

Resumo

A presente tese tem como objectivo principal o desenvolvimento de um conjunto de modelos numéricos importantes para a correcta simulação de processos de enformação de peças em vidro, nomeadamente com processos de regeneração adaptativa e tratamento numérico do contacto entre a peça a enformar e a ferramenta, assim como a determinação do campo de tensões térmicas durante a fase de arrefecimento.

Neste trabalho foi utilizado um modelo viscoelástico não linear, modelo de Maxwell, para traduzir o comportamento do vidro no intervalo de temperaturas correspondentes aos processos de enformação. Desta forma, a deformação total sofrida pelo vidro é decomposta num comportamento elástico e numa deformação correspondente às características viscosas do material. A dependência da viscosidade do vidro com a temperatura é traduzida pela equação de Fulcher.

Os processos de transferência de calor inerentes ao caso estudado, são expostos tendo por base a teoria clássica de transferência de calor. Apresentam-se as equações relativas à aplicação do método dos elementos finitos para o problema de transferência de calor em regime transiente. Descreve-se o modelo termo mecânico para processos de enformação do vidro, sendo utilizado no tratamento pelo método dos elementos finitos uma formulação lagrangeana.

Devido a uma acentuada mudança de forma entre o estado inicial e o final foi implementado um processo adaptativo. Para o efeito foi utilizado um gerador automático de quadriláteros e implementado um programa de interface que permite realizar a transferência de variáveis e condições de contorno entre duas malhas consecutivas.

O tratamento numérico do contacto térmico entre dois corpos é realizado considerando-se para o contacto entre o vidro e o molde duas formulações distintas. Uma em que o fluxo de calor na fronteira da peça é prescrito por condições empíricas, e outra, em que o molde é discretizado e o contacto é tido em conta na simulação. Neste caso desenvolveu-se um processo para garantir a condução de calor entre malhas de elementos finitos de nós não coincidentes a partir de uma formulação de penalidade.

A determinação das tensões residuais durante a fase de arrefecimento da garrafa, é um factor determinante na determinação de defeitos nos produtos acabados. As equações gerais para problemas axissimétricos são apresentadas, considerando o vidro com um comportamento elástico.

Com o objectivo de validar os algoritmos termomecânicos, o efeito do processo de regeneração adaptativo, bem como o tratamento numérico do contacto térmico, realizam-se algumas simulações relacionadas com o fabrico de garrafas de vidro.

Abstract

The main objective of the current thesis is the development of numerical models for the simulation of glass containers forming processes with mesh adaptivity, numerical treatment of contact and evaluation of residual stresses during the cooling phase.

In this work, a non-linear viscoelastic model was considered namely the Maxwell model, to express the glass behaviour into the forming processes temperature range. The total strain is separated into elastic and viscous behaviour. The Fulcher equation is used to express relation between the glass viscosity and temperature.

The heat transfer processes considered in the glass forming processes are represented by the heat transfer classical theory. The finite element method is presented for the transient form, as well as the thermomechanical model using a Lagrange formulation.

Due to a big difference between the original and the final shape, the development of the mesh adaptive procedures in this work is done with an automatic quadrilateral elements mesh generator. An interface program allows us to make all the variables and profile shape transfer in two consecutive meshes.

The numerical simulation of contact between two bodies is addressed. Two different cases are treated: the heat flux is prescribed by empirical conditions, and a finite element mesh is applied to the blow mould being the temperature of the glass node in contact estimated by a linear combination of the mould nodes temperature.

The residual stresses of the container during the cooling phase are estimated. The general equations for the axisymmetric problems considering an elastic behaviour for the glass are presented.

Finally, for testing the thermomechanical problem, mesh adaptive procedures, numerical treatment and glass forming simulations are illustrated.