

PROJETO CONCEITUAL DE REFRIGERADOR TORSIOCALÓRICO

Vitorio Lavagnoli Neto (BIT/NAPI-EZC), Flávio Clareth Colman (Orientador). E-mail: fccolman@uem.br.

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

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Mecânica/ Engenharia Térmica.

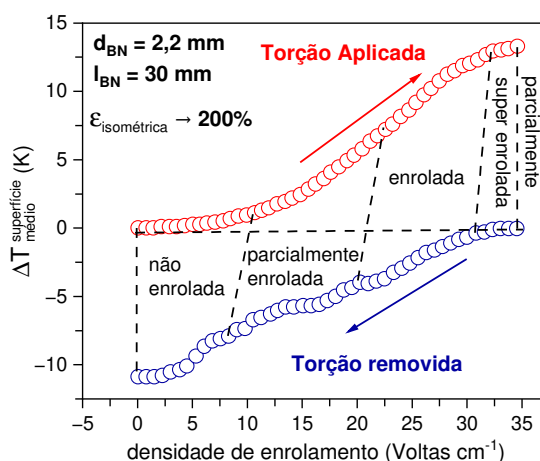
Palavras-chave: Refrigeração em estado sólido; efeito torsioalórico; regenerador.

RESUMO

Este trabalho apresenta a concepção de um regenerador torsioalórico, elaborado a partir da metodologia de Pahl & Beitz. O projeto contempla requisitos de funcionalidade, simplicidade e confiabilidade, organizados em três subsistemas principais: sistema de transmissão de torque, câmara torsioalórica e suporte estrutural. A proposta constitui um avanço inicial para a aplicação prática do efeito torsioalórico em sistemas de refrigeração de estado sólido. Detalhes adicionais não são apresentados por estar em processo de solicitação de patente.

INTRODUÇÃO

No que se refere ao efeito torsioalórico ($E_{\sigma t}-C$), Wang et al. (2019) investigaram a resposta calórica sob torção em fios de borracha natural (BN), nylon 6 e polietileno (PE). Para a BN, a aplicação de torção nos filamentos provoca seu enrolamento progressivo, seguido da aproximação e propagação das espiras até atingir uma condição de máxima densidade de enrolamento, conhecida como superenrolamento (Figura 1a). Durante deformações isométricas de 100, 250, 300 e 450%, observou-se que a fratura ocorre antes do início dos regimes de superenrolamento, no início do superenrolamento, no enrolamento completo e no início do enrolamento, respectivamente.



(a)

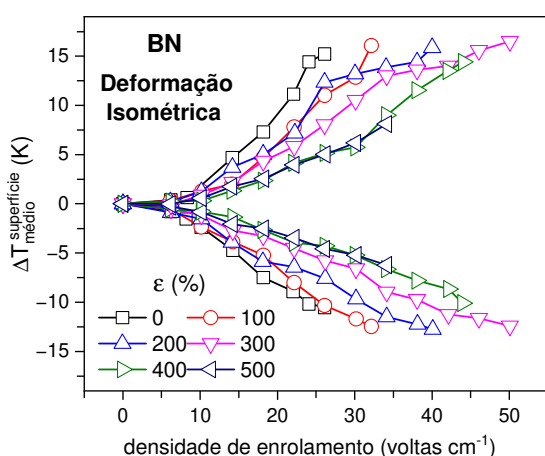
(b)

Figura 1 – Efeito torsiocalórico em fibras de borracha (a) Fotografia de enrolamento parcial, completamente enrolado e superenrolado de um fio de BN com 2,5mm de diâmetro em 100 % de deformação. (b) ΔT_{med}^{sup} na transição de estágios de enrolamento de um fio de BN com deformação isométrica de 200%.

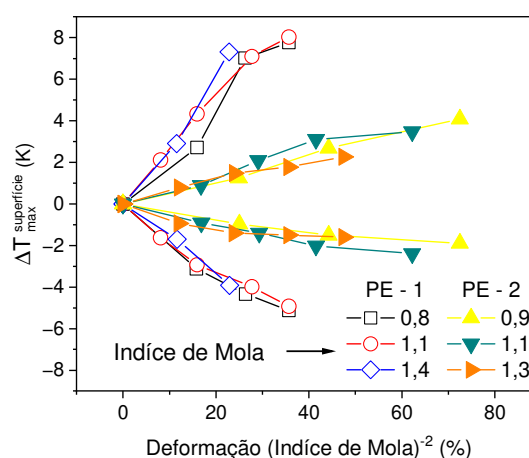
Segundo os autores, a variação de temperatura na superfície ocorre de forma não homogênea em fios enrolados e superenrolados. Assim, foram reportados os valores da variação de temperatura média (ΔT_{med}^{sup}) e máxima (ΔT_{max}^{sup}) desenvolvidas na superfície. Durante os processos de enrolamento e relaxamento sob torção, a temperatura oscila entre aquecimento e resfriamento. Os estágios de enrolamento para um fio de BN sob aplicação e alívio de torção podem ser observados na Figura 1b.

Quando aplicada uma deformação isométrica de 300% no fio de BN, as variações de temperatura média foram de 3,3 K, 6,5 K e 7,7 K nos estágios de grande enrolamento, parcialmente superenrolado e superenrolado, respectivamente. Esses valores são superiores à ΔT_{med}^{sup} observada para o fio não torcido (2,4 K). Já sob deformação isométrica de 100%, durante o alívio da torção, o fio apresentou resfriamento superficial com ΔT_{med}^{sup} de -12,4 K (Wang et al., 2019). A relação entre variação de temperatura média e densidade de enrolamento para a BN é apresentada na Figura 2a.

O E σ -C também foi investigado em polímeros utilizados em linhas de pesca e costura. Nesses casos, os materiais foram submetidos à torção até que os fios sofressem enrolamento. Tais fibras são denominadas homoquirais quando os fios autoenrolados e suas espiras apresentam o mesmo sentido de rotação. Nos experimentos realizados em linha de pesca trançada de polietileno (diâmetro de 0,41 mm), índices de mola variando de 1,4 a 0,8 foram obtidos ao se aplicar de 6,5 a 7,3 voltas·cm⁻¹ sob cargas de 37,1 a 74,2 MPa, respectivamente. Ao liberar 22,7% da deformação aplicada, foi registrado um resfriamento máximo de -5,1 K ΔT_{max}^{sup} para o índice de mola de 0,8 (Figura 2b).



(a)



(b)

Figura 2 – Efeito torsiocalórico em fibras de borracha (a) Fotografia de enrolamento parcial,

completamente enrolado e superenrolado de um fio de BN com 2,5mm de diâmetro em 100 % de deformação. (b) ΔT_{med}^{sup} na transição de estágios de enrolamento de um fio de BN com deformação isométrica de 200%.

Diante das características promissoras observadas em polímeros, associadas à ausência de um conceito consolidado de refrigerador torsiocalórico, os resultados indicam a viabilidade do desenvolvimento de um projeto voltado à elaboração de dispositivos capazes de aplicar torção em conjuntos de refrigerantes em estado sólido.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do projeto conceitual do refrigerador torsiocalórico, foi adotada a metodologia sistemática de desenvolvimento de produtos proposta por Pahl e Beitz. Essa abordagem permite planejar e executar o processo de forma estruturada, garantindo a integração dos diferentes aspectos técnicos e organizacionais envolvidos.

O método é dividido em quatro fases: projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Inicialmente, são identificadas e organizadas as necessidades do projeto, resultando na especificação de requisitos. Na sequência, procede-se ao projeto conceitual, considerado a etapa mais crítica, pois define a concepção fundamental do produto a partir da decomposição da função global em subfunções, da busca de princípios de solução e da avaliação comparativa das alternativas geradas.

A seleção da solução mais promissora é feita com base em critérios previamente estabelecidos, como funcionalidade, simplicidade operacional, segurança, ergonomia, viabilidade de produção, custos e sustentabilidade. Essa estrutura metodológica fornece um caminho sistemático para a tomada de decisão, reduzindo a probabilidade de erros em etapas posteriores e favorecendo a racionalização de recursos no desenvolvimento do protótipo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fase de projeto resultou na concepção de um regenerador torsiocalórico, cujo modelo geral está ilustrado na Figura 3. O equipamento é composto por um conjunto de sistemas mecânicos e estruturais integrados, destacando-se: o sistema de transmissão de torque, a câmara torsiocalórica e os elementos de suporte e alinhamento.

O sistema de transmissão de torque tem a função de aplicar e controlar a carga mecânica de torção variável sobre os refrigerantes em estado sólido (RES) torsiocalóricos. Esse sistema integra motor, redutor e acoplamentos, permitindo a transmissão precisa e estável do torque.

A câmara torsiocalórica foi projetada para abrigar os RES, garantindo tanto a aplicação da torção quanto a interação com o fluido térmico de troca de calor. O desenho estrutural da câmara permite a circulação uniforme do fluido, otimizando a eficiência da transferência térmica durante os ciclos de operação.

O suporte estrutural assegura o alinhamento do conjunto, contribuindo para a confiabilidade do sistema. O arranjo modular da câmara facilita a substituição de componentes e a adaptação a diferentes configurações de RES.

Com base no método de Pahl & Beitz, a concepção alcançada atende aos requisitos de funcionalidade, viabilidade construtiva, segurança e possibilidade de escalonamento. Detalhes técnicos adicionais do projeto não foram discutidos neste trabalho, uma vez que o equipamento encontra-se em processo de solicitação de patente.

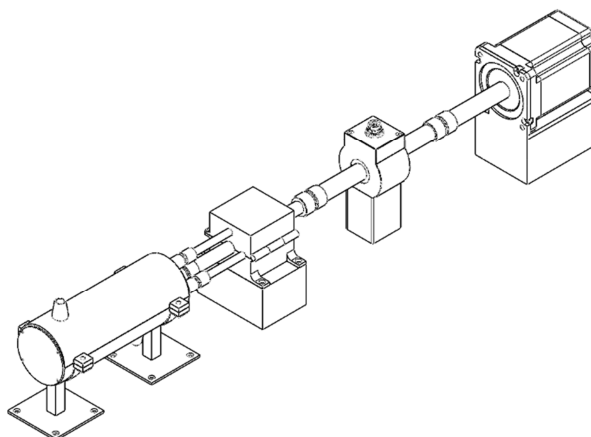


Figura 3 – Projeto Conceitual de Regenerador Torsioalórico de Múltiplos fios

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a concepção de um regenerador torsioalórico desenvolvida a partir da metodologia sistemática de Pahl & Beitz. O projeto atendeu aos requisitos de funcionalidade, confiabilidade e viabilidade construtiva, constituindo-se em um avanço inicial para a aplicação do efeito torsioalórico em sistemas de refrigeração de estado sólido. Detalhes técnicos adicionais não foram discutidos em virtude do processo de solicitação de patente em andamento. Como próximos passos, prevê-se a construção do protótipo experimental e a realização de ensaios para validação do desempenho termomecânico e térmico do equipamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação Araucária pelo financiamento da bolsa, a UEM pela estrutura.

REFERÊNCIAS

WANG, Run *et al.* Torsional refrigeration by twisted, coiled, and supercoiled fibers. **Science**, v. 366, n. 6462, p. 216–221, 11 out. 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax6182>