

Aplicação da técnica de decomposição em valores singulares nos resultados de correlação de imagens digitais de um material modelo sujeito à variação de temperatura.

**Bruno de Lima Vieira, Igor Paganotto Zago,
Ricardo Afonso Angélico**

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

brunolimavieira@usp.br

Introdução e Objetivos

Ensaio mecânicos de um compósito modelo assistidos pela técnica de correlação de imagens digitais (CID) permitem avaliar a fissuração desses sistemas, bem como fornecer dados para a validação de modelos computacionais. Nesse trabalho, analisa-se um compósito modelo com uma inclusão de latão envolta por uma matriz a base de alumina. O sistema é submetido a um aquecimento e a diferença de coeficientes de expansão térmica induz o aparecimento de fissuras [1]. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é aplicar a técnica de decomposição de valores singulares (SVD) como uma forma de filtrar os dados, extraindo os principais modos, espaciais e temporais, que corroboram para reconstrução dos campos de deslocamento horizontal e vertical. Essa abordagem visa contribuir com o estudo experimental da compreensão do comportamento termomecânico de materiais bifásicos sob variações de temperatura.

Metodologia

Nesse trabalho, imagens foram registradas em diferentes temperaturas para o sistema de material previamente mencionado. A partir da aplicação da técnica de CID utilizando o software Correli 3.0 [2], os deslocamentos foram avaliados em diferentes pontos do modelo. A aplicação da técnica de SVD é então

aplicada sobre os resultados de correlação. Para isso, os deslocamentos horizontais e verticais correspondentes a uma determinada temperatura são organizados em uma coluna da matriz \mathbf{X} , a ser decomposta. Cada coluna corresponde uma temperatura diferente, e cada linha a evolução em função da temperatura do deslocamento em um ponto, i.e.:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nm} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{11} & \cdots & v_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & \cdots & v_{nm} \end{bmatrix}$$

A decomposição SVD, i.e. $\mathbf{X} = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$ permite analisar os modos espaciais e temporais desse conjunto de dados [3].

Resultados

Os resultados indicam a formação de fissuras entre a fase dispersa e a matriz, causada pela diferença nos coeficientes de expansão térmica dos materiais. Esse fenômeno pode ser evidenciado a partir dos quatro primeiros modos espaciais (Figura 1). A fase dispersa apresenta maior expansão em comparação à matriz, gerando tensões que favorecem o surgimento das fissuras. No modo 1, já fica

evidenciado a posição das fissuras ao redor da inclusão de latão. No modo 2, têm-se os maiores valores ao redor da fissura. Os modos 3 e 4 apresentam comportamentos não relacionados diretamente a cinemática esperada, possivelmente, são indicativos de flutuações obtidas durante o experimento [4].

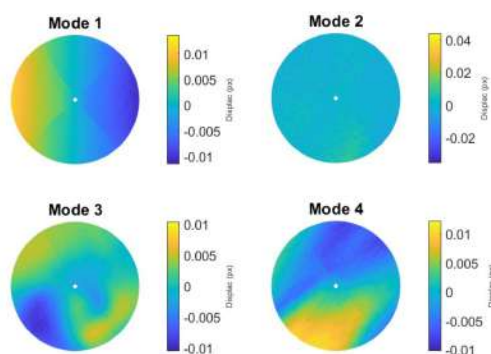


Figura 1: Modos espaciais (deslocamento horizontal)

A reconstrução dos deslocamentos a partir dos primeiros modos singulares permite recuperar os valores de deslocamento (Figura 2). Na Figura 2, é possível observar uma diferença máxima de 10% entre os campos, a qual está localizada em uma região.

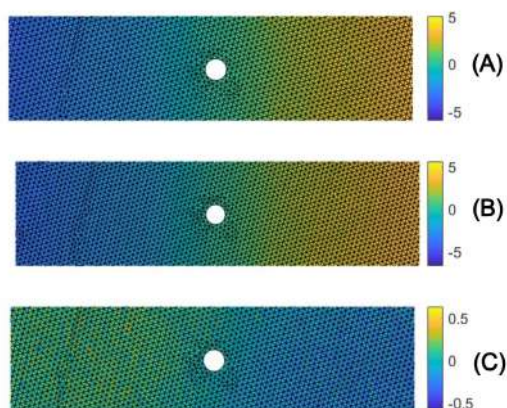


Figura 2: Comparação dos campos de deslocamento: (a) experimental obtido por correlação (b) reconstruído utilizando o primeiro modo (c) diferença entre o deslocamento experimental e o reconstruído.

Os modos temporais, ponderados pelos valores singulares, podem ser vistos na Figura 3. Há uma predominância dos primeiros dois modos quando comparado aos demais.

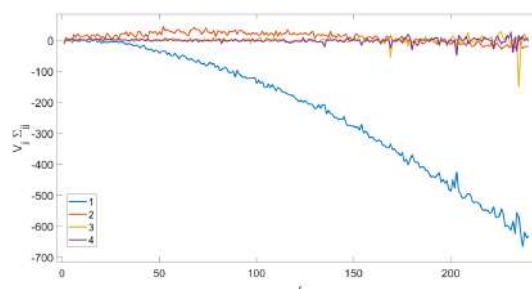


Figura 3: Modos temporais,

Conclusão

A análise dos deslocamentos horizontais e verticais utilizando a técnica SVD permitiu identificar padrões interessantes a partir da análise dos modos espaciais e temporais. A técnica permite reconstruir o campo de deslocamentos reduzindo a influência de oscilações obtidas durante o experimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Bolsas Unificadas (Proc. 2023/3077) pelo fomento do presente projeto de pesquisa.

Referências

- [1] Davidge, R. W., and Green, T. D. (1998). The strength of Two-Phases Ceramic/Glass Materials. *Journal of Material Science*, 3:629 634.
- [2] H. Leclerc, J. Neggers, F. Mathieu, S. Roux, F. Hild, Correli 3.0, IDD.N.FR.001.520008.000. S.P.2015.000.31500 (2015)
- [3] Brunton, S. L. and Kutz, J. N. (2017). *Data Driven Science & Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*. Cambridge University Press.
- [4] Zago, I. P., Vargas, R., Sciuti, V. F., Canto, R. B., & Angélico, R. A. (2024). DIC to evaluate a model composite system cracking due to CTE mismatch. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 131, 104330.