

Resumo

Este trabalho visa o estudo da operação de prensagem do aglomerado de fibras de média densidade (MDF). A operação de prensagem é o estágio final do processo de fabrico do MDF, no qual as fibras de madeira são comprimidas a quente possibilitando a cura da resina e a consolidação da placa. Esta operação é a mais importante e a mais cara de todo o processo, o que exige um controlo rigoroso de todos os parâmetros de operação de forma a melhorar a qualidade do produto e reduzir os tempos de prensagem. A programação do ciclo de prensagem só poderá ser feita correctamente tendo por base modelos de previsão. Portanto, fixou-se como objectivo deste trabalho o desenvolvimento de modelos teóricos para a prensagem do MDF, o que permitirá a optimização e controlo desta operação.

Na prensagem do MDF estão envolvidos diversos fenómenos físicos, químicos e mecânicos, que tomam esta operação bastante complexa. Os fenómenos mais importantes são: a transferência de massa e calor, a reacção de polimerização do adesivo e o comportamento reológico do colchão de fibras. Ao longo de todo o trabalho tenta-se quantificar estes fenómenos e compreender a sua interacção. No primeiro capítulo é feita uma introdução ao trabalho e são focados aspectos como, o processo de fabrico do MDF, os testes de controlo de qualidade e as especificações das propriedades deste material.

A transferência simultânea de calor e de massa é tratada no segundo capítulo, onde são apresentados três modelos de estado não estacionário, cuja resolução numérica é complicada pelo facto das propriedades físicas e de transporte serem dependentes do tempo e da posição na placa. Em primeiro lugar, foi desenvolvido um modelo unidimensional, mais simples, partindo-se depois para um modelo a três dimensões mais próximo da realidade. Com o intuito de simplificar este modelo, simulou-se uma prensa de pratos cilíndricos que necessita apenas de um modelo bidimensional. Estes modelos permitem prever a evolução da temperatura, teor de humidade, pressão da fase gasosa e humidade relativa com o tempo em determinada posição do colchão.

No terceiro capítulo apresenta-se um estudo sobre a química dos adesivos ureia-formaldeído, com vista ao desenvolvimento de um modelo cinético simplificado para a cura dessas resinas. Foi realizado um programa experimental que incidiu sobre a caracterização qualitativa e quantitativa da resina de partida, por RMN e sobre o estudo da cura da resina, usando a espectroscopia Raman. Esta técnica revelou-se bastante interessante para o estudo da cura da resina UF tendo permitido a obtenção de parâmetros cinéticos.

O comportamento reológico do colchão durante a prensagem é um mecanismo complexo que está intimamente ligado à distribuição da temperatura, humidade, pressão do gás e densidade. Partindo do modelo 3D de transferência de massa e calor, foram desenvolvidos modelos mecânicos para representar o comportamento viscoelástico do material, que são apresentados no capítulo IV. As propriedades elásticas e viscosas do compósito madeira-resina foram estimadas considerando diversos tipos de "leis de mistura". Estes modelos foram usados para prever a evolução da pressão

de prensagem, da deformação, do módulo de elasticidade e da densidade com o tempo em determinada posição do colchão, assim como os perfis de densidade.

Finalmente, apresenta-se no capítulo V um modelo global que integra as diversas vertentes da operação de prensagem. O desempenho do modelo global foi analisado para as condições típicas de prensagem industrial do MDF. Concluiu-se que o modelo consegue prever, de forma aceitável, o comportamento das diversas variáveis chave para o controlo do ciclo de prensagem, mas também algumas propriedades físico-mecânicas do produto final. O melhoramento do modelo global exige a realização de um programa experimental numa prensa piloto.

Abstract

The purpose of this work is the study of the hot-pressing process in the production of medium density fiberboard (MDF). The hot-pressing operation is the final stage in the MDF manufacture where the mattress of fibers is compressed and heated to promote the cure of the resin and board consolidation. This operation is the most important and expensive of the whole process a rigorous control of all processing variables is necessary to improve product quality and to reduce pressing time. The scheduling of the press scale can only be done correctly if a prediction model is available. So, the aim of this work is the development of theoretical models for the hot-pressing of MDF that will enable the optimization and control of this operation.

In the MDF hot-pressing many physical, chemical and mechanical processes are involved and the complexity of this operation arises from the fact that they are coupled. The main mechanisms are the heat and mass transfer, the polymerization reaction of the adhesive and the rheological behavior of fiber mattress. Along this work, we attempt to understand and quantify the various interacting phenomena. In the first chapter, an introduction is given, focused on the manufacturing process, quality control tests and properties specifications.

The simultaneous heat and mass transfer is treated in the second chapter, where three unsteady state models were presented. Their numerical resolution is complex due to the fact that physical and transport properties are position and time dependent. In the first approach an one-dimensional model was developed, and then a three dimensional one, more close to reality. In order to simplify this model, a cylindrical platen press was simulated, that only requires a two-dimensional model. These models predict temperature, moisture content, steam pressure and relative humidity evolution with time at a given position in the mattress.

In the third chapter, a study on the chemistry of urea-formaldehyde adhesives is presented, as well as a simplified kinetic model developed for the cure of these resins. An experimental program was accomplished to achieve a quantitative and qualitative characterization of the initial resin using NMR and a study of the reaction cure using Raman spectroscopy. This technique is very interesting for the study of the resin cure and permitted to obtain kinetics parameters.

The rheological behavior of the mattress during pressing involves complex phenomena that are dependent on temperature, moisture content, gas pressure and density distributions. From a three-dimensional model of heat and mass transfer already constructed, mechanical models were developed to describe the viscoelastic behavior of the material, these are presented in the chapter IV. The elastic and viscous properties for the wood-resin composite were estimated based upon several kinds of "rules of mixtures". These dynamic models were used to predict the evolution of compression stress, strain, modulus of elasticity and density with time at a given position in the mattress, as well as the density profiles.

Finally, we present in the chapter V, a global model that integrates all mechanisms involved in the panel formation. The model performance was analyzed using the typical operating conditions for the hot-pressing of MDF. We concluded that the model can predict in an acceptable way, the behavior of the key variables for the control of the pressing cycle, as well as some physico-mechanical properties of the final product. The improvement of the model requires the accomplishment of an experimental program in a pilot scale press.