

Chương 7 **Khái niệm cơ bản về tính toán thiết kế chi tiết máy**

1. Độ bền

1.1 Tải trọng

- **Tải trọng không đổi:** phương, chiều, độ lớn không đổi theo thời gian
- **Tải trọng thay đổi:** ít nhất một trong ba yếu tố trên thay đổi theo thời gian. Tải thay đổi có thể liên tục hoặc theo bậc
- Tải va đập
- Tải danh nghĩa
- Tải trọng tương đương
- Tải trọng qui đổi

1.2 Ứng suất

- **Ứng suất tĩnh:** giá trị không đổi theo thời gian → phá huỷ tĩnh
- **Ứng suất thay đổi:** giá trị thay đổi theo thời gian → phá huỷ mỏi

- Chu kỳ ứng suất**

5 đặc trưng của 1 chu kỳ ứng suất

1. Ứng suất cực đại σ_{\max} τ_{\max}

2. Ứng suất cực tiểu σ_{\min} τ_{\min}

3. Ứng suất trung bình

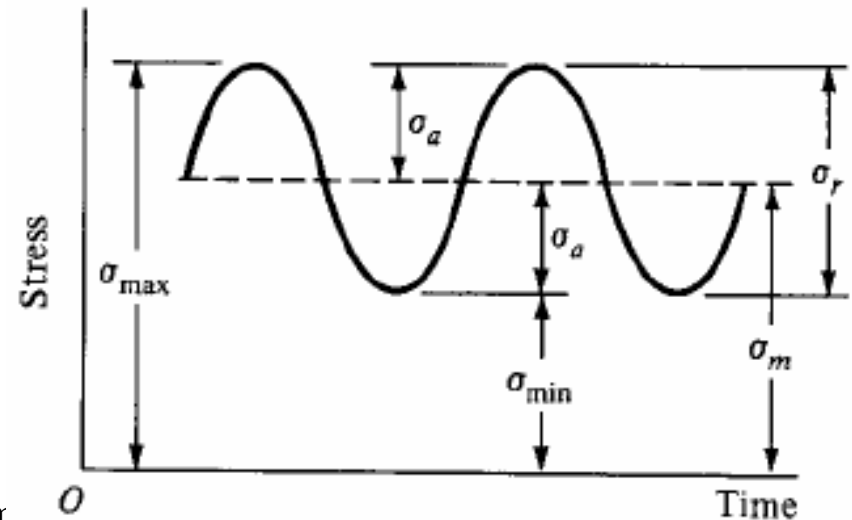
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \tau_m = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2}$$

4. Ứng suất biên độ

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \tau_a = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2}$$

5. Hệ số tính chất chu kỳ

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad r = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}}$$

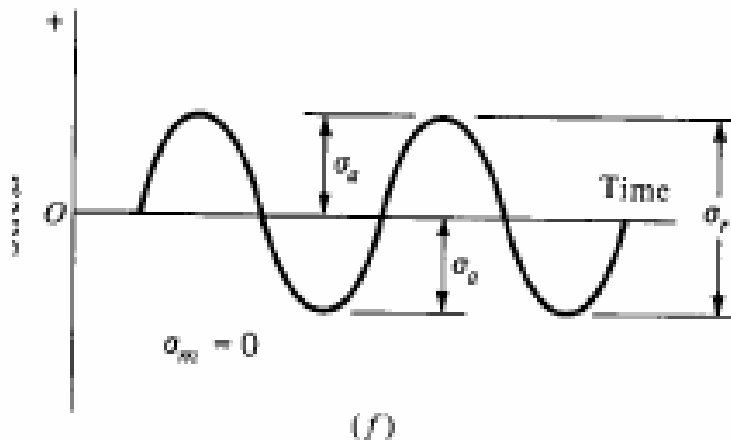


Chu kỳ ứng suất

- **Chu kỳ đối xứng** $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ $\tau_{\max} = -\tau_{\min}$ $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = -1$

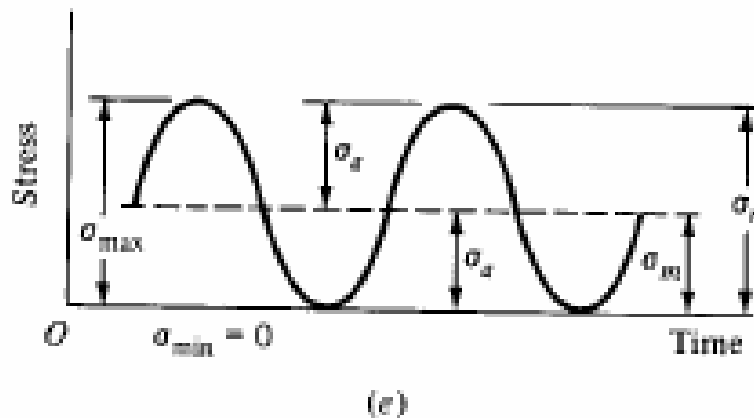
σ, τ ứng suất tĩnh

σ_{-1}, τ_{-1} ứng suất mỗi ứng với chu kỳ đối xứng



- **Chu kỳ mạch động dương** $\sigma_{\min} = 0$ $\tau_{\min} = 0$ $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0$

σ_0, τ_0 ứng suất mỗi ứng với chu kỳ mạch động dương



- **Thí nghiệm lập đường cong mỗi**



Mẫu thử mỗi



Máy thử mỗi

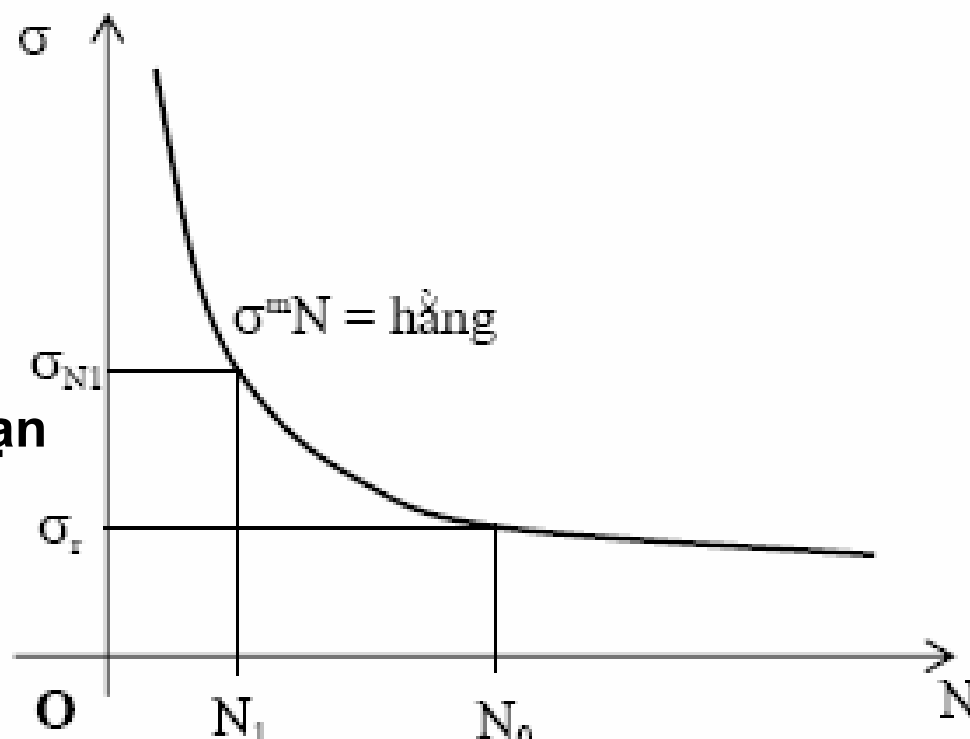
- Đường cong mỏi

σ_r : giới hạn mỏi dài hạn

N_0 : số chu kỳ cơ sở

$N \geq N_0$: chế độ làm việc dài hạn

$N < N_0$: chế độ làm việc ngắn hạn



- Ứng suất mỏi

$$\sigma_N = \sigma_r \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} = \sigma_{\lim} K_L \text{ với } K_L \geq 1$$

Khi tính ứng suất uốn cho vật liệu thép $N_0 = 5 \cdot 10^6$ chu kỳ

$m = m_F = 6$ khi $HB \leq 350$ và $m = m_F = 9$ khi $HB > 350$

Khi tính ứng suất tiếp xúc cho vật liệu thép $N_0 = 30 \times (HB)^{2.4}$ và $m = m_H = 6$

Giá trị σ_{\lim}

$$\sigma_{-1F} = (0.4 \div 0.5) \sigma_b \quad \sigma_{0F} = (1.4 \div 1.6) \sigma_{-1F}$$

$$\tau_{-1} = (0.22 \div 0.25) \sigma_b \quad \tau_0 = 0.3 \sigma_{ch}$$

$$\sigma_{-1K} = 0.33 \sigma_b \quad \sigma_{0K} = 0.5 \sigma_b$$

• Số chu kỳ làm việc tương đương

Tải trọng không đổi

$$N = 60L_h n$$

Với L_h : tuổi thọ (giờ)

n : số vòng quay (vg/ph)

Tải trọng thay đổi theo bậc

$$N_{LE} = 60 \sum \left(\frac{T_i}{T_{\max}} \right)^{m'} t_i n_i$$

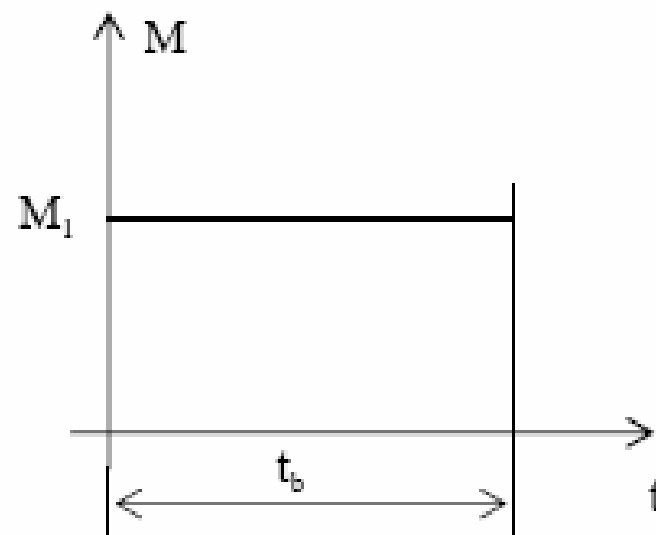
Khí tính ứng suất uốn cho vật liệu thép

$$m' = m_F = 6 \text{ khi } HB \leq 350$$

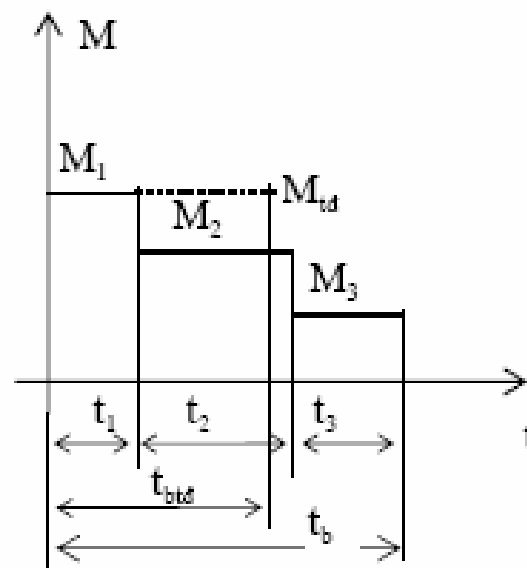
$$m' = m_F = 9 \text{ khi } HB > 350$$

Khí tính ứng suất tiếp xúc cho vật liệu thép

$$m' = \frac{m_H}{2} = 3$$



Chế độ tải trọng không đổi



Chế độ tải trọng thay đổi theo bậc

T_i : tải trọng chế độ thứ i

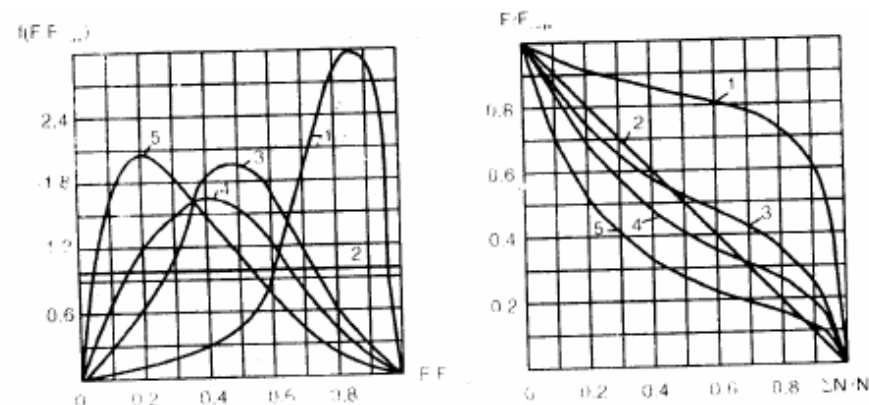
n_i : số vòng quay chế độ thứ i (vg/ph)

t_i : thời gian làm việc chế độ thứ i (giờ)

Tải trọng thay đổi liên tục

$$N_{LE} = K_E N$$

Vớ K_E tra bảng 6.14



Chế độ tải trọng thay đổi liên tục

Bảng 6.14 Hệ số chế độ tải trọng K_{HE} và K_{FE}

Chế độ tải trọng	Theo độ bền tiếp xúc			Theo độ bền uốn					
	Nhiệt luyện	$m_H/2$	K_{HE}	Nhiệt luyện	m_F	K_{FE}	Nhiệt luyện	m_F	K_{FE}
0	Bất kỳ	3	1,000	Tôi cải thiện	6	1,000	Tôi thể tích	9	1,000
I			0,500	Thường hóa		0,300	Tôi bề mặt		0,200
II			0,250	Thấm nitơ		0,140	Thấm than		0,100
III			0,180			0,050			0,040
IV			0,125			0,038			0,015
V			0,063			0,013			0,004

- **Ứng suất tiếp xúc**
- Công thức Hetz áp dụng cho 2 hình trụ tiếp xúc ngoài (sử dụng khi tính bền cho bộ truyền bánh răng)

$$\sigma_H = Z_M \sqrt{\frac{q_n}{2\rho}}$$

- Với q_n : tải trọng phân bố

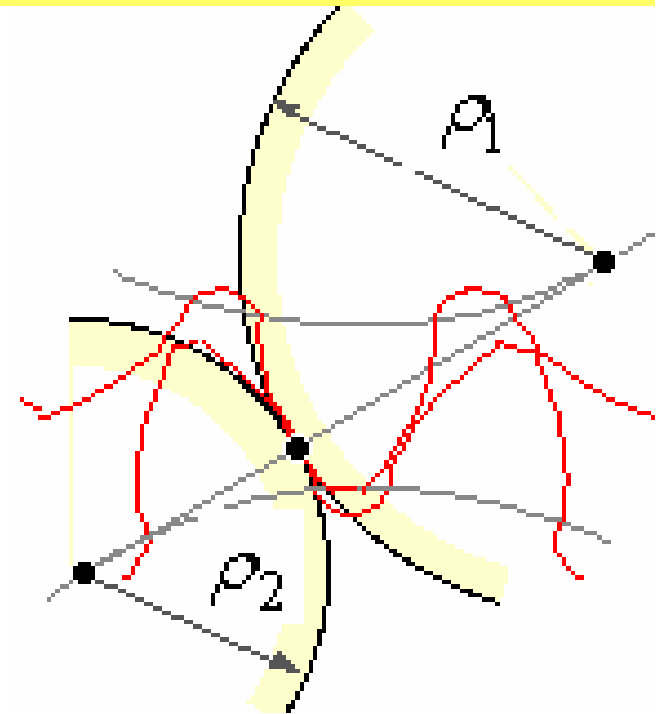
$$Z_M = \sqrt{\frac{2E_1E_2}{\pi[E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)]}} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}$$

- Công thức Hetz áp dụng cho tiếp xúc của hai mặt cầu (khi tính ổ lăn)

$$\sigma_H = 0.3883 \sqrt{\frac{F_n E^2}{\rho^2}}$$

- Công thức Hetz áp dụng cho tiếp xúc của mặt trụ và mặt phẳng (khi tính bộ truyền trục vít)

$$\sigma_H = 0.418 \sqrt{\frac{q_n E}{\rho}}$$



1.3 Ứng suất cho phép & hệ số an toàn

1.3.1 Ứng suất cho phép

• Ứng suất tĩnh

Vật liệu dẻo

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{ch} \varepsilon_{\sigma}}{[s]} \quad [\tau] = \frac{\tau_{ch} \varepsilon_{\tau}}{[s]}$$

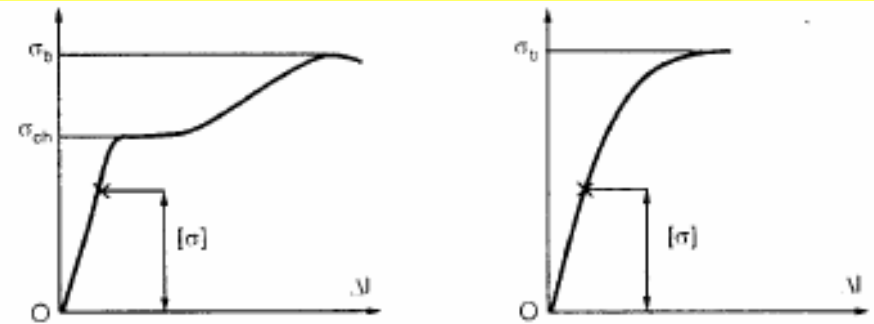
Vật liệu giòn

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b \varepsilon_{\sigma}}{[s]} \quad [\tau] = \frac{\tau_b \varepsilon_{\tau}}{[s]}$$

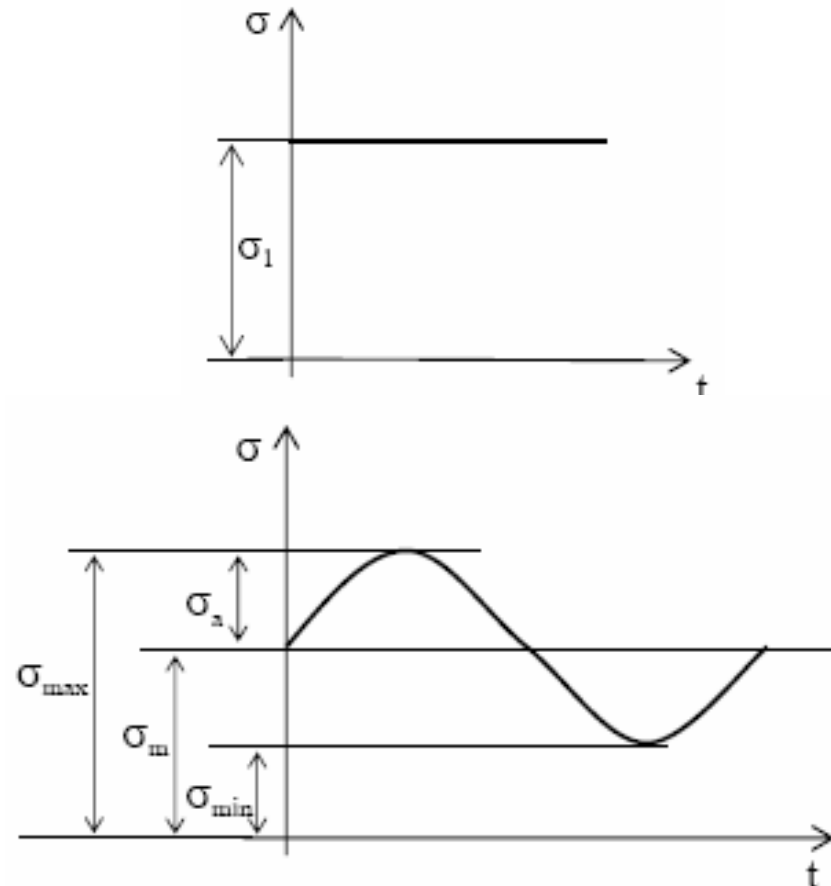
• Ứng suất mỏi

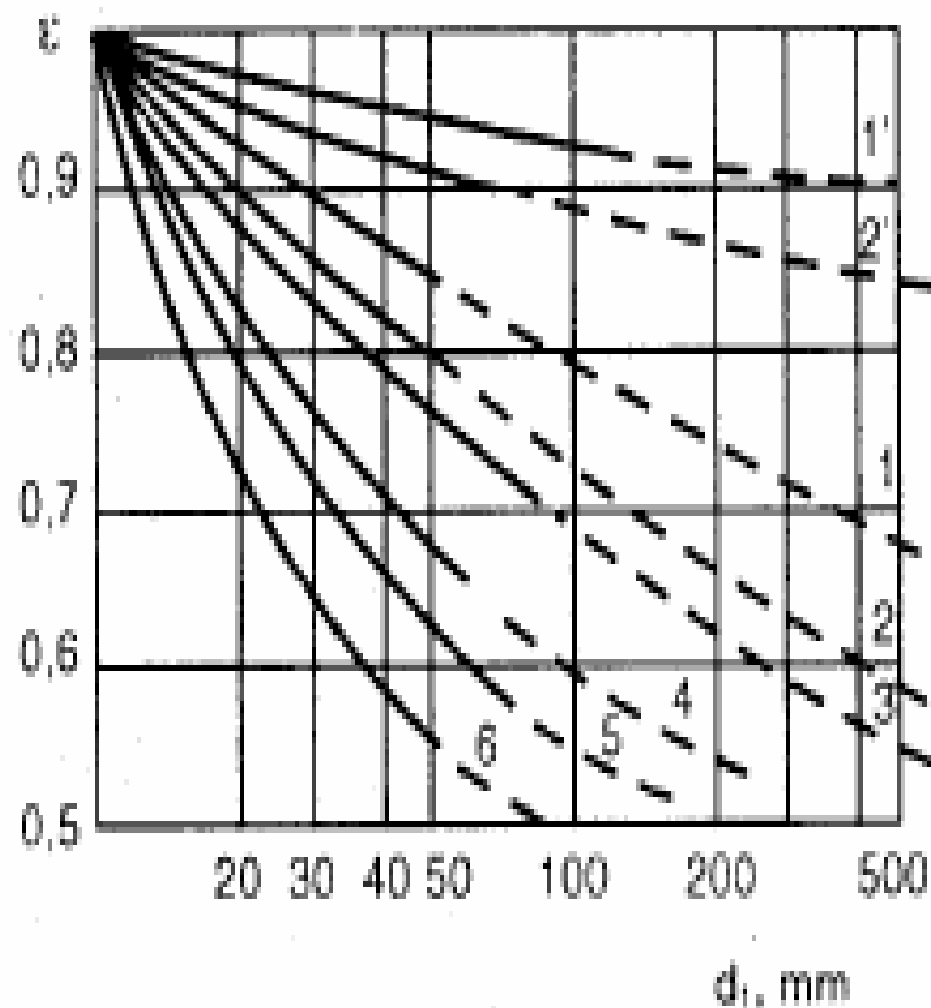
$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim} \varepsilon_{\sigma} \beta}{[s] K_{\sigma}} K_L$$

$$[\tau] = \frac{\tau_{lim} \varepsilon_{\tau} \beta}{[s] K_{\tau}} K_L$$



Hình 2.5 Biểu đồ phụ thuộc ứng suất kéo và biến dạng
a) Đối với thép (kim loại dẻo); b) Đối với gang (kim loại giòn)





1' và 2'- giới hạn bền của thép carbon và thép hợp kim

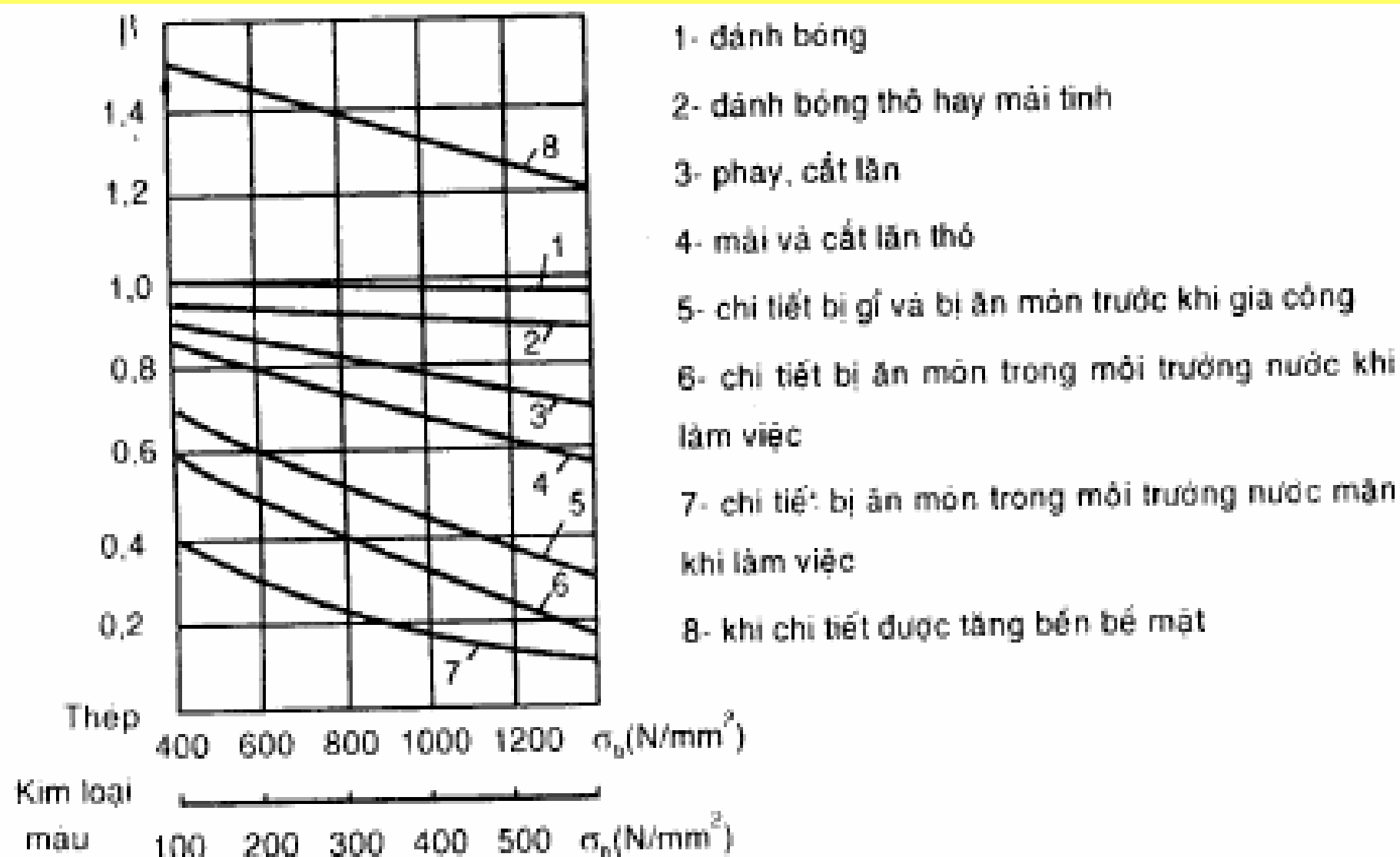
1 và 2- giới hạn chảy và mỏi của các loại thép carbon và hợp kim

4 và 6- giới hạn mỏi của trục khi có sự tập trung ứng suất đáng kể của thép carbon và hợp kim

3- giới hạn bền của gang và kim loại màu

5- giới hạn mỏi của gang và kim loại màu

Hình 2.6 Đồ thị xác định hệ số kích thước ε



Hình 2.7 Hệ số tăng bền bề mặt β

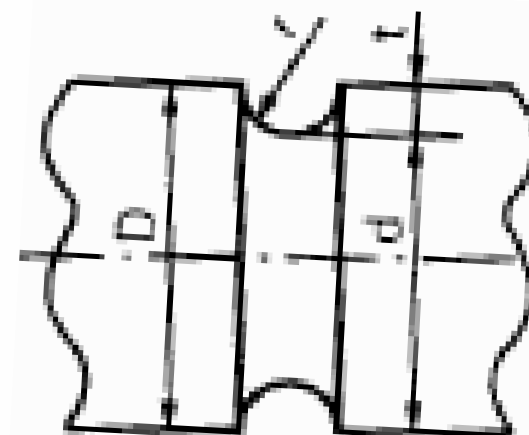
Bảng 10.5 Hệ số K_σ , K_f khi trên bề mặt chuyển tiếp có góc lượn (H.10.18b)

Vr	r/d	K_σ khi giới hạn bền σ_b , MPa				K_σ khi giới hạn bền σ_b , MPa			
		500	700	900	1200	500	700	900	1200
1	0,01	1,35	1,4	1,45	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3
	0,02	1,45	1,5	1,55	1,6	1,35	1,35	1,4	1,4
	0,03	1,65	1,7	1,8	1,9	1,4	1,45	1,45	1,5
	0,05	1,60	1,7	1,8	1,95	1,45	1,45	1,5	1,55
	0,10	1,45	1,55	1,65	1,85	1,4	1,4	1,45	1,5
2	0,01	1,55	1,6	1,65	1,7	1,4	1,4	1,45	1,45
	0,02	1,8	1,9	2,0	2,15	1,55	1,6	1,65	1,7
	0,03	1,8	1,95	2,05	2,25	1,55	1,6	1,65	1,7
	0,05	1,75	1,9	2,0	2,3	1,55	1,6	1,65	1,75
3	0,01	1,9	2,0	2,1	2,2	1,55	1,6	1,65	1,75
	0,02	1,95	2,1	2,2	2,4	1,6	1,7	1,75	1,85
	0,03	1,95	2,1	2,25	2,45	1,65	1,7	1,75	1,9
5	0,01	2,1	2,25	2,35	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6
	0,02	2,15	2,3	2,45	2,65	2,1	2,15	2,25	2,4



Bảng 10.6 Hệ số K_σ , K_f đối với trục có rãnh vòng (H.10.18c)

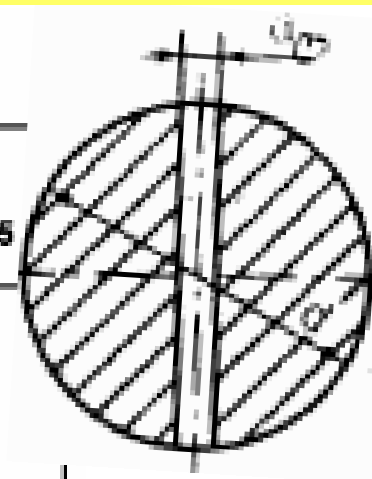
t/r	r/d	K_σ , khi giới hạn bền σ_b , MPa				K_f , khi giới hạn bền σ_b , MPa			
		500	700	900	1200	500	700	900	1200
0,5	0,01	1,95	2,05	2,15	2,3	1,5	1,9	2,1	2,4
	0,02	1,85	1,95	2,05	2,2	1,6	1,75	1,95	2,2
	0,03	1,75	1,85	1,95	2,1	1,5	1,65	1,8	2,05
	0,05	1,65	1,75	1,9	2,05	1,4	1,5	1,65	1,8
	0,10	1,5	1,55	1,6	1,75	1,2	1,25	1,3	1,4
1	0,01	2,15	2,25	2,4	2,6				
	0,02	2,05	2,15	2,3	2,5				
	0,03	1,95	2,1	2,2	2,35				
	0,05	1,85	1,95	2,1	2,25				
2	0,01	2,35	2,5	2,65	2,85				
	0,02	2,25	2,4	2,5	2,7				
	0,03	2,15	2,3	2,4	2,6				
5	0,01	2,45	2,65	2,8	3,05				
	0,02	2,35	2,5	2,65	2,85				



≈ Hệ số K_f không phụ thuộc vào tỷ số t/r.

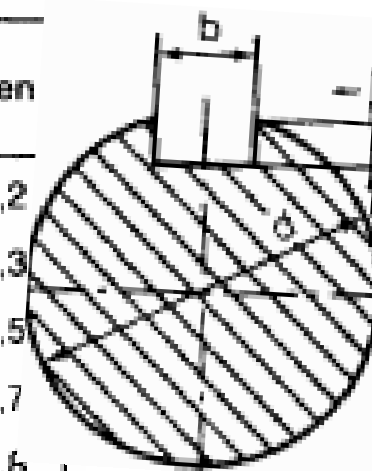
Bảng 10.7 Hệ số K_σ , K_t đối với trục có lỗ xuyên qua trục (H.10.18d)

Giới hạn bền σ_b , MPa	K_σ , khi tỷ số d/d_0		K_t , khi tỷ số $d/d_0 = 0,05 + 0,25$
	0,05 + 0,1	0,15 + 0,25	
≤ 700	2,0	1,8	1,75
900	2,15	1,9	1,9
≥ 1000	2,3	2,1	2,0



Bảng 10.8 Hệ số K_σ , K_t đối với trục có rãnh then (H.10.18a), then hoa và ren

Giới hạn bền σ_b , MPa	K_σ đối với			K_t đối với			
	Rãnh then hoa	Rãnh then	Ren	Then hoa chữ nhật	Then hoa thân khai	Then	Ren
≤ 500	1,45	1,6	1,8	2,25	1,43	1,4	1,2
600	1,55	1,75	1,95	2,36	1,46	1,5	1,3
700	1,60	1,9	2,2	2,45	1,49	1,7	1,5
800	1,65	2,05	2,3	2,55	1,52	1,9	1,7
900	1,70	2,2	2,45	2,65	1,55	2,0	1,6
≥ 1000	1,72	2,3	2,6	2,70	1,58	2,2	2,0



1.3.2 Hệ số an toàn

Kiểm tra hệ số an toàn

$$s \geq [s]$$

- Ứng suất tĩnh

Vật liệu dẻo

$$s = \frac{\sigma_{ch} \varepsilon}{\sigma_{\max}} \geq [s]$$

Vật liệu giòn

$$s = \frac{\sigma_b \varepsilon}{\sigma_{\max} K_{S\sigma}} \geq [s]$$

- Ứng suất mỏi

Chu kỳ ứng suất đối xứng

$$s = \frac{\sigma_{-1} \varepsilon_{\sigma} \beta}{K_{\sigma} \sigma_a} \geq [s]$$

Chu kỳ ứng suất không đối xứng

$$s_{\sigma} = \frac{\sigma_r}{\frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma} \beta} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m} \geq [s]$$

Khi trạng thái ứng suất phức tạp

$$s = \frac{s_{\sigma} s_{\tau}}{\sqrt{s_{\sigma}^2 + s_{\tau}^2}} \geq [s]$$

Hệ số an toàn cho phép

$$[s] = s_1 s_2 s_3$$

Các giá trị s_1, s_2, s_3 tra bảng trang 45

2. Độ cứng

- Độ cứng là khả năng chống lại sự biến đổi hình dáng và kích thước dưới tác dụng của tải trọng

- Độ cứng thể tích:

Độ võng $y \leq [y]$

Góc xoay $\theta \leq [\theta]$

Góc xoắn $\varphi \leq [\varphi]$

- Độ cứng tiếp xúc

$$j = \frac{F_n}{y} \leq [j]$$

3. Độ bền mòn

Lượng mòn $U = IL \leq [U]$

Giai đoạn mòn: I. Mài rà II. Mòn ổn định III. Cường độ mòn lớn

4. Độ chịu nhiệt

Là khả năng làm việc ổn định của chi tiết ở nhiệt độ làm việc

5. Độ ổn định dao động

Biên độ dao động ở tần số làm việc phải nhỏ hơn giá trị cho phép

Thường có 2 chế độ: dưới cộng hưởng và trên cộng hưởng

6. Độ tin cậy

Là xác suất không hỏng của chi tiết khi vận hành

7. Thiết kế tối ưu

Chọn hàm mục tiêu và các ràng buộc để thoả mãn chỉ tiêu phù hợp với từng loại chi tiết

8. Thiết kế với sự hỗ trợ của máy tính

Bao gồm mô hình hoá, mô phỏng, tính toán số, chương trình điều khiển gia công

HẾT CHƯƠNG 7