

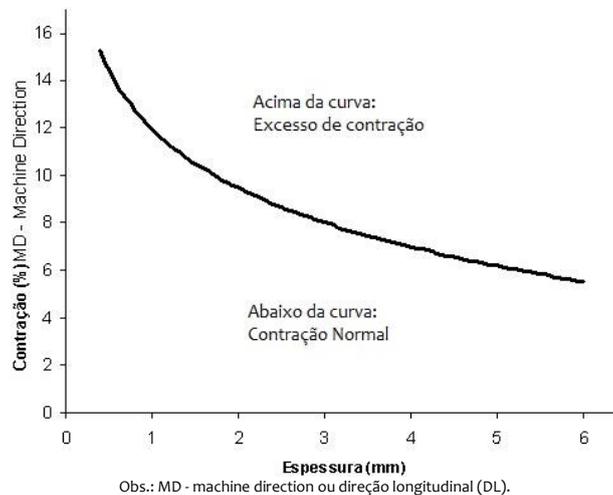
PS - Processo de extrusão de laminados - Tensão Molecular

Orientação molecular significa alinhar as moléculas em uma direção determinada ou em um plano determinado, ao invés de permitir que elas fiquem aleatoriamente posicionadas.

No processo de extrusão de laminados com PS cristal/alto impacto, predomina naturalmente a orientação no sentido longitudinal. 1

Entretanto, na orientação molecular também pode ocorrer excesso de tensão molecular, que provoca redução das propriedades mecânicas (maior fragilidade) e aumenta a contração do laminado durante o processo de termoformagem e assim pode afetar a qualidade do produto final.

Uma forma prática de avaliar o grau de tensão molecular dos laminados é através do percentual de contração, o qual aumenta de acordo com a redução da espessura, conforme gráfico abaixo.



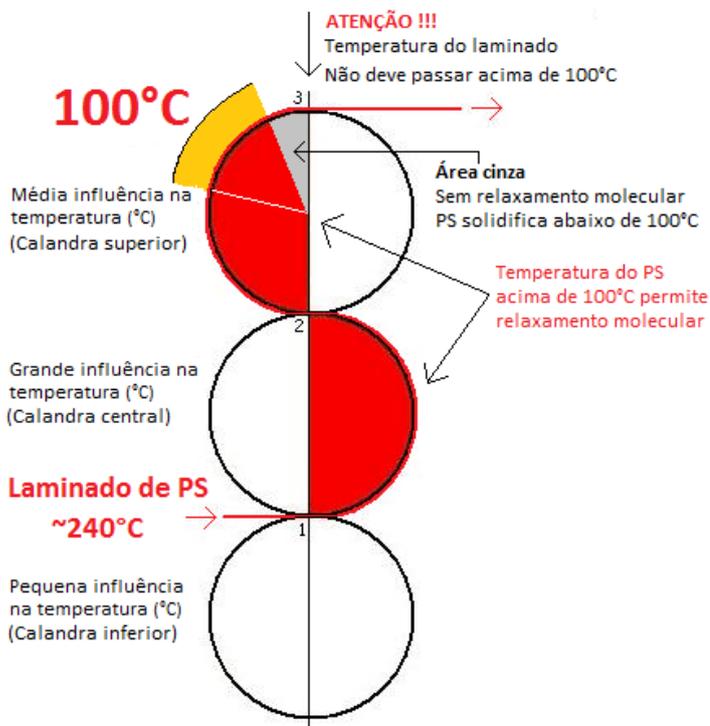
Por exemplo, considerando que o laminado produzido com 3 mm apresente contração de 12%, podemos afirmar que a tensão está elevada, pois de acordo com o gráfico a contração máxima para essa espessura é de 8%.

É aconselhável realizar análises regulares para verificar se o grau de contração dos laminados está dentro dos limites ideais. Caso contrário verifique se os parâmetros de extrusão estão de acordo com as práticas recomendadas abaixo.

Extrusão - Boas práticas

- Ajustar a abertura da matriz entre 5 a 10% a mais do que a espessura desejada para o laminado;
- Ajustar os controladores de temperatura para obter a maior homogeneidade de temperatura do LAMINADO no sentido transversal junto à matriz – usar termômetro infravermelho (IR);
- Com o termômetro (IR) ajustar também as temperaturas das calandras para que o LAMINADO atinja entre 90°C e 100°C na região indicada no desenho das calandras (próxima página);
- Não utilizar cordão junto à calandra;
- A calandra de saída deve estar em contato com o laminado;
- Reduzir ao máximo a distância entre a matriz e a calandra;
- Para laminados finos pode-se aumentar a temperatura da matriz entre 10°C e 20°C;
- Reduzir a velocidade do puxador (no caso de excesso) para obter a menor tensão do laminado;
- Verificar se há diferenças de velocidades no caso de calandras independentes.

Calandras



Na configuração ao lado, a saída do laminado é por cima (up-stack), mas o princípio é análogo para saída por baixo (down-stack).

2

Por exemplo, no modo up-stack, a temperatura do cilindro inferior tem pouca influência no laminado devido ao único ponto de contato, entretanto, o cilindro do centro e o superior tem grande influência, pois a metade da circunferência de cada um está em contato com o laminado.

As maiores incidências de excesso de tensão molecular em laminados ocorrem na extrusão de laminados com baixas espessuras, ou seja, com menor massa, o laminado troca calor com o cilindro de forma muito rápida e não há tempo suficiente para promover o relaxamento molecular.

Caso não ocorra esse relaxamento na calandra, certamente ele irá ocorrer no momento da termoformagem, gerando muitos problemas, lembrando que o PS solidifica abaixo de 100°C e nessa condição o relaxamento é praticamente nulo.

Efeito das temperaturas no processamento do PS cristal/alto impacto:

- Estado sólido: abaixo de 100°C
- Amolecimento: entre 100°C e 150°C
- Processamento: a partir de 150°C

Práticas NÃO IDEAIS, que devem ser evitadas durante o processamento:

- **Abertura da matriz ACIMA da relação de 5 a 10% maior que a espessura do laminado:**
É prática comum, mas incorreta aproveitar a mesma abertura de matriz para produzir diferentes espessuras de laminados, alguns efeitos negativos poderão ser observados na termoformagem como a elevada variação de peso e fragilidade dos produtos termoformados.
- **Produtividades acima da capacidade da extrusora:**
O uso de água gelada para aumentar a eficiência de refrigeração nas calandras em geral solidifica prematuramente o PS promove tensões moleculares excessivas no laminado.
- **Cordão (acúmulo desigual de PS entre as calandras após sua saída da matriz):**
O uso de cordão eleva muito a tensão molecular e por esse motivo deve ser evitado.
- **Distância excessiva entre matriz e calandras:**
O laminado ao sair da matriz sofre a ação da gravidade que promove grande estiramento molecular. O ideal é reduzir ao máximo a distância entre calandra e matriz para minimizar esse efeito.

Recomendações Gerais

A prática de uma ou mais das situações citadas acima, pode permitir que o laminado solidifique entre o ponto 1 e o ponto 2, o que tornaria inoperante a região entre o ponto 2 e o ponto 3 em termos de relaxamento molecular.

Com o auxílio do termômetro (IR), medir a temperatura do laminado imediatamente antes do ponto 3, a qual deverá estar abaixo de 100°C mas o mais próximo possível desse valor. Com isso será possível aproveitar praticamente toda a área entre o ponto 1 e o ponto 3 tirando o máximo de proveito das calandras para promover o maior tempo de relaxamento molecular antes da solidificação do PS. Quanto mais o laminado relaxar na calandra, menos ele irá contrair na termoformagem e melhores serão as propriedades mecânicas do produto final conferidas pela redução das tensões.

Para laminados finos, geralmente é necessário elevar a temperatura das calandras, tomando cuidado com o fato de que quanto mais fina, maior será sua velocidade em m/min, o que pode fazer com que o ponto de solidificação ultrapasse o ponto 3 e ocorra nova orientação molecular, agora pelo estiramento entre a calandra e o puxador.

Sempre confirmar a temperatura do LAMINADO com o auxílio do termômetro (IR) e no caso do aumento da temperatura das calandras for insuficiente para atingir a temperatura ideal do laminado próximo ao ponto 3, poderá ser necessário aumentar a temperatura de massa da extrusora.

Método de contração

Para verificar o grau de tensão molecular do laminado causado pelo processo de extrusão, sugerimos utilizar o método de contração descrito abaixo.

1. Setar a estufa em 135°C, e aguardar 30 minutos antes de iniciar o ensaio.
2. Cortar uma tira transversal do laminado e retirar três amostras com ~10cm x 10cm, uma do centro e as outras das extremidades.
3. Identificar as amostras como lado direito (D), centro (C) e esquerdo (E) do laminado.
4. Traçar uma linha dividindo ao meio a amostra no sentido L e T e anotar suas medidas, identificando o sentido longitudinal (L) e transversal (T) de extrusão.
5. Verificar a espessura das amostras.
6. Colocar as amostras entre dois pedaços de cartolina/papelão.

Obs.: Cobrir com talco em excesso os dois lados da cartolina/papelão que entrarão em contato com as faces da amostra.

7. Colocar as amostras na estufa, onde o tempo de permanência irá variar de acordo com a espessura do laminado, conforme a tabela abaixo:

| Espessura (mm) | Tempo (min) |
|----------------|-------------|
| 1 | 20 |
| 2 | 20 |
| 3 | 30 |
| 4 | 40 |
| 5 | 50 |

Obs.: A relação existente entre espessura e tempo continua a mesma para espessuras maiores.

8. Retirar as amostras da estufa e deixar resfriar por aproximadamente 15 minutos.
9. Medir o comprimento final das amostras em L e T.
10. Expressar os resultados da seguinte forma:

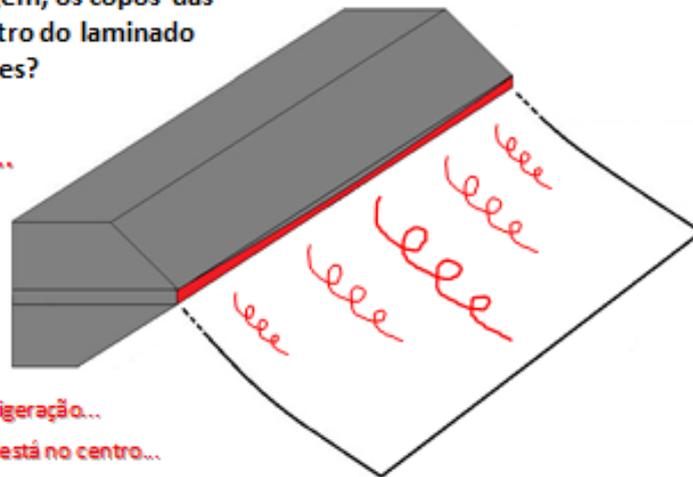
% de contração DL: $(\text{comprimento inicial L} - \text{comprimento final L}) \times 100 / \text{comp. Inicial L}$.

% de contração DT: $(\text{comprimento inicial T} - \text{comprimento final T}) \times 100 / \text{comp. Inicial T}$.

Matriz (>90% dos casos)

Na termoformagem, os copos das laterais e do centro do laminado serão equivalentes?

NÃO...

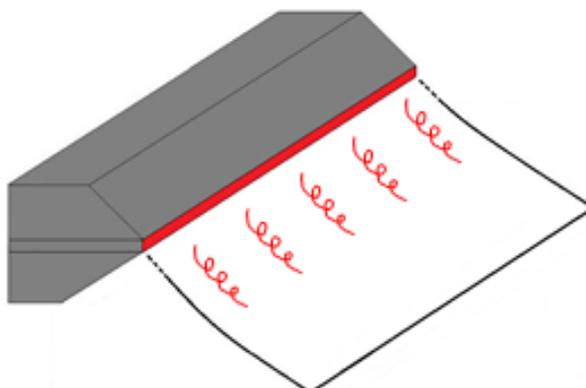


- Matriz não tem refrigeração...
- Maior temperatura está no centro...
- Maior fluidez no centro...
- Onde será a maior espessura? Correção da abertura da matriz em função da espessura...
- A abertura da matriz não segue a regra dos 10% (alguém verifica com o calibrador de lâminas?)
- A abertura da matriz não é igual / homogênea... (alguém vê a abertura da matriz?)
- A tensão molecular não é visível e nem homogênea... (alguém mede o nível de tensão do laminado?)

38

Matriz (<10% dos casos)

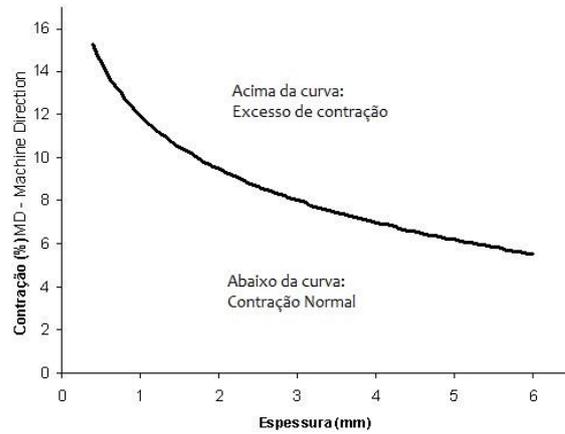
- Matriz não tem refrigeração (não muda)...
- Solução: aumentar a temperatura das outras zonas da matriz (centro como referência)...
- Com a mesma temperatura a fluidez também será a mesma em toda a matriz... (efeito físico...)
- Correção da abertura da matriz em função da espessura (não muda)...
- A abertura da matriz segue a regra dos 10%...
- A abertura da matriz não é visível (não muda)...
- A tensão molecular não é visível, mas nesse caso, é homogênea (se você medir, irá comprovar...)



Na termoformagem, os copos das laterais e do centro do laminado serão equivalentes?

SIM...

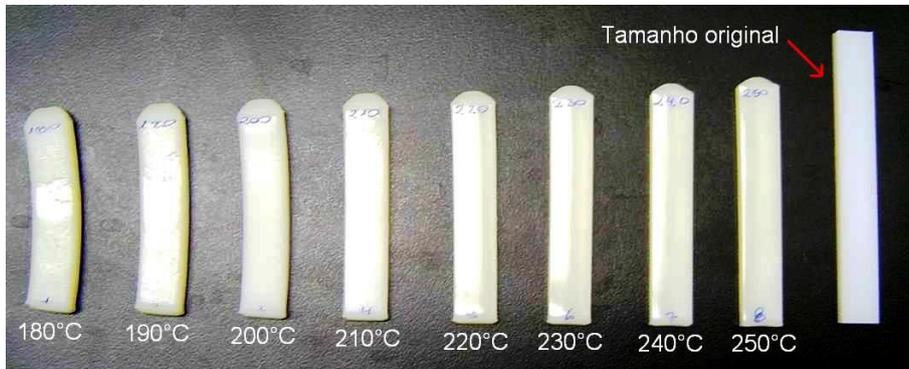
39



Extrusão: Gráfico de contração de laminados



Extrusão: teste de contração em laminados



Injeção: teste de contração em peças injetadas



Figura extraída do artigo LITERATURA TÉCNICA: Contração e Empenamento de Poliolefinas – IPQ.