



ANÁLISE DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS ATRAVÉS DE SISTEMAS CAE

Carlos Maurício Sacchelli

Adriano Reinert

Laboratório de CAE

Instituto Superior de Tecnologia - IST

Rua: Albano Schimidt, 3333, Fone- 00 55 47 461 0132

e-mail: Sacchelli@sociesc.com.br; labcae@sociesc.com.br

Joinville -SC- Brasil

Resumo. *O mercado competitivo fez com que as empresas reduzissem o tempo de desenvolvimento de novos produtos, criaram-se assim várias ferramentas computacionais para auxiliar o equipe de desenvolvimento na tomada de decisões. Entre os processos de fabricação mais utilizados destaca-se o processo de injeção de termoplástico. A obtenção de um produto de plástico depende de vários setores, sendo comum ocorrerem ajustes para corrigirem erros decorrentes do projeto do produto, do molde, do material e dos parâmetros de processo. O objetivo principal deste trabalho será de demonstrar que o uso de sistemas CAE (Computer Aided Engeneering) utilizando simuladores de injeção, pode auxiliar a equipe de engenharia. Com isso é possível criar um elo de interligação dos setores envolvidos, conseguindo reduzir significativamente os erros e o tempo de lançamento do produto no mercado.*

Palavras-chave: *Desenvolvimento de novos produtos, Processo de injeção de termoplástico, Sistemas CAE (Computer Aided Engeneering).*

1. INTRODUÇÃO

A globalização e o fácil acesso a tecnologia, tornaram as empresas muito mais competitivas, nesta “corrida” pela venda de produtos manufaturados, o desenvolvimento de novos produtos tem se tornado uma grande estratégia.

Anteriormente o ciclo de desenvolvimento se arrastava por vários meses ou anos, hoje a empresa para estar competindo deve encurtar este ciclo.

Para a criação de novos produtos, ferramentas CAD/CAM são de grande utilidade, reduzindo substancialmente o tempo de projeto.

O processo de injeção de termoplásticos é grandemente utilizado na fabricação de produtos, por apresentar uma série de vantagens, este consiste em uma rosca sem fim que gira provocando um movimento linear para trás, ocorrendo assim a dosagem juntamente com o aquecimento do material. Posteriormente a rosca desloca-se linearmente para frente, provocando o preenchimento das cavidades do molde, e em seguida a desmoldagem, de acordo com a Fig. (1). Demais descrições sobre este processo pode ser encontradas em Menges e Mohren (1986).

Devido a várias fatores, o molde de injeção é o item mais complexo à ser projetado e de custo mais elevado, sendo o responsável por grande parte do investimento na injeção de peças plásticas.

Por isso busca-se cada vez mais a utilização de ferramentas que possam minimizar os custos de sua confecção.

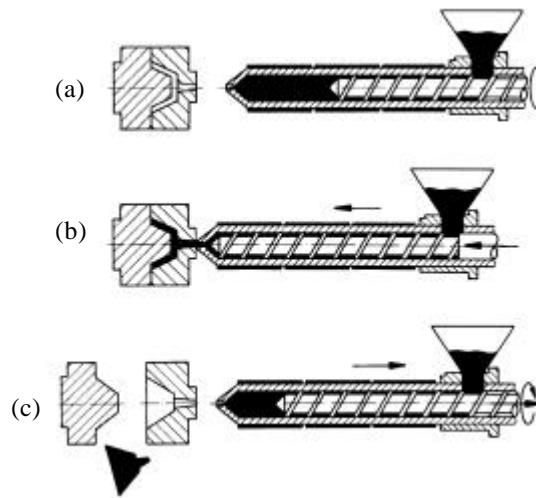


Figura 1. Representação do ciclo de Injeção segundo Michael et al (1992). (a) Dosagem e aquecimento do material, (b) Preenchimento das cavidades e (c) Desmoldagem.

As etapas de desenvolvimento de produtos plásticos podem ser classificadas em: Projeto do Produto, Seleção do Material, Projeto do Molde e Parâmetros de Processo. Estes itens são correlacionados segundo a Fig. (2).

Contudo, na maioria dos casos, estes são tratados como etapas independentes, ocorrendo assim inúmeros retrabalhos.

Todas as informações referentes ao projeto do molde são obtidas por meio de equações empíricas e na experiência dos projetistas. Como para cada produto tem-se um molde com características diferentes, torna-se difícil prever com exatidão todos os detalhes relativos a sua confecção. Só a partir de terem sido efetuados os testes com o molde já concluído que pode-se detectar defeitos de projeto, tais como: o não preenchimento das cavidades, pontos de injeção mal localizados, refrigeração deficiente, degradação do material e saídas de ar. O molde então volta para a ferramentaria, é retrabalhado e novamente testado. Este ciclo acontece até o seu funcionamento perfeito.

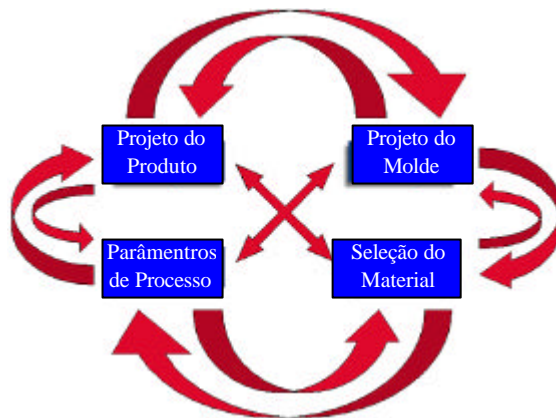


Figura 2. Correlação entre as etapas de desenvolvimento de produtos plástico – (C-Mold, 2000).

Ahrens (1994), evidenciou que o fluxograma da etapa de projeto do molde se subdivide em outras sub-etapas, tornando-se muito demorada. Em Sacchelli (1999), tem-se comprovado que este ciclo é consideravelmente menor com o uso de sistemas CAE.

Após garantida a funcionalidade do molde, parte-se para a análise do produto, na qual é verificado a sua eficiência, aparência e possíveis defeitos, tais como: linhas de solda, empenamento, tensões internas, etc. Após terem sido verificados estes defeitos, a equipe de produto realiza suas modificações e o molde novamente é retrabalhado até estar pronto para a produção.

Porém, cada vez que este retornar para a ferramentaria e sofrer um retrabalho, estará gerando gastos extras. A Fig. (3) mostra a relação entre os custos indiretos gerados na modificação não planejada no processo de fabricação de peças plásticas. Nota-se que a medida que o ciclo avança, aumentam-se as dificuldades e custos para execução de mudanças no produto ou no molde.

Com a utilização de aplicativos de CAE pode-se simular a injeção do produto antes mesmo do molde existir, detectando possíveis defeitos ou dificuldades que podem ser sanadas já na concepção do produto ou do molde. Assim diminui-se substancialmente o tempo e os gastos na confecção de um molde, tornando o processo de simulação um investimento e não um gasto a mais a ser repassado ao consumidor.

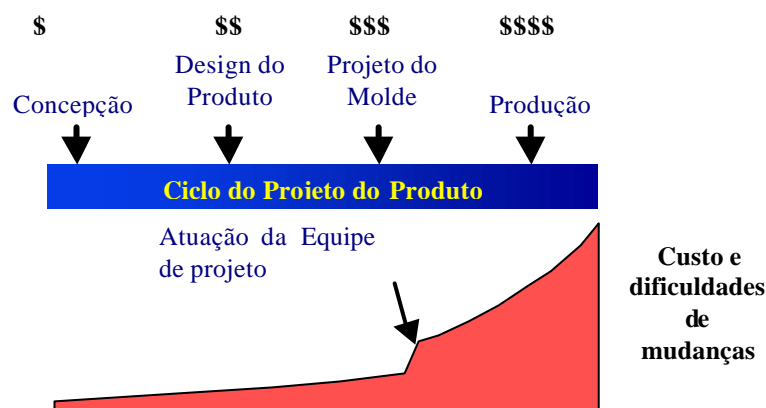


Figura 03- Relação entre os custos indiretos gerados na modificação não planejada no processo de fabricação de peças plásticas – (C-Mold, 2000).

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar que com a técnica da análise em CAE, através do aplicativo C-Mold, os problemas de produto, material, processo e do molde poderão ser detectados antes da confecção do mesmo. Com isto, os custos de fabricação e o tempo de lançamento do produto no mercado diminuirão. Para tal, se realizará a análise de um projeto de um molde de 08 cavidades, com o material polietileno de alta densidade PEAD HA 7260 produzido pela empresa Ipiranga.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Avanço da frente de enchimento

O avanço da frente de enchimento revela o caminho que o polímero fundido percorre dentro da cavidade. As linhas isocrônicas mostram o comportamento do polímero a medida que este preenche a cavidade, as distâncias entre as linhas evidenciam o caminho percorrido em determinado intervalo de tempo. Grandes distâncias entre essas linhas, se comparado com outras áreas da cavidade indicam que o material escoou mais rapidamente. Isto pode ser ocasionado por grandes espessuras de parede, temperatura de injeção muito alta ou velocidade elevada.

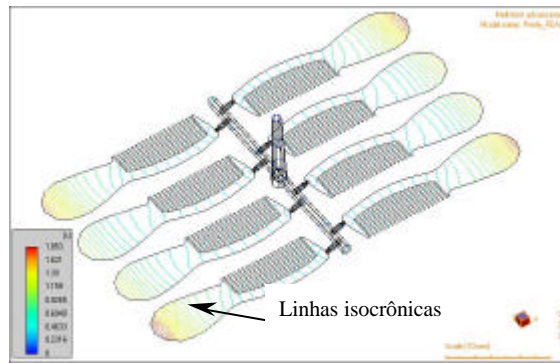


Figura 4. Linhas de frente de avanço

Com pode ser visto na Fig. (4), a distância entre as linhas isocrônicas indicam um fluxo não uniforme devido ao desbalanceamento dos canais de alimentação.

Seria recomendável balancear o fluxo de material. O tempo ideal para esta análise achado é de 1,9 segundos.

2.2. Linhas de solda e linhas de junção.

As linhas de solda ocorrem quando frentes de enchimento que possuem direções opostas se encontram Fig. (5-a). As linhas de junção ocorrem quando duas frentes de fluxo fluem paralelamente e criam uma junção entre elas Fig. (5-b). Essas linhas são indesejáveis, pois afetam a durabilidade e a aparência da peça, o ângulo de encontro das frentes de fluxo diferenciam uma linha de solda de uma linha de junção. Um ângulo menor que 135° produz uma linha de solda, e um ângulo maior que 135° produz uma linha de junção Fig. (5-c).

Essas linhas quando se encontram próximas ao ponto de injeção, geram linhas menos aparentes, desta forma são menos críticas do que as posicionadas ao longo da peça, pois se encontram a uma temperatura inferior. As conseqüências destes linhas podem ser: uniões fracas, pequena resistência ao dobramento, qualidade insatisfatória.

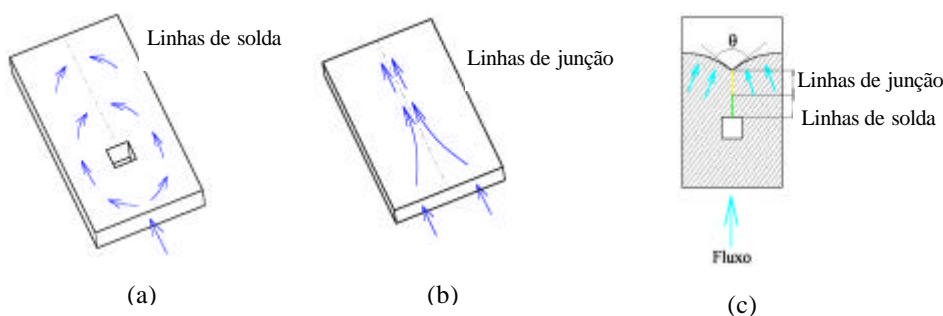


Figura 5. (a)- Linhas de solda, (b)- Linhas de junção, (c) Ângulo de encontro das linhas - C-Mold (2000).

A análise das linhas revelaram que a peça em estudo não deverá apresentar encontro de frentes. Portanto está não possuirá linhas de solda ou de junção.

2.3. Saídas de ar

Bolsas de ar ou inclusões de ar podem surgir no encontro de duas frentes de fluxo ou em cantos da cavidade. Quando o ar não pode escapar, ele é comprimido e aquecido, dependendo da pressão e

velocidade de injeção pode ocorrer a degradação (queima) do material. Assim um ponto de ar é identificado como um nó rodeado com frente de enchimento.

Estes pontos exigem saídas de ar, pois, podem causar enchimento incompleto ou marcas de degradação devido as altas temperaturas do ar comprimido.

Os pontos vermelhos mostrados na Fig. (6), indicam os prováveis pontos de bolhas de ar.

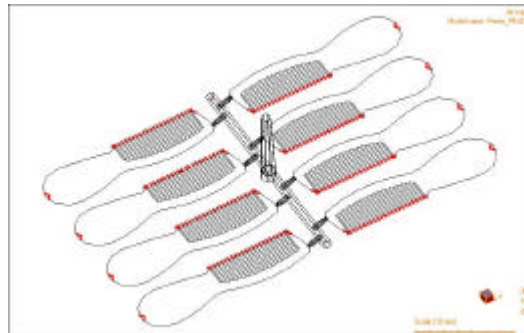


Figura 06- Análise do pontos de saída de ar

Sugere-se observar estes pontos a fim de prever saídas de gases através da linha de fechamento do molde, como nos extratores e postigos.

2.4. Tensão de cisalhamento

Quando um polímero é forçado através de um duto, a velocidade do mesmo junto a parede do duto é muito pequena e aumenta à medida que se aproxima do centro. Isto se passa como se o material plastificado fosse composto de camadas e dentro do duto essas camadas deslizassem umas sobres as outras. Cada camada exige que seja superada uma certa tensão para então deslizar, tensão essa conhecida como Tensão de Cisalhamento (*Shear Stress*).

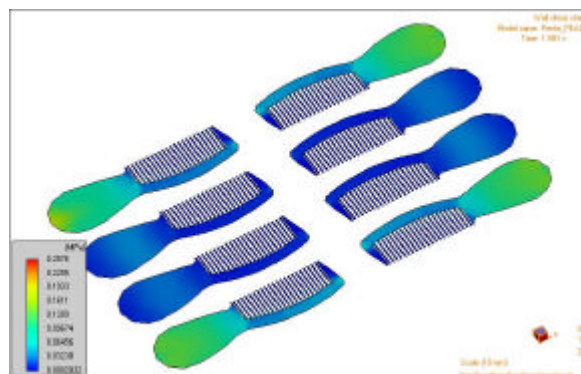


Figura 7. Análise da tensão de cisalhamento

Conforme a Fig. (7), a tensão máxima de cisalhamento encontrado pela análise de 0,18 MPa está abaixo do limite teórico de 0,24 MPa do material (C-Mold, 2000), portanto, sem qualquer comprometimento para a qualidade da peça.

2.5. Taxa de cisalhamento

No enchimento da cavidade, as camadas do polímero se deslocam paralelamente umas em relação às outras. A camada junto à parede do molde é estacionária, e as outras camadas movem-se em velocidades crescentes à medida que mais distante da parede do molde se encontram. Assim, quando uma camada do material desliza sobre outra, a diferença entre as velocidades das camadas é chamada Taxa de Cisalhamento (*Shear Rate*).

O elo de ligação entre tensão e taxa de cisalhamento é a viscosidade. Em líquidos cuja viscosidade não varia com a temperatura, a Tensão de Cisalhamento (*Shear Stress*) é diretamente proporcional à taxa de cisalhamento. Como a viscosidade dos materiais poliméricos varia com a temperatura, uma variação na tensão de cisalhamento produz uma variação na taxa de cisalhamento.

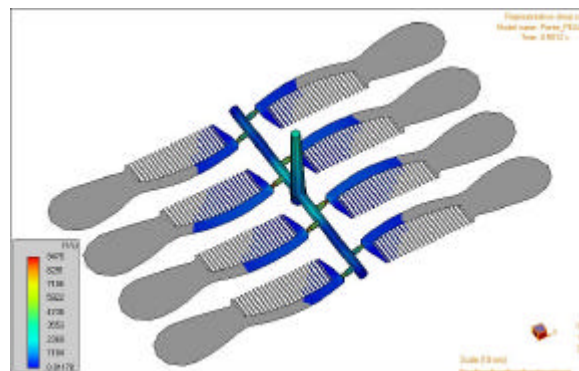


Figura 8. Instante em que a taxa de cisalhamento é máxima

Conforme a Figura 8, a taxa máxima de cisalhamento encontrado na análise de 9475 1/s, o qual está abaixo do limite teórico de 24000 1/s do material (C-Mold, 2000); portanto, sem qualquer comprometimento para a qualidade da peça.

2.6. Pressão de injeção

A pressão de injeção é a mínima pressão necessária para vencer a resistência que o polímero fundido enfrenta, e fazer com que a cavidade seja completamente preenchida. Vale ressaltar que a pressão é medida na ponta da rosca. Esta pressão depende principalmente da viscosidade do material e da geometria da peça. A pressão determina o tempo adequado de injeção.

A análise deste produto apresentou uma pressão máxima necessária de 26 MPa (260 bar) para o completo enchimento da cavidade do molde, segundo a Figura 09.

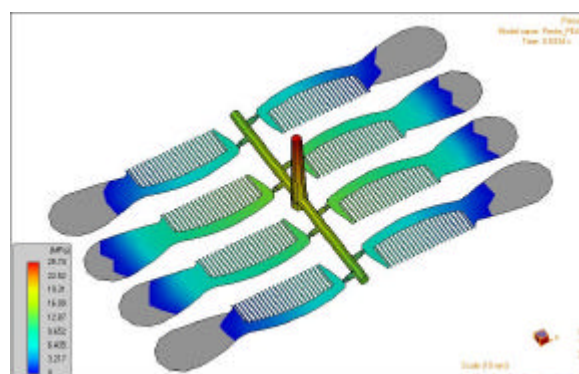


Figura 9. Análise da pressão de injeção

2.7. Força de fechamento

A força de fechamento é um valor escalar determinado pela multiplicação da pressão de injeção pela área projetada dos canais e cavidades no plano de fechamento em um instante especificado. A força de fechamento determina a dimensão da máquina a ser usada para determinado número de cavidades.

Durante a análise, foi determinado uma força de fechamento máxima de 34 ton.

2.8. Perfil de velocidade de injeção recomendado

O perfil de velocidade está associado com o tempo de enchimento da peça e das características do produto final que se espera obter. Em função das regulagens possíveis da máquina injetora determina-se os valores para a velocidade em função do curso do cilindro de injeção. Esta regulagem do perfil de velocidade produz um tencionamento interno menor, o qual reduz o empenamento. Como resultado se obtém melhores propriedades mecânicas e acabamento superficial satisfatório. Se utilizarmos um perfil de velocidades constante para o enchimento do molde, a velocidade do fluxo varia com o tempo em função da área.

Com o aplicativo C-Mold podemos determinar qual o perfil de velocidades ideal para o ciclo de produção.

2.9. Temperatura do Produto

A temperatura do polímero fundido muda não somente com o tempo e o local, mas também com a espessura ao longo de todo o ciclo de injeção. A temperatura indicada pelo aplicativo C-Mold é a temperatura com que a resina entra na cavidade, a qual representa a média das temperaturas das zonas de aquecimento da injetora. Em função do atrito com a parede do molde, o polímero sofre aquecimento devido ao cisalhamento. Com isto sua temperatura final será superior a indicada pelo aplicativo. Assim tomando como exemplo: um polímero injetado a 250°C pode na realidade entrar na cavidade do molde a até uma temperatura de 280 °C.

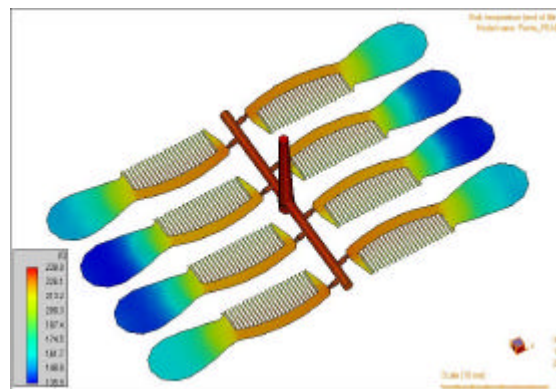


Figura 10. Temperatura do produto no final do enchimento.

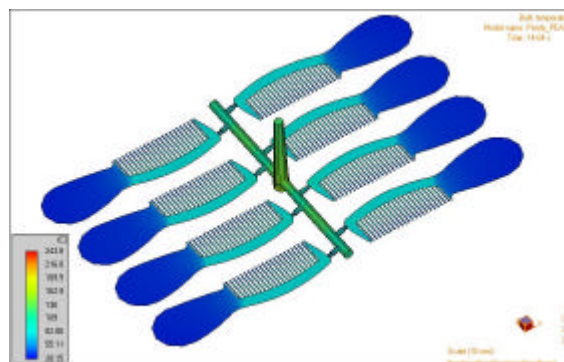


Figura 11. Temperatura do produto após 15 segundos de refrigeração.

Analisando os resultados chega-se a conclusão de acordo com as Fig. (11) e (12), que não há necessidade de um tempo de refrigeração maior que 15 segundos, pois durante esse intervalo a temperatura da peça já atingiu a temperatura de extração de 93 °C.

2.10. Temperatura do Molde

A temperatura do molde recomendada para o resfriamento de produtos de PEAD fica entre 20 °C e 80 °C. As Fig. (12) e (13) mostram que utilizando água à 25 °C mantém-se a temperatura recomendada pelo fabricante para esse material.

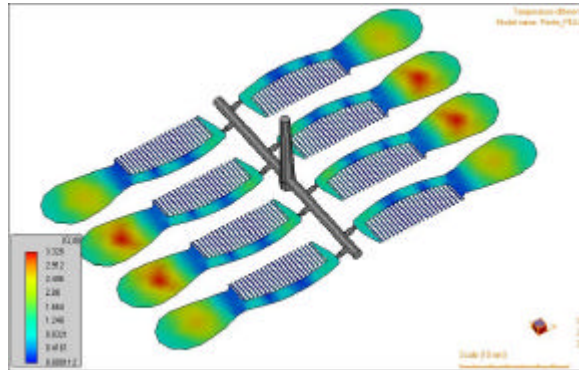


Figura 12. Temperatura na superfície do molde

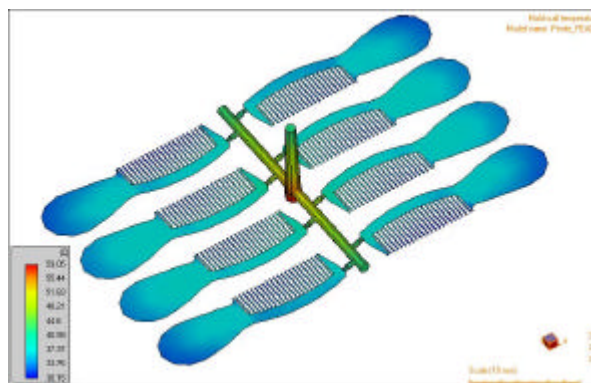


Figura 13. Diferença de temperatura entre macho e cavidade

Recomenda-se que a diferença de temperatura entre macho e cavidade esteja abaixo de 10 °C, porque assim os efeitos da contração são minimizados.

2.11. Camada Congelada

Este valor representa a espessura da camada de material congelado em contato com a parede do molde. Isto se deve em função da perda de calor devido a refrigeração do molde. Durante o enchimento, as áreas de fluxo contínuas não podem apresentar valores altos para a camada congelada, pois, altos valores indicam alta resistência ao fluxo. Vale ressaltar que a espessura da camada congelada afeta o tempo de injeção, a pressão de injeção e as propriedades da peça injetada.

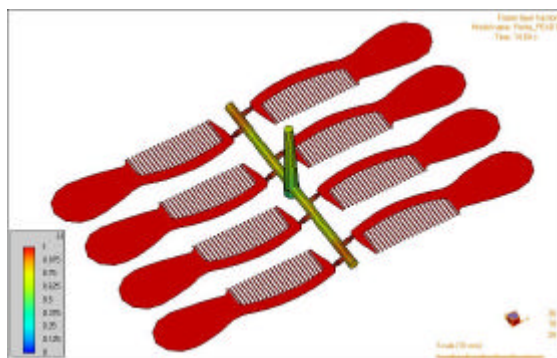


Figura 14. Camada congelada após 15 segundos de refrigeração.

Podemos visualizar de acordo com a Fig. (14) que após 15 segundos todas as cavidades já perderam calor por igual.

2.12. Eficiência dos canais de refrigeração

A eficiência dos canais de refrigeração representa um valor adimensional baseado na performance média do todo o sistema de refrigeração.

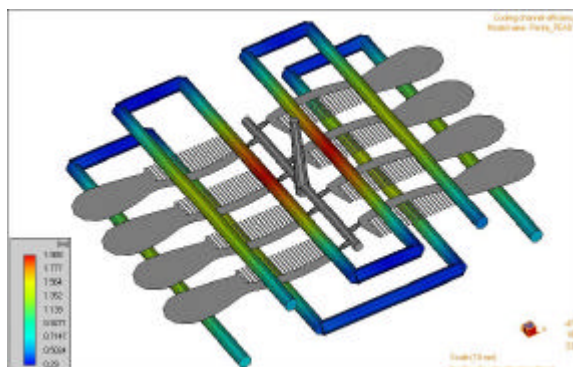


Figura 15. Eficiência dos canais de refrigeração

Na Fig. (15) percebe-se um bom balanceamento dos canais. Baseando-se nos valores obtidos na análise, se constata que as regiões vermelhas (1,99nu), localizadas próximas aos canais, trocam duas vezes mais calor que as verdes (0,92nu).

2.13. Empenamento

A contração é inerente ao processo de injeção. Esta ocorre porque a densidade de um polímero varia a partir da temperatura de processamento até a temperatura de endurecimento do material. Uma contração desbalanceada, em função da geometria e refrigeração, resultará em tensões internas que deformarão o produto. Assim o empenamento indica o grau de distorção da peça. O empenamento também é causado por fatores como orientação molecular, condições de processo e projeto.

Para o molde em questão, tem-se um desbalanceamento dos canais de alimentação. Isto resulta em uma compactação diferenciada nas cavidades, podendo gerar o empenamento do produto.

3. CONCLUSÃO

Com o aumento expressivo do consumo de plástico pelo setor industrial e a rapidez exigida pelo mercado no lançamento de novos produtos, as ferramentas de simulação passam a ser importantes na busca para qualidade do produto final. Com elas encurta-se o tempo de confecção dos moldes, reduz-se os custos e evita-se o excesso de alterações do produto final, pois cumpre o papel de elo de interligação entre as etapas do processo de elaboração de produtos plásticos.

Utilizando-se aplicativos de simulação de injeção, os mais diversos parâmetros podem ser obtidos, não desprezando o trabalho de projetistas e processistas, mas auxiliando os mesmos com uma maior visão de suas reais condições de trabalho.

Tem-se em um aplicativo de simulação de injeção, uma injetora virtual, na qual o analista deve possuir tanto conhecimentos de projetos, processos, materiais e dos sistemas matemáticos e físicos responsáveis por gerar os resultados. Através dos resultados gráficos, o analista deve possuir a capacidade de interpretá-los e compará-los ao processo real, sendo de grande importância a perfeita interação entre todas as áreas envolvidas.

4. REFERÊNCIAS

- Ahrens, C.H., 1994. "Características desejáveis a implantação e o emprego de sistemas CAE/CAD/CAM no setor de moldes de injeção de plásticos", Florianópolis, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- C-MOLD, Manual, 2000.
- Menges e Mohens, 1986. "How to make Injection Molds". Hanser Publisher, USA.
- Michael, W.; Greif, H.; Kaumann, H.; Vosseburger, F.J., 1992. "Technologie der Kunststoffe". Munich: Hanser.
- Sacchelli, C. M., 1999. "Processo Integrado na Engenharia: Criação, Projeto e Execução de Moldes de Injeção, com o Uso de Simuladores". Anais IV Congresso Iberoamericano de Ingenieria Mecanica – CIDIM'99. Santiago, Chile.

INJECTION OF TERMOPLASTICS PROCESS ANALISYS BY CAE SYSTEMS

Carlos Maurício Sacchelli

Adriano Reinert

Laboratório de CAE

Instituto Superior de Tecnologia - IST

Rua: Albano Schmidt, 3333, Fone- 00 55 47 461 0132

e-mail: Sacchelli@sociesc.com.br; labcae@sociesc.com.br

Joinville -SC- Brasil

ABSTRACT

The market competition make the companies reduce the new product development, for this, many computational tools were created. Within all the injection processes, polymer injection is the one that out stands any other process. The project of plastic products depends on many people and is very usual to have some changes done as mistakes can occur during the project development. Our goal is to demonstrate that the use of systems such as CAE (Computer Aided Engineering) together with injection simulation, can help the team to get a better communication, reduce the mistakes and product time to market.

Keywords: *New Product Develoment, Injection of Termoplastic Process, CAE systems.*