

PHƯƠNG PHÁP ĐO TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG CỦA MẪU THÍ NGHIỆM MÔI

Văn Hữu Thịnh

ABSTRACT

The energy dissipated per cycle is one of the mechanical properties of steel materials. In order to determine the energy dissipated per cycle of the materials, we can use several methods. The hysteresis loop method is the most common method for evaluating the energy dissipated of the materials. The hysteresis loop area is equal to the energy dissipated per cycle of the materials. The procedure of this method is presented in this paper. The hysteresis loop has been related to the material fatigue, so we applied this method to measure the energy dissipated of the steel fatigue samples. The experimental results show that the energy dissipated of the samples varies with the number of fatigue cycles. These results are used to predict fatigue lifetime of the structural materials, machine parts.

I. MỞ ĐẦU

Theo [6] đối với vật liệu kim loại, khi ứng suất và biến dạng thay đổi theo thời gian thì quan hệ giữa ứng suất σ và biến dạng ε xác định theo:

$$\sigma = E_0 (1 + jh_i(\omega))\varepsilon \quad (1)$$

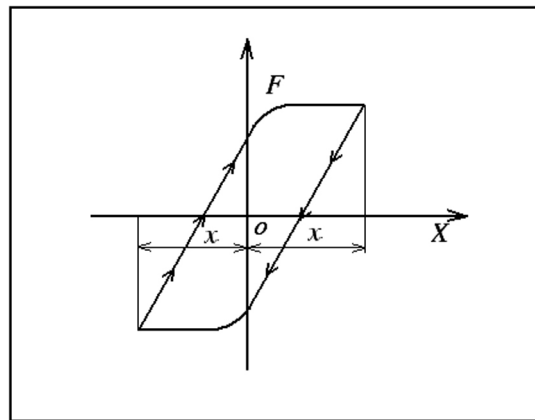
Trong đó: h_i là hệ số tổn hao hay hệ số giảm chấn hay hệ số cản (damping coefficient).

Như vậy hệ số cản là gì?

Hệ số cản biểu diễn sự biến đổi cơ năng thành nhiệt năng và lượng nhiệt năng này thất thoát vào môi trường xung quanh. Trong kỹ thuật có nhiều loại cản như cản Coulomb, cản nhớt, cản kết cấu, cản từ trễ... Trong đó, cản kết cấu là đặc biệt quan trọng khi nghiên cứu về dao động và hiện tượng mỏi của vật liệu.

Trong thực nghiệm, thay vì xác định hệ số cản ta xác định mức độ tổn thất năng lượng trong một chu kỳ của mẫu thí nghiệm hay chi tiết máy. Tổn thất năng lượng này được biểu thị bởi đường cong quan hệ giữa lực và chuyển vị khi tăng tải và khi giảm tải là không trùng nhau và tạo thành đường cong trễ như hình 1. Diện tích của đường cong trễ bằng tổn thất năng lượng trong 1

chu kỳ dao động của vật liệu. Hình dạng và diện tích của đường cong trễ phụ thuộc vào vật liệu, ứng suất và kích thước của chi tiết máy. Nói chung, vật liệu kim loại biến dạng đàn hồi không tuyệt đối, do đó khi chịu dao động trong vật liệu có sự tổn thất năng lượng do biến dạng đàn hồi trễ. Đó là kết quả của sự chuyển động tương đối giữa các phần tử của vật liệu trong quá trình biến dạng.



Hình 1: Đường cong trễ

Tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ được xác định bằng diện tích đường cong trễ và tính theo biểu thức:

$$\Delta E = \int F dx \quad (2)$$

Trong đó F và dx : lực tác dụng và chuyển vị tương ứng.

Đối với hệ có cản kết cấu, tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ dao động được tính theo biểu thức:

$$\Delta E = \pi khX^2 \quad (3)$$

Trong đó

X : biên độ dao động trong 1 chu kỳ

h : hệ số cản kết cấu.

k : độ cứng của hệ.

Đối với hệ có cản nhớt, tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ dao động:

$$\Delta E = \pi c_v \omega X^2 \quad (4)$$

Trong đó

C_v : hệ số cản nhớt

ω : tần số dao động (rad/s).

Từ (3) và (4) ta nhận thấy:

* Đối với hệ có cản kết cấu thì tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ không phụ thuộc vào tần số dao động.

* Đối với hệ có cản nhớt thì tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ tỉ lệ với tần số dao động.

II. PHƯƠNG PHÁP ĐO TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG CỦA MẪU THÍ NGHIỆM MỎI

2.1. Mục đích

Khảo sát sự thay đổi của tổn thất năng lượng trong một chu kỳ của vật liệu mẫu thí nghiệm mỗi uôn có chuyển động quay.

2.2. Kỹ thuật đo

Trong thực nghiệm có nhiều kỹ thuật đo để xác định hệ số cản và tổn thất năng lượng của vật liệu mẫu thí nghiệm:

- Phương pháp chia đôi chiều rộng.
- Phương pháp hệ số khuếch đại.
- Phương pháp độ giảm Loga.

• Phương pháp đo diện tích đường cong trễ.

Trong đề tài nghiên cứu, ta áp dụng phương pháp đo diện tích đường cong trễ vì phương pháp này có các đặc điểm sau:

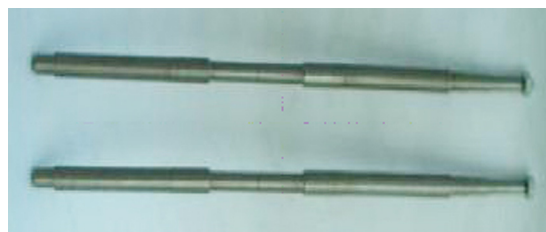
+ Cho phép đo động trong quá trình thí nghiệm.

+ Kết quả đo đạt độ chính xác cao hơn, tin cậy hơn, sử dụng cho mọi mô hình lực cản.

+ Phù hợp với các thiết bị đo hiện đại của phòng thí nghiệm.

2.3. Mẫu và thiết bị thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm bằng thép AISI 1045 có thành phần (%): C = 0,45; Si = 0,30; Mn = 0,70; S = 0,04. Độ bền kéo $\sigma_B = 650$ N/mm². Hình dạng và kích thước mẫu thí nghiệm như hình 2. Thiết bị thí nghiệm mỗi như hình 3.



Hình 2: Mẫu thí nghiệm

2.4. Phương pháp đo

Điều kiện thí nghiệm là không thay đổi đối với mỗi mẫu thí nghiệm, chẳng hạn như lực tác dụng, tốc độ quay, chế độ đo, ... Thời gian lấy mẫu là sau mỗi đợt thí nghiệm được 105 vòng quay. Sơ đồ thiết bị đo như hình 4.

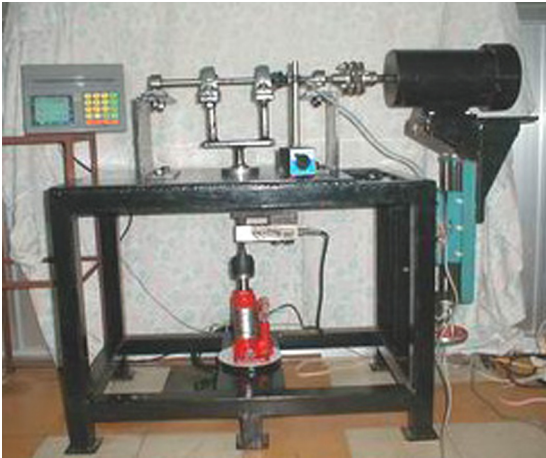
Tín hiệu đo hiển thị trên 2 kênh của máy đo FFT (Fast Fourier Transformer):

+ Kênh A: tín hiệu chuyển vị của mẫu thí nghiệm (đo bằng đầu đo proximity probe) có dạng hình Sin như hình 5

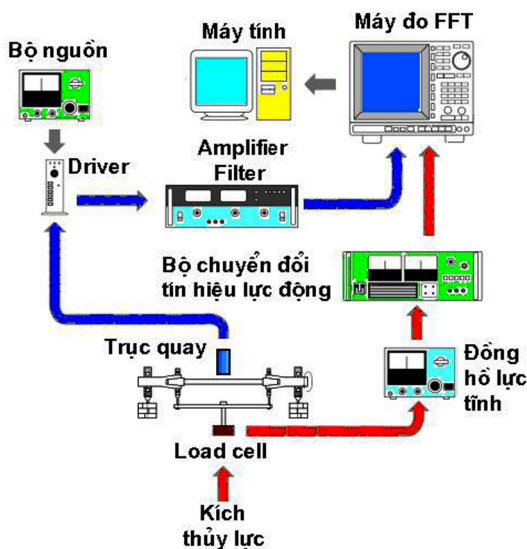
+ Kênh B: tín hiệu lực động, có dạng hình Sin như hình 6

+ Kết hợp tín hiệu trên 2 kênh A và B bằng chức năng của máy đo FFT, ta được đường cong trễ như hình 7.

+ Sử dụng chương trình đã xây dựng, ta xác định được diện tích của đường cong trễ. Diện tích của đường cong trễ = tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ (= chu trình ứng suất) của mẫu thí nghiệm.



Hình 3: Thiết bị thí nghiệm môi



Hình 4: Sơ đồ thiết bị đo

2.5. Trình tự thí nghiệm

+ *Bước 1:* Trên máy đo FFT chọn hiển thị kênh A trong miền thời gian. Tín hiệu là chuyển vị của mẫu thí nghiệm. Đồ thị có dạng hình Sin như hình 5. Kế đó giao tiếp với máy tính bằng phần mềm CF350, lưu file dữ liệu.

+ *Bước 2:* Trên máy đo FFT chọn hiển thị kênh B trong miền thời gian. Tín hiệu là lực tác dụng lên mẫu thí nghiệm như hình 6. Giao tiếp với máy tính bằng phần mềm CF350, lưu file dữ liệu.

+ *Bước 3:* Sử dụng phần mềm vẽ và tính diện tích đường cong trễ = tổn thất năng lượng ΔE trong 1 chu kỳ ứng suất của mẫu thí nghiệm. Trong lần đo 1 vì mẫu thí nghiệm còn mới nguyên nên đặt tên ΔE_0 ứng với số chu kỳ ứng suất $N_0 = 0$.

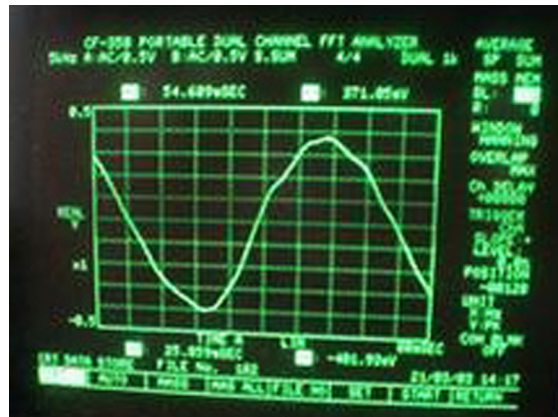
+ *Bước 4:* Tiếp tục tiến hành thí nghiệm cho đạt 105 vòng quay, dừng máy khoảng 60 phút để nhiệt độ của mẫu thí nghiệm trở về bằng nhiệt độ của phòng thí nghiệm (nhằm loại trừ ảnh hưởng của yếu tố nhiệt đến ΔE).

+ *Bước 5:* Cho máy thí nghiệm chạy lại. Lưu ý, giữ nguyên chế độ thí nghiệm và tiến hành lấy mẫu đo lần 2.

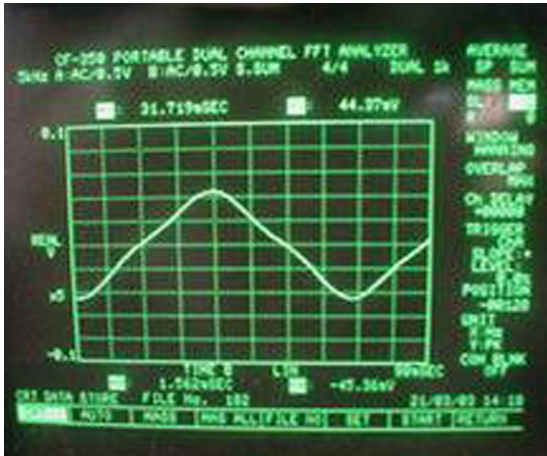
Lấy mẫu đo lần 2:

Tiến hành tương tự như khi lấy mẫu đo lần 1. Kết quả được cập số liệu ($\Delta E_1, N_0$).

Tiến hành tương tự cho các lần lấy mẫu tiếp theo cho đến khi mẫu thí nghiệm bị gãy do môi, ta được n cập số liệu ($N_1, \Delta E_1$).



Hình 5: Tín hiệu chuyển vị



Hình 6: Tín hiệu lực



Hình 7: Đường cong trễ

2.6. Kết quả thí nghiệm

Tổng quát, ta biểu diễn tổn thất năng lượng tương đối y của vật liệu mẫu thí nghiệm theo tổn thương môi x .

Tổn thất năng lượng tương đối trong 1 chu kỳ của vật liệu mẫu thí nghiệm:

$$y = \frac{\Delta E_i}{\Delta E_0} \quad (5)$$

Trong đó

ΔE_0 : tổn thất năng lượng ứng với $N_0 = 0$

ΔE_i : tổn thất năng lượng ứng với N_i

Tổn thương môi:

$$x = D = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} \quad (6)$$

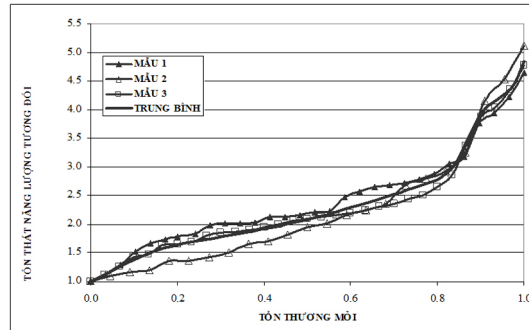
Trong đó:

n_i : số chu trình ứng suất đã thí nghiệm.

N_i : số chu trình ứng suất tính tới khi mẫu thí nghiệm bị phá hủy do mỏi.

Khi $x = D = 1$: mẫu thí nghiệm bị phá hủy do mỏi.

Kết quả thí nghiệm được trình bày ở hình 8



Hình 8: Sự thay đổi của tổn thất năng lượng tương đối theo tổn thương môi của vật liệu

Kết quả thí nghiệm chứng tỏ rằng: ảnh hưởng của hiện tượng mỏi của vật liệu làm tăng tổn thất năng lượng tương đối theo tổn thương môi của mẫu thí nghiệm.

Từ số liệu trung bình của các mẫu thí nghiệm, ta được đường cong (gọi là đường trung bình). Áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất, ta được phương trình biểu diễn sự tăng của tổn thất năng lượng tương đối y theo tổn thương môi x :

$$y = 1,1163e^{1,342x} \quad (7)$$

Do sự thay đổi của tổn thất năng lượng của vật liệu lúc mỏi (được xác định từ thí nghiệm theo phương trình 7), nên tại một thời điểm nào đó ta đo được đại lượng y của vật liệu chi tiết máy, kết cấu, ta có thể xác định thời gian đã sử dụng và tuổi thọ còn lại của nó.

2.7. Dự báo tuổi thọ còn lại

Trong thực tế các chi tiết máy, kết cấu thường chịu tác động của tải trọng ngẫu nhiên. Sau đây ta trình bày phương pháp tính tuổi thọ còn lại của kết cấu chịu tải

trọng ngẫu nhiên.

Giả thiết vật liệu tuân theo phương trình đường cong mỏi Wohler:

$$N = C \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_A} \right)^{-m} \quad (8)$$

Trong đó:

$m = 2 \div 4$; C : hằng số phụ thuộc vào vật liệu

σ_a : biên độ ứng suất khi thí nghiệm.

σ_A : biên độ ứng suất ứng với số chu trình ứng suất = C .

N : số chu trình ứng suất cho đến khi vật liệu bị phá hủy mỏi.

Theo [5] ta có biểu thức xác định tổn thương mỏi:

$$D = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right)}{T_m C \sigma_A^m} (2m_0)^{m/2} \quad (9)$$

Trong đó:

Γ là hàm gamma: $\Gamma(z, a) = \int_a^{+\infty} e^{-t} t^{z-1} dt$

C, m, σ_A xác định từ phương trình (8).

T_m : chu kỳ trung bình các điểm cực đại (s)

m_0 : mômen bậc 0 của mật độ phổ ứng suất.

Tuổi thọ trung bình của kết cấu:

$$L = \frac{1}{D} \quad (10)$$

Giả thiết tại thời điểm t ta đo được tổn thất năng lượng tương đối y trong 1 chu kỳ của vật liệu chi tiết máy, kết cấu. Từ phương trình (7) ta xác định được tổn thương mỏi x tương ứng. Khi đó tuổi thọ còn lại được dự báo theo:

$$T_{\text{conlai}} = (1 - x)L \quad (11)$$

Các ví dụ minh họa có thể tham khảo [5].

III. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu rút ra có một số kết luận:

* Giới thiệu một phương pháp đo tổn thất năng lượng trong 1 chu kỳ của vật liệu. Đây là 1 phương pháp rất hữu hiệu trong nghiên cứu thực nghiệm cơ học vật liệu.

* Xác định được qui luật tăng tổn thất năng lượng của vật liệu theo tổn thương mỏi (đồ thị ở hình 8 và phương trình 7).

* Giới thiệu một phương pháp mới để dự báo tuổi thọ còn lại của chi tiết máy, kết cấu (phương trình 11). Đây là cơ sở khoa học ban đầu nhằm xây dựng một phương pháp tính tuổi thọ còn lại cho các chi tiết máy, kết cấu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Xuân Hùng, Động lực học công trình biển, NXB KHKT, 1999.
- [2] Nguyễn Xuân Hùng, Văn Hữu Thịnh, The effect of the fatigue on elastic modulus and damping coefficient in the rotating beam fatigue testing, Vietnam University Publishers, Hanoi, 2004.
- [3] Nguyễn Xuân Hùng, Văn Hữu Thịnh, Using an electro-mechanical system to investigate the influence of the fatigue on the energy dissipated per cycle due to the hysteresis damping, Vietnam Journal of Mechanics, Hanoi, 2004.
- [4] Nguyễn Xuân Hùng, Văn Hữu Thịnh, The change in Young's modulus, mechanical energy dissipation and electro-magnetic energy dissipation of the steel samples subjected to flexural fatigue, Proceedings of the International Symposium on ASAEM' 2005, Hanoi.
- [5] Nguyễn Xuân Hùng, Văn Hữu Thịnh, Phương pháp mới dự báo tuổi thọ còn lại của chi tiết máy, kết cấu, Tuyển tập Hội nghị Khoa học Toàn quốc về Cơ kỹ thuật & Tự động hoá, Hà nội, 10/2006.
- [6] Văn Hữu Thịnh, Nghiên cứu chế tạo thiết bị và phương pháp thí nghiệm mới, Tạp chí Giáo dục Kỹ thuật, ĐHSPKT Tp HCM, 01/2006