

---

# PHẦN I

## CƠ SỞ THIẾT KẾ MÁY

### CHƯƠNG 1

#### CƠ SỞ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CHI TIẾT MÁY

### 1. TẢI TRỌNG VÀ ỨNG SUẤT

#### 1.1. Tải Trọng

Tải trọng (lực, moment) do chi tiết máy hay bộ phận máy tiếp nhận trong quá trình sử dụng máy, gọi là tải trọng làm việc.

Theo đặc tính thay đổi theo thời gian, ta có:

- Tải trọng tĩnh: là tải trọng không thay đổi theo thời gian, hoặc thay đổi không đáng kể, ví dụ bằng thân trọng lượng của chi tiết máy.
- Tải trọng thay đổi: là tải trọng có cường độ, phương hoặc chiều thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi này có thể diễn ra dần dần hay đột ngột. Tải trọng đột nhiên tăng mạnh rồi giảm ngay trong khoảnh khắc gọi là tải trọng va đập.

Trong quá trình làm việc, chi tiết máy thường chịu tải trọng thay đổi và đặc tính thay đổi của tải trọng phụ thuộc vào yếu tố thường xuyên hay ngẫu nhiên.

Khi tính toán chi tiết máy còn phân biệt tải trọng danh nghĩa, tải trọng tương đương và tải trọng tính toán.

- Tải trọng danh nghĩa: là tải trọng được chọn trong số các tải trọng tác dụng lên máy trong chế độ làm việc ổn định, thường là tải trọng lớn hoặc là tác dụng lâu dài nhất.
- Tải trọng tương đương: là tải trọng thay thế tác dụng của nhiều mức tải trọng trong trường hợp máy làm việc với chế độ tải trọng nhiều mức.
- Tải trọng tính toán: là tải trọng danh nghĩa hoặc tải trọng tương đương có kể thêm ảnh hưởng của đặc tính phân bố không đồng đều tải trọng trên các bề mặt tiếp xúc, tính chất tải trọng, điều kiện làm việc thực tế.

#### 1.2. Ứng suất

---

Dưới tác dụng của tải trọng, trong chi tiết máy xuất hiện ứng suất không đổi và ứng suất thay đổi.

- Ứng suất không đổi ít gặp trong máy: Với các chi tiết máy chịu tải trọng lớn (trọng lượng vật trong máy nâng chuyển, bu lông được vặn chặt với lực xiết lớn ...) có thể xem trong các trường hợp này là ứng suất không đổi.
- Ứng suất thay đổi: có trị số, chiều hoặc cả trị số và chiều thay đổi theo thời gian.
- Ứng suất thay đổi được đặc trưng bằng chu trình thay đổi ứng suất: một vòng thay đổi ứng suất qua giá trị giới hạn này sang giá trị giới hạn khác rồi trở về giá trị ban đầu được gọi là một chu trình ứng suất.
- Thời gian thực hiện một chu trình ứng suất gọi là một chu kỳ ứng suất.

Chu trình ứng suất được đặc trưng bằng:

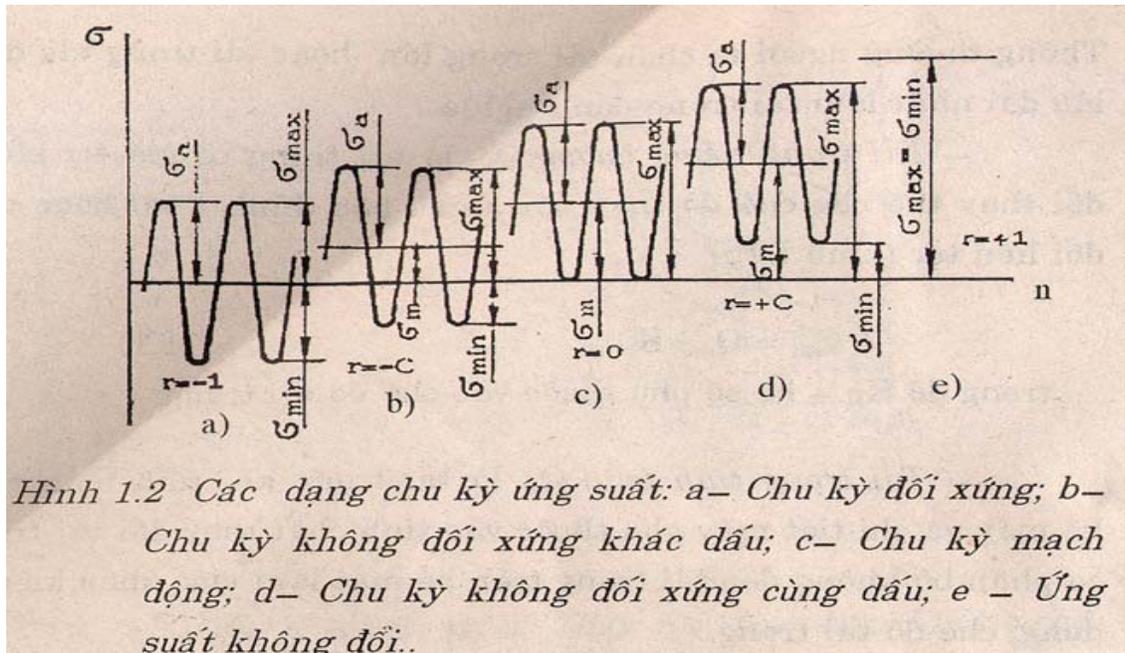
- Biên độ ứng suất:  $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$

- Ứng suất trung bình:  $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$

- Tỷ số ứng suất:  $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$

Tùy theo giá trị của  $r$ , ta có các dạng ứng suất khác nhau:

- $r = -1$ : chu kỳ đối xứng
- $r = 0$ : chu kỳ mạch động
- $r > 0$ : chu kỳ ứng suất không đối xứng cùng dấu
- $r < 0$ : chu kỳ ứng suất không đối xứng khác dấu
- $r = 1$ : ứng suất không đổi



Chú ý: máy có thể làm việc ổn định ( chế độ bình ổn) hoặc không ổn định ( chế độ không bình ổn ):

- Trong chế độ bình ổn: biên độ và ứng suất trung bình không thay đổi theo thời gian.
- Trong chế độ không bình ổn: trị số, biên độ ứng suất và ứng suất trung bình hoặc một trong hai đại lượng này thay đổi theo thời gian.
- Ngoài các đặc tính thay đổi ứng suất trên đây, trong tính toán cần phân biệt các loại ứng suất tùy theo điều kiện cụ thể, tải trọng tác dụng lên chi tiết máy có thể gây ra các loại ứng suất:
  - Ứng suất pháp (kéo, nén, uốn), ứng suất tiếp (cắt, xoắn) xuất hiện trên từng chi tiết.
  - Ứng suất dập và ứng suất tiếp xúc: xuất hiện khi các chi tiết máy trực tiếp tiếp xúc với nhau và có tác dụng tương hỗ với nhau.
- Trường hợp hai chi tiết máy tiếp xúc với nhau theo diện rộng ( thân và lỗ đỉnh tán, chốt và ống xích con lăn) dưới tác dụng của lực  $F$  sinh ra ứng suất dập  $\sigma_d$  hoặc áp suất  $P_0$  ( hình 1.2). Từ điều kiện coi áp suất phân bố đều trên bề mặt tiếp xúc.

$$F = 2 \cdot p_0 \cdot l \cdot \frac{d}{2} \cdot \cos \alpha \cdot d = P_0 \cdot l \cdot d$$

$$P_0 = \frac{F}{ld}$$

$d$ : đường kính chốt hay ngỗng trục.

$l$ : chiều dài ống hoặc lót ổ.

- Trong trường hợp hai chi tiết tiếp xúc với nhau theo diện tích nhỏ so với kích thước các chi tiết (ép hai hình trụ với nhau, hình cầu với nhau hoặc hình cầu với mặt phẳng...)
- Hai hình trụ có trục song song tiếp xúc với nhau: trước khi chịu tải trọng riêng  $q_H$ , hai hình trụ tiếp xúc với nhau theo đường khi chịu tải, tiếp xúc đường trở thành tiếp xúc nhau theo diện hẹp. Trên diện tích tiếp xúc đó (với chiều rộng  $2b$  dọc theo đường sinh) ứng suất phân bố theo hình Parapôn. Theo lý thuyết đàn hồi trị số lớn nhất của ứng suất tiếp xúc  $H$  xác định theo công thức Hec (Hertz).

$$H = Z_M \sqrt{\frac{q_H}{2}}$$

$Z_M$ : hằng số đàn hồi của vật liệu các vật thể tiếp xúc.

$D$ : bán kính cong tương đương.

$$Z_M = \sqrt{\frac{2E_1E_2}{[E_2(1-\nu_1^2) + E_1(1-\nu_2^2)] \cdot \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}}}$$

$E_1, E_2$ : môđun đàn hồi của vật liệu hình trụ 1 và 2.

$\nu_1, \nu_2$ : hệ số Poatxông của vật liệu hình trụ 1 và 2.

$d_1, d_2$ : bán kính cong tại điểm tiếp xúc, ở đây là bán kính hình trụ 1 và 2.

Dấu +: khi hai tâm cong ở về hai phía so với điểm tiếp xúc.

Dấu -: khi hai tâm cong ở về cùng phía.

Với vật liệu kim loại (thép, gang, đồng thanh) hệ số Poatxông  $\nu = 0,25$

$\div 0,35$ , trung bình lấy  $\nu = 0,3$  từ đó ta có công thức:

$$H = 0,418 \sqrt{q_H \cdot E}$$

Với  $E = 2 E_1 E_2 / (E_1 + E_2)$  môđun đàn hồi tương đương.

### 1.3. CHỈ TIÊU CHỦ YẾU VỀ KHẢ NĂNG LÀM VIỆC CỦA CHI TIẾT MÁY.

#### 1.3.1. Độ bền

Là khả năng tiếp nhận tải trọng của chi tiết máy mà không bị phá hỏng.

- là chỉ tiêu quan trọng nhất đối với phần lớn chi tiết máy: nếu chi tiết máy không đủ bền thì bên trong xuất hiện biến dạng dư đủ lớn làm thay đổi hình dạng chi tiết máy, phá hoại điều kiện làm việc bình thường của máy, có thể phá hỏng ngay bản thân của chi tiết máy: gãy, vỡ hoặc hư hại bề mặt làm việc.
- Có hai dạng phá hỏng:
  - + Phá hỏng tĩnh: do ứng suất làm việc vượt quá giới hạn bền tĩnh của vật liệu, thường do quá tải đột ngột gây nên.
  - + Phá hỏng mỏi: do tác dụng lâu dài của ứng suất thay đổi có giá trị vượt qua giới hạn bền mỏi của vật liệu.
- Nghiên cứu độ bền thường gắn với thời hạn phục vụ hay tuổi thọ của chi tiết máy.
- Phương pháp tính thông dụng về độ bền là so sánh ứng suất tính toán với ứng suất cho phép.
- Điều kiện bền có dạng  $\sigma \leq [\sigma]$

Xuất phát từ điều kiện đảm bảo hệ số an toàn lớn hơn hệ số an toàn cho phép  $s \geq [s]$

#### 1.3.2. Độ cứng

##### 1.3.2.1. Khi niệm:

- Độ cứng là khả năng chống lại sự thay đổi hình dạng và kích thước của chi tiết máy dưới tác dụng của tải trọng.
- Theo tính chất của tải trọng, ta có độ cứng tĩnh hay động. Ngoài ra, người ta có độ cứng thể tích và độ cứng tiếp xúc

##### 1.3.2.2. Tình tổn độ cứng

**a. Độ cứng thể tích**

Điều kiện : chuyển vị dài hoặc chuyển vị góc không vượt quá giá trị cho phép.

+ Chi tiết my chịu tải trọng dọc trục:

$$l \frac{F_a l}{EA} \quad [ l ]$$

$F_a$  - lực ko dọc trục

$l$  - chiều di chi tiết

$A$  - diện tích tiết diện

$E$  – modun đàn hồi

+ Chi tiết chịu tc dụng của moment uốn:

$$f \quad [ f ]$$

$$[ ]$$

+ Chi tiết chịu moment xoắn:

$$\frac{Tl}{GJ_0} \quad [ ]$$

$G$  – modun đàn hồi trượt

$l$  - chiều di tính

$J_0$  – moment quán tính độ cực

- góc xoắn tính torsion

**b. Độ cứng tiếp xúc**

+ Độ cứng tiếp xúc biểu thị mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng tiếp xúc

+ Độ cứng tiếp xúc  $j$  được xác định theo công thức:

$$j \frac{F_n}{y}$$

với :  $F_n$  - lực nn

$y$  - đại lượng biến dạng do tiếp xúc

\* Con lăn tiếp xúc với mặt phẳng: được xác định theo công thức Belaev:

$$y = 1,553 \sqrt{\frac{F_n^2}{E^2 d}}$$

d - đường kính con lăn

+ Trường hợp bề mặt nhấp nhô tiếp xúc nhau, khi chịu tải trọng thì cc nhấp nhô bị biến dạng. Khi đó, độ cứng tiếp xúc được tính theo công thức Votinov:

$$j = \frac{Ap_0}{y}$$

$p_0$  - p suất ring tại chỗ tiếp xúc

A - diện tích tiếp xúc

y - biến dạng tiếp xúc

$$y = Kp_0^m$$

Khi  $p_0 = 0,1..0,5$  chỉ số m và hệ số K như sau:

$K = 0,5..0,65$ ;  $m = 0,5$  khi cạo thô bề mặt

$K = 0,25..0,3$ ;  $m = 0,5$  khi cạo thường

$K = 0,15..0,2$ ;  $m = 0,4..0,5$  khi bo v mi tinh

### 1.3.2.3. Phương pháp nâng cao độ cứng

Độ cứng là một chỉ tiêu quan trọng trong quá trình thiết kế. Người thiết kế phải tính toán, chọn vật liệu, chọn hình dạng chi tiết (kết cấu) sao cho máy và chi tiết máy có độ cứng cao nhưng vẫn đảm bảo tiết kiệm vật liệu và có tính công nghệ. Một số phương pháp nâng cao độ cứng như sau:

- Dạng vật liệu hợp lý: cỡ modul đàn hồi cao
- Chọn hình dạng tiết diện ngang hợp lý: độ cứng tỉ lệ thuận với J,  $W_0$ . Trong kết cấu có thể tạo gân sườn tăng độ cứng vững
- Chọn kết cấu chịu tải trọng hợp lý:
  - + Chịu tải trọng đối xứng: tránh chuyển vị đàn hồi theo phương tải trọng

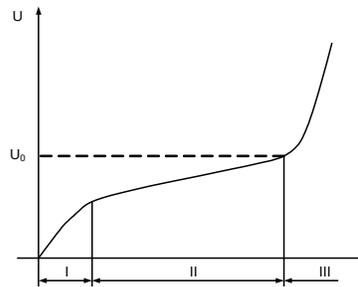
+ Chọn kết cấu chịu kết nn vì khả năng này cao hơn uốn xoắn.

### 1.3.3 Độ chịu mìn

a/ Khi niệm

*Sự mìn là sự thay đổi về hình dng, kích thước, trạng thái bề mặt do tàn phá lớp bề mặt khi chịu tác hại của sự cọ sát.*

+ Đồ thị biểu thị lượng mìn theo thời gian



Giai đoạn (I) là giai mài rà, khi đó bề mặt chi tiết có độ nhấp nhô cao do gia công. Cho nên trong giai đoạn này các nhấp nhô trên bề mặt bị san phẳng, vì vậy hiện tượng mìn xảy ra ở mức độ lớn. Giai đoạn (II) là giai đoạn mìn ổn định. Giai đoạn (III) là giai đoạn phá hủy do thay đổi điều kiện mìn

+ Lượng mìn U:

$$U = I_s \cdot I_v t$$

I - cường độ mìn

s, v, - quãng đường, vận tốc

+ Cường độ mìn:

$$I = \frac{k p_0^m f^n}{H^l}$$

Cc hệ số:

k - hệ số tỉ lệ

$p_0$  - p suất bề mặt lm vịc

f - hệ số ma st

H- độ rắn vật liệu

$m, n, l$  – cc chỉ số mũ

Cc hệ số ny dĩ thể tra trong tài liệu. Ngoài ra, trong một số bộ truyền như xích, bánh răng..lượng mịn cịn phụ thuộc vo số lượng hạt mài  $q$  rơi vào bề mặt tiếp xúc.

Công thức tính cường độ mịn dĩ thể viết:

$$I = \frac{k_{qp_0}}{H^l}$$

+ Các định luật về mài mịn đng để áp dụng cho việc tính mịn cho cc chi tiết my. Cc chi tiết my bị mịn khi lm việc sẽ gy một số hậu quả sau:

- Lm việc không chính xc
- Giảm hiệu suất
- Giảm sức bền chi tiết my
- Gy tiếng ồn do va đập giữa cc bộ phận

### **b. Biện pháp giảm mịn**

Hiện tượng mịn không hoặc ít xảy ra khi giữa hai bề mặt tiếp xúc tồn tại lớp dầu bôi trơn. Nếu không tạo được lớp dầu bôi trơn thì phải khống chế p suất trn bề mặt tiếp xc nhỏ hơn giá trị cho phép. Chúng ta có các phương pháp giảm mịn sau:

- + Sử dụng vật liệu giảm ma sát: đồng thanh, gang chịu mài mịn
- + Giảm tải cho bề mặt chịu ma sát, phân bố tải trọng đều trên bề mặt tiếp xúc tránh tập trung
- + Bôi trơn và làm nguội tốt, giảm độ nhám bề mặt, tính toán hợp lý vận tốc trượt để hình thành lớp dầu bôi trơn trên bề mặt ma sát.
- + Hạn chế hạt mài rơi bề mặt ma sát bằng cách che chắn, hoặc trên bề mặt tạo những rãnh chứa hạt mài sinh ra trong qu trình lm việc.

### **1.3.4 Độ chịu nhiệt**

Trong qu trình lm việc, my sẽ sinh nhiệt. Nguồn nhiệt sinh ra bao gồm sự ma st giữa cc chi tiết, động cơ nhiệt, máy gia công nóng ... Các nguồn nhiệt này sẽ gây một số tác hại trên thiết bị:

+ Giảm khả năng tải của chi tiết máy, làm thay đổi cơ tính của vật liệu.

+ Có thể phá vỡ lớp dầu bôi trơn hình thành giữa cc bề mặt tiếp xúc mịn nhanh chi tiết. Thậm chí gây nên hiện tượng dính giữa hai chi tiết tiếp xúc.

+ Giảm độ chính xác của máy do biến dạng nhiệt.

Do đó, trong một số chi tiết làm việc trượt nhiều như trục vít, ổ trượt thì khi thiết kế phải tính toán nhiệt để có biện pháp khắc phục khi nhiệt độ sinh ra lớn.

Biện pháp nâng cao khả năng chịu nhiệt của chi tiết máy là chọn vật liệu có khả năng chịu nhiệt và tăng cường biện pháp bôi trơn làm mát

### 1.3.5 Độ ổn định dao động

+ Khi chi tiết máy không được cân bằng động, bị biến dạng dưới tác dụng của tải trọng lớn việc với vận tốc cao thì sẽ gây nên những rung động trong máy, gây ra tiếng ồn và giảm chất lượng gia công. Đặc biệt, khi tần số dao động riêng trùng với tần số của máy thì xảy ra hiện tượng cộng hưởng với biên độ dao động cực đại có thể phá hỏng máy.

+ Khi tính toán dao động thường không tính cho từng chi tiết riêng biệt mà tiến hành tính toán cho cả hệ.

Kết luận: Năm chỉ tiêu chủ yếu về khả năng làm việc của chi tiết nói chung, khi thiết kế căn cứ vào tình hình làm việc cụ thể của máy và chi tiết máy, phân tích và tìm ra các dạng hỏng nguy hiểm nhất (chỉ tiêu quan trọng nhất), dựa trên cơ sở đó chọn vật liệu và kích thước chi tiết máy, những chỉ tiêu còn lại đồng thời sẽ được thỏa mãn hoặc thứ yếu.

## 1.4. ĐỘ BỀN MỎI VÀ SỐ CHU KỲ LÀM VIỆC TƯƠNG ĐƯƠNG

### 1.4.1 Hiện tượng phá hủy mỏi

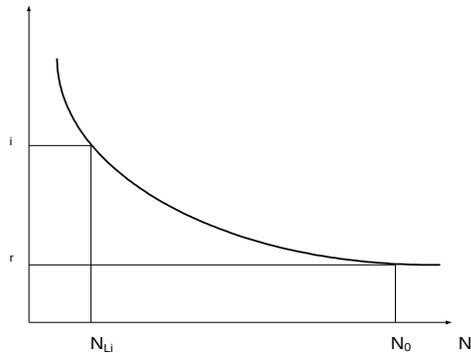
Phần lớn các chi tiết máy làm việc với ứng suất thay đổi và trong thực tế các chi tiết máy này bị hỏng với ứng suất thấp hơn nhiều so với khi làm việc với ứng suất tĩnh.

Quá trình hỏng bắt đầu từ những vết nứt rất nhỏ trên chi tiết máy. Khi số chu kỳ làm việc tăng thì các vết nứt này cũng phát triển và cuối cùng phá hủy chi

tiết. Đó là *ph hủy mỏi*. Khả năng cản sự phá hủy mỏi của vật liệu gọi là sức bền mỏi

### Đường cong mỏi

- Đồ thị biểu thị mối quan hệ giữa  $\sigma$  và số chu kỳ thay đổi ứng suất  $N$  gọi là đường cong mỏi.



- Phương trình đường cong mỏi biểu thị mối quan hệ giữa giới hạn mỏi  $\sigma_L$  và  $N$  như sau:

$$\sigma_L^m N = \sigma_i^m N_i = \text{const}$$

### 1.4.2. Chu kỳ làm việc tương đương

#### a. Chế độ ứng suất thay đổi với chu kỳ ổn định

- Số chu kỳ làm việc tương đương được xác định theo công thức:

$$N_{LE} = 60 L_h n$$

$L_h$  - thời gian làm việc tính bằng giờ

$n$  - số vòng quay trong một phút

#### b. Chế độ ứng suất thay đổi

- Để tính toán sức bền, ta chuyển chế độ làm việc của chi tiết về chế độ làm việc tương đương với ứng suất  $\sigma_L$  và số chu kỳ  $N_{LE}$
- Gọi  $N_i$  là số chu kỳ làm việc của chi tiết ứng với ứng suất  $\sigma_i$  cho đến lúc hỏng.

- $n_1', n_2', n_3' \dots$  - số chu kỳ ứng với ứng suất  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$

Chúng ta có:

$$\frac{n_i'}{N_i} = 1$$

Nhân tử v mẫu cho  $n_i^m$

$$\frac{n_i^m}{N_i^m} = 1$$

Mặt khc:  $N_i^m = N_0^m$

$$n_i^m = N_0^m$$

- Để chuyển chế độ làm việc không ổn định về chế độ ứng suất ổn định  $N_{LE}$  với tuổi thọ tương đương  $N_{LE}$  ta có mối quan hệ:

$$N_{LE}^m = \frac{N_0^m}{\left(\frac{n_i}{L}\right)^m}$$

với  $n_i = 60t_i n_i$

$$N_{LE} = 60 \frac{i}{L} t_i n_i = 60 \frac{T_i}{T_{max}} t_i n_i$$

- $T_i$  – moment xoắn ở chế độ thứ  $i$
- $T_{max} = \max(T_i)$
- $m' = m$  – khi tính độ bền uốn
- $m' = m/2$  – khi tính độ bền tiếp xúc với tiếp xúc đường
- $m' = m/3$  - khi tính độ bền tiếp xúc với tiếp xúc điểm

### c. Khi tải trọng thay đổi liên tục

$$N_{LE} = K_E N$$

$N$  - tổng số chu kỳ làm việc

$$N = 60 \sum n_i t_i$$

$$\text{Khi số chu kỳ} = \text{const: } N = 60 \cdot n \cdot L_h$$

$$L_h = L \cdot 365 \cdot K_{nam} \cdot 24 \cdot K_{ngày}$$

$K_E$  - hệ số chế độ tải trọng. Tra bảng 5.11[1]

### 1.4.3. Các phương pháp nâng cao độ bền mỏi

Nhân tố ảnh hưởng đến độ bền mỏi bao gồm: vật liệu và  $p^2$  nhiệt luyện, hình dáng và kích thước chi tiết, đặc tính tải trọng và ứng suất ... Các phương pháp nâng cao độ bền mỏi gồm:

#### Phương pháp thiết kế:

- + Kết cấu và hình dáng chi tiết hợp lý
- + Giảm sự tập trung ứng suất

#### Phương pháp công nghệ:

- + Dùng phương pháp gia công đặc biệt để tạo cấu trúc tinh thể vật liệu có hạt nhỏ mịn, tạo trên bề mặt ứng suất dư là nén.
- + Nhiệt, hồ luyện bề mặt
- + Dùng các phương pháp gia công đặc biệt: phun bi, lăn ép, lăn ép rung... tạo bề mặt cứng nguội (ứng suất dư nén)