005 \times 930 \times 60 = 3,6 \text{ m/min}$

$\rho_m = \rho \times K = 930 \times 0,85 = 790,5 \text{ kg/m}^3$

$v_m = ?$ - vel. fund. na matriz (m/min) = $Q / d \times \pi \times s \times \rho_m \times 60$ (correção h para min)

$v_m = 10 / 0,08 \times 3,14\dots \times 0,001 \times 790,5 \times 60 = 0,8 \text{ m/min}$

$$RS = D/d = 318,31 / 80 = 4$$

a RS recomendada para o PEBD é de 2:1 a 4:1, portanto está OK

$$REL = v / v_m = 3,6 / 0,8 = 4,5$$

$$RC = RS / REL = 4 / 4,5 = 0,9$$

Portanto, podemos concluir que a razão de conformação bem próxima de 1 significa que o filme terá boa distribuição de propriedades mecânicas na DM e na DT, uma boa bi-orientação molecular.

Supondo-se que se deseje chegar a uma RC ainda mais próximo de 1, o que podemos fazer?

Como a $RC = RS/REL$, teríamos que aumentar RS e/ou diminuir REL.

Sabendo-se que a $RS = D/d$, e que não podemos aumentar D porque tem a ver com a largura de produto solicitada, restaria diminuirmos d (diâmetro da matriz), entretanto a $RS = 4$ não pode ser mais aumentada porque está no limite máximo recomendado para o PEBD.

Resta a nós diminuirmos a REL, que é $REL = v / v_m$. Como a v (velocidade de tiragem) está diretamente ligada a espessura de parede do filme não podemos diminuí-la para diminuir a REL, portanto a saída é aumentarmos a v_m (velocidade do fundido na matriz), o que pode ser feito modificando a s (abertura dos lábios da matriz). Vejamos como ficará se utilizarmos uma abertura de 0,8 mm ao invés de 1mm.

$$v_m = ? - \text{vel. fund. na matriz (m/min)} = Q / d \times \pi \times s \times \rho_m \times 60_{(\text{correção h para min})}$$

$$v_m = 10 / 0,08 \times 3,14... \times 0,0008 \times 790,5 \times 60 = 1 \text{ m/min}$$

$$REL = v / v_m = 3,6 / 1 = 3,6$$

$$RC = RS / REL = 4 / 3,6 = 1,1$$

Vejamos como ficará se utilizarmos uma abertura de 0,9 mm ao invés de 1 mm ou de 0,8 mm.

$$v_m = ? - \text{vel. fund. na matriz (m/min)} = Q / d \times \pi \times s \times \rho_m \times 60_{(\text{correção h para min})}$$

$$v_m = 10 / 0,08 \times 3,14... \times 0,0009 \times 790,5 \times 60 = 0,93 \text{ m/min}$$

$$REL = v / v_m = 3,6 / 0,93 = 3,9$$

$$RC = RS / REL = 4 / 3,9 = 1,03 - \text{esta seria portanto a situação ideal}$$

Problemas e soluções no processo de filme tubular de PEBDL

Para otimizar resultados tente uma solução por vez e aguarda reação do processo

| Problema | Soluções possíveis |
|---|--|
| FRATURA DO FUNDIDO (aparência do filme áspera causada por excesso de cisalhamento) | <ul style="list-style-type: none">• Aumentar folga do lábio• Isolar anel de ar da matriz e a matriz do ambiente• Aumentar temperaturas da última zona da matriz (lábios)• Usar auxiliar de fluxo (com abertura de lábio reduzida)• Usar <i>grade</i> de matéria prima com MFi maior, ou realizar blenda• Reduzir produção da linha |
| INSTABILIDADE DO BALÃO | <ul style="list-style-type: none">• Reduzir temperatura da massa• Usar ar refrigerado• Usar estabilizador de balão ou outro tipos de guias• Adicionar de 10 a 20% de PEBD• Usar resfriamento interno do balão (<i>IBC - Internal Bubble Cooling</i>)• Usar rosca para PEBDL com menor geração de calor• Otimizar projeto do anel de ar• Usar abertura de lábio reduzida com auxiliar de fluxo• Reduzir produção da linha |
| EXCESSO DE CORRENTE DO MOTOR OU DE PRESSÃO DA MASSA | <ul style="list-style-type: none">• Aumentar perfil de temperaturas• Usar matriz de baixa pressão (canais maiores e em maior nº)• Aumentar abertura do lábio e/ou diâmetro da matriz• Rever transmissão motriz para obter maior potencia em baixas rotações• Reduzir produção da linha |
| ALTA TEMPERATURA DA MASSA | <ul style="list-style-type: none">• Reduzir produção da linha• Usar rosca para PEBDL• Usar matriz de baixa pressão |

| | |
|---|--|
| PICOS OU OSCILAÇÕES DE PRODUÇÃO | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que não exista ponte estática no funil de alimentação • Verificar que não exista obstrução no funil de alimentação • Certifique-se que o perfil de temperaturas é o mais adequado |
| Baixas propriedades ópticas | <ul style="list-style-type: none"> • Usar ar refrigerado • Adicionar de 5 a 20% de PEBD • Usar abertura de lábio reduzida com auxiliar de fluxo • Otimizar projeto do anel de ar e da ventoinha (anel de ar de lábio duplo) |
| Baixa resistência de ruptura ao impacto | <ul style="list-style-type: none"> • Evitar riscos (raias) da matriz |
| <i>Se isso não solucionar, então:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar espessura • Aumentar RS (razão de sopro) • Baixar linha de névoa • Reduzir um pouco a folga do lábio |
| <i>Se estas etapas não solucionarem, então:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Usar <i>masterbatches</i> com base em PEBDL • Usar <i>grades</i> estáveis e rosca para PEBDL • Procurar outras opções de resina |
| BLOQUEIO | <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar resfriamento do balão • Diminuir temperatura da massa • Diminuir pressão de fechamento dos rolos • Modificar pacote de aditivos (anti-bloqueio) • Testar resina base de maior densidade |
| VARIAÇÕES DE ESPESSURA | |
| <i>Se o filme não está uniforme:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Limpar anel de ar • Verificar alinhamento do anel de ar |

| | |
|---|---|
| <i>Se riscos (raias) aparecem na abertura do lábio:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Limpar lábios da matriz • Verificar alinhamento dos lábios da matriz • Usar <i>masterbatch</i> com baixo conteúdo de estearato para reduzir o <i>build-up</i> (formação de carvão nos lábios) |
|---|---|

| | |
|---|---|
| <i>Aparência mosqueada do filme devido a mistura pobre:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar entupimento do misturador • Usar perfil de temperaturas apropriadas no cabeçote de mistura • Verificar telas-filtro adequadas |
|---|---|

GÉIS

| | |
|--------------------------------|---|
| <i>Degradação do polímero:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar se a massa não está com temperatura muito alta • Verificar problemas com reciclado • Verificar entupimento do misturador • Eliminar ou reduzir "pontos mortos" no sistema • Aumentar pacote de anti-oxidantes na resina |
|--------------------------------|---|

| | |
|----------------------|--|
| <i>Não fundidos:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar se a temperatura da massa não está muito baixa |
|----------------------|--|

| | |
|-------------------------|--|
| <i>Resina estranha:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar contaminação da resina |
|-------------------------|--|

BOLHAS NO FILME

| | |
|--|---|
| <i>Umidade no material:</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Secar o material |
| <i>Ar aprisionado (bolhas ou pontos no filme):</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Avaliar performance da zona de alimentação • Verificar compressão inadequada ou <i>pellets</i> não fundidos • Verificar variações no tamanho dos <i>pellets</i> |

Controles operacionais e de manutenção para a linha de extrusão

| Equipamento | Componente | Função no sistema | Variável controlada |
|---|---------------------------------|--|---|
| Extrusora | Misturador e Alimentador MP | Alimentação constante, dosada e bem misturada de MP à extrusora | Nível da resina nos tanques de MPs Temp. zona aliment. |
| | Rosca e cilindro | Transporte, fusão e homogeneização da resina | Temperaturas do Cilindro Rotação da rosca |
| | Telas-filtro e Troca-telas | Criar contra-pressão para homogeneização da massa e retenção de impurezas | Pressão da massa (indicação) Temperaturas |
| | Termometro eletrônico | Indicar temperatura da massa fundida | Temperatura da massa (indicação) |
| | Motor e caixa redutora da rosca | Acionar a rosca e suportá-la, absorvendo esforços mecânicos | Corrente Nível do óleo Temperatura |
| | Cabeçote | Matriz | Moldar a massa fundida para a conformação do filme |
| Anel de ar de resfriamento (externo) | | Solidificar a massa fundida e auxiliar distribuição de espessura do produto através da vazão homogênea de ar externo | Pressão do ar Temperatura do ar |
| Sistema de IBC <i>Internal Bubble Cooling</i> | | Solidificar a massa fundida e auxiliar distribuição de espessura do produto através da vazão homogênea de ar interno | Diâmetro do balão Temperatura do ar |
| Torre | Tubos-guia (iris) | Estabilizar o balão após linha de névoa, no trajeto até arraste | Posicionamento correto junto ao balão |
| | Saias de Achatamento | Guiar o balão para o carro-puxador em forma filme duplo, sem rugas | Angulo de abertura das saias |
| (Tiragem) Carro Puxador | Rolos puxadores | Tracionar o filme definindo sua espessura | Velocidade dos rolos puxadores Pressão de fechamento rolos |
| | Moto-redutor de acionamento | Acionar os rolos de arraste | Corrente Nível de óleo |
| (Tiragem) Pré Arraste | Rolos pré-arraste | Auxiliar a tracionar o filme e mante-lo tensionado no percurso | Velocidade dos rolos pré-arraste Pressão de fechamento rolos |
| | Moto-redutor de acionamento | Acionar os rolos de arraste | Corrente Nível de óleo |
| | Alinhador | Alinhar filme para bobinagem | Posição de uma extremidade lateral do filme |
| Bobinadeira | Sistema eixos pneumáticos | Sustentar tubete de bobinagem | Pressão de ar comprimido |
| | Moto-redutores de acionamento | Acionar o tubo-alma de bobinagem | Corrente Nível de óleo |

| Equipamento | Componente | Meio de medição | Meio de controle |
|-------------------------|--|---|--|
| Extrusora | Misturador e Alimentador MP | Visual | Abastecimento manual |
| | Rosca e cilindro | Termomet. IR | Vazão de água na alimentação |
| | | Controlador Temperatura (pirômetro) | Malha de controle de temp. com sensor, controlador, resistência e turbina |
| | Telas-filtro e Troca-telas | Sinal rpm do motor no IF | Potenciometro no painel |
| | | Manometro eletrônico | Troca das telas quando atingir 300 bar ou 1 x por dia |
| | Termometro eletrônico | Controlador Temperatura (pirômetro) | Malha de controle de temp. com sensor, controlador e resistência |
| | | Termometro eletrônico | Através do ajuste das temperaturas extrusora |
| | Motor e caixa redutora da rosca | Amperímetro | Potenciometro no painel |
| Visor de nível | | Abastecer quando necessário | |
| | Termomet. IR | Vazão e temp. água resfriam. | |
| Cabecote | Matriz | Controlador Temperatura (pirômetro) | Malha de controle de temp. com sensor, controlador e resistência |
| | | Medição Geo micrometro | Ajuste dos parafusos de centragem da matriz |
| | Anel de ar de resfriamento (externo) | Manômetro | Rotação da ventoinha |
| | | Termometro | Ajuste da temperatura da água no armário de água gelada e trocador de calor |
| | Sistema de IBC Internal Bubble Cooling | Interface CLP | CLP dedicado |
| Termometro | | Ajuste da temperatura da água no armário de água gelada e trocador de calor | |
| Torre | Tubos-guia (iris) | Visual | Manual |
| | Saias de Achatamento | Visual | Manual |
| (Tiragem) Carro Puxador | Rolos puxadores | Sinal rpm do motor no IF | Potenciometro no painel |
| | | Manômetros | Válvulas redutoras de ar comp. |
| | Moto-redutor de acionamento | Amperímetro | Potenciometro no painel |
| | | Visor de nível | Abastecer quando necessário |
| (Tiragem) Pré Arraste | Rolos pré-arraste | Sinal rpm do motor no IF | Potenciometro no painel |
| | | Manômetros | Válvulas redutoras de ar comp. |
| | Moto-redutor de acionamento | Amperímetro | Espessura/vazão transform. Orientação molecular do filme |
| | | Visor de nível | Abastecer quando necessário |
| | Alinhador | Visual | Sistema de sensor, diafragma, bomba de ar, bomba de óleo e cilindro hidráulico alinhador |
| Bobinadeira | Sistema eixos pneumáticos | Manometro | Válvula redutora |
| | Moto-redutores de acionamento | Amperímetro | Potenciometro no painel |
| | | Visor de nível | Abastecer quando necessário |

| Equipamento | Componente | Cuidados operacionais básicos |
|---|--|---|
| Extrusora | Misturador e Alimentador MP | Resinas adequadas, limpas e secas. Manter tampas dos tanques fechadas. Não deixar faltar material (pulsações e parada de máquina). |
| | Rosca e cilindro | Manter temperat. nos padrões através do fluxo de água de refrigeração |
| | | Manter temperat. nos padrões através do ajuste dos controladores, observar funcionamento das resistências e turbinas pelos amperímetros e controladores. Não funcionar sem resina que serve como lubrificante e mantém a rosca centrada. Não parar com resina pois dificulta partida. |
| | Telas-filtro e Troca-telas | Controlar rpm da rosca adequada ao tipo de resina, que proporcione rotação dentro dos padrões estabelecidos |
| | | Utilizar telas adequadas, manter jogo na reserva para troca e controlar pressão da resina. Depende da vazão e das temperaturas extrusão |
| | Termometro eletrônico | Manter temperat. nos padrões através do ajuste dos controladores, observar funcionamento das resistências pelos amperímetros e controladores. |
| Motor e caixa redutora da rosca | Manter temperatura no padrão através do ajuste das temperaturas de extrusão, do conjunto de telas utilizadas e da vazão de transfromação (rpm) | |
| | Controlar vazão da rosca, adequada ao tipo de resina, que proporcione corrente absorvida dentro dos padrões estabelecidos | |
| Cabeçote | Matriz | Utilizar óleo adequado e, manter nível e temperatura nos padrões |
| | | Não funcionar a rosca muito tempo em vazio pois força os mancais |
| | Anel de ar de resfriamento (externo) | Manter temperatura no padrão através do ajuste das temperaturas de extrusão, do conjunto de telas utilizadas e da vazão de transfromação (rpm) |
| | | Controlar rpm da ventoinha de modo a manter balão estável |
| Sistema de IBC Internal Bubble Cooling | Manter temperatura pelo ajuste do armário água gelada | |
| | Manter ajustes conforme especificação do produto | |
| Torre | Tubos-guia (iris) | Manter temperatura nos padrões através do ajuste dos controladores, observar funcionamento das resistências pelos amperímetros e controladores. |
| | Saias de Achatamento | Antes de iniciar a produção, providenciar a limpeza dos lábios da matriz, observando que a temperatura de trabalho já tenha sido alcançada |
| (Tiragem) Carro Puxador | Rolos puxadores | Controlar rpm da ventoinha de modo a manter balão estável |
| | | Manter temperatura pelo ajuste do armário água gelada |
| Moto-redutor de acionamento | Sistema de IBC Internal Bubble Cooling | Manter temperatura nos padrões através do ajuste referencial do armário de água gelada - O ajuste é feito para o ar externo do anel e o ar interno é submetido as mesmas condições |
| | Manter ajustes conforme especificação do produto | |
| Torre | Tubos-guia (iris) | Verificar que todos os tubos de guia estejam ajustados adequadamente roçando levemente no balão, sem causar rugas ou atrito demasiado |
| | Saias de Achatamento | Ajustar ambas saias em ângulo próximo a 20° de modo que a mudança da geometria de circular para plano achatado se realize suavemente, s/rugas |
| (Tiragem) Carro Puxador | Rolos puxadores | Controlar velocidades filme adequada a vazão de produção e a espessura pretendida, conforme tabela existente. A relação da velocidade de arraste com a altura da linha de névoa e a razão de sopro, definem a orient. molec. |
| | | Regular pressões nos extremos o mais baixo e o mais similares possível, controlando que o filme não escorregue para qualquer dos lados. |
| Moto-redutor de acionamento | Moto-redutor de acionamento | Controlar velocidade para que a corrente fique dentro dos padrões estabelecidos |
| | | Utilizar óleo adequado e manter nível nos padrões |
| (Tiragem) Pré Arraste | Rolos pré-arraste | Idem do carro-puxador, é seu auxiliar |
| | | Regular pressões nos extremos o mais baixo e o mais similares possível, controlando que o filme não escorregue para qualquer dos lados. |
| | Moto-redutor de acionamento | Controlar velocidade para que a corrente fique dentro dos padrões estabelecidos |
| | | Utilizar óleo adequado e, manter nível nos padrões |
| Alinhador | Controlar posicionamento adequado do alinhador com a lateral filme | |
| Bobinadeira | Sistema eixos pneumáticos | Controlar que a pressão de ar seja suficiente para fechar os mandris e que seu retorno na abertura seja o mais rápido possível |
| | Moto-redutores de acionamento | Controlar velocidade para que a corrente fique dentro dos padrões estabelecidos e que o filme fique bem bobinado |
| Utilizar óleo adequado e manter nível nos padrões | | |

| Equipamento | Componente | Manutenção preventiva | | Planilhar | |
|--|--|--|-----------|-----------|-----|
| | | Descrição | Δ tempo | Sim | Não |
| Extrusora | Misturador e Alimentador MP | Limpeza geral dos filtros a terra, dos filtros dos alimentadores e dos imãs permanentes. Funcionamento dos flaps. | 1 x turno | | X |
| | Rosca e cilindro | Limpeza mecânica e química da jaqueta de refrigeração e verificação da livre circulação de água | semestral | X | |
| | | Limpeza geral do cilindro e rosca, verificar possíveis marcas. Medições para avaliar o desgaste. Calibração das malhas de controle de temperatura. Revisão das turbinas. | anual | X | |
| | | Calibração do sistema de medição de rotação | anual | X | |
| | Telas-filtro e Troca-telas | Medições controladas de vazão de extrusão (kg/h) verificando desgaste | mensal | X | |
| | | Troca das telas . Troca do óleo hidráulico do troca-telas. Verificar funcionamento do Troca-Telas | diário | X | |
| | | Calibração da malha de medição de pressão | anual | X | |
| | Termometro eletrônico | Calibração das malhas de controle de temperatura. | anual | X | |
| | | Calibração da malha de indicação de temperatura | anual | X | |
| | Motor e caixa redutora da rosca | Revisão periódica do motor: mancais e escova de descarga para aterramento. | anual | X | |
| Troca de óleo e limpeza química da camara de água de refrigeração | | anual | | X | |
| Cabeçote | Matriz | Calibração das malhas de controle de temperatura. | anual | X | |
| | | Manter lábios da matriz limpos e os parafusos de ajuste de centragem lubrificados com graxa | semanal | X | |
| | Anel de ar de resfriamento (externo) | Limpeza completa de todo sistema de ventilação e distribuição do ar, da ventoinha até o anel de ar | mensal | X | |
| | | Limpeza dos trocadores de calor do armário de água gelada Limpeza dos filtros do sistema de refrigeração do armário de água gelada Limpeza no trocador de calor de ar do anel e revisão na ventoinha e motor | semestral | X | |
| | Sistema de IBC Internal Bubble Cooling | Limpeza completa de todo sistema de ventilação e distribuição do ar, da ventoinha até o anel de ar | mensal | | X |
| Limpeza dos trocadores de calor do armário de água gelada Limpeza dos filtros do sistema de refrigeração do armário de água gelada Limpeza no trocador de calor de ar do anel e revisão na ventoinha e motor | | semestral | X | | |
| Torre | Tubos-guia (iris) | Limpeza dos tubos-guia, mantendo-os bem polidos, e lubrificação das buchas de ajuste para conferir suavidade e facilidade nos ajustes | contínuo | | X |
| | Saías de Achatamento | Limpeza dos sarrafos verificando que a superfície esteja sem rebarbas, farpas, etc. Manter as buchas, eixos e fusos bem lubrificados para facilitar ajuste. Se houver necessidade utilizar talco como lubrificante | contínuo | | X |
| (Tiragem) Carro Puxador | Rolos puxadores | Calibração do sistema de medição de velocidade. | anual | X | |
| | | Nível de óleo do lubrificador. | mensal | | X |
| | Moto-redutor de acionamento | Revisão geral do conjunto moto-redutor e transmissão | anual | X | |
| | | Troca de óleo. | anual | | X |
| (Tiragem) Pré Arraste | Rolos pré-arraste | Calibração do sistema de medição de velocidade. | anual | X | |
| | | Nível de óleo do lubrificador. | mensal | | X |
| | Moto-redutor de acionamento | Revisão geral do conjunto moto-redutor e transmissão | anual | X | |
| | | Troca de óleo. | anual | | X |
| | Alinhador | Revisar óleo hidráulico e manter sistema limpo e ajustado de acordo com a sensibilidade exigida pelo processo | contínuo | | X |
| Bobinadeira | Sistema eixos pneumáticos | Revisão geral de funcionamento do sistema de acionamento e retorno dos mandris | mensal | | X |
| | Moto-redutores de acionamento | Revisão geral do conjunto moto-redutor e transmissão | anual | | X |
| | | Troca de óleo. | | | |

Rotina de um processo de extrusão

Preparação

- O setor Administrativo programa a produção e emite Ordem de Produção correspondente.
- O Encarregado de Fábrica recebe a Ordem de Produção, revisa e verifica a disponibilidade de máquina, pessoal e insumos.
- Repassa a Ordem de Produção ao pessoal operacional para dar prosseguimento.
- O Operador verifica e reserva os insumos necessários (matérias-primas, canudos de papelão e demais acessórios) e os instrumentos de medição,

Aquecimento e Testes

- Liga a bomba de água e verifica a circulação adequada na zona de alimentação e na caixa redutora da extrusora.
- Liga o disjuntor geral da linha de extrusão.
- Liga o painel para o aquecimento da extrusora e matriz, respeitando as temperaturas indicadas na Ordem de Produção.
- Realiza limpeza do troca-telas, placa-filtro (crivo), e coloca telas novas nos dois crivos, de acordo com o padrão de telas definido na Ordem de Produção.
- Providencia o filme de guia pelo trajeto de extrusão.
- Verifica que o funil de alimentação da extrusora esteja fechado e que sua grade magnética esteja limpa e posicionada.
- Verifica ajustes da íris e das saias de guia do balão.
- Liga o compressor de ar e verifica que o sistema esteja funcionando adequadamente.
- Testa o sistema de insuflamento de ar do balão.
- Testa o funcionamento do carro-puxador (abre e fecha dos rolos e sua rotação).
- Testa a bobinadeira (abre e fecha dos rolos e sua rotação).

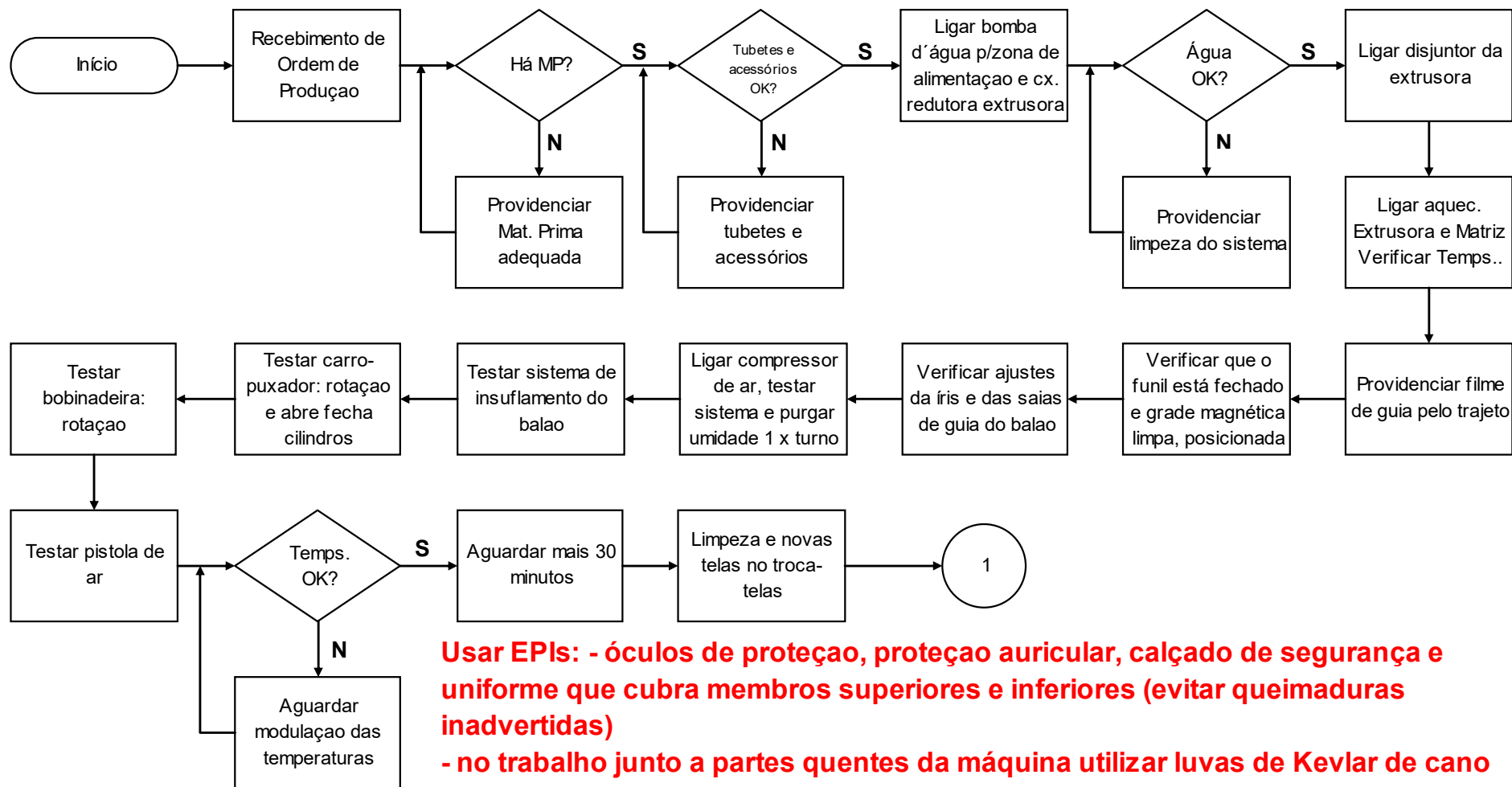
Posta em marcha

- Depois que todas as zonas de aquecimento estiverem na temperatura programada (pirômetros modulando), aguarda por mais 30 minutos para homogeneização.
- Limpa lábios da matriz com silicone.
- Alimenta a matéria-prima no funil.
- Liga a extrusora em baixa rotação, abrindo gradualmente o funil de alimentação da matéria-prima e observando a corrente do motor.
- Utiliza espátula de alumínio, latão ou bronze para recolher o material inicial que flui da matriz, reservando-o para reciclagem (deixar repousar sobre superfície metálica limpa e plana até esfriar).

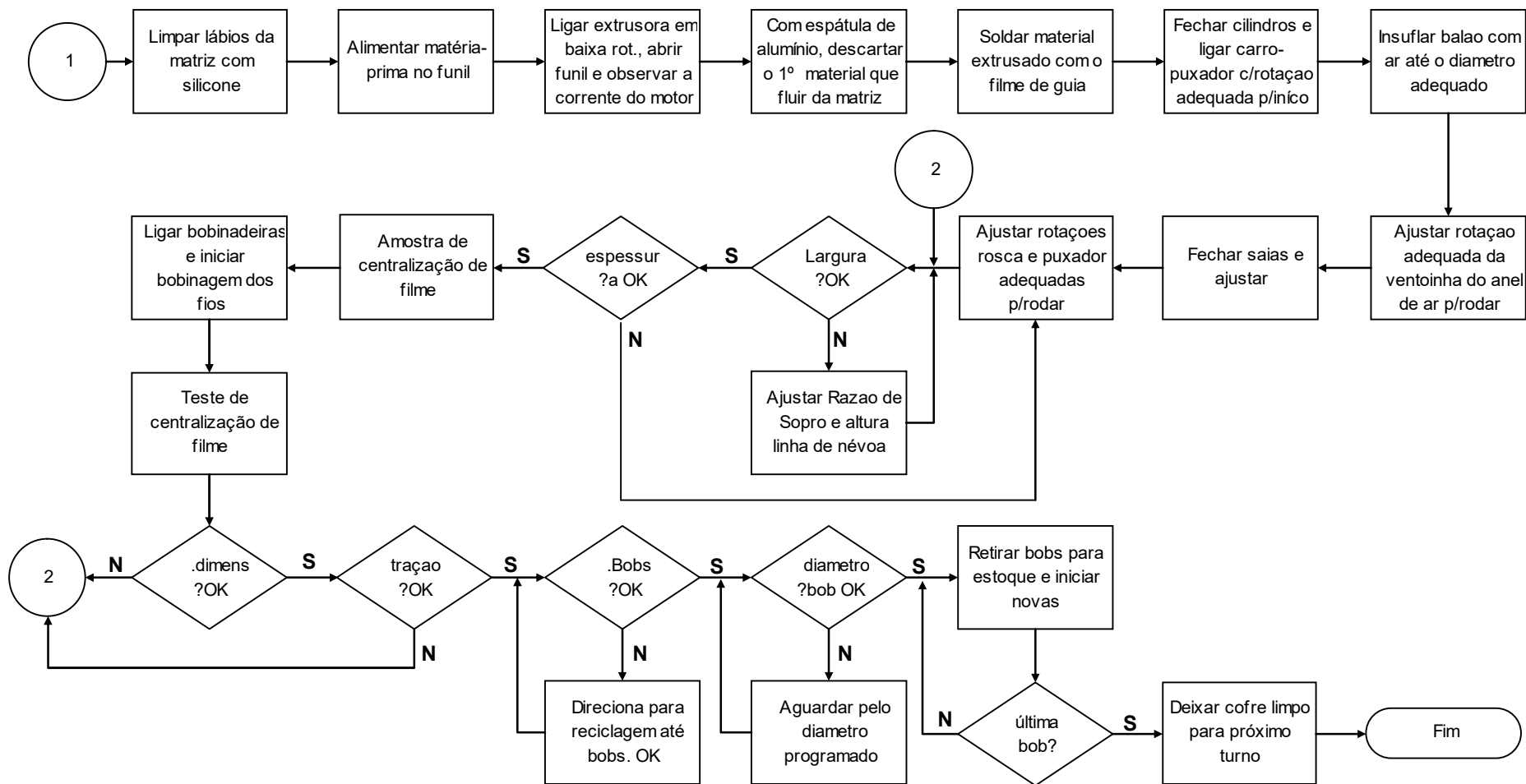
- Solda o material extrudado, fundido, que flui da matriz, com o filme de guia.
- Fecha os cilindros e liga o carro-puxador com rotação adequada para o início de produção.
- Insufla o balão com ar comprimido, até alcançar o diâmetro adequado.
- Liga e ajusta a rotação da ventoinha do ar de resfriamento do anel de ar, adequada para a produção (verifica pela altura da linha de névoa).
- Ajusta as rotações da rosca extrusora e do carro-puxador adequadas para a produção.
- Verifica largura do filme, se não estiver adequada ajusta a razão de sopro e a altura da linha de névoa (insuflamento do balão e rotação da ventoinha de resfriamento do anel de ar).
- Verifica espessura do filme, se não estiver adequada ajusta a rotação da rosca extrusora e do carro-puxador.
- Liga a bobinadeira e inicia a bobinagem do filme.
- Ajusta a velocidade e da bobinadeira.
- Direciona para reciclagem a bobina de início de produção até que o dimensional e visual estejam adequados, quando inicia a bobina de produção propriamente dita.

Produção

- Testa e, se necessário, reajusta a largura e espessura do filme.
- Testa a resistência de tração na ruptura do filme, se necessário ajusta temperatura da massa, razão de sopro e altura da linha de névoa.
- Aguarda a bobina alcançar o diâmetro adequado, conforme padrão, para iniciar nova bobina.
- Separa, pesa, anota em planilha e despacha as bobinas prontas para o estoque.
- Quando chega na última bobina solicitada, passa a produzir nova Ordem de Produção ou desliga a linha de extrusão.



Usar EPIs: - óculos de proteção, proteção auricular, calçado de segurança e uniforme que cubra membros superiores e inferiores (evitar queimaduras inadvertidas)
- no trabalho junto a partes quentes da máquina utilizar luvas de Kevlar de cano longo e quando for na matriz, utilizar viseira facial



**Usar EPIs: - óculos de proteção, proteção auricular, calçado de segurança e uniforme que cubra membros superiores e inferiores (evitar queimaduras inadvertidas)
 - no trabalho junto a partes quentes da máquina utilizar luvas de Kevlar de cano longo e quando for na matriz, utilizar viseira facial**

Manutenção preventiva em extrusão

Uma linha de extrusão é composta dos mais diversos equipamentos e componentes, mecânicos, elétricos, eletrônicos e pneumáticos, além disso, possui também equipamentos auxiliares e sistemas de utilidades, como ar comprimido, água de resfriamento e sistema de reciclagem de aparas, necessitando de manuseio consciente por pessoal habilitado e treinado.

Pessoal

O pessoal operacional é um dos principais recursos para execução de um bom sistema de manutenção e conservação dos equipamentos de uma fábrica, através do manuseio consciente e cuidadoso de cada componente, também anotando e comunicando a tempo anomalias que se apresentem, e auxiliando aos técnicos de manutenção nas rotinas preventivas agendadas.

O pessoal técnico de manutenção é o recurso básico para as rotinas de manutenção dos equipamentos, e possui a responsabilidade de controlar e coordenar um plano de manutenção preventiva que agende as atuações de lubrificações, troca do óleo lubrificante, limpezas, ajustes, afiações, etc, proporcionando uma maior durabilidade e confiabilidade de funcionamento dos equipamentos. Nas atividades de rotina é essencial que seja acompanhado pelo pessoal operacional, para melhor integração, e também para disseminar o conhecimento e nivelar os conceitos e as informações.

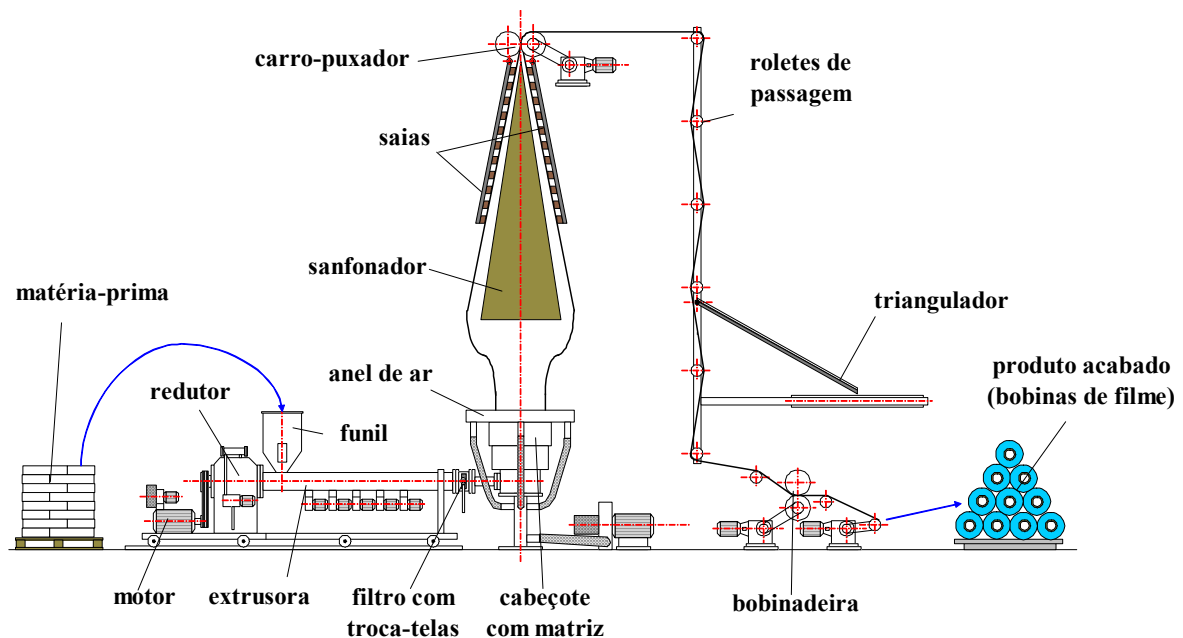


Figura 5 - Principais componentes em processo de extrusão de filme tubular

Estoque de materiais e peças de reposição

São essenciais cuidados especiais de manutenção preventiva visando manter a linha e os sistemas bem conservados, em regime de produção contínuo e confiável. Um bom planejamento de manutenção preventiva evita perdas de produção inesperadas por quebra de componentes, e facilita um controle adequado de estoque de materiais e peças de reposição, que representam custos para a empresa, mas que devem ser previstos e priorizados por sua importância e, muitas vezes, pela dificuldade de obtenção das peças de reposição com os fornecedores (evitando produção parada). Logicamente poderão ocorrer quebras imprevistas, mas que serão minimizadas por um efetivo controle de manutenção preventiva.

Cada equipamento e/ou componente da instalação deve ser analisado pormenorizadamente e as informações de manutenção recomendadas pelo fabricante devem ser obtidas e programadas no planejamento. Nesta análise serão previstos a importância dos equipamentos na instalação, os prazos de atuação de manutenção, o tempo de vida útil previsto para os componentes, e como consequência, os estoques mínimos de materiais e peças de reposição que a empresa deverá manter. Em empresas de pequeno porte é comum que a atividade de controle dos estoques seja de responsabilidade do pessoal de manutenção.

Tempo de funcionamento

É básico para um controle de manutenção preventiva, o conhecimento atualizado do tempo de uso dos equipamentos e os períodos recomendados de lubrificação, troca de óleo, limpeza, polimento, afiação, usinagens em geral, ajustes de componentes de transmissão, trocas de componentes, trocas de filtros, revisão de contatos elétricos, revisão de malhas de controle de instrumentos, e de sistemas de aquecimento e refrigeração, etc. Portanto é lógico que a instalação de um contador de horas eletrônico, acionado em conjunto com o funcionamento da linha de extrusão, é o melhor meio de controle do tempo de uso e prazos de manutenção recomendados. Existem prazos já estipulados pela experiência, boa prática de manutenção e recomendações dos fabricantes, para os diversos tipos de componentes, rotações de funcionamento, pressões, temperaturas, umidade, agressividade do meio de trabalho, etc.

Se considerarmos uma linha de extrusão funcionando 24 h/dia x 22 dias/mês, teremos um total de 528 horas/mês de funcionamento. Só como comparativo, para maior facilidade de compreensão, podemos focalizar o funcionamento de um veículo automotor rodando a 80 km/h, neste mesmo período de 24 horas x 22 dias/mês x 80 km/h, teremos 42.240 km rodados pelo veículo em um mês, portanto, 12,5 horas de funcionamento de um equipamento de extrusão seriam equivalentes a 1000 km rodados por um veículo automotor utilizando a velocidade de 80 km/h. As comparações só servem como parâmetro comparativo para melhor entendimento de tempo de uso versus percurso de uso,

haja vista que um equipamento fabril tem diferentes peculiaridades de uso e um tempo de vida infinitamente maior do que tempo de vida de um veículo automotor. Entretanto no tocante aos tempos de lubrificação, de troca de óleo, de durabilidade de rolamentos, de durabilidade de selos mecânicos, e outros, uma boa similaridade de uso e durabilidade pode ser enfocada.

Identificação dos equipamentos

Outro aspecto fundamental para manter um bom controle de manutenção preventiva, é a identificação de todos os componentes de um processo. Para facilitar a identificação dos componentes um bom método é adotar o sistema de Título Alfanumérico Geral - TAG, que identifica o componente, facilitando o entendimento de sua função e sua localização.

O TAG pode ser formado por:

Um número seqüencial inicial de dois dígitos que identifica o processo, dentre todos os processos da empresa. Por exemplo:

01 - linha de extrusão de geomembranas

02 - sistemas de utilidades em geral (ar comprimido, água industrial, água gelada)

03 - sistema de moagem, reaproveitamento de aparas industriais

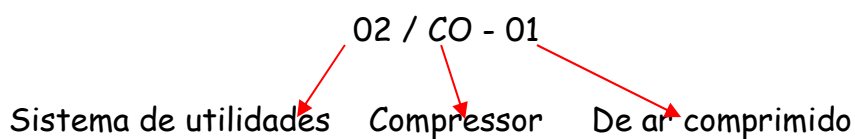
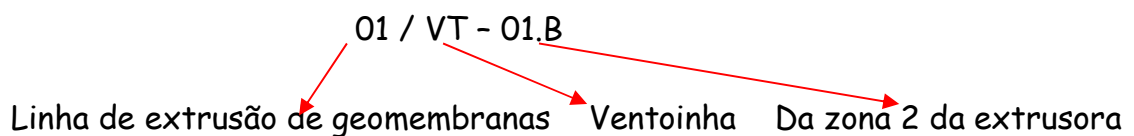
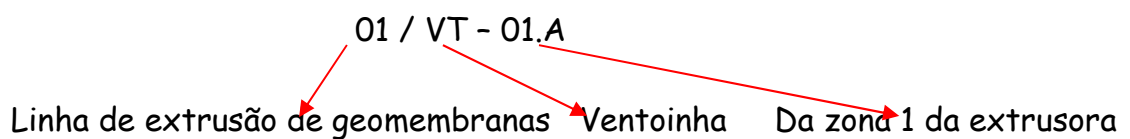
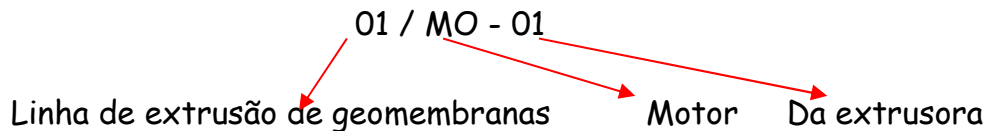
Um conjunto de duas letras, separadas dos dígitos iniciais por uma barra transversal, que facilitam o entendimento da função do componente. Por exemplo:

| | |
|---|---|
| BB - bobinadeira | EX - extrusora |
| BO - bomba de água, bomba hidráulica, bomba de vácuo | FC - faca de corte |
| CO - compressor de ar | IF - inversor de frequência |
| EP - empilhadeira | MC - mesa de corte |
| MO - motor elétrico | MG - moega, funil |
| PI - indicador de pressão (manômetro) | FL - filtro |
| PR - ponte rolante | TC - controlador de temperatura (pirômetro) |
| PT - sensor de pressão | TG - tubos de guia do balão (iris) |
| RD - redutor | TI - indicador de temperatura (termômetro) |
| RO - rolos puxadores, rolos de pré-arraste, rolos de abertura | TO - torre de extrusão |
| SG - saias-guias de achatamento | TT - troca-telas |
| TA - tubo de abertura da geomembrana | TR - torre de resfriamento |
| | TS - sensor de temperatura |
| | VT - ventoinha ou ventilador |

Um número seqüencial final de dois dígitos, separados das duas letras de função por um travessão, que identificam a ordem do componente no processo.

Ainda adota-se, caso necessário, quando existem vários componentes similares no processo, uma letra final acompanhando o número de ordem para melhor identificar esta ordem e mostrar a existência de componentes similares (que deve ser pensado inclusive para o estoque de peças de reposição).

Exemplos de TAGs:



Responsabilidade

Faz-se necessário relacionar pormenorizadamente todos os componentes da fábrica com períodos e instruções de manutenção preventiva, e programar um estoque mínimo de peças de reposição que viabilizem o funcionamento perene da fábrica, com paradas de produção por quebras reduzidas ao mínimo possível. Uma pessoa habilitada, com capacidade e experiência, como um técnico eletromecânico, ou uma empresa terceirizada, pode planejar e executar um bom programa de manutenção preventiva e a definição e controle de um estoque mínimo de peças de reposição, baseado nas premissas de identificação, controle de tempo de uso e atividades necessárias de manutenção. Na planilha Quadro de Parâmetros de Controle, há definição dos cuidados de manutenção preventiva e tempos de atuação para os principais componentes de uma linha de extrusão de geomembranas, pelo processo de filme tubular, não estando incluídos os sistemas de utilidades. A seguir um exemplo de parte desta planilha.

| Equipamento | Manutenção preventiva | | Δ tempo |
|------------------|---|--|-----------|
| | Componente | Descrição | |
| Extrusora | Misturador e Alimentador MP | Limpeza geral dos filtros a terra, dos filtros dos alimentadores e dos imãs permanentes. Funcionamento dos flaps. | 1 x turno |
| | | Limpeza mecânica e química da jaqueta de refrigeração e verificação da livre circulação de água | semestral |
| | Rosca e cilindro | Limpeza geral do cilindro e rosca, verificar possíveis marcas. Medições para avaliar o desgaste. Calibração das malhas de controle de temperatura. Revisão das turbinas. | anual |
| | | Calibração do sistema de medição de rotação | anual |
| | | Medições controladas de vazão de extrusão (kg/h) verificando desgaste | mensal |
| | Telas-filtro e Troca-telas | Troca das telas . Troca do óleo hidráulico do troca-telas. Verificar funcionamento do Troca-Telas | diário |
| | | Calibração da malha de medição de pressão | anual |
| | | Calibração das malhas de controle de temperatura. | anual |
| | Termometro eletrônico | Calibração da malha de indicação de temperatura | anual |
| | Motor e caixa redutora da rosca | Revisão periódica do motor: mancais e escova de descarga para aterramento. | anual |
| | Troca de óleo e limpeza química da camera de água de refrigeração | anual | |

Uma pessoa deve ser autorizada e responsabilizada, de preferência um técnico eletro-mecânico, pela manutenção preventiva dos componentes, que acompanhe diariamente o tempo de funcionamento e agende as atividades pertinentes de manutenção, combinando antecipadamente com o pessoal operacional.

A seguir um exemplo de um quadro para controle de manutenção preventiva, preenchido e controlado manualmente, por existirem poucos componentes. Nos casos de grande quantidade de componentes recomenda-se a adoção de sistema informatizado de controle de manutenção (existem vários sistemas em oferta no mercado).

Quadro de Manutenção Preventiva

| TAG | Prazo horas | Serviços a executar | Última Manutenção | | Horário para Lubrif./Manut. | Horário Atual | Data Atual |
|---|-------------|--|-------------------|---------|-----------------------------|---------------|------------|
| | | | Data | Horário | | | |
| Linha de Geomembranas (01) | | | | | | | |
| 01/MO-01 | 5000 | 12 bombadas graxa BG 1116, tensão e estado correias | | | | | |
| 01/RD-01 | 8000 | 200 l óleo Ipiranga SP 320 | | | | | |
| 01/RD-02.B | 5000 | 10 l óleo Ipiranga SP 320, 10 bombadas graxa Ipiflex no cardan | | | | | |
| 01/RD-03.A | 2500 | 10 l óleo Ipiranga SP 150, 10 bombadas graxa Ipiflex no cardan | | | | | |
| 01/RD-03.B | 2500 | 10 l óleo Ipiranga SP 150, 10 bombadas graxa Ipiflex no cardan | | | | | |
| Utilidades (06), Transporte (13) | | | | | | | |
| 06/BO-01.A | 1000 | 5 bombadas graxa Ipiflex 2, revisão engaxetamento, análise geral | | | | | |
| 06/BO-01.B | 1000 | 5 bombadas graxa Ipiflex 2, revisão engaxetamento, análise geral | | | | | |
| 06/BO-01.C | 1000 | 5 bombadas graxa Ipiflex 2, revisão engaxetamento, análise geral | | | | | |
| 06/BO-01.D | 1000 | 5 bombadas graxa Ipiflex 2, revisão engaxetamento, análise geral | | | | | |
| 13/EP-01carter | 150 | 3 l óleo GP Master 15 W/40 | | | | | |
| 13/EP-01cambio | 1000 | Óleo Ipirgerol SP 90 | | | | | |
| 13/EP-01hidraul. | 2000 | 48 l óleo Ipilube SD 10 W | | | | | |
| Reprocessamento (09) | | | | | | | |
| 09/MN-01 | 500 | 5 bombadas Ipiflex 2, análise de funcionamento | | | | | |
| 09/SR-01 | 500 | 5 bombadas Ipiflex 2, análise de funcionamento | | | | | |
| 09/MO-01 | 500 | Tensão e estado das correias, análise | | | | | |
| 09/MO-02 | 500 | Tensão e estado das correias, análise | | | | | |
| Produção - Segurança | | | | | | | |
| E.P.Is. | Semestral | Revisão geral: funcionários, fixos equip. e estoque almox. | | | | | |
| Cintas Poliest. | Semestral | Revisão com relação a possíveis danos | | | | | |
| Gancho (gato) | Semestral | Revisão com relação a possíveis danos | | | | | |

Bibliografia

- FERREIRA, R. **Controle do Processo de Extrusão de Filme Tubular**. CEFETRS - UNED Sapucaia do Sul
- MICHAELI, W. **Plastics Processing: an Introduction**. Hanser, 1995
- RAUWENDAAL, C. **Polymer Extrusion**. Hanser Publisher, 2001
- RAUWENDAAL, C. **Understanding Polymer Extrusion**. Hanser, 1998.
- ROMAN, A. **Transformação de PEBD**. Editora Érica, 2000
- STEVENS, M. J. & COVAS, J. A. **Extruder Principles and Operation**. London: 2 Ed. Chapman & Hall, 1995.
- STRONG, A. B. **Plastics: Materials and Processing**. Prentice Hall, 2000.