



**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
ENGENHARIA MECÂNICA**

PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS

Luis Guilherme Seidel
Thomas dos Santos Muller

Lajeado, setembro de 2015



Luis Guilherme Seidel
Thomas dos Santos Muller

PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS

Trabalho apresentado na disciplina de Tecnologia de Fabricação de Polímeros e Cerâmicos, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário UNIVATES, como parte integrante da primeira nota.

Orientador: Prof. Diego Pereira Tarragó

Lajeado, setembro de 2015

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. Figura 1 - Misturador do tipo Drum tumbler
2. Figura 2 - Misturador do tipo Ribbon-Blender
3. [Figura 3 - Misturador do tipo Henschel](#)
4. Figura 4 - Misturador de cilindros
5. Figura 5 - Esquema de uma extrusora
6. Figura 6 - Injetora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
2. ADITIVAÇÃO DE ELASTÔMEROS E MISTURADORES
 - 2.1 ADITIVOS
 - 2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE ADITIVOS
 - 2.3 MISTURADORES
3. TIPOS DE PROCESSAMENTO
 - 3.1 [EXTRUSÃO](#)
 - 3.2 [INJEÇÃO](#)
4. CONCLUSÃO
5. REFERÊNCIAS

1. INTRODUÇÃO

Os polímeros são grandes moléculas que repetem pequenas unidades químicas ao longo de sua estrutura, sendo os átomos dessas moléculas ligados por ligações covalentes e, as moléculas, por pontes de hidrogênio. Eles podem ser encontrados na natureza, através da extração do látex, ou, também, da celulose. Ainda, existe a forma sintética, pela extração e refinamento do petróleo.

O látex, ou poli-cis-isopreno, é uma dispersão de micropartículas poliméricas em meio aquoso, encontrada na natureza em cor predominantemente esbranquiçada, sendo produzida por plantas como a papoula, o mamoeiro, o caucho e, também, a seringueira. Em sua composição química encontramos 35% de hidrocarbonetos em média, além de açúcares, alcaloides, ceras, amido, taninos e resinas. Seu pH varia de 7,0 a 7,2, mas caso fique exposto ao ar por um período de 12 a 24 horas, seu pH cai para 5,0 e o látex sofre uma coagulação, formando o polímero conhecido como borracha.

Já o petróleo é uma mistura substâncias oleosas, inflamável e menos densa que a água, com cores que podem variar do castanho claro até pretos. Eles são derivados de compostos orgânicos que ao longo do tempo sofreram decomposição, no qual podemos observar a predominância de hidrocarbonetos em sua constituição, que podem ser dos tipos parafinas normais, ramificadas e cíclicas, aromáticos, resinas e asfaltenos, além de conterem enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais.

Do processamento das matérias primas citadas surgem os elastômeros. Eles são polímeros amorfos, com uma estrutura atômica sem ordenação, e apresentam propriedades elásticas, podendo recuperar sua forma e dimensões iniciais após retirarmos a tensão aplicada. Essa propriedade depende de sua temperatura de transição vítrea (T_g), que pode ser definida como acima da qual um polímero se torna dúctil e mole e, abaixo dela se torna duro e quebradiço.

Suas propriedades elásticas são obtidas por meio de processos de reticulação, que ocorrem quando as cadeias poliméricas ramificadas são interligadas por ligações

covalentes, produzindo polímeros com alto peso molecular. Um grande exemplo desse processo é a vulcanização da borracha, utilizada para produzir pneumáticos. Em média, os elastômeros que possuem propriedades elásticas, têm sua T_g em $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, os que a possuem acima da temperatura ambiente, podem ser classificados em termoplásticos e termorrígidos, obtendo aplicações distintas na indústria.

Alguns processos podem ser aplicados aos elastômeros afim de melhorarem suas características físicas, performance, e dos próprios métodos de fabricação. Os principais são a vulcanização com e sem enxofre, a mastigação, a mistura, extrusão, calandragem e moldagem.

A vulcanização é um processo químico de união tridimensional das moléculas da matéria prima em vários pontos ao longo da cadeia, formando uma rede interligada. Para que esse processo seja possível temos de usar agentes de vulcanização, como o enxofre, óxidos metálicos, compostos disfuncionais e peróxidos, além de aceleradores, ativadores, retardadores, para que possamos reproduzir as características desejadas. Com isso podemos produzir pneus, tubos flexíveis, juntas, correias de transmissão

Já a mastigação serve para plastificar o elastômero, ou seja, torna-lo viscoso a fim de permitir a incorporação de diversos aditivos na formulação, na qual o tempo e a temperatura são fatores importantes no processo. E, para que consigamos uma incorporação e dispersão uniforme na distribuição dos aditivos dos elastômeros, podemos fazer o uso do processo de mistura, o qual deve seguir requisitos como o tempo, temperatura e a ordem de incorporação dos aditivos.

A extrusão é um recurso no qual fazemos uma massa de elastômero passar por uma rosca, ou mais roscas dependendo do peso molecular do produto, onde ele será fundido, homogeneizado e forçado a escoar continuamente por uma matriz que dará a pré-forma desejada. Podemos fabricar produtos como vedações, isolamentos, apoiadores, juntas de silicone.

Outro processo de transformação é a calandragem, na qual o polímero granulado e pré-aquecido é colocado entre cilindros quentes e muito polidos, podendo ainda girar em torno de seu eixo. Os cilindros geralmente ficam a uma distância muito pequena um do outro, podendo essa distância ser controlada, para a produção de filmes e laminados.

A injeção, ou moldagem, também pode ser utilizada para dar forma aos elastômeros, na qual fazemos uma massa do elastômero passar por uma rosca que irá aumentar a temperatura e pressão, através do cisalhamento do material, até ela fundir e irá injetá-la em uma matriz, que já tem a forma da peça final.

2. ADITIVAÇÃO DE ELASTÔMEROS E MISTURADORES

2.1. ADITIVOS

Os aditivos ou cargas são materiais que podem ser adicionados aos produtos, e são capazes de alterar suas propriedades, entre elas, o baixo custo, baixa densidade, elasticidade, neutralidade química, atoxidade, resistência mecânica. Para isso elas podem se dividir em grupos, as inertes e as reforçantes. As cargas inertes são aquelas que não melhoram as propriedades, sendo usadas para ganho de volume no material, reduzindo custos e melhorando o processamento, enquanto as reforçantes melhoram o desempenho do material e devem ter algumas características, como:

- Granulometria: as partículas devem ser as menores possíveis, pois o reforço está relacionado com o tamanho da superfície.

- Rugosidade: moléculas rugosas originarão pontos de atrito que irão estabelecer ligações mecânicas entre as moléculas.

- Estrutura: o tipo de estrutura que o aditivo formar poderá alterar a estrutura de modo que ele apresente as propriedades solicitadas.

- Dispersão: caso um aditivo seja facilmente disperso sobre o polímero trabalhado, teremos uma incorporação mais rápida e menor custo de mistura, assim como aumento da produção, porém a dificuldade de incorporação está diretamente ligada ao tamanho da partícula.

- Natureza química: a natureza química do material pode interferir em alguns processos pelo qual o elastômero passará, como por exemplo a cura, na qual, se adicionarmos muita sílica, teremos um efeito retardante, por causa de sua natureza ácida.

2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE ADITIVOS

Para que possamos reforçar um material ou adicionar funções a um produto, devemos aditar o material escolhido. No caso dos elastômeros, podemos usar cargas de reforços como as citadas abaixo:

- Carbonato de cálcio: pode ser obtido pela moagem do produto natural, produzindo carbonatos com granulometria razoável, ou, ainda, por precipitação, que apresenta granulometria muito fina. Os carbonatos entregam uma razoável resistência a tração, uma resiliência superior e pouca perda de elasticidade. Nos vulcanizados, apresentam um desempenho parecido ao negro de fumo quanto a fadiga por flexão, obtendo, ainda, capacidade de absorção de água e excelentes propriedades elétricas.
- Dióxido de titânio: pigmento branco utilizado por possuir grande poder de cobertura, que contribui para aumentar a barreira contra a radiação UV e, também aumenta a impermeabilidade dos filmes EVA. Ainda, pode atuar como ativador e estabilizador de pigmentos, pode, também, comprometer a resistência a abrasão.
- Dióxido de silício: também chamados de sílicas. As sílicas amorfas e higroscópicas, que absorvem água, são utilizadas como reforçadores em elastômeros. Podem, também, serem hidrofóbicas e utilizados em tintas, selantes, toners e adesivos.
- Enxofre: pó fino e amarelo, que constitui o principal agente da vulcanização. Se vulcanizado com o elastômero NR, dependendo do tempo e utilização, aumentam o número de interligações entre a NR e o enxofre, aumentando a dureza.
- Negro de fumo: são matérias constituídos pelo carbono elementar sob a forma de partículas esféricas, juntas em agregados. É produzido através da queima controlada de aromáticos em fornos especiais sob altas temperaturas, num processo chamado de fomalha.

- ❑ Talco: é um silicato de magnésio hidratado, em forma de pó branco e macio, apresentando as mesmas características dos carbonatos, porém com maior resistência aos ácidos, resistência dielétrica e melhor acabamento. Por possuir uma estrutura lamelar é indicado a aplicação em materiais extrudados, porém, também podem ser aplicados em artefatos vulcanizados, ebonites e silicones.

Podemos, ainda, fazer o uso dos extensores:

- ❑ Plastificantes: melhoram a flexibilidade, ductilidade e tenacidade, porém diminuem a rigidez e a dureza.
- ❑ Espumantes: utilizados para produzir polímeros expandidos ou espumas.
- ❑ Corantes: pigmentos adicionados para produzir cores.
- ❑ Agentes de reticulação: interligação de cadeias poliméricas.
- ❑ Antioxidantes: protegem contra a oxidação atmosférica.
- ❑ Antiozonantes: trabalham junto com os antioxidantes, porém prevenindo as ligações duplas de ataques do ozônio.
- ❑ Estabilizantes térmicos: previnem a deterioração do polímero em elevadas temperaturas.
- ❑ Retardantes de chamas: interferem no processo de combustão.
- ❑ Lubrificantes: usados para passar a massa polimérica pelo equipamento que irá processá-lo.

2.3 MISTURADORES

Para que os aditivos e cargas sejam agregados ao material, existe maquinário específico para realizar essa função, cada um com sua particularidade:

- ❑ Drum tumbler: basicamente se usam um ou mais tambores apoiados em rolos de rotação, onde os materiais junto do aditivo irão se misturar, pode ser efetivo caso não haja muito rigor, porém é um processo lento.



Figura 1 - Misturador do tipo Drum tumbler

- Ribbon-Blender: a mistura acontece num cilindro que está estático, porém lâminas helicoidais giram e combinam os materiais,



Figura 2 - Misturador do tipo Ribbon-Blender

- Henschel mixer: lâminas muito velozes giram em um recipiente de paredes circulares, formando vórtices com o material jogado dentro.

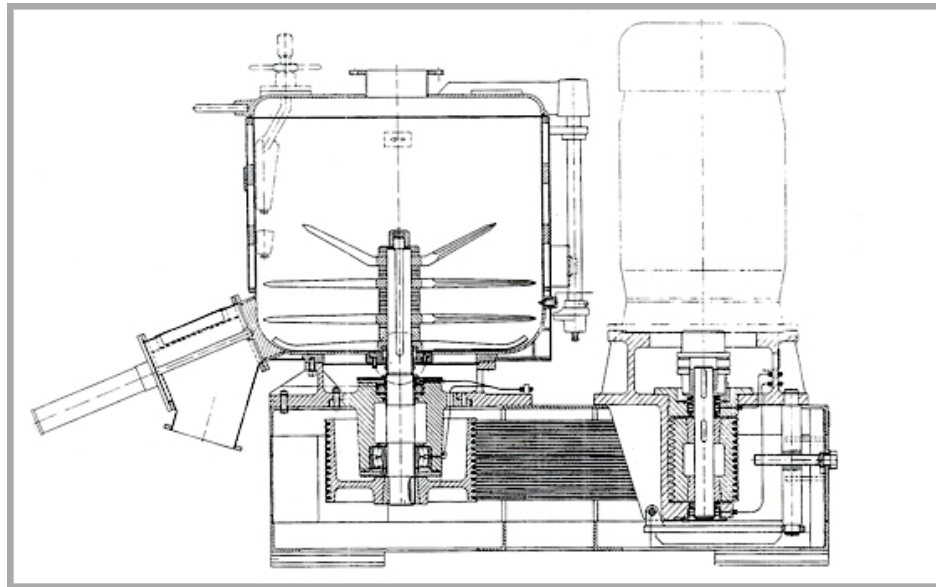


Figura 3 - Misturador do tipo Henschel

- ❑ Dough moulding compound: duas lâminas em forma de Z giram em sentido contrário, adicionando cargas sólidas em bases líquidas. Esse misturador é mais utilizado para misturas pastosas.
- ❑ Paddle mixer: misturadores similares aos usados na cozinha, mais utilizados em materiais de baixa densidade.
- ❑ Cowless dissolver: uma lâmina é mergulhada na mistura de baixa densidade e a agita, sem provocar grandes cisalhamentos no material.
- ❑ Misturador de cilindros: dois cilindros rolam em direções opostas na mesma velocidade, porém tem uma abertura controlada que mantém a massa de polímero acima dos rolos.



Figura 4 - Misturador de cilindros

3. TIPOS DE PROCESSAMENTO

3.1 EXTRUSÃO

A extrusão é um processo usado para a fabricação de perfis plásticos, metais, cerâmicos e até alimentos continuamente. No caso dos elastômeros, somente os termoplásticos podem passar por esse processo.

O princípio de funcionamento baseia-se em uma ou mais roscas do tipo arquimedianas, divididas em seções que podem variar o volume, que estão inseridas num cilindro com um espaço que apenas permite o giro. A força motriz que promove o giro da rosca provém de um motor, que pode estar ligado a redutores para controlar a velocidade do giro da rosca e velocidade de produção. O material primeiramente é inserido no canal de alimentação da extrusora que, com o giro, começa a transportar a massa polimérica em seu interior e, a partir desse momento, a massa começa a ser aquecida devido a resistências externas que estão ligadas ao cilindro e, também, por causa das forças de cisalhamento que ocorrem entre as cadeias poliméricas.

Na parte da dosagem, há um aumento da pressão com a uniformização do fluxo do polímero devido a variações de volume nas roscas, que compressionam ainda mais o material. E chegando a última parte, a de trabalho, onde a mistura já homogeneizada pelas forças de cisalhamento passam por um filtro, chamado de Screen Pack que impede impurezas ou grânulos de passarem e, após isso, vão para uma matriz aberta que dará a forma do perfil final do produto.

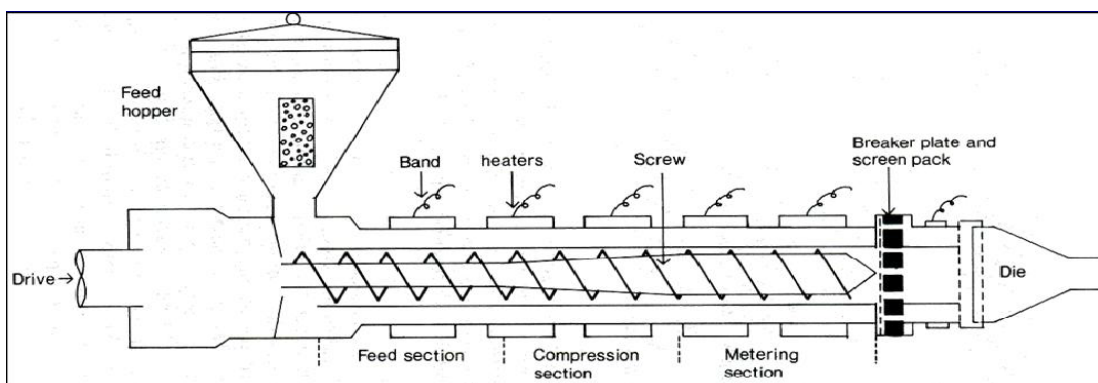


Figura 5 - Esquema de uma extrusora

Após sair da matriz, o produto pode passar por um processo de resfriamento em água ou ar, para que mantenha seu perfil final e não cause deformações. Ou, ainda, no caso de filmes tubulares, que produzem sacos plásticos de supermercados, na saída da matriz, é injetado grandes quantidades de ar que expandem o filme e formam uma bolha, que vai sendo puxada por uma bobina onde fica enrolada.

Ainda, no processo de extrusão, é possível que combinemos mais de uma extrusora para poder formar novos produtos, como por exemplo, embalagens de cereais matinais, nos quais filmes do polímero, com diferentes funções, como maior vedação, são ligados por um material ligante, formando um sanduíche. Podemos, também, fabricar com a extrusão mangueiras e revestimentos de fios, lâminas, tubos,

3.2 INJEÇÃO

O processo de injeção é descontínuo, pois uma vez que injeta o material no molde, deve esperar até que ele solidifique e seja extraído para novamente poder injetar mais material e fabricar mais peças, contudo é capaz de produzir peças complexas já com o formato final sem precisar retirar rebarbas, realizar pinturas ou outros tipos de tratamento superficiais.

Para que se dê o processo de injeção, a injetora é alimentada com o polímero em forma de pellets ou grãos que são amolecidos ou fundidos, dependendo do material, em uma câmara cilíndrica. Um embolo de parafuso hidráulico com a capacidade de mover-se na horizontal e girar, aplica altas pressões sobre o polímero, forçando-o para dentro de uma matriz que já contém o molde final da peça a ser produzida, e, dentro do qual, será solidificado. Ao término da injeção, quando o material já foi parcialmente resfriado dentro do molde, a rosca volta ao seu estado inicial, baixando a pressão.

Entretanto, a qualidade dos produtos finalizados, está diretamente ligada ao molde ao qual está sendo injetado o polímero, pois nenhum outro artifício de controle da máquina será capaz de corrigir ou melhorar os produtos com um molde mal desenhado. Dentre outras coisas que interferem na qualidade dos produtos, estão o

número de cavidades do molde, o peso do material, a abertura, a alimentação, o resfriamento, o aquecimento e, também, a contração sofrida pelo plástico.

Explorando os moldes de injeção, podemos notar e descrever algumas similaridades entre si, como:

- ☐ Cavidade: contém a geometria da peça, sobredimensionada, para permitir as contrações do polímero.
- ☐ Canal de alimentação: conduz a massa polimérica do bico da injetora até a cavidade do molde.
- ☐ Canal de distribuição: dependendo do molde, podemos ter mais de um canal de distribuição que irá dividir o fluxo da massa polimérica em vários canais, com vista a aumentar a velocidade do processo, porém, caso mal projetado, pode formar mais rebarbas no material.
- ☐ Ataques: diminuem o escoamento do polímero para a cavidade, aumentando o cisalhamento, porém diminuindo a viscosidade.
- ☐ Ejeção: a ejeção das peças da cavidade se dá por meio de pinos de ejeção.
- ☐ Arrefecimento: é um sistema de canais que atuam dentro do molde, resfriando o polímero com água.
- ☐ Saída de ar: escapes que comunicam a cavidade como meio externo, permitindo a saída do ar do meio interno, evitando a formação de bolhas no material. A quantidade adequada de saídas de ar está ligada com a qualidade final do produto assim como o tempo em que ele permanecerá dentro do molde até resfriar.

Por meio da injeção, podemos fabricar os mais diversos produtos, como painéis para carros, insumos como baldes, embalagens, frascos, potes, estojos, etc.



Figura 6 - Injetora

4. CONCLUSÃO

Examinando o conteúdo apresentado nesse trabalho, espera-se chegar a um entendimento mais completo sobre os processos de fabricação de elastômeros, desde sua aditivação e o maquinário que é capaz de realiza-lo, até os meios pelos quais os produtos finais são feitos. Logo, com base nas pesquisas realizadas, aprendemos mais profundamente sobre os processos e qual o efeito dos aditivos sobre os elastômeros.

5. REFERÊNCIAS

Wikipédia, **Elastômero**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Elast%C3%B4mero>. Acesso em: 07/09/2015.

Wikipédia, **Reticulação**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Reticula%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 07/09/2015.

Wikipédia, **Látex**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1tex>>. Acesso em: 07/09/2015.

UEZO, **PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS**. Disponível em: <http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/Renato%20Ferreira%20Clavelario.pdf>. Acesso em: 07/09/2015.

UFVJM, **BORRACHAS E ELASTÔMEROS**. Disponível em: <http://www.ufvjm.edu.br/disciplinas/ctt211/files/2011/10/Borrachas-e-Elast%C3%B4meros.pdf>>. Acesso em: 07/09/2015.

UNIVATES, **TECNOLOGIA E FABRICAÇÃO DE POLÍMEROS**. Disponível em: http://www.univates.br/virtual/file.php/16594/TFPC_-_Aula_02_2015.pdf>. Acesso em: 07/09/2015.

UNIVATES, **TECNOLOGIA E FABRICAÇÃO DE POLÍMEROS**. Disponível em: http://www.univates.br/virtual/file.php/16594/TFPC_-_Aula_03_2015.pdf. Acesso em: 07/09/2015.

Rubberpédia, **BORRACHAS**. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borrachas.php>. Acesso em: 07/09/2015.

CYA, **BORRACHA E SEUS ADITIVOS**. Disponível em: <http://www.cya.com.br/docs/borracha-e-seus-aditivos.pdf>. Acesso em: 07/09/2015.

UFRGS, **PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS**. Disponível em: http://www.ufrgs.br/lapol/processamento/l_31.html. Acesso em: 10/09/2015.