

José de Ávila Júnior

***Nanomembranas Interlaminares
Para Compósitos de Alto Desempenho***

Belo Horizonte – MG

Agosto / 2010

José de Ávila Júnior

***Nanomembranas Interlaminares
Para Compósitos de Alto Desempenho***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto Mecânico

Orientador:

Prof. Antônio Ferreira Ávila, PhD.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESCOLA DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Belo Horizonte – MG

Agosto / 2010

Aos meus pais,
José (*in memoriam*) e Maria

Agradecimentos

À Deus, que sempre me deu forças para vencer todos os desafios e atingir meus objetivos;

Ao professor Antônio Ferreira Ávila, que muito mais que um orientador, se tornou um grande amigo e fonte de inspiração, pelos ensinamentos, motivação, paciência e confiança;

À minha família, que sempre me apoiou incondicionalmente;

Aos companheiros do Laboratório de Nanocompósitos da UFMG, Eder, Diego, Gabriela, Finotti e Luisa, por tornarem mais prazeroso meu ambiente de trabalho e, em especial, aos meus caros amigos Almir, que me incentivou a seguir em frente mesmo quando eu já começava a demonstrar sinais de cansaço, e Priscila, que gentilmente colocou à minha disposição todo seu *know-how* em tratamento de imagens;

Aos técnicos Cleberson de Paula e Breno Barbosa, do Centro de Microscopia da UFMG, e à professora Elisângela Silva Pinto, do IFMG de Ouro Preto, pela grande cooperação;

À CAPES, pelos incentivos acadêmico e financeiro;

À Maria das Dores, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, pela paciência e ajuda com a burocracia dos últimos três semestres;

E à todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho;

Os meus sinceros agradecimentos!

“Find your passion and follow it.”
Dr. Randolph Frederick “Randy” Pausch

Resumo

Neste estudo, procurou-se investigar o processo de síntese de nanomembranas e sua incorporação em compósitos laminados. As nanomembranas foram geradas utilizando a técnica de *electrospinning*. O PVA foi utilizado nos estudos preliminares e o PA-66 nos estudos das influências dos parâmetros operacionais (concentração do polímero, diferença de potencial elétrico aplicada, vazão da solução, distância entre ponta da agulha e o coletor) na morfologia das nanofibras. Outro parametro estudado foi o efeito da adição de nanopartículas (grafeno) na morfologia das nanofibras. Os resultados demonstraram que, para o PA-66, o diâmetro médio das nanofibras é diretamente proporcional à vazão, à concentração do polímero e à diferença de potencial elétrico aplicada. A adição de nanopartículas de base carbono fez com que o diâmetro médio das nanofibras aumentasse. Os diâmetros médios para as concentrações de grafeno de 0%, 1%, e 2% variaram de 57 nm (0%) até 141 nm (2%). É importante salientar que os diâmetros médios das nanofibras obtidas estão 37% menores que aqueles reportados na literatura. As nanofibras dopadas com grafeno foram incorporadas à compósitos laminados de fibra de carbono e epóxi por meio do processo de *hand lay-up*. Os ensaios de flexão de três pontos mostraram um decréscimo da tensão máxima de flexão com a adição das nanomembranas. Uma das hipóteses para tal fato é a possibilidade da nanomembrana ter agido como um filtro, o que gerou a formação de vazios interlaminares.

Palavras-chave: *electrospinning*, nanofibras, nanomembranas, compósitos, grafeno

Abstract

This investigation deals with the synthesis of polymeric nanomembranes and their application to laminated composites. The nanomembranes were generated using the *electrospinning* technique. PVA was employed during the preliminary studies, while PA-66 was used for the parametric study (polymer concentration, applied tension, solution flow rate, gap between needle and target) and nanofibers incorporation to the carbon fiber/epoxy composite. An additional investigated parameter was the graphene effect into nanofiber diameter. Obtained data showed that, for the PA-66, the average diameter is directly proportional to polymeric concentration, flow rate, and applied tension. The addition of graphene led to an increase of average diameter. The average diameters for graphene concentrations of 0 wt%, 1 wt% and 2 wt% ranged from 57 nm (0 wt%) to 141 nm (2 wt%). Moreover, the average diameters were 37% smaller than the one reported into literature. The nanofibers/nanomembranes were incorporated to carbon fiber/epoxy laminates by *hand lay-up*. Three point bending tests demonstrated a decrease on flexural strength due to the nanomembrane addition. One possible explanation for such behavior is the “filter effect”, which can lead to interlaminates void formation.

Keywords: *electrospinning*, nanofibers, nanomembranes, composites, graphene

Lista de Figuras

FIGURA 1	Nanomembranas de PCL produzidas por <i>electrospinning</i>	4
FIGURA 2	Fases de um material compósito	5
FIGURA 3	Classificação dos materiais compósitos	6
FIGURA 4	Imagem TEM de nanofibras de TiO ₂ revestidas com nanopartículas de ouro	7
FIGURA 5	Imagem MEV de nanofibras de PS revestidas com nanopartículas de PCL	8
FIGURA 6	Imagem TEM de nanofibras de PAN revestidas com nanopartículas de ferro cuja superfície foi utilizada para o crescimento de nanotubos de carbonos	8
FIGURA 7	Fibroblastos interagindo com nanomembrana de EVOH após 7 dias de cultura	9
FIGURA 8	Expansão de células-tronco sobre nanomembrana de PES após 10 dias de cultura	9
FIGURA 9	Nanofibras para tratamento de feridas sendo depositadas diretamente sobre a pele	10
FIGURA 10	Imagens MEV de nanomembrana contendo nanopartículas de preenchimento para utilização em sistemas de purificação de ar	11
FIGURA 11	Aparato de Cooley para dispersão elétrica de flúidos	12
FIGURA 12	Método de Morton para dispersão flúidos	12
FIGURA 13	Método de Formhals para produção de fibras artificiais	13
FIGURA 14	Montagem esquemática de um sistema de <i>electrospinning</i>	15
FIGURA 15	Fibras de 10% polieterimida em hexafluoro-2-propanol geradas por <i>electrospinning</i>	17
FIGURA 16	Influência da concentração (% em peso) de PVA na morfologia das fibras geradas por <i>electrospinning</i>	18

FIGURA 17	Imagens MEV de nanomembranas de PCL	19
FIGURA 18	Imagem MEV de um corte transversal de uma nanomembrana de PVA ..	21
FIGURA 19	Imagens MEV de nanomembranas de PVP	21
FIGURA 20	Imagens MEV de nanomembranas de PHBV	22
FIGURA 21	Imagem MEV de nanolâminas de grafite após 5 h de dispersão por ultrassom	24
FIGURA 22	Imagens MEV das fases de obtenção do nanografite	24
FIGURA 23	Resumo das tarefas experimentais desenvolvidas	25
FIGURA 24	Misturador magnético com placa aquecida IKA® CERAMAG Midi	27
FIGURA 25	Misturador por ultrassom Misonix Microson™ XL200	27
FIGURA 26	Unidade de <i>electrospinning</i> do <i>Laboratório de Nanocompósitos</i>	28
FIGURA 27	Estufa a vácuo Quimis Q-819V2	28
FIGURA 28	Bal-Tec MED 020 Coating System	29
FIGURA 29	Microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 200-FEG	29
FIGURA 30	Nanomembrana de PA-66 depositada sobre fibras de carbono	33
FIGURA 31	Ensaio de três pontos segundo a norma ASTM D970-10	34
FIGURA 32	Ferramenta de corte Dremel® 395 MultiPro	35
FIGURA 33	Máquina Universal de Ensaios EMIC DL10000	35
FIGURA 34	Morfologia das fibras da amostra A-I	36
FIGURA 35	Morfologia das fibras da amostra A-II	37
FIGURA 36	Morfologia das fibras da amostra A-III	38
FIGURA 37	Morfologia das fibras da amostra A-IV	38
FIGURA 38	Dispersão das medições de diâmetros das amostras B-I a B-XV	39
FIGURA 39	Morfologia das fibras da amostra B-I	40
FIGURA 40	Variação do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da concentração do polímero na solução polimérica	41

FIGURA 41	Varição do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da diferença de potencial elétrico aplicada	43
FIGURA 42	Varição do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da vazão da solução polimérica	44
FIGURA 43	Varição do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da distância entre a agulha e o coletor	45
FIGURA 44	Varição do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da concentração de nanografite na solução polimérica (10% de PA-66)	45
FIGURA 45	Varição do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da concentração de nanografite na solução polimérica (12% de PA-66)	46
FIGURA 46	Varição do diâmetro médio das nanofibras em função da variação da concentração de nanografite na solução polimérica (15% de PA-66)	47
FIGURA 47	Dispersão dos valores de força máxima suportada pelos corpos de prova fabricados a partir dos compósitos C-I a C-IV	48
FIGURA 48	Resultados dos ensaios de flexão dos corpos de prova da amostra C-I	49
FIGURA 49	Presença de vazios nas regiões interlaminares do compósito C-III	50
FIGURA 50	Morfologia das fibras da amostra B-II	59
FIGURA 51	Morfologia das fibras da amostra B-III	60
FIGURA 52	Morfologia das fibras da amostra B-IV	60
FIGURA 53	Morfologia das fibras da amostra B-V	61
FIGURA 54	Morfologia das fibras da amostra B-VI	61
FIGURA 55	Morfologia das fibras da amostra B-VII	62
FIGURA 56	Morfologia das fibras da amostra B-VIII	62
FIGURA 57	Morfologia das fibras da amostra B-IX	63
FIGURA 58	Morfologia das fibras da amostra B-X	63
FIGURA 59	Morfologia das fibras da amostra B-XI	64
FIGURA 60	Morfologia das fibras da amostra B-XII	64

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

