

Estudo Sobre Variações De Temperatura Em Produção De Peças Rotomoldadas

Por José Marques Lopes

RESUMO

Este estudo descreve as variações de temperatura que ocorrem na transformação de polímeros pelo processo de rotomoldagem em peças de diferentes espessuras.

Iremos analisar os diferentes níveis de temperaturas existentes nas superfícies externa, interna e do ar dentro do molde metálico que está exposto ao calor de um forno.

O experimento consiste em um molde de chapa de alumínio introduzido em um forno elétrico de laboratório com o sistema de termometria sem fio ROTOMAXI e vários sensores de temperatura.

INTRODUÇÃO

Rotomoldagem é um processo de transformação de polímeros, geralmente de peças de médio e grande porte que oferece um grande número de vantagens comparada a outros métodos de produção.

Utilizando moldes metálicos de chapa de aço ou alumínio que são introduzidos em fornos com alta temperatura, é de extrema importância o conhecimento básico da termodinâmica entre os componentes do sistema e como a energia (neste artigo consideramos que denominaremos calor como “energia”) se irradia por todo ele.

Peças mal processadas que apresentaram deficiência na administração desta energia, quer por excesso ou por falta da mesma, terão sua cadeia polimérica comprometida, podendo apresentar sérios problemas de resistência ao impacto ou intemperismo.

A energia necessária a transformação do polímero é feita pela introdução de um molde de aço ou alumínio em um forno e após sua retirada do mesmo, exposta a ventilação forçada. Por este motivo a superfície externa do mesmo apresenta uma temperatura mais alta que a interna no ciclo aquecer, e condição invertida no ciclo resfriar.

Estas temperaturas são afetadas por uma grande quantidade de variáveis, entre elas;

- Temperatura do forno
- Tipo de metal utilizado no molde
- Espessura do molde
- Espessura da peça plástica

Devido à dificuldade de rotomoldadores em realizar testes para análise, criamos este estudo para verificar como a variável de espessura da peça plástica afeta estas temperaturas, e os dados obtidos poderão ser utilizados como auxiliares ou guias em produções de peças rotomoldadas.

MATERIAL E MÉTODOS DO EXPERIMENTO

MATÉRIA-PRIMA

Utilizamos o Polietileno Linear De Baixa Densidade ML3602U, da fabricante BRASKEM, pigmentado na cor amarela.

EQUIPAMENTO

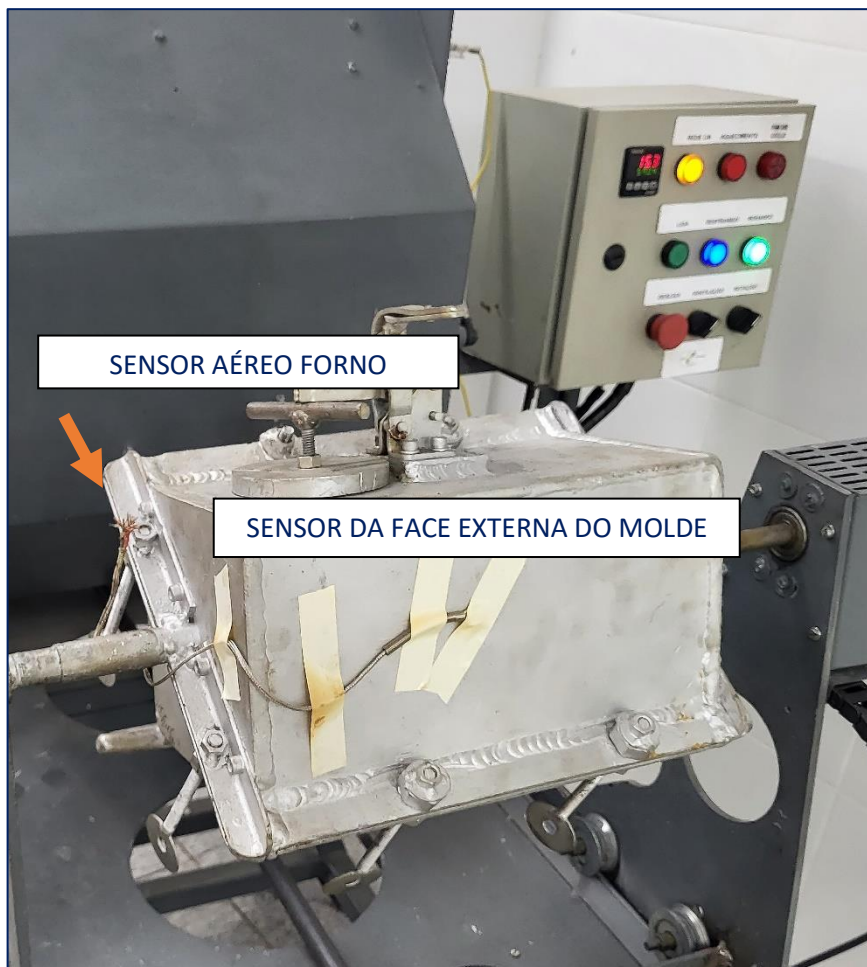
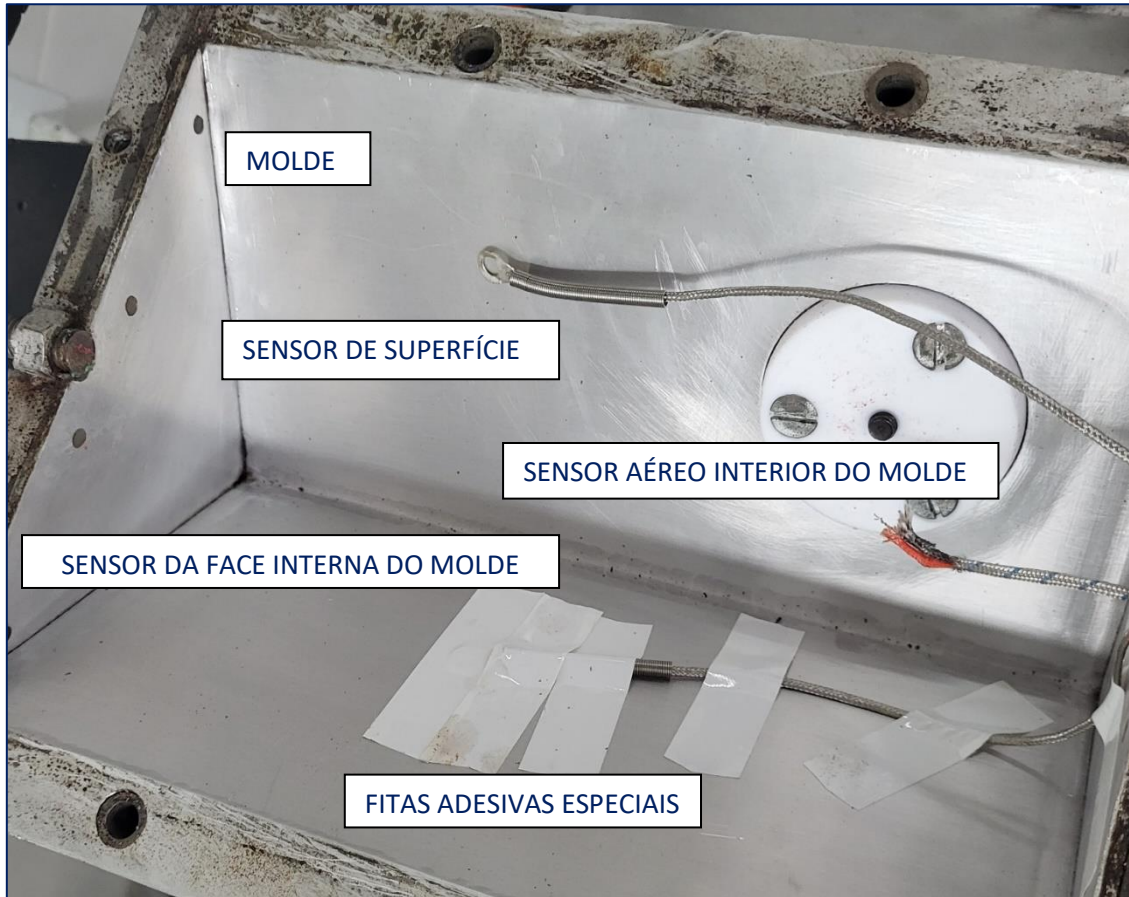
- Máquina de rotomoldagem para laboratório RT500 (www.rotomaxi.com.br)
- Sistema de termometria sem fio ROTOMAXI(www.rotomaxi.com.br)
- Termopares de superfície e aéreo tipo K, como sensores de temperatura



MÁQUINA DE LABORATÓRIO RT500



SISTEMA DE TERMOMETRIA SEM FIO ROTOMAXI



METODOLOGIA

- Os testes foram executados em ambiente controlado com a mesma temperatura externa e utilizando-se o mesmo equipamento e parâmetros.

- Em um molde de chapa de alumínio retangular com 6mm de espessura com medidas de 290x145x145mm, foram anexados termopares do tipo K com sensores para medida de superfície e aérea, através de fitas adesivas especiais para alta temperatura e com alto índice de transmissão térmica.

Estes termopares foram assim dispostos:

- 01 sensor aéreo para medida interna do forno
- 01 sensor de superfície anexado a parede externa do molde
- 01 sensor de superfície anexado a parede interna do molde
- 01 sensor aéreo no interior do molde

A temperatura ajustada do forno elétrico foi de 290°C com uma rotação de 5RPM (está maquina só tem um eixo de rotação).

Os resultados foram recolhidos por WI-FI em tempo real em um notebook através do software ROTOMAXI.

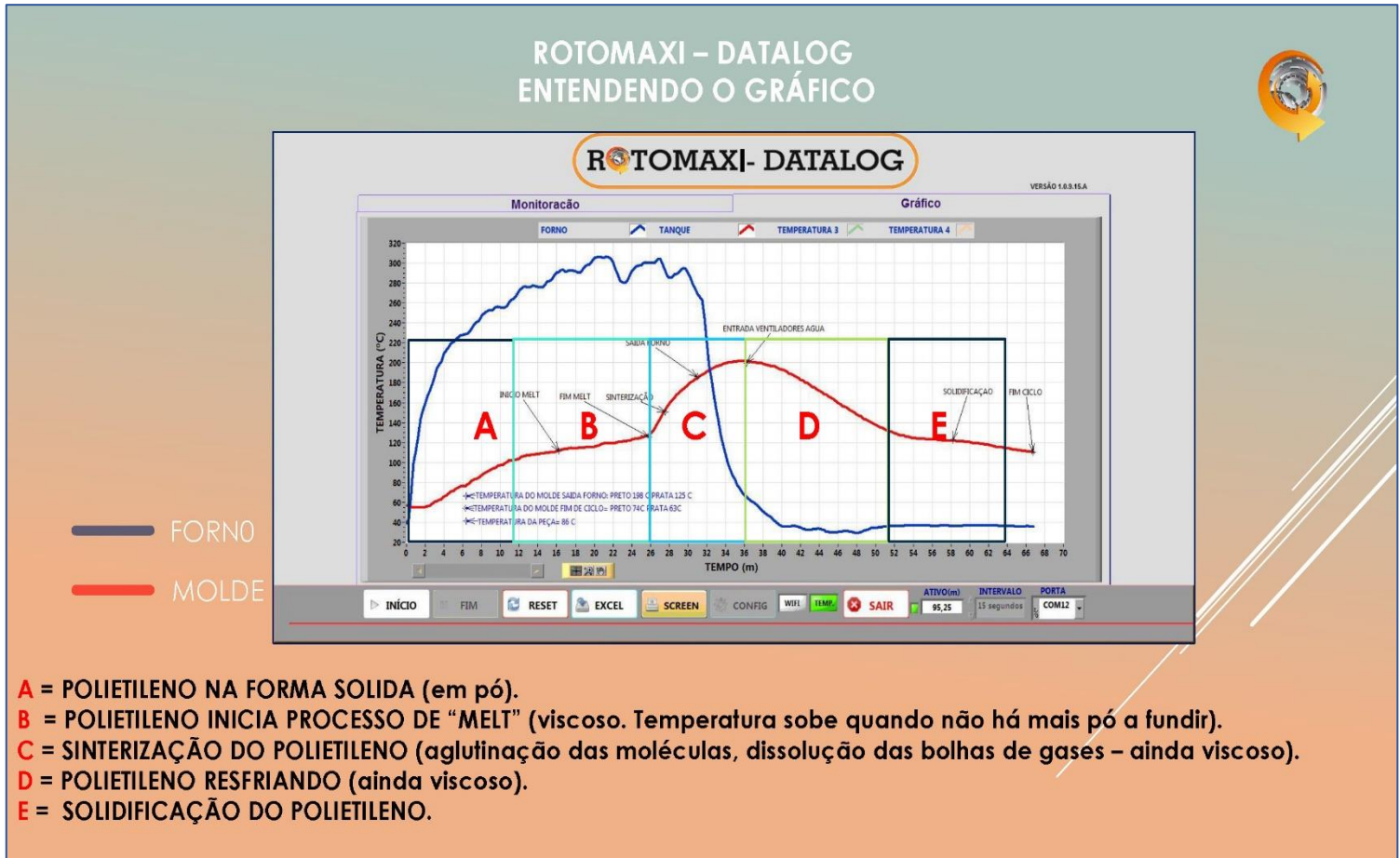
OBS.: Equilíbrio térmico é a tendência que os corpos têm de trocar energia térmica entre si até que suas temperaturas se igualem, portanto, o termopar na parede interna do molde terá a mesma temperatura que a face externa da peça plástica, e o termopar aéreo de dentro do molde a mesma temperatura que a face interna desta peça.



MOLDE COM PE BRASKEM ML3602U

RESULTADOS E ANÁLISES

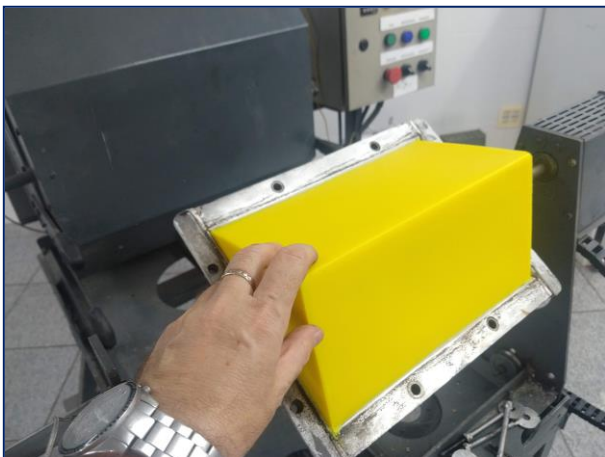
Para melhor análise dos resultados, o gráfico-exemplo abaixo mostra um perfil térmico típico em um processo de rotomoldagem. O forno é a linha azul e o interior do molde a linha vermelha.



TESTE Nº 1

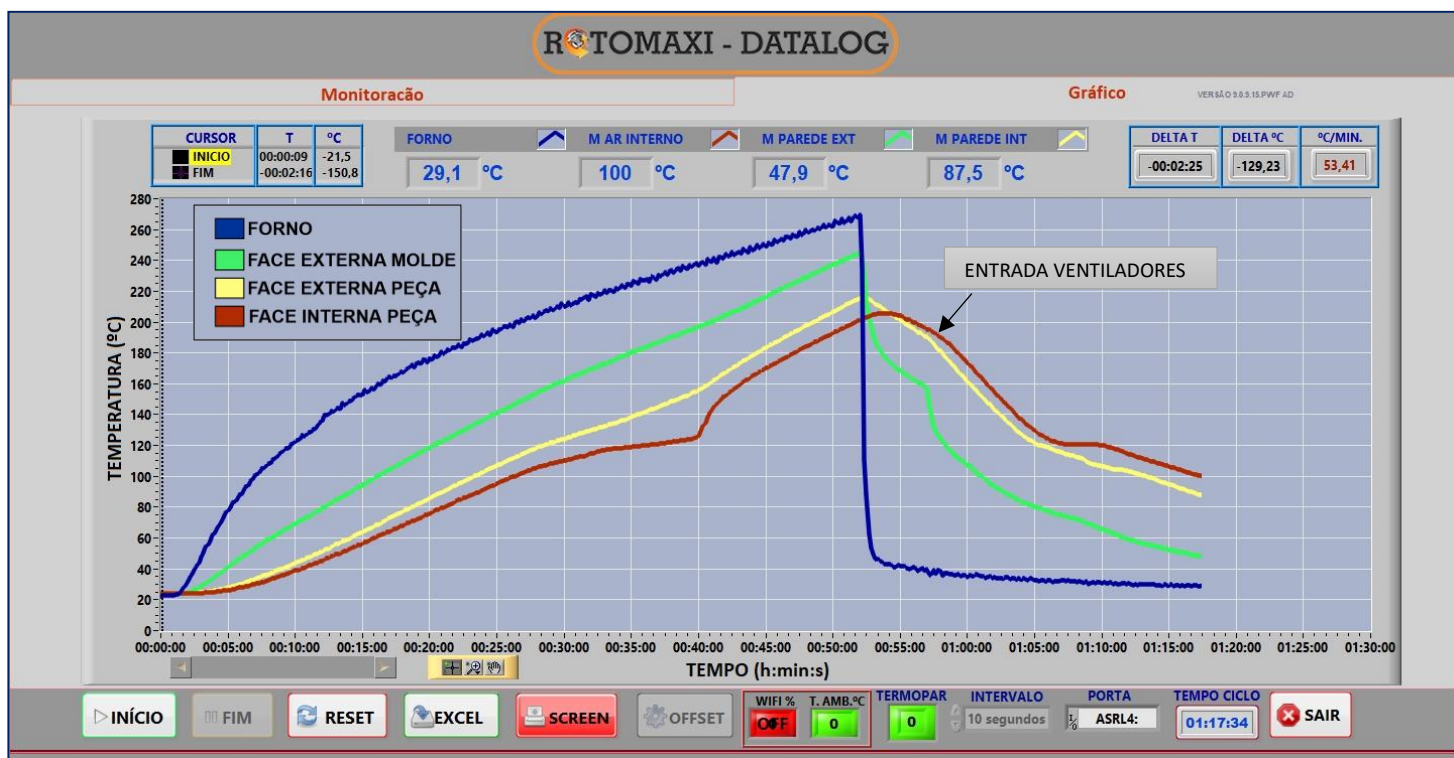
PEÇA PLÁSTICA COM 7MM DE ESPESSURA

Produção de uma peça com 850 gramas de Polietileno, obtendo-se uma peça final com a média de 7mm de espessura e o Gráfico 1.



Peça com média de 7mm de espessura

GRÁFICO 1:



Temperaturas de fim do ciclo de forno

TEMPO	FORNO	FACE INTERNA PEÇA	PAREDE EXTERNA MOLDE	FACE EXTERNA PEÇA
00:52:00	269,7	201,2	244,7	215,4

Temperaturas de fim do ciclo

TEMPO	FORNO	FACE INTERNA PEÇA	PAREDE EXTERNA MOLDE	FACE EXTERNA PEÇA
01:17:30	29,1	100	47,9	87,5

ANÁLISE

Por ser um forno elétrico de baixa potência, nota-se que a entrega de energia ao sistema é lenta e gradual, mas muito bem concentrada e dirigida. Portanto, em uma máquina convencional de rotomoldagem as diferenças entre as temperaturas poderão ser um pouco mais acentuadas devido a maior potência do queimador, mas acreditamos que os resultados serão muito similares, pois a perda de energia para o meio ambiente também é grande, não sendo, às vezes, tão efetiva como em nossa máquina de teste.

No fim de ciclo do forno, a diferença entre os lados externo/interno do molde é de 29,3°C (em torno de 14%). A diferença principal a ser analisada está em relação a parede interna do molde, que seria a temperatura da face externa da peça em relação ao ar interno que seria a temperatura da face interna da peça. Esta diferença foi de 14,2°C (em torno de 7%).

Encontramos também um aumento de temperatura praticamente linear na temperatura externa do molde; e nos demais plots (linhas) todos os dados são consistentes com as leis da termodinâmica envolvidas no processo de um produto rotomoldado em polietileno.

As variações nos plotes, de subidas as vezes lentas, as vezes rápida e platôs aonde a temperatura se estabiliza, são relativas aos estados físicos do polietileno durante o processo.

As linhas mostram o momento em que o polietileno na forma de pó começa a ficar pastoso e aderir na parede do molde, depois a sua fundição total, o seu pico ideal de temperatura para uma correta sinterização e quase ao final, sua mudança do estado pastoso para o solido novamente.

TESTE Nº 2

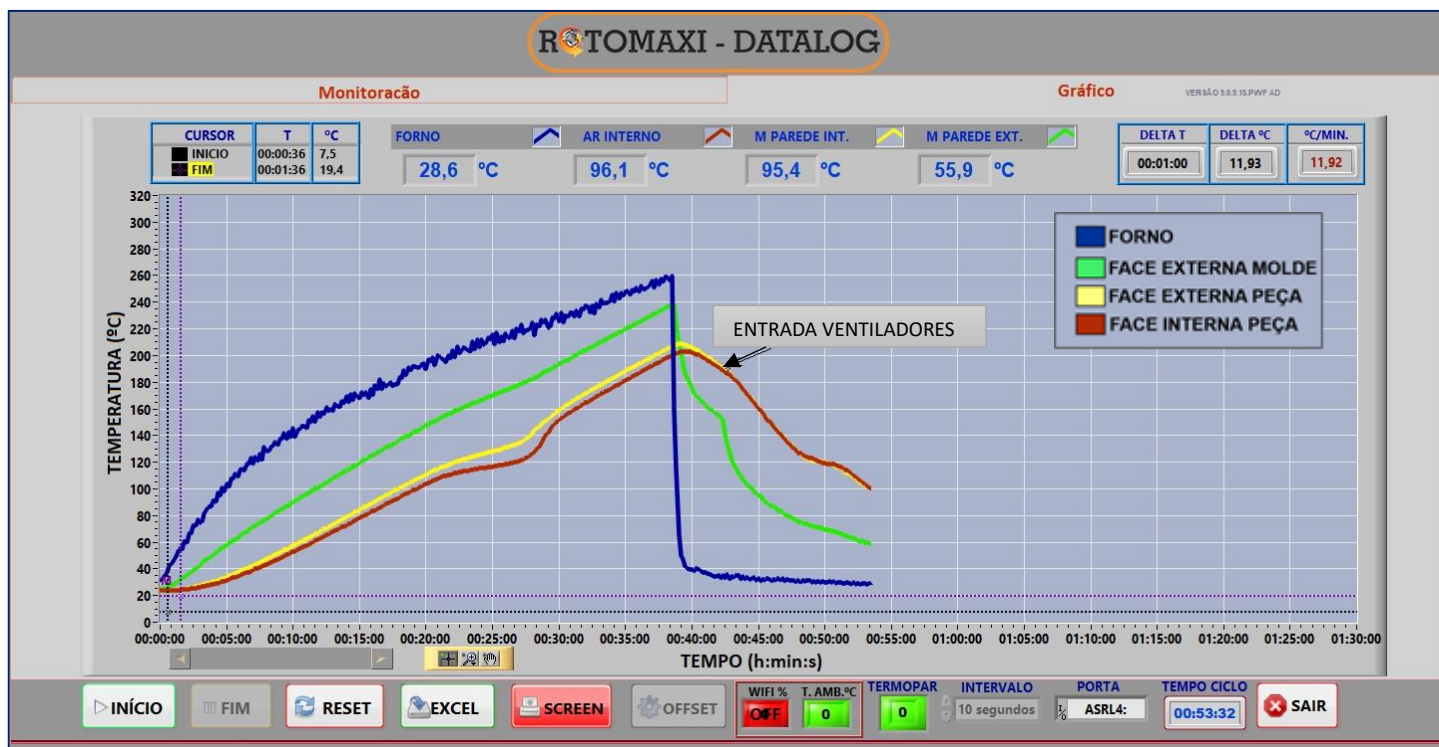
PEÇA PLÁSTICA COM 3MM DE ESPESSURA

Produção de uma peça com 400 gramas de Polietileno, obtendo-se uma peça final com a média de 3mm de espessura e o Gráfico 2



Peça com média de 3mm de espessura

GRÁFICO 2



Temperaturas de fim do ciclo de forno

TEMPO	FORNO	FACE INTERNA PEÇA	PAREDE EXTERNA MOLDE	FACE EXTERNA PEÇA
00:38:30	259,8	200,2	237,6	207,1

Temperaturas de fim do ciclo

TEMPO	FORNO	FACE INTERNA PEÇA	PAREDE EXTERNA MOLDE	FACE EXTERNA PEÇA
00:53:30	27,8	100,1	58,5	99,6

ANÁLISE

A diferenças de temperatura encontradas na peça plástica entre a face exterior e interior foram reduzidas de forma drástica.

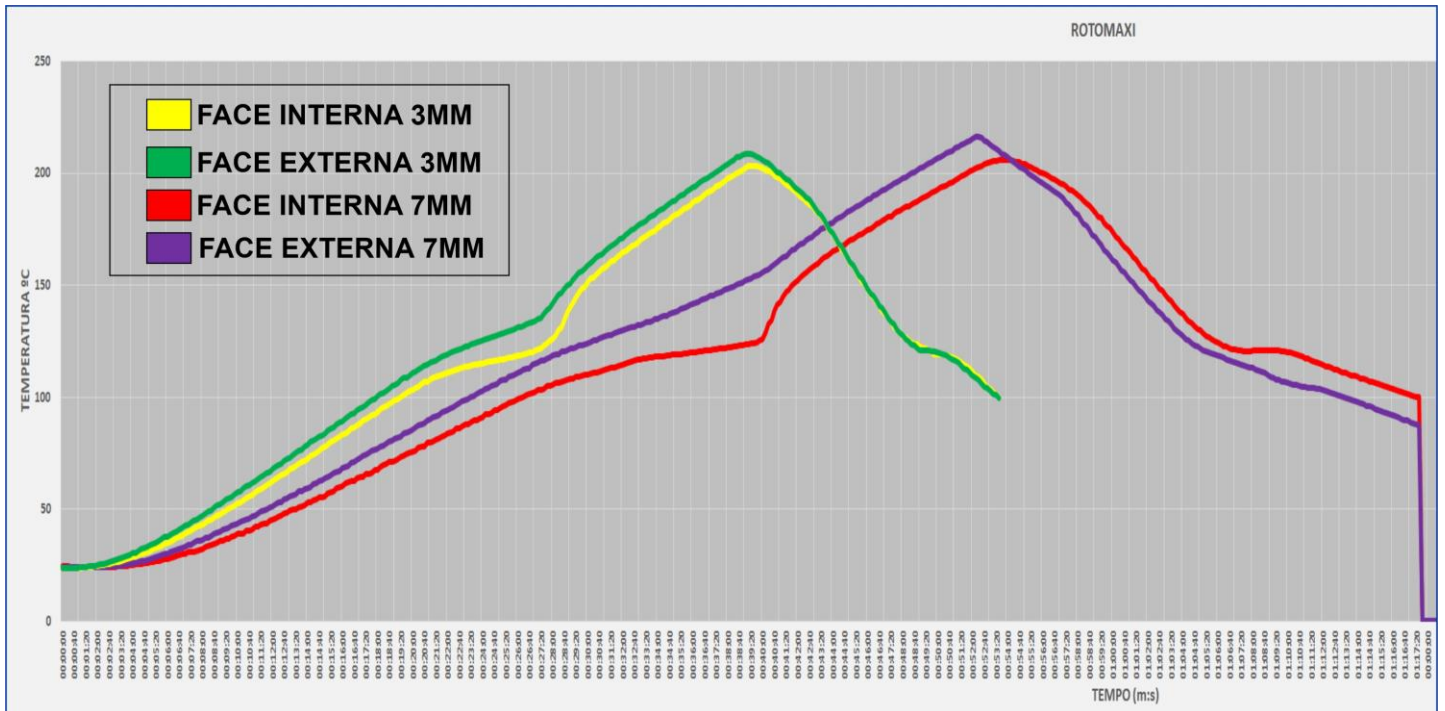
No fim de ciclo do forno, a diferença entre os lados externo/interno do molde é de 29,3°C (em torno de 14%, a mesma de que na peça com maior espessura). A temperatura da face externa da peça em relação a face interna foi de 6,9°C (em torno de 3,4%, sendo metade do valor encontrado na peça mais espessa).

No fim de ciclo vemos que as diferenças destas temperaturas são muito diferentes, com menos de 1°C na peça fina e de 12,5°C na mais espessa.

COMPARATIVO

No Gráfico 3 temos uma sobreposição dos dois testes, com somente as temperaturas da face externa (parede interna do molde), e face interna da peça (ar interno), fica evidente as diferenças de temperaturas em relação a espessura da peça.

GRÁFICO 3



FIM CICLO FORNO	INTERNO PEÇA	EXTERNO PEÇA	DIFERENÇA
ESPESSURA 7MM	201,2	215,4	7%
ESPESSURA 3MM	200,2	207,1	3,4%

FIM CICLO	INTERNO PEÇA	EXTERNO PEÇA	DIFERENÇA
ESPESSURA 7MM	100	87,5	12,5%
ESPESSURA 3MM	100,1	99,6	0,4%

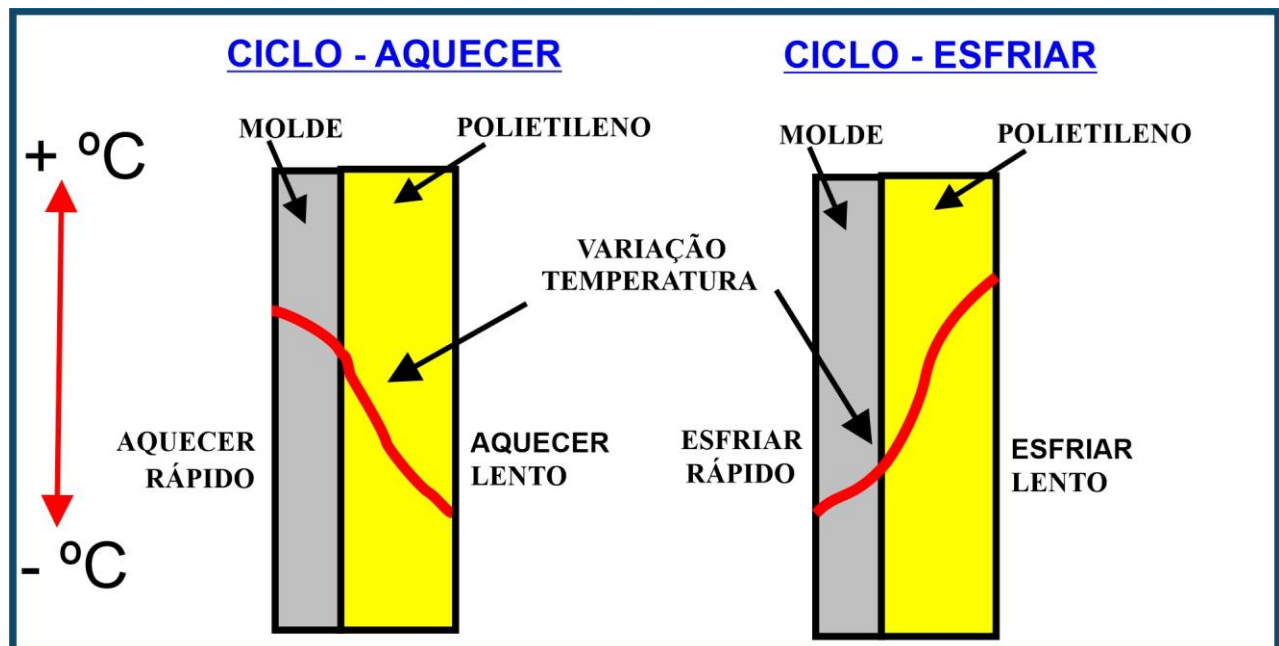
CONCLUSÃO

Uma peça de rotomoldagem em polietileno, alcança sua melhor performance de qualidade quando a temperatura de ar interno do molde fica entre 180°C a 200°C. Com isto sua plena sinterização, que é o processo conjunto de aglutinação (coalescência) e densificação de suas moléculas, será alcançada.

Um ciclo perfeito de rotomoldagem é obtido quando equilibramos toda a energia envolvida no processo, com ajustes dos parâmetros de tempo e temperatura, entrada de ar e água, procurando-se equalizar a diferença de temperaturas ao longo da face interna e externa da peça.

Por equalizar entenda-se: fazer com que a energia se espalhe de forma mais homogênea por todos componentes do sistema (ar, molde, polietileno, ferragens, paredes do forno, etc.), para que no polímero que está dentro do molde, as temperaturas da face exterior e interior do mesmo não tenham diferenças muito grandes, dentro do forno ou no resfriamento, não gerando altas tensões residuais ou outros problemas.

Na figura abaixo, a linha vermelha seria um exemplo de como a temperatura caminha no ciclo aquecer/resfriar. O polietileno tem fatores de condução de calor (Fator K) diferentes para cada estado físico: em pó, pastoso e chapa solida. No ciclo resfriar vemos que a temperatura encontra grande dificuldade de se movimentar pelo polietileno, pois a medida que se solidifica torna-se um ótimo isolante térmico. Quanto mais equalizada esta linha em qualquer um dos ciclos, melhor o resultado.



Ajustar a temperatura do forno somente pensando em aumentar ou diminuir tempo de processo é um erro. Como todo ajuste de rotomoldagem a análise de todas as outras variáveis que irão automaticamente se alterar também é necessário.

Quando colocamos mais energia no processo, aumentado a temperatura do forno, a sua velocidade de transferência aumenta e varia em função dos fatores de transmissão térmica (Fator K) do molde e do polímero. Quanto mais espessa a peça, maiores serão estas variações, e isto poderá gerar degradação térmica, incorreta sinterização, e vários outros problemas que afetam a qualidade final da mesma. Esta degradação muitas vezes é sutil e

não perceptível, pois a peça não apresenta o odor característico de queima ou mudança no visual.

No ciclo de resfriamento, alterações de parâmetros podem criar grandes diferenças entre as temperaturas externas/internas da peça, que resultam em mudanças drásticas nos estados de solidificação e cristalização ao longo do polímero, que geram deformações e uma tensão residual muito alta, e que poderá resultar em uma fratura na peça quando de seu uso.

Quanto mais espessa uma peça, como demonstrado nos testes, mais exigente ela será quanto o quesito de equalização da diferença de temperatura da face interna para a externa.

Esta equalização é feita utilizando-se todo o conhecimento prévio do rotomoldador; ela poderá ser feita através de ajustes de tempo/temperatura do forno, escudos de proteção, pintura do molde, tempo correto de entrada de ventilação forçada/água, etc.

Os gráficos aqui apresentados possuem uma infinidade de informações além das analisadas, as curvas de temperaturas resultantes poderão ser utilizadas como guias em vários problemas encontrados na produção de peças rotomoldadas. As análises destas curvas também podem ter diversas teorias sobre o que significam, e talvez originar conclusões totalmente diferentes das que obtivemos; e só novos testes e a prática real para comprovar toda e qualquer nova teoria.

OBS.: Peças de dupla camada que possuem espuma de polietileno em sua produção, devido a sua grande espessura, as vezes com mais de 20mm, apresentam um perfil térmico diferente, por isto serão motivos de um outro estudo.

SOBRE O SISTEMA ROTOMAXI

Muitos rotomoldadores já entenderam que a melhoria constante, procura de novas tecnologias e entendimento do processo resultam em ganhos financeiros e fazem com que suas empresas tenham sucesso neste mercado altamente competitivo.

O objetivo deste estudo é mostrar que a rotomoldagem não é um processo rudimentar e primitivo, mas que apresenta muita ciência na produção de peças, e nuances técnicas que só agora estão sendo estudados cientificamente.

Elaborar testes efetivos e domínio da técnica só são possíveis com equipamentos modernos e tecnológicos.

Um dos principais instrumentos para auxiliar o rotomoldador nesta evolução é o Sistema de Termometria Sem Fio ROTOMAXI.

Com ele é possível saber o que está ocorrendo dentro do molde no momento da produção da peça, através de gráficos de simples entendimento.

Se você quiser saber mais entre em nosso site: www.rotomaxi.com.br

Ou pelo WhatsApp: (18) 99107 9555

JOSE MARQUES LOPES

marques@rotomaxi.com.br