

AVALIAÇÃO DO EFEITO BAROCALÓRICO EM COMPÓSITO DE POLIURETANO COM CARGAS CONDUTORAS TÉRMICAS

Fernando Alves Fungaes (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Flávio Clareth Colman, Eduardo Radovanovic, Silvia Luciana Fávaro (Orientadora), e-mail: ra105533@uem.br

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

Engenharia Mecânica e Processos de Fabricação

Palavras-chave: Mecanocalórico, Refrigeração em estado sólido, Poliuretano Termoplástico

Resumo:

Na última década renovou-se o interesse da comunidade científica em estudos de materiais que apresentem efeitos mecanocalóricos. O efeito i-calórico produzido por estes materiais passou a ser considerado no desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas em sistemas de refrigeração e bomba de calor em estado sólido. Dentre os materiais recentemente descobertos, destacam-se os elastômeros, com efeitos barocalóricos gigantes, porém com limitação em suas propriedades térmicas. Desta forma, este trabalho contempla o desenvolvimento de compósitos com matriz de Poliuretano Termoplástico (TPU) e carga de grafite, visando a aplicação na refrigeração em estado sólido. As etapas para produção das amostras envolviam os processos de extrusão e o embutimento. O aumento da carga de grafite foi determinante para o aumento da condutividade térmica das amostras, para 40% de proporção em massa de grafite atingiu-se um valor de 0,67 W/(m.K), superior a 0,11 W/(m.K) do TPU puro. Já o ensaio mecanocalórico compressivo apresentou uma redução da variação adiabática de temperatura com o aumento da proporção em massa de grafite, para 40% de proporção em massa de grafite atingiu-se um valor de 10,89°C a 218MPa de pressão, inferior ao apresentado pelo TPU puro, de 12,83 a 218MPa.

Introdução

Os sistemas atuais de refrigeração utilizam de compressão e expansão de vapor. Estes dispositivos fazem uso de fluidos refrigerantes danosos ao meio ambiente, com isso, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para contornar esse problema, dentre essas tecnologias, destacam-se as formas de refrigeração utilizando materiais sólidos baseados nos efeitos i-calóricos (onde “i” significa uma variável intensiva, denominada um campo intensivo) que dependem da natureza do campo externo aplicado (campo magnético, elétrico ou mecânico), estes efeitos são denominados como: magnetocalórico, eletrocalórico e mecanocalórico [1]. O efeito barocalórico é um caso particular do efeito mecanocalórico, onde é exercida sob o material uma pressão hidrostática, o efeito pode ser caracterizado pela variação de

entropia no estado isotérmico ou pela variação de temperatura em processo adiabático.

Diversos materiais apresentam o efeito barocalórico, como os cristais plásticos e polímeros, dentre estes, os materiais elastoméricos apresentam o efeito barocalórico gigante, como a borracha de poliuretano [2]. Dito isso, o desenvolvimento de um compósito de matriz elastomérica (TPU) utilizando uma carga de grafite com a finalidade de aumentar a condutividade térmica, pode resultar em um material com características excelentes para a aplicação em máquinas térmicas, buscando-se aproveitar as melhores características de cada constituinte, como a alta condutividade térmica do grafite e o efeito mecanocalórico compressivo gigante da matriz elastomérica.

Metodologia

O TPU puro (BRASTHANE APA 87 F V0 NATURAL) e compósitos com matriz de TPU e reforço de grafite (Sigma-Aldrich) foram produzidos pelo método de extrusão, utilizando uma extrusora da Thermo Scientific, modelo Mini Lab II HAAKE Rheomex de parafusos cônicos duplos, na configuração co-rotante à 200°C e 60 rpm, com o tempo de circulação de 10 minutos, depois foi utilizado uma máquina embutidora metalográfica hidráulica manual da empresa Pantec, modelo Panpress-30, utilizando 9 gramas de amostra picotada sob compressão de 1kN a uma temperatura de 190°C por 70 minutos (50 minutos de aquecimento, 10 minutos em resfriamento sob pressão e 10 minutos de resfriamento sem pressão).

As medidas de condutividade térmica (k) no TPU puro e compósitos foram realizadas no equipamento desenvolvido por Bocca J. R. (2021), as medições diretas do efeito mecanocalórico compressivo foram medidas por um calorímetro desenvolvido por Bocca J. R. (2021) nas temperaturas de 20 a 60 C (intervalo de 10 C) nas pressões de 42, 86, 130, 174 e 218 MPa. A curva Tensão x Deformação na compressão foi obtida seguindo a norma ASTM D575-91(2012), utilizando-se uma máquina universal de ensaios EMIC 10000, com uma célula de carga de 20 kN. Para o ensaio de dureza foi utilizado a norma ASTM D2240 e um durômetro Tecloks GS-706, na escala Shore A.

Resultados e Discussão

O ensaio mecanocalórico compressivo, demonstrou a presença de uma resposta térmica sob pressão, tanto para o TPU puro (utilizado como matriz), quanto para os compósitos (com 10, 20, 30 e 40% de carga). Esta resposta térmica sob pressão pode ser melhor visualizada na Figura 1. É possível notar, que com o aumento da tensão de compressão, também ocorre um aumento substancial da variação adiabática de temperatura ΔT_s , quando considerado o TPU puro foi obtida uma variação de 2,7°C a 42 MPa para 12 °C a 218 MPa. Já para os compósitos, é percebida uma redução nos valores de ΔT_s com o aumento do percentual em massa de carga de grafite, esta redução é facilmente verificada para o maior valor de pressão, considerando-se 218 MPa, os valores de ΔT_s variaram de 12,31, 12,07,

11,09 e 10,89 °C para 10, 20, 30 e 40% de massa de grafite, respectivamente. O aumento da temperatura não propiciou um aumento significativo no valor de ΔT s.

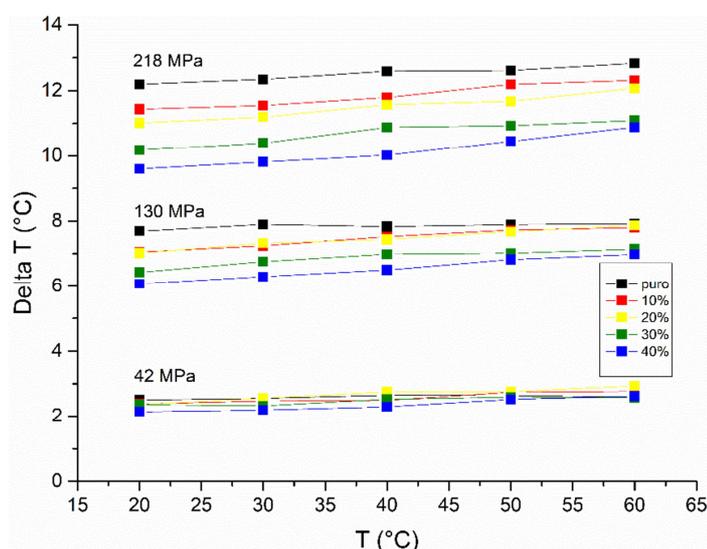


Figura 1 – Efeito mecanocalórico compressivo no TPU puro e compósitos com 10, 20, 30 e 40% de grafite, nas pressões de 42, 130 e 218 MPa e temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 °C

As medidas de condutividade térmica e dureza foram realizadas para as triplicatas nas proporções em massa de 10, 20, 30 e 40% de carga de grafite. Os resultados da condutividade térmica e da dureza evidenciaram um aumento considerável de condutividade térmica das amostras com o aumento da proporção de grafite no compósito de 0,22, 0,36, 0,48 e 0,67 W/(m.K) para 10, 20, 30 e 40% de carga de grafite, respectivamente, proporcionando um aumento de 660% do valor de k médio dos corpos de prova com 40% de carga em relação ao TPU puro (0,11 W/(m.K)). A dureza dos compósitos aumentou com a adição de grafite, atingindo valores médios de 90, 93, 95 e 96 Shore A para 10, 20, 30 e 40% de grafite. Da análise do módulo de elasticidade do material nota-se que com o aumento percentual em massa de carga de grafite nos corpos de prova também ocorre um aumento no valor do módulo de elasticidade (E), partindo de 26,16 MPa (10% de grafite) para 49,82 MPa (40% de grafite).

Na Figura 2 é apresentada uma figura de Mérito para comparação da aplicação de diferentes materiais em dispositivos de refrigeração em estado sólido. A curva é obtida normalizando-se o valor de ΔT s por ΔP para diferentes valores temperatura, o TPU apresentou uma performance similar a outros materiais elastoméricos. Quando considerada a temperatura ambiente, ideal para aplicação em dispositivos de refrigeração, foi obtido um valor de 0,0559°C/MPa para TPU, 0,0616°C/MPa para o PU, 0,0731°C/MPa para o PDMS e 0,044°C/MPa para o TPU com 40 % de grafite.

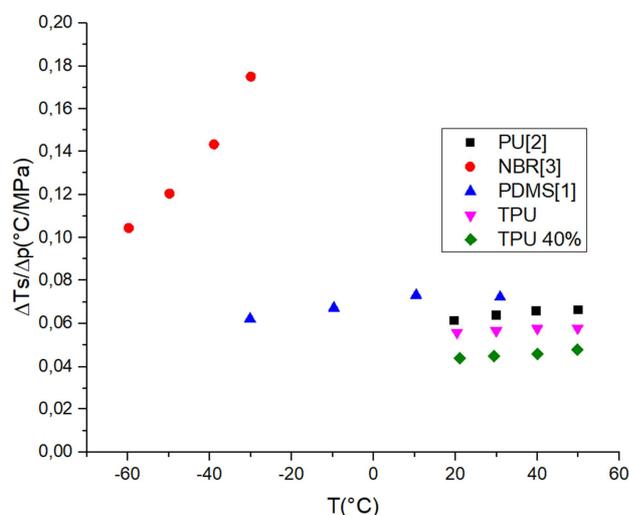


Figura 2 – Normalização de ΔT_s em relação a ΔP como uma função da temperatura.

Conclusões

As amostras de compósito se demonstraram promissoras para a aplicação em refrigeradores mecanocalóricos compressivos, aproximando seus valores de $\Delta T_s/\Delta P$ aos dos melhores materiais barocalóricos elastoméricos citados, a adição de percentual em massa de carga de grafite, mostrou-se adequada para melhoria das propriedades térmicas, atingindo um aumento em torno de 660% na condutividade térmica (em relação ao TPU puro). Quando considerado o valor de ΔT_s , com a adição de 40 % em massa de grafite, ocorre uma redução de 15,12% em seu valor quando comparado ao material puro.

Agradecimentos

Agradeço a Fundação Araucária e ao CNPq pelo incentivo financeiro e aos professores orientadores que me agregaram tal conhecimento na área de materiais.

Referências

- [1] CARVALHO, A. M. G. et al. Giant room-temperature barocaloric effects in PDMS rubber at low pressures. **European Polymer Journal**, v. 99, p. 212–221, 2018.
- [2] BOCCA, J. R. et al. Giant barocaloric effect in commercial polyurethane. **Polymer Testing**, v. 100, p. 107251, 2021.
- [3] USUDA, E. O. et al. Giant Reversible Barocaloric Effects in Nitrile Butadiene Rubber around Room Temperature. **Applied Polymer Materials**, v.7, n. 1, p. 31–36, 2018.