

Sistema para medição de difusividade em amostras de aço nanoestruturado

Costa, F. K.¹; Subtil, V. L.²; Orlando, M. T. D.³

1 PIBIC - Mechanical engineering department , Federal University of Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

2 PIBIC - Physics department, Federal University of Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

3 Postgraduate program in mechanical engineering, Federal University of Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

* e-mail: felipekempim@hotmail.com

Resumo

O presente artigo aborda o desenvolvimento de um sistema para a medição da difusividade térmica em ligas de aços nanoestruturados, fabricados por manufatura aditiva. Utilizando aço pulverizado da classe UNS 32304 combinado com partículas de cerâmica de TiB₂, resultando em materiais com maior resistência e menor densidade, o sistema incorpora um laser de CO₂ como fonte de calor e um microcontrolador Arduino para o controle preciso dos processos. A aquisição de dados térmicos é realizada por termopares, com suporte do software da National Instruments. Este estudo atende à crescente demanda por materiais com propriedades mecânicas superiores e contribui significativamente para a caracterização de novas ligas metálicas, destacando a importância da difusividade térmica como parâmetro crucial.

Abstract

The present article addresses the development of a system for measuring the thermal diffusivity in nano-structured steel alloys manufactured by additive manufacturing. Using powdered steel of the UNS 32304 class combined with TiB₂ ceramic particles, resulting in materials with higher strength and lower density, the system incorporates a CO₂ laser as a heat source and an Arduino microcontroller for precise process control. Thermal data acquisition is performed by thermocouples, supported by National Instruments software. This study meets the growing demand for materials with superior mechanical properties and significantly contributes to the characterization of new metallic alloys, highlighting the importance of thermal diffusivity as a crucial parameter.

Keywords (Palavras chaves): difusividade, aços nanoestruturados, manufatura aditiva, arduino, National Instruments.

1. Introdução

A busca por materiais avançados com propriedades otimizadas é um desafio constante na engenharia de materiais. Nesse contexto, ligas metálicas nanoestruturadas têm se destacado por apresentarem uma combinação única de baixa densidade e alta resistência mecânica [1]. Essas características as tornam atraentes para aplicações em setores como aeroespacial, automotivo e de construção civil, onde a redução de peso é crucial para a eficiência energética.

A medição precisa da difusividade térmica é fundamental para o desenvolvimento e caracterização desses materiais nanoestruturados. A difusividade térmica é uma propriedade que quantifica a capacidade de um material de conduzir calor em relação à sua capacidade de armazená-lo [2]. Ela desempenha um

papel crucial no desempenho térmico de componentes e estruturas, influenciando fenômenos como a dissipação de calor e a resistência a choques térmicos.

Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema automatizado para medição da difusividade térmica de amostras de aço nanoestruturado utilizando o método do pulso de flash laser, desenvolvido por Parker et. al. em 1961 [3]. O sistema emprega um laser de CO₂ para aplicar um pulso de calor na superfície da amostra, enquanto a evolução da temperatura na superfície oposta é monitorada por um sensor [4]. Os dados coletados são adquiridos e processados por uma placa da National Instruments, utilizando o software LabVIEW para análise e cálculo da difusividade térmica.

O Arduino é utilizado para controlar o sistema, garantindo a sincronização entre a aplicação do pulso de laser e a aquisição de dados pelo sistema da National Instruments. Essa integração entre hardware e software permite uma medição precisa e reproduzível da

XIV Encontro Científico de Física Aplicada - 2024

difusividade térmica, contribuindo para o avanço no desenvolvimento de ligas metálicas nanoestruturadas com propriedades otimizadas.

2. Metodologia

Uma das técnicas mais utilizadas para medir experimentalmente a difusividade térmica de um material é o método *flash-laser*. Este método consiste em aplicar um pulso de calor de curta duração na superfície da amostra do material usando um laser de CO₂, gerando um aumento de temperatura na superfície, que então se propaga através da amostra. A evolução da temperatura na superfície oposta é monitorada usando um sensor, gerando uma curva, a partir da qual é possível calcular a difusividade térmica do material.

Sendo assim, desenvolveu-se um aparato que permitisse a fixação de uma amostra de material, em formato de disco, de forma que recebesse um pulso do laser de CO₂ em uma superfície e que tivesse na outra superfície acoplado um termopar para medição da temperatura, denominado termopar posterior. Além disso, no aparato, também havia outro termopar que recebe diretamente o feixe de laser que atinge a superfície anterior da peça, sendo denominado termopar anterior.

Ambos termopares são ligados a placa aquisitora de dados cDAQ-9171, fabricada pela *National Instruments* (NI). Esta placa tem a função de adquirir dados rapidamente e de forma precisa, isolando as medições de ruídos provenientes de rede elétrica e outros distúrbios que poderiam impactar negativamente na medição.

Para criação de um caminho óptico que permita a incidência do feixe do laser sobre a superfície da amostra, utilizou-se um espelho óptico, fabricado em ouro, evitando oxidações, facilitadas pela atmosfera corrosiva e pelas altas temperaturas devido ao feixe de laser.

Para realizar pulsos perfeitos e uniformes, utilizou-se de um obturador, do tipo faca. O obturador é constituído de uma placa de Alumina (Al₂O₃), material cerâmico capaz de parar o feixe de laser e suportar sua incidência direta durante um período de tempo suficiente. A placa de cerâmica foi montada em uma solenoide 12V, que, quando energizada, retira a placa da frente do feixe, permitindo a criação do circuito óptico. A montagem está mostrada na Figura 1.

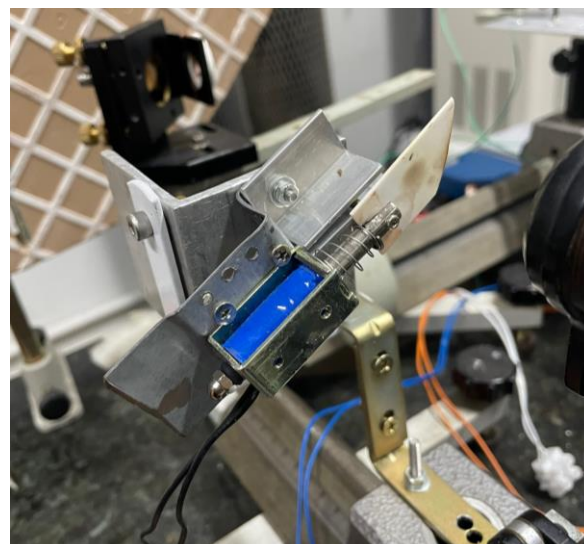


Figura 1: Obturador do tipo faca utilizado no sistema.

O controle do obturador é realizado por um microcontrolador Arduino Mega 2560. O arduino aciona um relé 12V, que energiza a solenoide. O arduino e o módulo com os relés foram montados em uma caixa. Nesta caixa, há também um display LCD para visualização de informações, bem como um teclado para setagem de parâmetros no menu de configurações e uma chave geral para desenergização do laser, evitando seu acionamento mesmo com o envio de um comando para acionar.

Todo o sistema é alimentado por uma fonte de bancada, modelo FA3005G3 da AFR, conferindo uma alimentação livre de ruídos para o sistema. Para facilidade nas conexões, foram utilizados bornes que permitem ligação e remoção de componentes de forma segura e rápida, por meio de plugs do tipo banana. A caixa em que se encontra todo o sistema de controle está mostrada na Figura 2.



Figura 2: Sistema de controle montado contendo o Arduino Mega alimentado pela fonte de bancada.

A Figura 3 é um esquema que mostra a disposição dos componentes e o caminho óptico criado.

XIV Encontro Científico de Física Aplicada - 2024

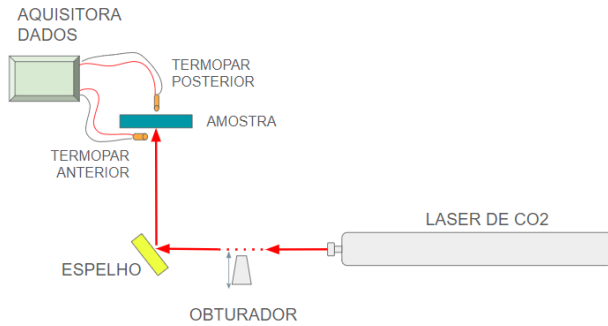


Figura 3: Esquema da disposição dos componentes para medição da difusividade

Para integração entre o sistema desenvolvido no Arduino para controle do disparo e o Software desenvolvido no LabView, desenvolveu-se um código em python, que, ao se iniciar a medida de temperatura no Software da NI, envia um gatilho, via USB, para o sistema de controle do laser dar início a rotina de disparo. A lógica de funcionamento para realização de uma medida está disposta na Figura 4.

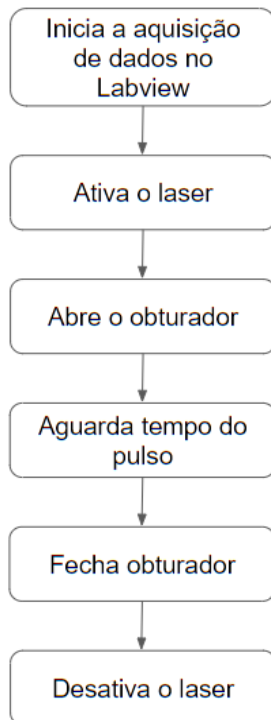


Figura 4: Diagrama da lógica de funcionamento de uma medida

Após realizar as medidas, o software gera uma imagem com o gráfico das temperaturas medidas pelo termopar anterior, em azul, e pelo termopar posterior, em vermelho. A Figura 5 mostra um gráfico gerado pelo programa.

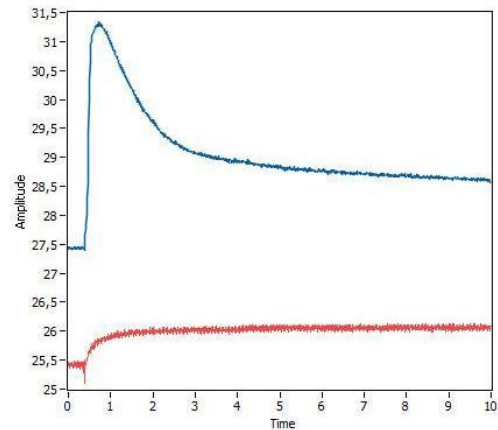


Figura 5: Gráfico gerado pelo programa após a realização da medição com a temperatura medida em ambos termopares.

Além do gráfico, o programa possibilita salvar os dados obtidos em CSV, XLSX ou mesmo copiar os dados, possibilitando, assim, o tratamento posterior dos dados em outros softwares.

Para verificar a precisão dos valores de difusividades medidos, foi realizada a medição da difusividade em amostras de Alumínio, com espessuras variáveis, a fim de determinar um fator de correção de acordo com a espessura da amostra medida devido a fatores experimentais [5]. Foram utilizadas amostras em formato de disco com 2 mm, 2,76 mm, 4,31 mm e 5,7 mm de espessura. Como a difusividade térmica do alumínio é de $97,7 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, foi possível determinar o fator de correção de acordo com a espessura da amostra.

3. Discussão dos resultados

Conforme programado, o caminho óptico foi criado, sendo controlado pelo arduino através do obturador. A integração entre o software da National Instruments e o controle feito no arduino também se mostrou eficiente e robusto, não apresentando erros ou bugs.

A medição da difusividade térmica no alumínio foi realizada, os dados foram tratados utilizando o software Excel. A literatura teórica fornece uma equação que relaciona a difusividade térmica e a espessura da amostra com o tempo necessário para a temperatura subir até a metade do valor máximo, conforme mostrado no trabalho do Parker et. al. em 1961 [3]. Realizou-se os cálculos para os valores teóricos para a amostra utilizada e comparou-se seu resultado com os valores medidos no sistema. Com base nisto, foi possível determinar a equação de ajuste para os valores que foram medidos [6].

Estimou-se, então, a Equação 1, que relaciona o fator de correção com a espessura da amostra utilizada, sendo d a espessura da amostra e γ o fator de correção.

XIV Encontro Científico de Física Aplicada - 2024

$$\gamma = 1,38 + 75. e^{\frac{-d}{1,38}} \quad (1)$$

4. Conclusão

O sistema desenvolvido atingiu seus objetivos possibilitando a determinação da difusividade de novas ligas metálicas desenvolvidas, tendo sua eficácia comprovada com base em medidas de materiais que tem sua difusividade disponível na literatura. O sistema também abre novas possibilidades, como a possibilidade de medidas de difusividade em atmosfera controladas, ou mesmo no vácuo, testando assim a influência do ambiente na medição, sendo o enfoque de estudos de trabalhos futuros.

5. Agradecimentos

Agradecemos a ArcelorMittal-EMBRAPIL Della21, IFES, POWERTRAIN-USP apoio a pesquisa. Ao CNPQ pela taxa de pesquisa usada no financiamento das inscrições e diárias pagas aos alunos. A FAPES Edital 20/2022, NÚCLEOS CAPIXABAS EMERGENTES - TO 1031/2022 processo 2022-QHJQX, pelo apoio a pesquisa e infra. Edital 04/2022 – PROAPEM-PPGFIS – TO 365/2022 processo 2022-KWR53 por apoio aos deslocamentos e bolsas de pós-doutorado, e Edital 15/2022 - PROFIX – TO 678/2022 – 2022-HN9QH, pelo financiamento da pesquisa e infraestrutura laboratorial.

6. Referências

[1] MOURA, ARIANE NEVES DE; ROSA NETO, CARLOS ALBERTO; CASTRO, NICOLAU APOENA;

VIEIRA, ESTÉFANO APARECIDO; ORLANDO, MARCOS TADEU D'AZEREDO. Microstructure, crystallographic texture and strain hardening behavior in hot tensile tests of UNS S32304 Lean Duplex stainless steel. *Journal of Materials Research and Technology-JMR&T*, v. 12, p. 1065-1079, 2021.

[2] INCROPERA, Frank P.; BERGMAN, Theodore L. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. ISBN 978-85-216-2587-2.

[3] PARKER, W. J.; JENKINS, R. J.; BUTLER, C. P.; ABBOTT, G. L. **Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity and Thermal Conductivity**. *Journal of Applied Physics*, v.32, n. 9, p. 1679 - 84, 1961.

[4] SANTOS, W.A. *Métodos transientes de troca de calor na determinação das propriedades térmicas de materiais cerâmicos: I - O método de pulso de energia*. Available:<https://doi.org/10.1590/S0366-69132005000300006>(Acessed on 24/05/2024)

[5] PINTO, C.S.C.; MASSARD, H.; COUTO, P.; ORLANDE, H. R. B.; COTTA, R. M.; AMBROSIO, M. C. R. *Measurement of Thermophysical Properties of Ceramics by the Flash Method*. *Braz. arch. biol. technol.* Vol. 49, 2006. Available:<https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000200006>(Acessed on 24/05/2024).

[6] SUBTIL, VICTOR LAURENTINO; COSTA, FELIPE KEMPIN; ORLANDO, MARCOS TADEU D'AZEREDO. **Laser shutter control to thermal diffusivity measurements**. *Not yet published*, 2024.