



Universidade do Minho
Departamento de Matemática para a Ciência e Tecnologia

PREVISÃO DO COMPORTAMENTO TERMO-REOLÓGICO
DE FLUIDOS VISCOELÁSTICOS
DURANTE O ESCOAMENTO EM CANAIS DE GEOMETRIA COMPLEXA

Florbela Alexandra Pires Fernandes

Setembro de 2003



Universidade do Minho
Departamento de Matemática para a Ciência e Tecnologia

PREVISÃO DO COMPORTAMENTO TERMO-REOLÓGICO
DE FLUIDOS VISCOELÁSTICOS
DURANTE O ESCOAMENTO EM CANAIS DE GEOMETRIA COMPLEXA

Florbela Alexandra Pires Fernandes

Dissertação de mestrado em Matemática e Aplicações à Mecânica
apresentada para a obtenção do grau de Mestre.

Trabalho realizado sob orientação de:
Dr. João Maia e Dr. Jorge Figueiredo

Setembro de 2003

Resumo

Pretende-se com o presente estudo aprofundar o conhecimento e apurar a sensibilidade necessária para lidar mais eficientemente com problemas reais, nomeadamente nas áreas de Extrusão e da Injecção.

Para tal, simula-se numericamente o escoamento de fluidos incompressíveis, em estado estacionário no interior de um canal onde existem obstáculos cilíndricos à passagem do fluido.

A análise é efectuada em três sistemas com configurações distintas, reduzidos, por considerações geométricas, a problemas bidimensionais e usando três fluidos distintos.

Juntamente com as equações de Navier-Stokes utilizam-se duas leis materiais distintas para descrever o comportamento material do fluido: a lei de potência e o modelo de Maxwell (UCM).

Para executar as simulações recorre-se ao programa de dinâmica de fluidos Polyflow - ferramenta computacional que discretiza as equações de Navier-Stokes pelo método de elementos finitos.

Simulam-se situações de Extrusão em cada um dos três sistemas e de Injecção no sistema com estrangulamentos mais acentuados.

Na situação de Extrusão, simulada para os dois fluidos viscosos o efeito da dissipação viscosa na temperatura do fluido é significativo. Para o fluido viscoelástico concluiu-se que os resultados obtidos são análogos ao do fluido Newtoniano.

Na situação de Injecção, simulada com o fluido reofluidificante, não foram obtidos resultados com significado físico.

No decurso das simulações ocorreram problemas de convergência relacionados com o parâmetro n da lei de potência, energia de activação e condutividade térmica do fluido. O problema é ultrapassado, no primeiro caso recorrendo ao método de Picard, e através de um processo evolutivo nos restantes casos.

Abstract

The objective of the present work is to deepen the knowledge and to refine the level of detail in the areas of Extrusion and Injection in order to tackle arising problems in a more efficient manner. For this purpose the study concentrates on the simulation of steady state behaviour of an incompressible fluid flowing inside a channel with cylindrical obstacles.

The original setup is simplified and the resulting bi-dimensional system is analysed in three distincts geometric configurations.

In order to describe the behaviour of the fluid the Maxwell model (UCM) and the power law are utilized along with the Navier-Stokes equations.

The simulation was carried out using the commercial computational fluid dynamics program PolyFlow that discretizes the Navier-Stokes equations using a finite element method.

The process of Extrusion is simulated in each of the three configurations while the Injection is simulated in the situation where pronounced obstruction in the channel is observed.

In the Extrusion, simulated with the two viscous fluids, the effect of the viscous heating on the fluid is significant. For the viscoelastic fluid an analogous behaviour of the Newtonian fluids was observed .

The case of Injection, simulated with pseudoplastic fluids produced results without physical meaning.

In the course of simulation a number of convergence problems occurred. These are related to the power law index, the activation energy and the thermal conductivity of the fluid under study. The problems are overcome with the aid of the Picard iterations in the first case and using an evolution task in the other cases.

Conteúdo

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
1 Introdução	1
1.1 Organização da tese	1
1.2 Motivação	1
1.3 Origens da reologia	2
2 Noções Fundamentais	4
2.1 Cálculo Tensorial	4
2.1.1 Tensores	4
2.1.2 Invariantes de um tensor	6
2.1.3 Derivação e integração	7
2.2 Tensão, deformação e viscosidade	8
2.2.1 Tensão	9
2.2.2 Deformação	11
2.2.3 Viscosidade	13
2.3 Classificação dos fluidos Não - Newtonianos	17
2.4 Fluidos viscoelásticos	19
2.4.1 Viscoelasticidade linear	19
2.4.2 Viscoelasticidade não linear	25
3 Escoamento de fluidos: formulação teórica	36
3.1 Equações de Navier - Stokes	36

3.1.1	Lei de conservação de massa	36
3.1.2	Lei de conservação do momento linear	37
3.1.3	Equação de conservação de energia	39
3.1.4	Fluido incompressível	42
3.2	Equações constitutivas	42
4	Escoamento de fluidos: simulação numérica	45
4.1	Resolução Numérica	45
4.1.1	O Sistema	45
4.1.2	Geração da malha	48
4.1.3	Condições Fronteira	51
4.1.4	Método computacional	52
4.2	Análise de resultados	54
4.2.1	Caso 1	56
4.2.2	Caso 2	60
4.2.3	Caso 3	66
4.2.4	Caso 4	67
5	Conclusão e sugestão de trabalho futuro	72
5.1	Conclusões	72
5.2	Sugestões de trabalho futuro	74
	Bibliografia	75
	Apêndice A - Dissipação Viscosa	77
	Apêndice B - Ficheiro de Resultados	79