

SỨC BỀN MỎI CỦA CÁC PHẦN TỬ KẾT CẤU VÀ CHI TIẾT MÁY CÓ TIẾT DIỆN KHÔNG TRÒN

NGUYỄN TRỌNG HIỆP, PHAN HỮU PHÚC

§1. ĐẶT VẤN ĐỀ:

Khi làm việc nhiều chi tiết máy và phần tử kết cấu chịu ứng suất thay đổi. Vì vậy tính toán theo chỉ tiêu sức bền mỏi là rất cần thiết để đảm bảo độ tin cậy của máy và kết cấu công trình. Tuy nhiên, những đặc trưng chủ yếu của sức bền mỏi như giới hạn bền mỏi và tuổi thọ thường được xác định qua thí nghiệm những mẫu chuẩn có tiết diện tròn, đường kính $7 \div 10\text{mm}$, nghĩa là khác nhiều về hình dạng và kích thước so với các chi tiết máy và phần tử kết cấu thực tế. Trong bài báo này đề cập đến vấn đề đánh giá giới hạn bền mỏi của các phần tử kết cấu và chi tiết máy có tiết diện không tròn chịu uốn trong một mặt phẳng hoặc chịu kéo - nén.

§2. XÁC ĐỊNH GIỚI HẠN BỀN MỎI CỦA DẦM CHỊU UỐN TRONG MỘT MẶT PHẪNG:

Giới hạn bền mỏi của các phần tử kết cấu và chi tiết máy có tiết diện không tròn chịu uốn trong một mặt phẳng có thể xác định được trên cơ sở phương trình đồng dạng của sự phá hủy mỏi với số thông số ít nhất [1], [7].

Đối với dầm có tiết diện chữ nhật chiều rộng b và chiều cao h , tích phân I của phương trình đồng dạng được viết như sau [7]

$$I = \frac{2b\sigma_{\max}^{\omega}}{h_1^{\omega}\sigma_0^{\omega}F_0} \int_{h_1}^{h_2} (y - h_2)^{\omega} y \, dy$$

$$= \frac{2b(h_1 - h_2)^{\omega+1}\sigma_{\max}^{\omega}}{h_1^{\omega}\sigma_0^{\omega}F_0(\omega + 1)} = -2,31g(1 - P) \quad (2.1)$$

trong đó $h_1 = \frac{h}{2}$; h_2 - khoảng cách từ đường trung hòa đến thớ có ứng suất $\sigma = u$;

u - giới hạn dưới của miền phân tán ứng suất cực đại σ_{\max} ; $F_0 = 1\text{mm}^2$ diện tích đơn vị; σ_0 , ω - các thông số; P - xác suất phá hủy. Đặt $u = C\sigma_{\max}$ [1], chú ý là $h_2 = = h_1$ và σ_{\max} chính là giới hạn mỏi của dầm chữ nhật nhẵn σ_{-1ca} từ phương trình (2.1) ta có

$$I = \frac{bh(1 - C)^{\omega+1}\sigma_{-1ca}^{\omega}}{\sigma_0^{\omega}F_0(\omega + 1)} = -2,31g(1 - P) \quad (2.2)$$

Trường hợp uốn trong mặt phẳng đứng dầm chữ nhật rỗng có chiều rộng b , chiều cao h , chiều dày thành trên và dưới là S_1 chiều dày thành hai bên là S_2

$$I = \frac{h\sigma_{\max}^{\omega}}{\sigma_0^{\omega}F_0(\omega + 1)} \left[b(1 - C)^{\omega+1} - (b - 2S_2) \left(1 - C - \frac{2S_1}{h} \right)^{\omega+1} \right] = -2,31g(1 - P) \quad (2.3)$$

Gọi σ_{-1cr} là giới hạn bền mỗi khi uốn phẳng của dầm có tiết diện chữ nhật rỗng. Trường hợp này $\sigma_{-1cr} = \sigma_{max}$, ta có:

$$I = \frac{h\sigma_{-1cr}^\omega}{\sigma_0 F_0 (\omega + 1)} \left[b(1 - C)^{\omega+1} - (b - 2S_2) \left(1 - C - \frac{2S_1}{h} \right)^{\omega+1} \right] = 2,31g(1 - P) \quad (2.4)$$

Tương tự như trên, trường hợp uốn phẳng dầm chữ I có chiều rộng b, chiều cao h, chiều dày thành trên và dưới S_1 và chiều dày thành giữa S_2 , tích phân I có dạng:

$$I = \frac{h\sigma_{-1cr}^\omega}{\sigma_0 F_0 (\omega + 1)} \left[b(1 - C)^{\omega+1} - (b - S_2) \left(1 - C - \frac{2S_1}{h} \right)^{\omega+1} \right] \quad (2.5)$$

trong đó σ_{-1cr} - giới hạn bền mỗi uốn phẳng của dầm chữ I

Công thức (2.5) cũng áp dụng cho dầm chữ [chịu uốn trong mặt phẳng đứng.

Để tìm được quan hệ giữa giới hạn bền mỗi σ_{-1cn} của dầm tiết diện chữ nhật chiều rộng b và chiều cao h chịu uốn phẳng với giới hạn bền mỗi σ_{-1} của mẫu nhân đường kính d chịu uốn quay, ta cân bằng phương trình (2.2) với phương trình [2]

$$I = \frac{\pi d^2(1 + C)^{\omega+1} \sigma_{-1}^\omega}{2F_0 \sigma_0 (\omega + 1)} = -2,31g(1 - P) \quad (2.6)$$

Ta tìm được

$$\sigma_{-1cn} = \left(\frac{\pi d^2}{2bh} \right)^{\frac{1}{\omega}} \sigma_{-1} = \left(\frac{\pi d^2}{2bh} \right)^{B_\sigma} \sigma_{-1}, \quad (2.7)$$

trong đó $B_\sigma = \frac{1}{\omega}$ - thông số của phương trình đồng dạng của sự phá hủy mỗi [1].

Để đánh giá mức độ chính xác của các công thức tính toán so với kết quả thực nghiệm, trong bảng 1 trình bày các số liệu về giới hạn bền mỗi σ_{-1cn} của dầm tiết diện chữ nhật tìm được qua thí nghiệm uốn trong một mặt phẳng [3] và trị số σ_{-1cn}^* tính theo công thức (2.7) với $B_\sigma = 1/\omega = 0,06$ [7] và giới hạn bền mỗi $\sigma_{-1} = 262\text{MPa}$ của mẫu có đường kính $d = 8\text{mm}$ chịu uốn quay.

Bảng 1

Kích thước tiết diện $b \times h, \text{mm}^2$	$\sigma_{-1cn}, \text{MPa}$	$\sigma_{-1cn}^*, \text{MPa}$	$\delta, \%$
5 × 5	276	285	3,3
10 × 10	276	262	- 5,1
20 × 20	253	241	- 4,7
32 × 4	252	258	2,4
16 × 8	264	258	- 2,3
4 × 32	253	258	2,0

Bảng 1 cho thấy sai lệch tương đối % giữa số liệu thực nghiệm và trị số tính toán khá nhỏ.

Để lập hệ thức giữa giới hạn bền mỗi σ_{-1c1} của dầm chữ I chịu uốn trong mặt phẳng đứng với giới hạn bền mỗi σ_{-1p} của dầm tròn chịu uốn phẳng, ta cân bằng biểu thức (2.5) với biểu thức của I đối với dầm tròn chịu uốn phẳng [2].

$$I = \frac{\sqrt{2}(1-C) \omega + \frac{3}{2} I^* d^2 \sigma_{-1p}^{\omega}}{\sigma_0 F_0} = -2,31g(1-P) \quad (2.8)$$

Từ đó ta có

$$\sigma_{-1c1} = \left\{ \frac{\sqrt{2}(1-c) \omega + \frac{5}{2} I^*(\omega+1)d^2}{h[b(1-c)^{\omega+1} - (b-S_2) \left(1 - \frac{2S_1}{h}\right)^{\omega+1}]} \right\}^{\frac{1}{\omega}} \sigma_{-1p} \quad (2.9)$$

Hệ số 1 có thể lấy bằng 0,01883 ; 0,01356 ; 0,00743 ; 0,00422 tương ứng với các giá trị $\omega = 10, 12, 16$ và 20 [7].

Biểu thức (2.2) cũng áp dụng cho dầm tiết diện chữ I

Từ các biểu thức (2.2) và (2.8) ta tìm được quan hệ giữa giới hạn bền mỗi của dầm chữ nhật σ_{-1ca} và giới hạn bền mỗi của dầm tròn σ_{-1p} chịu uốn phẳng.

$$\sigma_{-1ca} = \left[\frac{\sqrt{2}(1-c) \frac{1}{2} I^*(\omega+1)d^2}{bh} \right]^{\frac{1}{\omega}} \sigma_{-1p} \quad (2.10)$$

Bảng 2 trình bày các trị số tính toán giới hạn bền mỗi thực nghiệm σ_{-1p} , σ_{-1ca} và σ_{-1c1} của các dầm có tiết diện tròn, chữ nhật và chữ I [6] (trong bảng dùng ký hiệu chung là σ_{-1tn}) và các trị số tính toán σ_{-1tt} theo các biểu thức (2.9) và (2.10) với $\omega = 16$ và $c = 0$.

Các số liệu trong các bảng 1 và 2 cho thấy kết quả tính toán khá phù hợp với thực nghiệm.

Tiết diện dầm	σ_{-1tn}	σ_{-1tt}	$\delta, \%$
Tròn	204	204	0
Chữ nhật	198	185	- 6,6
Chữ I	187	185	- 1,1

§ 3. TÍNH TOÁN GIỚI HẠN BỀN MỖI TRONG CHU TRÌNH KHÔNG ĐỐI XỨNG

Các biểu thức tính toán trên đây áp dụng cho các chi tiết máy hoặc phần tử kết cấu chịu uốn quay hoặc uốn phẳng theo chu trình đối xứng (hệ số không đối xứng

$R = -1$). Trường hợp tải trọng kéo-nén đối xứng, có thể xác định giới hạn bền mỗi σ_{-1k} theo công thức

$$\sigma_{-1k} = \gamma_k \cdot \sigma_{-1}, \quad (3.1)$$

trong đó hệ số $\gamma_k = 0,87 \div 0,95$; đối với vật liệu thép có thể lấy $\gamma_k = 0,90 \div 0,92$ [2]

Trong thực tế nhiều kết cấu chịu ứng suất thay đổi theo chu trình không đối xứng. Quan hệ giữa biên độ ứng suất giới hạn trong chu trình không đối xứng và giới hạn bền mỗi σ_{-1} (trong chu trình đối xứng) có thể xác định từ biểu đồ Sereusen-Kinasósvili [4,5]

$$\sigma_a = \sigma_{-1} - \psi_\sigma \sigma_m \quad (3.2)$$

trong đó σ_a và σ_m là biên độ và ứng suất trung bình, hệ số ψ_σ có thể lấy trung bình là 0,25 đối với vật liệu thép [4]

Do đó giới hạn bền mỗi trong chu trình mạch động

$$\sigma_o = 2\sigma_{-1} - \psi_\sigma \sigma_o = \frac{2}{1 + \psi_\sigma} \sigma_{-1} \quad (3.3)$$

Trường hợp chu trình có hệ số không đối xứng R , giữa giới hạn bền mỗi σ_R và biên độ ứng suất σ_a , ứng suất trung bình σ_m có các quan hệ

$$\sigma_a = \frac{1 - R}{2} \sigma_R, \quad \sigma_m = \frac{1 + R}{2} \sigma_R. \quad (3.4)$$

Từ các hệ thức (3.2) và (3.4) có thể lập được biểu thức tính σ_R khi biết giới hạn bền mỗi σ_{-1} và hệ số không đối xứng R .

$$\sigma_R = \frac{2\sigma_{-1}}{1 - R + \psi_\sigma (1 + R)}, \quad (3.5)$$

§ 4. KẾT LUẬN

Từ các điều trình bày trên đây có thể rút ra các kết luận sau :

a) Trên cơ sở của phương trình đồng dạng của sự phá hủy mỗi đã thiết lập được các hệ thức tính toán giới hạn bền mỗi của dầm có tiết diện chữ nhật, chữ I hoặc chữ [chịu uốn trong một mặt phẳng.

b) Đối chiếu các trị số tính toán với các số liệu thực nghiệm cho thấy các hệ thức trên cho kết quả khá phù hợp với thực nghiệm. Như vậy trong thực tiễn chỉ cần làm thí nghiệm các mẫu chuẩn và dùng các hệ thức tính toán trên đây có thể xác định được giới hạn bền mỗi của các loại dầm trên.

c) Đã lập được các hệ thức tính toán giới hạn bền mỗi trong chu trình không đối xứng với kiến nghị lấy trị số $\psi_\sigma \approx 0,25$.

d) Các hệ thức trên đây được áp dụng vào tính toán xác định giới hạn bền mỗi của thép dầm cầu. Bằng thí nghiệm các mẫu chuẩn chế tạo từ vật liệu thép cầu, phù hợp với tính toán đã xác định giới hạn bền mỗi của dầm cầu chịu ứng suất thay đổi theo chu trình không đối xứng.

Địa chỉ
Trường đại học Bách khoa HN.

Nhận ngày 8/8/1966.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. NGUYỄN TRỌNG HIỆP. Phương trình đồng dạng đơn giản về sự hỏng vì mỏi của chi tiết máy. Tạp chí KHK, số 5, 1980.

2. NGUYỄN TRỌNG HIỆP. Một số hệ thức tính toán các giới hạn tải của chi tiết máy. Tập san khoa học Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, chế tạo máy, 1984.

3. MASSONET C. Revue universelle des Mines. T. 11, 1955.

4. НГУЕН ЧОНГ ГИЕП, ОЛЕЙНИК Н. В. О расчете деталей машин на сопротивление усталости при асимметричном нагружении. Детали машин, сборник, выпуск 31, Киев 1986.

5. КОГАЕВ В. П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени. Машиностроение, М., 1977.

6. ТРОЩЕНКО В. Т. Усталость и неупругость металлов. Научная думка, Киев, 1971.

7. НГУЕН ЧОНГ ГИЕП. Закономерности подобия усталостного разрушения и оценка несущей способности деталей машин. Автореферат докт. Дисс., Харьков 1981.

РЕЗЮМЕ

СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН С НЕКРУГЛЫМИ ПРОФИЛЯМИ

На основе уравнения подобия усталостного разрушения получены выражения для определения предела выносливости брусков с прямоугольным двутавровым или швеллерным профилем. Рассмотрен вопрос оценки сопротивления усталости при асимметричном цикле нагружения. Показано, что результаты вычисления по предложенным формулам хорошо согласуются с экспериментальными данными.

HỘI THẢO KHOA HỌC «MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ TRAO ĐỔI NHIỆT — CHẤT» LẦN THỨ NHẤT

Nhằm tập hợp lực lượng cán bộ nghiên cứu khoa học về trao đổi nhiệt — chất thông báo những kết quả nghiên cứu đã đạt được trong nước và những thành tựu của thế giới, trao đổi về phương hướng và biện pháp phối hợp nghiên cứu trong những năm tới trong 2 ngày 23 và 24/4/1987 tại Nhà văn hóa lao động hữu nghị Việt-Xô (Hà Nội) Hội Cơ học Việt Nam và Viện Cơ học đã tổ chức thành công Hội thảo khoa học « Một số vấn đề về trao đổi nhiệt — chất » lần thứ 1.

120 nhà khoa học, cán bộ kỹ thuật trong đó có 18 tiến sỹ và 45 phó tiến sỹ đại diện cho 34 cơ quan, trường, Viện nghiên cứu cũng như các Bộ và các cơ sở sản xuất có liên quan đã tham gia hội thảo.

Sau một phiên toàn thể Hội thảo được tiến hành theo 2 tiêu ban: 1 — Tiêu ban nghiên cứu cơ bản và ứng dụng trao đổi nhiệt — chất trong công nghệ. 2 — Tiêu ban nhiệt kỹ thuật có phần ứng hạt nhân.

Hơn 40 báo cáo đã được trình bày trên Hội thảo về những nghiên cứu cơ bản của khoa học trao đổi nhiệt — chất và ứng dụng của nó trong công nghiệp năng lượng, công nghệ hóa học, trong bảo quản và chế biến thực phẩm, trong công nghệ khai thác, vận chuyển và tính chế dân mỏ, khí đốt, trong khai thác hợp lý và bảo vệ môi trường và v.v..

Toàn thể đã đánh giá cao sự cần thiết cũng như thành công của Hội thảo và nhất trí đề nghị 2 năm 1 lần tổ chức Hội thảo khoa học về trao đổi nhiệt — chất.

Kết quả Hội thảo đã gây ấn tượng tốt cho các đại biểu.

DƯƠNG NGỌC HẢI