

SISTEMA DE CURA PARA PEÇAS FABRICADAS COM FIBRA DE CARBONO RESINADAS

Data de submissão: 29/03/2024

Data de aceite: 02/05/2024

Vinicius Kazuhiko Quitakava Tanigawa

Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo
São Paulo – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0002-6804-5577>

Antonio Luis de Campos Mariani

Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo
São Paulo – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3257771642039846>

RESUMO: Essa pesquisa apresenta um sistema inovador de aquecimento de peças fabricadas com fibra de carbono e resina, viabilizando sua cura. O sistema, em que a produção de calor é realizada por Efeito Joule, tem como meta estabelecer um controle preciso, eficiente e autônomo, utilizando relações entre os parâmetros elétricos e resultados térmicos.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra de carbono, cura, efeito Joule, controle e automação, eficiência.

CURE SYSTEM FOR CARBON FIBER-REINFORCED COMPOSITE COMPONENTS

ABSTRACT: This research introduces a novel system that heats parts made of carbon fiber and resin, facilitating their curing process. The system utilizes the Joule Effect to generate heat and aims to provide precise, efficient, and self-governing control by establishing correlations between electrical parameters and thermal outcomes.

KEYWORDS: Carbon fiber, curing, Joule effect, control and automation, efficiency.

INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia nos últimos anos, a chamada “Quarta Revolução Industrial” começou a ser disseminada e mais utilizada para descrever as grandes mudanças e impactos que estão acontecendo no mundo atual. Internet das Coisas (*IoT*), *blockchain*, *cloud*, inteligência artificial, *machine learning* e automação são algumas das tecnologias que fundamentam essa nova era industrial (MCKINSEY & COMPANY, 2022).

Junto com o desenvolvimento tecnológico, o mundo também avançou nos conceitos de desenvolvimento sustentável. Estabelecida em 2015 na Assembleia Geral das Nações Unidas, a Agenda 2030 é uma coleção de 17 metas globais para o desenvolvimento sustentável. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) têm como propósitos um equilíbrio entre o avanço tecnológico da humanidade e a natureza, preservando e expandindo-a (UNITED NATIONS, 2024).

OBJETIVOS

Com foco na Agenda de 2030 e na “Quarta Revolução Industrial”, esta pesquisa visa desenvolver um sistema inovador de aquecimento de peças fabricadas com fibra de carbono e resina, viabilizando sua cura. O sistema, em que a produção de calor é realizada por Efeito Joule, tem como meta estabelecer um controle preciso, eficiente e autônomo, utilizando relações entre os parâmetros elétricos e resultados térmicos.

MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, a peça de fibra de carbono resinada é submetida a uma tensão elétrica, e a passagem de corrente elétrica no carbono viabiliza energia térmica por meio do Efeito Joule. Como controlador central, utiliza-se um *Raspberry Pi 4*. Sensores de temperatura que operam com princípio de medição por infravermelho são instalados para monitorar a temperatura das peças de carbono em tempo real. O sistema de controle é responsável por ajustar a potência do aquecimento com base nos dados medidos pelos sensores, modificando a tensão e corrente elétrica conduzidas através da peça. Além disso, são implementados mecanismos de segurança para interromper o processo em caso de superaquecimento da peça ou sinais de princípio de incêndio, podendo ser identificados pelos sensores de temperatura ou por sensores de fumaça e implementa-se um software que permite o acompanhamento do processo de cura remotamente.

PROCEDIMENTOS

Ensaio foram realizados para a cura de uma peça de tubo de fibra de carbono com dimensões 1,30 m de comprimento, 0,75 mm de espessura da parede e 29 mm de diâmetro. A peça de fibra de carbono foi inserida em um tubo de PVC, que tem a função de ser a estrutura externa do forno, com volume interno de 0,07 m³ (Figura 2). Neste corpo de prova foi utilizada fonte de potência (Figura 1), o qual fornecia uma corrente elétrica de 4,97 A e tensão elétrica de 0,64 V, resultando na elevação da temperatura em 30°C, atingindo 55°C, em 8 minutos. Essa temperatura foi mantida durante 2 horas. A quantidade de calor gerada durante a cura da peça foi de 22902 J. Comparando-se com um caso de aquecimento dos fornos de compósitos convencionais, seria necessário um uso de energia de 57708 J.



Figura 1 – Fonte de potência
Fonte: Própria do autor.

RESULTADOS

Utilizando o forno de aquecimento por efeito Joule, a quantidade de calor gerada durante a cura da peça foi de 22902 J. Comparando-se com um caso de aquecimento dos fornos de compósitos convencionais, seria necessário um uso de energia de 57708 J (ÇENGEL; BOLES, 2014) (INCROPERA et al., 2011).

CONCLUSÕES

Dessa forma, nessa primeira fase da pesquisa, podemos concluir que o aquecimento por meio do Efeito Joule representa 40% do uso de energia necessária para manter a diferença de temperatura com o ambiente externo em 30°C, quando comparado ao aquecimento convencional por meio de resistores ou queima de combustíveis fósseis.



Figura 2 – Tubo de carbono experimental e forno de efeito Joule

Fonte: Própria do autor.

PRÓXIMAS ANÁLISES

Com os resultados promissores entre os dois tipos de fornos comparados, torna-se viável o desenvolvimento da pesquisa na implementação de um sistema de aquisição de dados e monitoramento remoto, utilizando o *Raspberry Pi 4*. Além disso, o software para controle e monitoramento remoto precisa ser desenvolvido.

REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach**. 8ª. ed. [S. l.]: McGraw-Hill Education, 2014. 1024 p. ISBN 0073398179, 9780073398174.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; LAVINE, Adrienne S.; BERGMAN, Theodore L. **Introduction to Heat Transfer**. 6. ed.: John Wiley & Sons, 2011. 960 p. ISBN 0470501960, 9780470501962.

MCKINSEY & COMPANY. **What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR?**. [S. l.]: McKinsey & Company, 17 ago. 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir#/>. Acesso em: 11 jan. 2024.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals**. [S. l.]: United Nations, 2024. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 22 fev. 2024.