

UMA CONCEPÇÃO MULTIDISCIPLINAR PARA PROJETO E SELEÇÃO DE MATRIZES PARA MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE COMPÓSITOS DE FIBRAS NATURAIS

Giuseppe Pintaúde¹
 Márcia Silva de Araújo²
 Neri Volpato³
 Carlos Cziulik⁴
 Jucelio Tomas Pereira⁵

Resumo

Apresenta-se uma concepção multidisciplinar de um projeto de viabilização de fabricação de produtos a partir de compósitos lignocelulósicos. Serão aplicadas técnicas de fabricação de moldes de injeção para confecção de produtos feitos com um composto básico, disponível comercialmente. Durante essa etapa serão estudados os problemas decorrentes do projeto utilizando programas computacionais, da fabricação da ferramenta e do processo de injeção. Os produtos injetados serão analisados quanto às suas propriedades mecânicas, fornecendo subsídios para a implementação de um modelo numérico. Paralelamente a isso, uma prospecção junto aos setores metal-mecânico e da construção civil estará sendo realizada, para verificar a viabilidade do uso de um produto industrializado em larga escala. Espera-se que ao final dessa investigação o grupo detenha uma competência na especificação, aplicação e fabricação de produtos a partir de compósitos lignocelulósicos. A proposta de pesquisa está organizada de forma a propiciar a integração e o fluxo de informação entre as áreas envolvidas. Dessa forma, o conhecimento gerado possibilitará o desenvolvimento integrado de produtos injetados.

Palavras-chave: compósitos lignocelulósicos, injeção de termoplásticos, seleção de materiais, multidisciplinariedade.

A multidisciplinary Conception for Projecting and Selecting Dies by Injection Mold of Natural Fibers Composites

Abstract

A multidisciplinary conception of a project to provide the production of lignocelulosic composites it is presented. Manufacture techniques will be applied for injection moulds products made with a basic composite, available commercially. During this step the problems related to the project would be studied using software, tool manufacture and injection process. The mechanical properties of the injecting products will be analyzed, giving support to a numerical model. At the same time, a prospecting onto metal-mechanical and building areas it will be made, in order to verify the viability of the use of an industrialized product in large scale. At the end of this research, it will expect that the group have a competence on the designation, application and production of lignocelulosic composites. The research proposal is organized in order to yield the integration and the dissemination of information among involved areas. Therefore, resulting knowledge will allow the integrated development of injecting products.

Key-words: lignocelulosic composites, thermoplastic injection, materials selection, multidisciplinary

INTRODUÇÃO

O salto necessário para que determinados setores produtivos possam agregar valor tecnológico aos seus produtos finais não é possível de ser alcançado sem uma abordagem multidisciplinar. Iniciativas desse tipo no Brasil vêm sendo aumentadas nos últimos anos, de forma que as universidades, institutos de pesquisas e empresas otimizem seus recursos humanos e laboratoriais, objetivando ganhos expressivos em conhecimento tecnológico. Um

exemplo deste tipo de iniciativa é o das Redes Cooperativas de Pesquisa (Recope), criadas pela Finep em 1996, dentro das quais a Sub-rede de Melhoria das Propriedades Superficiais de Metais promoveu dois *workshops* em Moldes para Conformação de Plásticos (1999 e 2000).

O processamento de produtos termoplásticos é um setor no qual existe uma complexidade

^{1,2,3,4,5}Prof. Dr., Departamento Acadêmico de Mecânica, Cefet-PR, unidade Curitiba-PR.

Tabela 1. Divisão do mercado de compósito lignocelulósico nos EUA em 2000 (Sato; Rodolfo JR.; Hage, 2002).

Material	Porcentagem do mercado (%)
PE	65
PVC	16
PP	14
Outros	5

inerente tal que, diferentes competências precisam atuar em conjunto para que se consiga agregar conhecimento à tecnologia de fabricação.

A estratégia adotada por Portugal para esse setor produtivo foi criar centros tecnológicos que reunissem num mesmo local profissionais de diferentes áreas do conhecimento. Dentro do Centimfe – Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos, instituição pública criada em 1991 com base na cidade de Marinha Grande, atuam em conjunto áreas como fabricação, metrologia e informática.

Esse trabalho objetiva apresentar uma concepção multidisciplinar para criação de um grupo de pesquisa, que entre diversas atividades, visa adquirir experiência no projeto e fabricação de produtos a partir de compósitos lignocelulósicos.

Panorama do emprego de compósitos lignocelulósicos

A área de produção e beneficiamento de madeira é um setor importante para a economia do estado do Paraná. Um dos problemas enfrentados por esse setor é a elevada geração de resíduos em forma de pó de madeira. Uma utilização para esse resíduo é a geração de energia térmica, muitas vezes inviabilizada pelo custo do transporte. Com isso, geralmente, se opta pela disposição inadequada desse material, causando sérios impactos ambientais (e. g. combustão espontânea, assoreamento de rios). Por falta de uma destinação imediata, grandes quantidades de resíduos de madeira são simplesmente empilhados, permanecendo nessas pilhas por muitos anos, em diversos estágios de decomposição.

Uma das soluções para esse problema seria o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado (e. g. briquetes, compósitos lignocelulósicos, placas de cimento com pó de madeira) (ESTUDO, 2002). A utilização de resíduos de madeira na fabricação de compósitos lignocelulósicos pode vir a estimular o surgimento de

empresas em regiões do Paraná, onde se concentram indústrias madeireiras. Isso pode contribuir para a manutenção e criação de empregos diretos e indiretos e auxiliando as empresas do segmento florestal a se adequarem aos requisitos da ISO 14000.

Compósitos lignocelulósicos são materiais obtidos a partir da mistura mecânica de materiais poliméricos com fibras naturais (e. g. madeira, sisal). Algumas das vantagens oferecidas pelas fibras naturais como carga em relação às inorgânicas são, por exemplo, ser um material barato e de fonte renovável, ter baixa ação abrasiva no processo de injeção e favorável relação resistência-densidade (KOKTA, DANEULT; BESHAY, 1986). Esta última característica indica uma boa possibilidade para o desenvolvimento de aplicações em componentes que requerem resistência estrutural.

No entanto, no Brasil, uma das principais dificuldades na utilização de compósitos lignocelulósicos como materiais de engenharia está relacionada à sua recente introdução e produção no mercado. Isto ocorre devido à deficiência de informações em áreas como: i/ caracterização das propriedades mecânicas; ii/ comportamento tribológico (i. e. atrito, adesão); iii/ processos de transformação adequados para obtenção de produtos deste material; iv/ potenciais aplicações para este tipo de material e o comportamento do mercado frente aos produtos fabricados com o mesmo; v/ baixa divulgação das vantagens e limitações desses materiais aos engenheiros.

Diferentes materiais plásticos podem ser utilizados como matriz para tais compósitos, e a relação de madeira pode variar de 10% a 60% em massa do compósito, segundo Jackson (2000). Acima desse patamar o compósito pode ficar sujeito à ação microbiana e umidade. Dependendo da aplicação planejada do compósito, a madeira pode ser adicionada como pó, serragem, lascas, ou fibras secundárias.

Historicamente, as resinas termofixas foram as primeiras a serem usadas como matriz para compósitos de madeira. Esses tipos de produtos ainda são produzidos em grandes quantidades. O uso de termoplásticos para a criação de compósitos tem conduzido a uma nova geração de materiais. Os termoplásticos mais freqüentemente empregados são o polipropileno (PP), polietileno (PE), poli (cloreto de vinila) (PVC), bem como o poliestireno (PS), poli (tereftalato de etileno) (PET) e o estireno-butadieno acrilonitrila (ABS). A Tabela 1 representa, no ano de 2000, a distribuição do mercado de termoplásticos reforçados com farinha ou fibra de madeira nos Estados Unidos.

Metodologias de trabalho a serem aplicadas na abordagem multidisciplinar

A fabricação de produtos tendo como matéria-prima o compósito lignocelulósico carece de informação quanto às propriedades reológicas que determinam a qualidade do produto injetado. O único programa disponível atualmente para projetar ferramentas para injeção de materiais plásticos é o *MoldFlow*. Entretanto, os

compósitos disponíveis no mercado nacional não se encontram na biblioteca desse programa. Decorre desse fato, existe uma dificuldade para o projeto de ferramenta utilizando materiais lignocelulósicos. Numa tentativa de contornar esse problema será desenvolvida uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais do Cefet-PR sobre esse tema. Numa primeira etapa, a estratégia adotada consiste em selecionar dentro do banco de dados existente os parâmetros que mais se aproximem das propriedades reológicas do compósito. Posteriormente, a partir desses parâmetros deseja-se obter alguns projetos de ferramentas que serão conformadas e então utilizadas numa máquina injetora comercial.

Para a fabricação de ferramentas de injeção serão utilizadas tecnologias CAD/CAM (ZEID, 1991) e CNC (KIEF; WATERS, 1992). Utilizando-se de um molde padrão, serão fixados insertos contendo a cavidade da forma geométrica a ser obtida, sendo estes fabricados no Cefet-PR. Inicialmente o sistema CAD será utilizado para o projeto e modelagem tridimensional dos insertos dos moldes. Com base na geometria dos insertos, os programas para a realização da usinagem no centro de usinagem CNC serão obtidos com o auxílio de um sistema CAM. Após a usinagem, os insertos serão submetidos ao processo de acabamento superficial adequado.

O estudo do processamento do material lignocelulósico pelo processo de injeção será feito em duas etapas. Inicialmente será utilizada uma matriz de geometria simples para a obtenção de corpos-de-prova para ensaios mecânicos.

Para a determinação das condições ótimas de injeção será utilizada a metodologia "Preenchimento Incompleto" (BARRY et al., 1995), onde se determina seqüencialmente: volume para o preenchimento da cavidade, velocidade de injeção, pressão de injeção, tempo de injeção, pressão e tempo de recalque. Este último é realizado com o auxílio de uma balança, onde se define o patamar em que não há variação significativa do peso da peça em função do aumento do tempo de recalque.

Os ensaios mecânicos serão realizados numa máquina universal, segundo os seguintes procedimentos:

- Ensaio de resistência à tração segundo a American Standard Test Methods: D-638 (1986);
- Ensaio de resistência à compressão segundo a American Standard Test Methods: D-695 (1986) e
- Ensaio de resistência à flexão em 3 pontos segundo a American Standard Test Methods: D-790 (1986).

Tendo como base as propriedades determinadas nos ensaios mecânicos (TRANTINA; NIMMER, 1995), modelos numéricos dos corpos-de-prova serão gerados para a análise estrutural, utilizando um programa comercial baseado no Método dos Elementos Finitos (BATHE, 1995). Os resultados desse modelo para peças com geometria simples serão utilizados para ajuste das condições de contorno, considerando que o compósito apresenta comportamento mecânico viscoelástico.

Posteriormente, numa segunda etapa, serão injetadas peças de geometria mais complexa. Nesse caso, serão levadas em

consideração características geométricas, tais como: espessura de parede e arredondamento. No caso destas peças, as condições ótimas de processamento serão novamente determinadas por meio do método de "Preenchimento Incompleto". Em paralelo, o modelo numérico desenvolvido terá a sua validade verificada por meio de ensaio do tipo força-deslocamento numa máquina de ensaio universal para peças de geometria complexa.

A identificação de potenciais empresas, junto às quais serão levantadas necessidades, que permitirão verificar a possibilidade de uso de materiais lignocelulósicos. Após essa identificação serão contatadas três empresas do setor metal-mecânico e três do setor da construção civil. Esses ainda são mercados recentes e em expansão, principalmente, no que tange a aplicações como materiais de engenharia. Serão utilizados questionários e observações nos locais, visando detectar potenciais usos e possibilidades de substituição. Finalmente, será implementada uma análise funcional (CHAKRABARTI; BLIGH, 1996) dos componentes identificados, visando estabelecer os requisitos de projeto a serem incorporados no produto final.

Algumas das aplicações atuais dos compósitos lignocelulósicos são fabricação de caixas de som, partes internas de portas de carro, peças decorativas, *decks*, portas e janelas entre outros (CLEOMONS, 2000).

Seleção de materiais de moldes de injeção para a conformação de compósitos

Materiais de moldes de injeção devem atender obrigatoriamente a alguns requisitos, usualmente adotados por empresas fabricantes de aços (BARBOSA et al., 2000), tais como:

- resistência mecânica estrutural;
- usinabilidade;
- acabamento superficial (polibilidade);
- estabilidade térmica;
- resistência à corrosão; e
- resistência ao desgaste abrasivo.

É usual que empresas prestadoras de serviço de tratamento térmico apresentem tabelas de orientação para seleção de aços para moldes de injeção com base em índices qualitativos, construídos a partir da experiência industrial dos usuários. Pode-se dizer que atualmente seis

Tabela 2. Classificação usual utilizada para descrever o processo de injeção de plásticos como um tribossistema (HUTCHINGS, 1992)

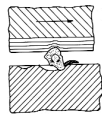
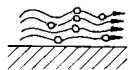
Estado físico do contra-corpo	Interface	Movimento	Nome Comum	Esquema
Sólido	Sólido	Deslizamento ou Rolamento	Desgaste Abrasivo a Três Corpos	

Tabela 3. Proposta de classificação tribológica do processo de injeção de plásticos.

Estado físico do contra-corpo	Interface	Movimento	Nome Comum	Esquema
Sólido	Fluido + partículas dispersas	Escoamento psudoplástico	?	

classes de aços são as mais empregadas para a confecção de moldes (YOSHIDA, 2000):

- aços carbono comum;
- aços carbono baixa liga;
- aços ferramenta;
- aços endurecíveis por precipitação e
- aços inoxidáveis martensíticos.

Para alguns desses requisitos, é possível estabelecer uma relação de causa e efeito. Por exemplo, na usinabilidade a melhoria da qualidade dos aços durante o processo de fabricação é quantificada pela redução da fração volumétrica e pela morfologia das inclusões não-metálicas (MILAN; MACHADO; BARBOSA, 2000).

Entretanto, em fenômenos de superfície (desgaste abrasivo), que possuem um caráter sistêmico e uma complexidade inerente, ocorre uma abordagem equivocada em relação à seleção de materiais para esse requisito em específico. No tipo de *interface* termoplástico-molde-carga não se pode estudar da forma habitual a classificação dos sistemas de desgaste abrasivo conhecidos, nos quais a *interface* é constituída por sólidos, que podem ser tratados sob a abordagem elasto-plástica de comportamento mecânico.

Sabe-se que a carga adicionada ao material termoplástico é responsável pelo desgaste abrasivo no molde durante o processo de injeção (BERGSTROM *et al.*, 2001). As condições operacionais na injeção são dependentes da reologia do material a ser processado e em particular, da viscosidade desse produto, que é alterada pela composição química e pela morfologia da carga selecionada. Portanto, o termoplástico desempenha um papel relevante no contato que se dará na *interface* entre os componentes do molde e a carga.

Relações semelhantes são encontradas em

outros sistemas, tais como: lubrificantes contaminados com partículas, sistemas de meio lamacento, na qual as componentes de força são regidas por modelos da mecânica dos fluidos.

Sendo o desgaste abrasivo o mecanismo predominante observado nos componentes de uma máquina injetora, sugere-se que a classificação usual dos eventos de desgaste seja abandonada, e como conseqüência, também os ensaios de laboratório que reproduzam essa classificação. A Tabela 2 mostra a classificação usual do desgaste abrasivo, considerando uma partícula sólida interposta entre dois corpos, geralmente denominada abrasão a três-corpos.

Considerando a existência de um fluido compondo a *interface* termoplástico-molde-carga, esse sistema precisa ser descrito de outra forma, como mostra a Tabela 3.

Pode-se considerar que o desenvolvimento de novos ensaios para simular a condição apresentada na Figura 3 é um desafio para novas investigações, que auxiliarão a seleção de materiais para moldes de injeção.

Repercussão esperada dos resultados da pesquisa

Espera-se que ao final dessa investigação o grupo detenha uma competência na especificação, aplicação e fabricação de produtos a partir de compósitos lignocelulósicos. A proposta de pesquisa está organizada de forma a propiciar a integração e o fluxo de informação entre as áreas envolvidas. Desta forma, o conhecimento gerado possibilitará o desenvolvimento integrado de produtos injetados.

Sob o ponto de vista técnico-científico, pretende-se conhecer as variáveis de processamento, bem como obter maior domínio das técnicas de simulação do comportamento de materiais poliméricos. Desse domínio decorre a possibilidade de projeto e fabricação de componentes com geometria complexa, para aplicação estrutural.

No âmbito socioeconômico, os resultados da investigação podem oportunizar novos negócios, na indicação de diferentes aplicações para o material estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ESTUDO sugere uso de serragem como insumo. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.12, n. 66, p.30-34, 2002.
2. KOKTA, B. V., DANEULT, C. BESHAY, A. D., Use of Grafted Aspen Fiber in Thermoplastic Composites: IV Effect of Extreme Condition on Mechanical Properties of Polyethylene Composites, **Polymer Composites**, Brookfield, v. 7, n. 5, p. 337-348, Oct. 1986.
3. JACKSON, S. M. **Advanced processing technology for manufacturing wood polymer composites**. New Jersey: Werner & Pfleiderer Corp. Ramsey, 2000.
4. SATO, A. G., RODOLFO Jr., A., HAGE, E. Desenvolvimento de Compostos de PVC Rígido com Pó de Madeira: Efeito do tratamento da carga quanto a desempenho mecânico e processabilidade. In: SULMAT - CONGRESSO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS DO MERCOSUL, 2002, Joinville. Joinville: CCT/UEDESC, 2002. p. 263-272.
5. ZEID, I. **CAD/CAM: theory and practice**. New York: McGraw-Hill, 1991.
6. KIEF, H.B.; WATERS, T. FREDERICK. **Computer numerical control**. Basingstoke Hampshire: Macmillan, 1992.
7. BARRY, C., BOOTHROYD, P., LAI, F., NUNN, R.E., ORROTH, S.A., SCHOTT, N.R. **Short shot method of injection molding**: plastics processing Laboratory
8. AMERICAN STANDARD TEST METHODS. **Standard test method for tensile properties of plastics, D-638**. West Conshohocken, PA, 1986.
9. AMERICAN STANDARD TEST METHODS. **Standard test method for compressive properties of rigid plastics, D-695**. West Conshohocken, PA, 1986.
10. AMERICAN STANDARD TEST METHODS. **Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, D-790**. West Conshohocken, PA, 1986.
11. TRANTINA, G., NIMMER, R. **Structural analysis of thermoplastic components**. New York,: McGraw-Hill, 1995.
12. BATHE, Klaus-Jürgen. **Finite element procedures**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.
13. CHAKRABARTI, A.; BLIGH, T. An approach to functional synthesis of solutions in mechanical conceptual design. Part III: Spatial configuration. **Research in Engineering Design**, London, v. 8, n.2, p. 116-124, Apr. 1996.
14. CLEOMONS, C. M., Woodfiber-plastic composites in the United States-history and current and future markets. In: INTERNATIONAL WOOD AND NATURAL FIBRE COMPOSITES SYMPOSIUM, 3., 2000, Kassel, Alemanha. Kassel: Universität Gesamthochschule Kassel, 2000. p. 1-7.
15. BARBOSA, C. A.; MURARI, A.; GRACIANO, G.; ABREU, D.Q.; HADAD, P.T.R. Desenvolvimento de aço com usinabilidade melhorada para moldes para plástico de grandes dimensões, In: WORKSHOP MOLDES PARA CONFORMAÇÃO DE PLÁSTICOS, 2, 2000, São Paulo. São Paulo: EPUSP, 2000. p. 47-56.
16. YOSHIDA, S. Seleção de aços, tratamentos térmicos e tratamento de superfície para moldes de injeção de plásticos, In: WORKSHOP MOLDES PARA CONFORMAÇÃO DE PLÁSTICOS, 2., 2000, São Paulo. São Paulo: EPUSP, 2000. p. 75-84
17. MILAN, J.C.G.; MACHADO, A.R.; BARBOSA, C.A. Usinabilidade de aços para moldes de injeção de plástico tratados com cálcio, In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 55., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: ABM, 2000. p. 3206-3215.
18. BERGSTROM, J.; THUVANDER, F.; DEVOS, P.; BOHER, C. Wear of die materials in full scale plastic injection moulding of glass fibre reinforced polycarbonate. **Wear**, Lausanne, v. 251, n-1-12, p. 1511-1521, Oct. 2001.
19. HUTCHINGS, I.M. **Tribology: friction and wear of Engineering materials**. London: Edward Arnold, 1992.