

## CHẾ TẠO GIAO THOA KẾ MOIRÉ ĐỂ PHÂN TÍCH ĐỘ RUNG CỦA BẰNG

ĐINH SƠN THẠCH<sup>\*</sup>, ĐẶNG VĂN TRUNG<sup>\*\*</sup>, NGUYỄN CẢNH TOÀN<sup>\*\*\*</sup>

### TÓM TẮT

*Rung động là yếu tố quan trọng trong sự vận hành của một thiết bị và sự phân tích rung động là công việc hết sức cần thiết để đánh giá hoạt động của thiết bị đó. Giao thoa kế moiré được đánh giá là một công cụ hiệu quả để phân tích dao động ở biên độ nhỏ cỡ micromét. Trong bài viết này, phương pháp projection moiré được sử dụng để phân tích độ rung của bản phẳng với biên độ rung cỡ 1,0 μm – 30 μm với độ nhạy cao phụ thuộc vào việc phân tích hệ vân moiré.*

### ABSTRACT

#### **Manufacturing moiré interferometer to analyze vibration of plates**

*Vibration is an important factor in the operation of mechanical instruments, and the vibration analysis is especially essential to evaluate their operations. The moiré interferometer is an effective method to analyse vibration with tiny amplitude of micrometer. In this paper, projection moiré method is used to analyse vibration of plates. It can identify the amplitude of vibration from 1.0 μm to 30 μm with high sensitivity depending on analysis of moiré fringes.*

### 1. Giới thiệu

Moiré là một hiện tượng phổ biến trong tự nhiên, xảy ra trong nhiều trường hợp. Từ những năm 1950, moiré đã có những ứng dụng kỹ thuật trong nhiều lĩnh vực như nghệ thuật, khoa học đo lường,... Trong những năm gần đây, giao thoa kế moiré là một thiết bị mạnh, có nhiều ứng dụng trong khoa học vật lý. Thiết bị này có ưu điểm rất lớn về độ chính xác và độ nhạy. Tuy nhiên, để chế tạo và sử dụng được thiết bị này,

đòi hỏi người thực hiện phải có nhiều kỹ năng cơ học và quang học tỉ mỉ và chính xác. Kỹ năng điều chỉnh gương chính xác là một khó khăn lớn trong quá trình lắp ráp và vận hành thiết bị. Trong giao thoa kế moiré, gương được dịch chuyển theo mặt phẳng (dịch chuyển tịnh tiến) hoặc quay và được điều chỉnh bằng cách sử dụng phương pháp vận định ốc.

Bộ phận chính của giao thoa kế moiré là một cách tử vạch thẳng. Theo phương thức giống như giao thoa kế holographic, giao thoa kế moiré sử dụng phương pháp chiếu vân có thể phân tích dao động của bề mặt phẳng (theo Hazell và Nivel 1968; Vest và Sweeney 1972; Harding và Harris 1983). Khi bề mặt của vật dao động với

<sup>\*</sup> TS, Khoa Khoa học Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP HCM, ĐHQG TP HCM

<sup>\*\*</sup> CN, Khoa Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Bách khoa TP HCM

<sup>\*\*\*</sup> KS, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa TP HCM

tần số và biên độ ổn định, hệ vân sẽ có hình dạng ổn định, sự phân bố cường độ của hệ vân được xác định theo hàm Bessel bậc 0.

**2. Phân tích dao động sử dụng phương pháp projection moiré**

Sơ đồ thiết bị của giao thoa kế moiré đo dao động được mô tả ở hình 1. Các bộ phận chính bao gồm: 1 nguồn laser khí He-Ne (He-Ne laser), 1 ống mở rộng chùm tia (beam expander), 2 thiết bị tách chùm tia dạng khối lập phương (cube beam splitter BS1 và BS2), 2 gương phẳng (M1 và M2), 1 cách tử, 1 mẫu vật, và 1 CCD camera.

Chùm ánh sáng từ nguồn laser cho đi qua ống mở rộng chùm tia để tăng kích thước của chùm, sau đó cho chùm tia đi qua thiết bị tách chùm tia (BS1) để tách thành hai chùm tia vuông góc nhau như trên sơ đồ. Hai chùm tia sau khi cho phản xạ trên hai gương M1 và M2, hai chùm tia này được điều chỉnh đến BS2. Sự giao thoa của hai chùm tia ra khỏi BS2 tạo thành hệ vân được xem như một cách ảo với khoảng vân được xác định bởi biểu thức:

$$d_v = \frac{\lambda_0}{2 \sin(\alpha_0 / 2)} \quad (1)$$

trong đó,  $d_v$  là khoảng vân (mm),  $\lambda_0$  là bước sóng của ánh sáng (mm),  $\alpha_0$  là góc giao của hai chùm tia.

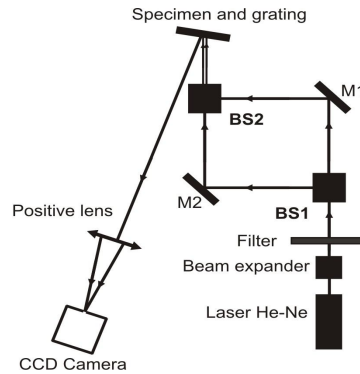
Trước tiên, nếu những vạch của cách tử ảo (ảnh giao thoa của hai chùm tia ra khỏi BS2) và những vạch của cách tử mẫu (cách tử vạch thẳng trong bài viết

này là cách tử vạch thẳng 600 l/mm) trùng nhau sẽ không xuất hiện hệ vân moiré. Khi mẫu vật dao động, bề mặt sóng của cách tử ảo quay và các vạch của nó làm một góc  $\alpha$  với cách tử mẫu.

Trong trường hợp khoảng cách giữa các đường của cách tử mẫu và cách tử ảo là bằng nhau,  $d_v = \lambda$ , hệ vân moiré xuất hiện với khoảng vân  $d$ , được xác định bởi :

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin(\alpha / 2)} \quad (2)$$

trong đó,  $\alpha$  là góc hợp bởi cách tử mẫu và cách tử ảo.



**Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm của hệ đo độ rung bằng giao thoa moiré.**

Sự dao động điều hoà ngoài mặt phẳng của một mẫu vật có thể được mô tả bởi phương trình:

$$z = z_0 + a \cos(\omega t), \quad (3)$$

trong đó,  $z_0$  là vị trí cân bằng,  $a$  là biên độ dao động, và  $\omega$  là tần số của dao động.

Sự phân bố cường độ của hệ vân được xác định:

$$I(x,t) = 2 \left[ 1 + \cos \frac{2\pi}{d} (x \cos \theta + (z_0 + a \cos \omega t) \sin \theta) \right] \quad (4)$$

trong đó,  $\theta$  là góc hợp bởi các tia tới và cách tử.

Phương trình trên có thể được viết dưới dạng:

$$I(x,t) = 2 [1 + \cos(\phi_c + \phi_t)] = 2 + e^{i(\phi_c + \phi_t)} + e^{-i(\phi_c + \phi_t)} \quad (5)$$

$$\text{trong đó, } \begin{cases} \phi_c = \frac{2\pi}{d} (x \cos \theta + z_0 \sin \theta) \\ \phi_t = \frac{2\pi}{d} (\sin \theta \cdot a \cos \omega t) \end{cases} \quad (6)$$

Bằng cách chụp ảnh hệ vân với thời gian chiếu sáng lớn hơn nhiều lần chu kỳ dao động T của vật, đây là ảnh thời gian trung bình và được cho bởi hàm truyền qua:

$$t = \frac{1}{T} \int_0^T I(x,t) dt = 2 + \frac{e^{i\phi_c}}{T} \int_0^T e^{i\phi_t} dt + \frac{e^{-i\phi_c}}{T} \int_0^T e^{-i\phi_t} dt \quad (7)$$

Từ phương trình (7) ta có thể viết:

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T e^{\pm i\phi_t} dt &= \frac{1}{T} \int_0^T \exp[\pm i(2\pi/d) \sin \theta \cdot a \cos(\omega t)] dt \\ &= J_0 \left( \frac{2\pi}{d} a \sin \theta \right), \end{aligned} \quad (8)$$

trong đó,  $J_0$  là hàm Bessel bậc 0.

Bây giờ, hàm truyền qua có thể được viết:

$$t = 2 \left[ 1 + J_0 \left( \frac{2\pi}{d} a \sin \theta \right) \cos \phi_c \right] \quad (9)$$

Sự phân bố biên độ trong mặt phẳng ảnh được xác định:

$$u = J_0 \left( \frac{2\pi}{d} a \sin \theta \right) \cos \phi_c \quad (10)$$

và do đó, sự phân bố cường độ được xác định:

$$I = J_0^2 \left( \frac{2\pi}{d} a \sin \theta \right) \quad (11)$$

Những vân sáng xuất hiện khi:

$$a = \frac{d}{2\pi \sin \theta} \times N \quad (12)$$

với  $N = 0; 3,83; 7,02; 10, 17; \dots$  tương ứng với cực đại của hàm Bessel.

Đối với cực tiểu của hàm Bessel, biên độ của dao động được xác định:

$$a = \frac{d}{2\pi \sin \theta} \times N' \quad (13)$$

với  $N' = 2, 40; 5, 52; 8, 65; 11, 79; \dots$

Vân tối đầu tiên của hệ vân moiré tương ứng với biên độ  $a_s$  đặc trưng cho độ nhạy của phương pháp và được xác định:

$$a_s = 0.38 \frac{d}{\sin \theta} \quad (14)$$

### 3. Giới hạn của lý thuyết

Từ phương trình (2), chúng ta thấy rằng giới hạn trên của lý thuyết khi ứng dụng phương pháp này để phân tích độ rung của bản phẳng đạt được khi góc

$\alpha = 180^\circ \left( \frac{\alpha}{2} = 90^\circ \right)$ . Giới hạn lý thuyết là  $d = \frac{\lambda}{2}$  (hoặc  $f = \frac{2}{\lambda}$  là tần số của hệ vân moiré). Tương ứng, giới hạn trên của độ nhạy là  $\frac{\lambda}{2}$  độ dịch chuyển trên mỗi bậc vân.

Chẳng hạn, nếu  $\alpha = 60^\circ$  và  $\lambda = 1667 \text{ nm}$ , hệ vân moiré sẽ có khoảng vân là 1667 nm (hoặc tần số vân là 600 vân/mm). Đối với giá trị này của  $\lambda$ , giới hạn của lý thuyết là 833,5 nm/vân (hoặc 1 200 vân/mm), nghĩa là trong thực nghiệm với góc  $\alpha$  trên chỉ đạt được 50% giới hạn về độ nhạy.

**4. Mô tả thực nghiệm**

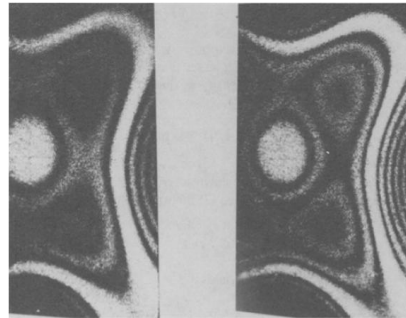
Mẫu vật sử dụng trong thực nghiệm này là một bản phẳng hình vuông. Bản phẳng được gắn trên một hệ rung bằng điện từ, có thể điều chỉnh biên độ và tần số rung. Hệ vân moiré được thu bởi film hoặc thu trực tiếp bằng CCD camera với thời gian chiếu sáng lớn hơn nhiều lần chu kỳ dao động của bản phẳng.

Sử dụng phương pháp phân tích cường độ, biên độ dao động của bản phẳng được xác định bởi phương trình (12) và (13), với giá trị đầu tiên của cực đại hàm Bessel (khi  $N = 0$ ) mô tả một điểm sáng nhất của hệ vân.

Trong thực nghiệm được bố trí như hình 1,  $\lambda$  có giá trị 1667 nm (600 vạch/mm); giới hạn của lý thuyết là

0,8335  $\mu\text{m}$ /vân. Từ phương trình (14), if  $\theta = 30^\circ$ , giới hạn của phương pháp là 0,633  $\mu\text{m}$ .

Hình 2 là một minh chứng về hệ vân moiré được thu khi bản phẳng dao động ở tần số 4 kHz với biên độ tăng dần. Biên độ dao động thấp nhất là 2  $\mu\text{m}$ , trong khi ứng với những vân sáng nhất biên độ dao động có thể đạt 12,5  $\mu\text{m}$ .



<sup>1</sup> Hình 2. Hệ vân giao thoa của bản rung ở tần số 4kHz khi biên độ tăng (từ hình trái sang phải)

**5. Kết luận**

Phương pháp giao thoa moiré được sử dụng để đo độ rung ngoài mặt phẳng được chứng minh là có thể đo được những dao động có biên độ rất nhỏ. Sự phân tích biên độ dao động dựa vào hàm Bessel  $J_0$ . Theo sự phân tích ở trên, hình dạng của hệ vân bao gồm một vùng nút, tương ứng với những vân có độ tương phản lớn nhất, những vân có bậc cao hơn có độ tương phản thấp hơn. Nếu sử dụng kính lọc sắc có thể cải thiện độ tương phản của hệ vân, đặc biệt đối với những vân có bậc cao.

<sup>1</sup> Referring to A. Asundi and M.T. Cheung (1986), *Moiré Interferometry for Vibration Analysis of Plates*, Exeperimental Mechanics, pp. 338-341

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Michael L. Basehore and Daniel Post (1982), “Displacement fields (U, W) obtained simultaneously by moire interferometry”, *Applied Optics*, Vol 21(14), pp. 2558-2562.
2. Gary A. Fleming, Scott M. Bartram, Martin R. Waszak, and Luther N. Jenkins, (2001), “Projection Moiré Interferometry Measurements of Micro Air Vehicle Wings”, *Part of the SPIE International Symposium on Optical Science and Technology*, San Diego, CA.
3. Jussi Paakkari (1998), “On-line flatness measurement of large steel plates using moiré topography”, *VTT Electronics, Optoelectronics*, Kaitoväylä 1, P.O.Box 1100, FIN-90571 OULU, Finland.
4. D. Post and W.A. Baracat (1981), “High-sensitivity Moiré Interferometry – A Simplified Approach”, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg, VA 24061.
5. Daniel Post (1983), “Moire Interferometry at VPI & SU”, *Experimental Mechanics*, pp.203-210.
6. D.Post, B.Han (2008), “Moiré Interferometry”, *Springer Book of Experimental Solid Mechanics* (Ed.) W.N.Sharp, Jr, Part C, pp.1-26.
7. G.J.Stein, R.Chmúrny, V.Rosík (2007), “Measurement and Analysis of Low Frequency Vibration”, *Measurement Science Review*, Vol 7, Section 3(4), pp. 47-50.
8. Se Young Yang & Soon Bok Lee (2001), “Developing Phase Shifting Micro Moiré Interferometry using Phase Shifter with Rough Resolution and by Shifting Specimen Grating”, *Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology*, 373-1, Guseong dong, Guseong gu, Daejeon, 305-701, Korea.
9. Se Young Yang & Soon Bok Lee (2004), “Realization of high sensitivity displacement field from moiré interferometer with rough phase shifting mechanism and pattern matching technique”, *Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology*, 373-1, Guseong dong, Guseong gu, Daejeon, 305-701, Korea.
10. Eric M. Weissman and Daniel Post Virginia) (1982), “Moire interferometry near the theoretical limit”, *Applied Optics*, Vol 21(9), pp. 1621-1623.