

Simulação Computacional do Escoamento de Materiais Plásticos e Pós Metálicos Injetados em Moldes

Computational Flow Simulation of Mold Injected Plastic Materials and Metal Powder

Frederico de Freitas Taves

Orientadores: Antonio Fábio Carvalho da Silva

Clovis Raimundo Maliska

Axel Dihlmann

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica / Centro Tecnológico

SINMEC – Laboratório de Simulação Numérica em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor

Campus Universitário

CEP 88040-900 Florianópolis, SC, Brasil

E-mail: frederico@sinmec.ufsc.br

Abstract

Simulations became powerful engineering procedures that provide predictions about physical systems behaviour. Among many different kinds of simulations stands out the *computational* one (also called *numeric*) due to no hazard for involved people and growing up efficiency thanks to informatics and numerical methods evolutions. Moreover its financial and environmental costs are relatively low.

Polymers injection moulding is an industrial process with large simulation application. Therefore an assorted range of commercial softwares for computer aided design and manufacture has been developed.

Powder metalurgy often applies compactation moulding but injection moulding have been used for complex geometry parts manufacturing. A pressurized mixture of metal powder (solid particles) and polymeric binder (liquid) flows into a group of cavities. Whereas the innovation consists in the material, this new tecnology is based on the adaptation of scientific knowledge and technical resources already developed for polymers. That also includes simulation. Thus have been studied the fuctioning and feasibility of computational tools available for heat and mass transfer analysis in injection processes.

Palavras-chave

1) Simulação 2) Injeção 3) Materiais

Resumo

As simulações tornaram-se poderosos procedimentos de engenharia que proporcionam previsões acerca do comportamento de sistemas físicos. Dentre vários tipos diferentes de simulações destaca-se a *computacional* (também chamada *numérica*) devido ao risco nulo para as pessoas envolvidas e crescente eficiência graças às evoluções da informática e dos métodos numéricos. Além disso seus custos financeiro e ambiental são relativamente baixos.

A moldagem de polímeros por injeção é um processo industrial com ampla aplicação da simulação. Por isso vem sendo desenvolvida uma diversificada gama de programas computacionais comerciais para projeto e fabricação auxiliados por computador.

A metalurgia do pó freqüentemente aplica a moldagem por compactação mas a moldagem por injeção vem sendo usada para a fabricação de peças com geometria complexa. Uma mistura pressurizada de pó metálico (partículas sólidas) e ligante polimérico (líquido) escoam num grupo de cavidades. Uma vez que a inovação

resume-se ao material, esta nova tecnologia está baseada na adaptação de conhecimentos científicos e recursos tecnológicos já desenvolvidos para polímeros. Isso também inclui a simulação. Desta forma vêm sendo estudados o funcionamento e a aplicabilidade de ferramentas computacionais disponíveis para a análise da transferência de calor e massa em processos de injeção.

Simulação Computacional

O computador é uma ferramenta capaz de armazenar e processar (através de operações lógicas e matemáticas) informações codificadas em um sistema binário de numeração. A simulação computacional é uma atividade teórica onde os modelos, assim como as situações às quais são submetidos, devem ser convertidos neste tipo de dado. As mais variadas características do sistema físico real, assim como os resultados obtidos, resumem-se a números, e por isso é também chamada de *simulação numérica*.

Etapas da Simulação Computacional

O emprego de métodos numéricos na resolução de um problema (simulação computacional) consiste numa aplicação sucessiva de procedimentos, que compreendem:

- **Análise do Sistema Físico Real:** consiste na identificação do problema a ser tratado e na sua decomposição em partes distintas. Noções materiais e abstratas da mente humana, como espaço e tempo, respectivamente, são imediatamente associadas e interpretadas. Os fenômenos envolvidos são abordados através de Leis Físicas, como a conservação da massa e da energia. Princípios probabilísticos e simplificativos, como o da condução do calor, são devidamente empregados. Modelos matemáticos englobando diversas variáveis são relacionados a grandezas reais, permitindo previsões não empíricas dos acontecimentos. As condições presentes são levadas em conta;
- **Discretização dos Domínios Espacial e Temporal:** dada a impossibilidade de resolver modelos matemáticos em infinitos pontos ou instantes, o que levaria um tempo também infinito, a geometria real e o tempo são divididos em números finitos de “células” espaciais e intervalos temporais. As delimitações das células espaciais formam um conjunto chamado “malha”, que nada mais é do que um modelo icônico. Sua criação automatizada caracteriza-se por simples e repetidos procedimentos lógicos e matemáticos. Entra em cena o computador como ferramenta, executando rapidamente tarefas que demorariam muito caso fossem feitas por um ser humano. No entanto é necessário programá-lo para tal tarefa;
- **Discretização e Outras Aproximações dos Modelos Matemáticos:** os modelos matemáticos passam a ser aplicados não à infinitos pontos e instantes, mas sim, aos domínios anteriormente discretizados. Além disso eles devem ser transformados, por meio de aproximações, em simples sistemas de equações algébricas lineares, ou caso contrário não poderão ser resolvidos de forma automatizada;
- **Montagem e Resolução dos Sistemas de Equações Algébricas Lineares:** da mesma forma que na segunda etapa, é necessário que o computador seja empregado para tarefas repetitivas e demoradas;
- **Visualização dos Resultados:** consiste em transformar os resultados numéricos em modelos diagramáticos e gráficos que facilitem seu entedimento, estando diretamente associada à computação gráfica.

Erros Associados à Simulação Computacional e Suas Fontes

Ao efetuar uma simulação, independentemente do seu tipo, deve-se estar ciente da validade dos resultados qualitativos obtidos e do grau de precisão dos resultados quantitativos, sejam estes calculados ou medidos. Para atingir um alto nível de confiabilidade é indispensável o controle dos erros, visando a atenuação dos seus efeitos. Dentre os elementos e procedimentos que podem ocasionar erros destacam-se:

- os modelos matemáticos dos fenômenos físicos geralmente são idealizados, contendo hipóteses simplificativas ou representando o evento mais provável;
- modelos matemáticos rebuscados são aproximados à equações algébricas;
- os sistemas de equações algébricas geralmente são resolvidos através de métodos iterativos (em geral aproximados), pois ocupam menos memória e têm processamento mais rápido do que os métodos diretos (exatos);
- os modelos geométricos icônicos são aproximações nunca idênticas à realidade;
- os domínios espacial e temporal contínuos são discretizados;
- os resultados de operações matemáticas sofrem truncamentos e arredondamentos.

Simulação Computacional Através de “Softwares” Comerciais

Os “softwares” comerciais são produtos desenvolvidos para realizar simulações de certos tipos de sistemas físicos. A maior parte das etapas anteriormente descritas são feitas de modo automático. O trabalho do usuário em geral resume-se à definição de características específicas do problema estudado e à interpretação dos resultados obtidos.

Otimização Através da Simulação Computacional

Quando a otimização de um sistema físico real envolve modificação de variáveis numéricas o computador pode ser usado como uma ferramenta de geração rápida e comparação de resultados numéricos. Porém cabe ao ser humano fazer a avaliação final, levando em consideração aspectos que não podem ser descritos matematicamente. Para isso é preciso ter senso crítico e conhecimento de todo o processo considerado.

Projeto de Peças Injetadas e Sua Respectiva Cavidade

Ao projetar-se uma peça e sua respectiva cavidade a simulação computacional pode ser usada para otimizar diversas características, tais como:

- Geometria;
- Material;
- Ponto(s) de injeção;
- Ponto(s) de escape de ar;
- Método de refrigeração;
- Região(ões) de atuação dos pinos extratores.

Projeto do Sistema de Injeção

Após a definição da cavidade inicia-se o projeto do molde, onde novamente o computador auxilia a otimização dos seguintes aspectos:

- Número de cavidades;
- Posicionamento das cavidades;
- Canais (de alimentação e de distribuição) e poços frios;
- Canais de escape de ar;
- Canais de refrigeração;
- Pinos extratores.

Além disso pode-se determinar as características da máquina injetora ideal.

Otimização de Todo o Processo de Injeção

Para um dado conjunto de máquinas, moldes e materiais disponíveis pode-se rapidamente verificar quais as melhores combinações e suas respectivas condições ideais de operação. Novamente trata-se de uma otimização. Assim alguns problemas comuns em processos de injeção precisam ser previstos e evitados, dentre os quais destacam-se:

- Preenchimento incompleto;
- Degradação do material injetado;
- Vazamento de material (formando rebarbas) ou até mesmo abertura indesejada do molde.

Além disso outros problemas, inevitáveis, devem ser minimizados, como por exemplo:

- Encolhimento;
- Empenamento;
- Tempo de resfriamento;
- Dificuldade de ejeção.

Busca-se ainda a maximização dos parâmetros abaixo:

- Resistência;
- Durabilidade;
- Estética;
- Lucro.

Características de Materiais Plásticos Injetados em Moldes

Sendo τ a tensão cisalhante que atua sobre um fluido e v a sua velocidade, a viscosidade (η) é dada por:

$$\tau_{yx} = \eta \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

De acordo com os valores assumidos pela viscosidade a uma dada temperatura e pressão os fluidos recebem as seguintes classificações:

- Não-Viscoso: $\eta = 0$;
- Viscoso: $\eta \neq 0$;
- Newtoniano: $\eta = \text{constante}$;
- Não-Newtoniano: $\eta \neq \text{constante}$.

Os materiais plásticos injetados em moldes (polímeros) são viscosos e não-newtonianos.

Desta forma a grande dificuldade no estudo deste fenômeno é a modelação da viscosidade, que depende das seguintes variáveis:

- temperatura;
- pressão;
- taxa de deformação;
- tempo de aplicação da tensão cisalhante.

Para contornar este problema os modelos matemáticos para a viscosidade são empíricos, ou seja, formulados a partir de dados experimentais coletados em condições semelhantes àquelas que ocorrerão durante o processo de injeção.

Características de Misturas Ligante – Pós Metálicos

Os ligantes são compostos basicamente por:

- um ou mais tipos de polímeros que, por predominarem na mistura, conferem à mesma a fluidez necessária para a injeção;
- ceras que, por terem baixo peso molecular, diminuem a viscosidade;
- surfactante que serve para aumentar a aderência do ligante com o pó.

Os pós metálicos usados para injeção são partículas com tamanho médio geralmente entre 1 e 20 μm .

Pelo fato do fluido não ser homogêneo, mas sim um sistema particulado, surgem outros fatores relevantes na elaboração de equações constitutivas para a viscosidade, tais como:

- porcentagem (ou fração) volumétrica de pó: ao ser adicionado ao ligante deve-se evitar que seja excedida sua *carga sólida crítica* (a partir da qual passam a ocorrer contatos partícula-partícula, aumentando abruptamente a viscosidade). No entanto uma mistura com baixa proporção de pó (que conseqüentemente possui baixa viscosidade) implica em um alto grau de dificuldade na remoção termo-química do ligante, encarecendo a peça produzida;
- distribuição do tamanho de partícula: tem influência direta no fator de empacotamento (partículas por unidade de volume) e, conseqüentemente, na viscosidade da mistura;
- geometria da partícula: irregularidades causam aumento da viscosidade.

Conclusões

Ao utilizar-se ferramentas computacionais desenvolvidas para simulação do escoamento de polímeros na metalurgia do pó deve-se estar ciente das hipóteses simplificativas presentes. Os efeitos da heterogeneidade do material, como diferenças entre propriedades do pó e do ligante ao longo da geometria da peça, não são previstos.

A simulação da injeção de pós metálicos não deve limitar-se a uma nova abordagem matemática da viscosidade. Levando-se em consideração que a moldagem é apenas uma das etapas da metalurgia do pó verifica-se que a determinação da mistura ideal é fundamental para o sucesso de todo o ciclo de fabricação. No entanto como esta otimização envolve características qualitativas e depende das outras etapas do processo torna-se essencial que o desenvolvimento de métodos numéricos para este novo ramo de aplicação da simulação computacional esteja diretamente vinculado a pesquisas reológicas experimentais.

Referências Bibliográficas

FOX, R.W. e MCDONALD, A.T. Introdução à Mecânica dos Fluidos, Quarta Edição revisada, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1998.

MALISKA, C.R. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1995.

KENNEDY, P. Flow Analysis of Injection Molds, New York, 1995.

GERMAN, R.M. Powder Injection Molding, Metal Powder Industries Federation, Princeton, 1990.

GERMAN, R.M. e BOSE, A. Injection Molding of Metals and Ceramics, Metal Powder Industries Federation, Princeton, 1997.