از هستی خویش تا پشیمان نشوی
سرحلقه عارفان و مستان نشوی
تا در نظر خلق نکردی کافر
در مذهب عاشقان مسلمان نشوی

فصل اول: مقدمه – مفهوم تنش

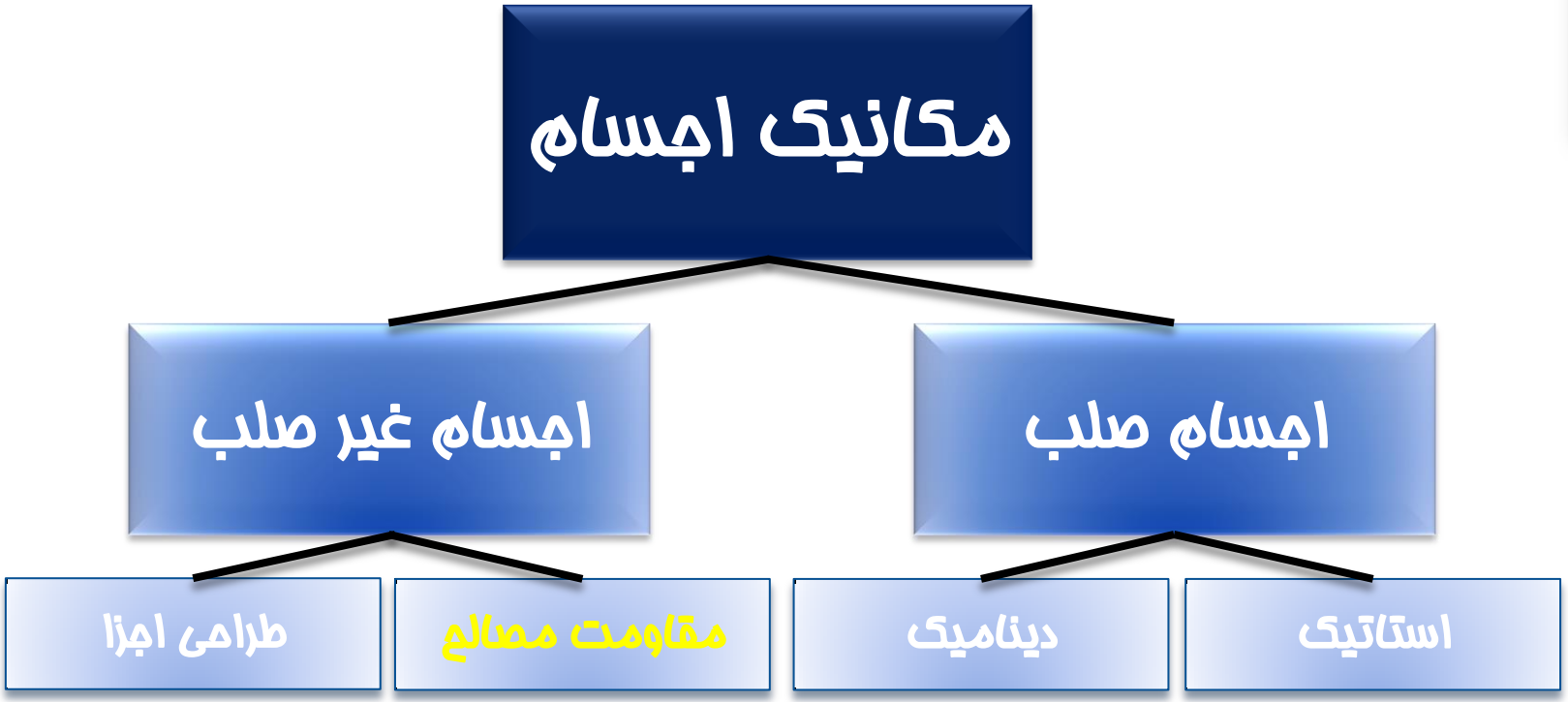
Introduction – Concept of Stress

اکبر اقبالی

WWW.AEGHBALI.BLOG.IR
EGHBALI.D@GMAIL.COM

1393

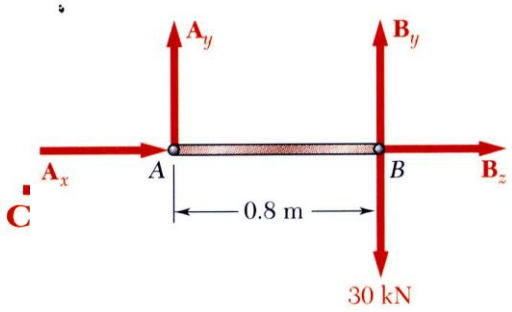
مفهوم تنش



- هدف اصلی مطالعه مکانیک مواد، تجهیز مهندس برای آینده است.
- تحلیل و طراحی ماشین های مختلف و ساختارهای مختلف تحت بار.
- تحلیل و طراحی نیازمند اندازه گیری تنش و تغییر شکل هستند.

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

مروری بر استاتیک



$$\sum M_C = 0 = A_x(0.6\,\text{m}) - (30\,\text{kN})(0.8\,\text{m})$$

$$A_x = 40\,\text{kN}$$

$$\sum F_x = 0 = A_x + C_x$$

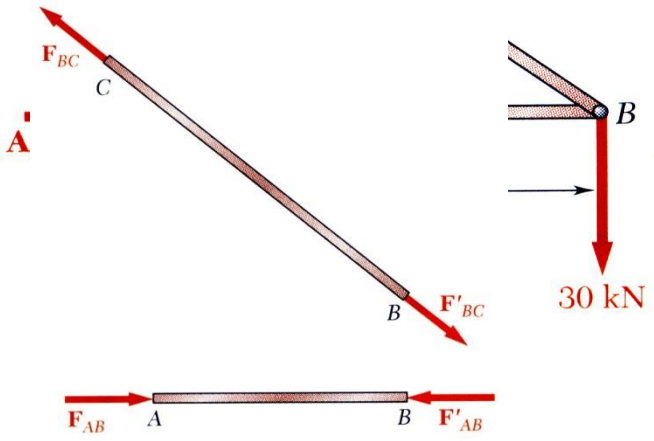
$$C_x = -A_x = -40\,\text{kN}$$

$$\sum F_y = 0 = A_y + C_y - 30\,\text{kN} = 0$$

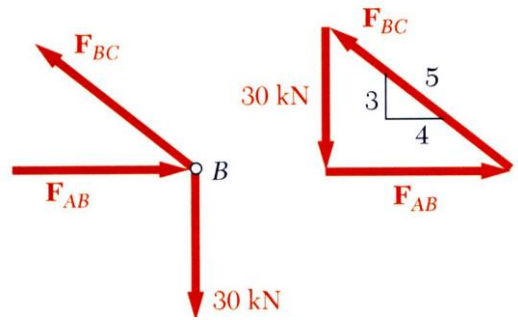
$$A_y + C_y = 30\,\text{kN}$$

$$\sum M_B = 0 = -A_y(0.8\,\text{m})$$

$$A_y = 0 \qquad C_y = 30\,\text{kN}$$



$$A = 40\,\text{kN} \rightarrow \quad C_x = 40\,\text{kN} \leftarrow \quad C_y = 30\,\text{kN} \uparrow$$



$$\sum \vec{F}_B = 0$$

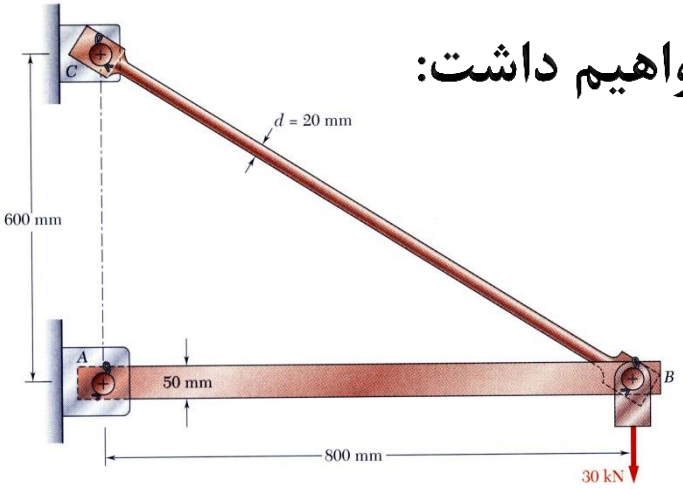
$$\frac{F_{AB}}{4} = \frac{F_{BC}}{5} = \frac{30\,\text{kN}}{3}$$

$$F_{AB} = 40\,\text{kN} \qquad F_{BC} = 50\,\text{kN}$$

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

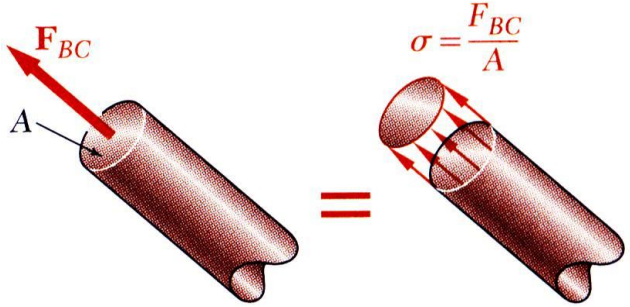
تحلیل تنش

- برای محاسبه تنش در عضو مورد نظر خواهیم داشت:



$F_{AB} = 40\ kN\ (compression)$ فشاری

$F_{BC} = 50\ kN\ (tension)$ کششی



$$\sigma_{BC} = \frac{P}{A} = \frac{50\times10^{3}\,\mathrm{N}}{314\times10^{-6}\,\mathrm{m}^{2}} = 159\,\mathrm{MPa}$$

- اگر حداکثر تنشی که عضو مورد نظر می تواند تحمل کند در اختیار باشد، می توان رفتار ماده را در این ساختار پیش بینی نمود.

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

طراحی

- طراحی یک ساختار جدید، لازم است که مواد مناسب با ابعاد کافی بکار گرفته شوند.
- عوامل تعیین کننده: هزینه، وزن، در دسترس بودن مواد و ...
- برای مثال برای آلومینیوم خواهیم داشت:

$$\sigma_{\text{all}} = 100\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{all} = \frac{P}{A} \qquad A = \frac{P}{\sigma_{all}} = \frac{50\times10^{3}\,\text{N}}{100\times10^{6}\,\text{Pa}} = 500\times10^{-6}\,\text{m}^2$$

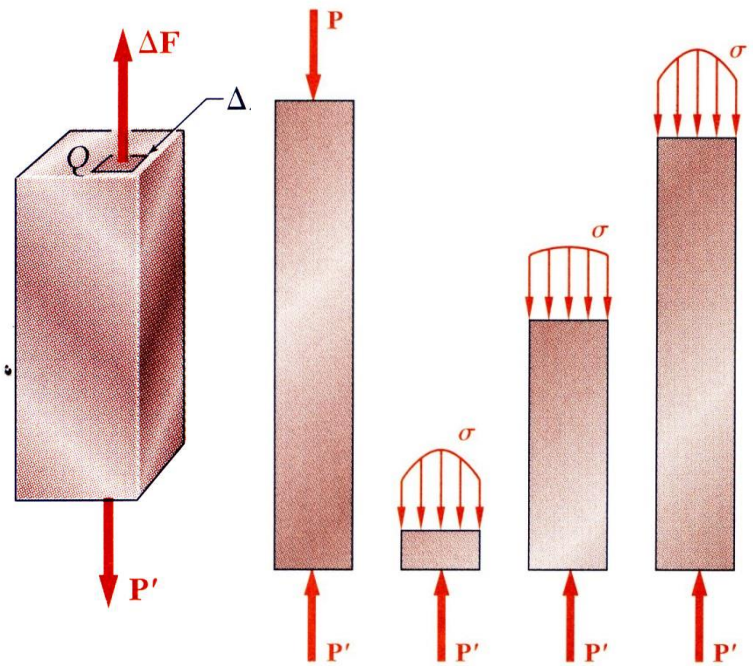
$$A = \pi\frac{d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4\left(500\times10^{-6}\,\text{m}^2\right)}{\pi}} = 2.52\times10^{-2}\,\text{m} = 25.2\,\text{mm}$$

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

انواع تنش: تنش عمودی (محوری)

- برآیند نیروهای داخلی حاصل از یک نیروی محوری (عمودی)، عمود بر هر صفحه ای است که از برش عمود بر محور جسم شکل می گیرد.
- شدت نیرو بر روی صفحه برش خورده را تنش عمودی می نامند.



$$\sigma = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \qquad \sigma_{ave} = \frac{P}{A}$$

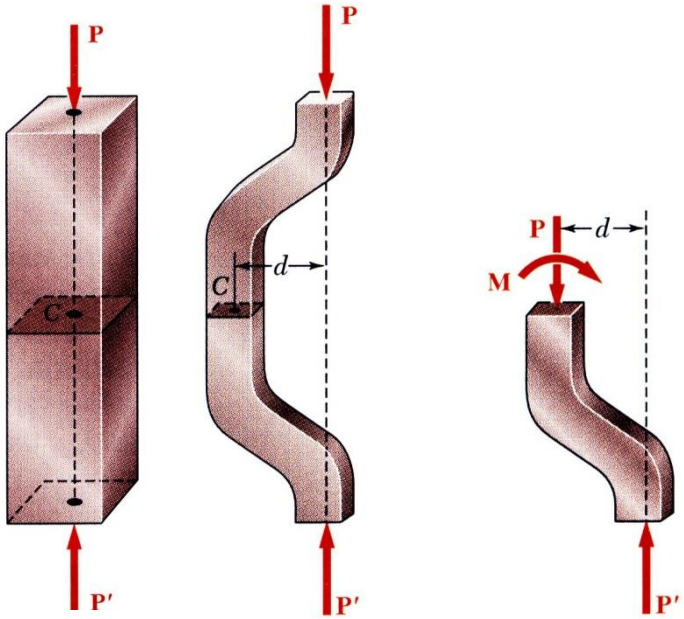
- تنش عمودی در یک نقطه ممکن است برابر با تنش عمودی معادل نباشد. ولی تعادل باید برقرار باشد.

$$P = \sigma_{ave} A = \int dF = \int_A \sigma \, dA$$

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

بارهای مرکزی و خارج از مرکز

- توزیع یکنواخت تنش در یک مقطع، بدین معناست که خط عمل برآیند نیروهای داخلی از مرکز سطح مقطع عبور می کند.
- بار مرکزی: توزیع یکنواخت تنش تنها زمانی امکان پذیر است که نیروهای متمرکز در دو سمت جسم، به مرکز جسم وارد شوند.

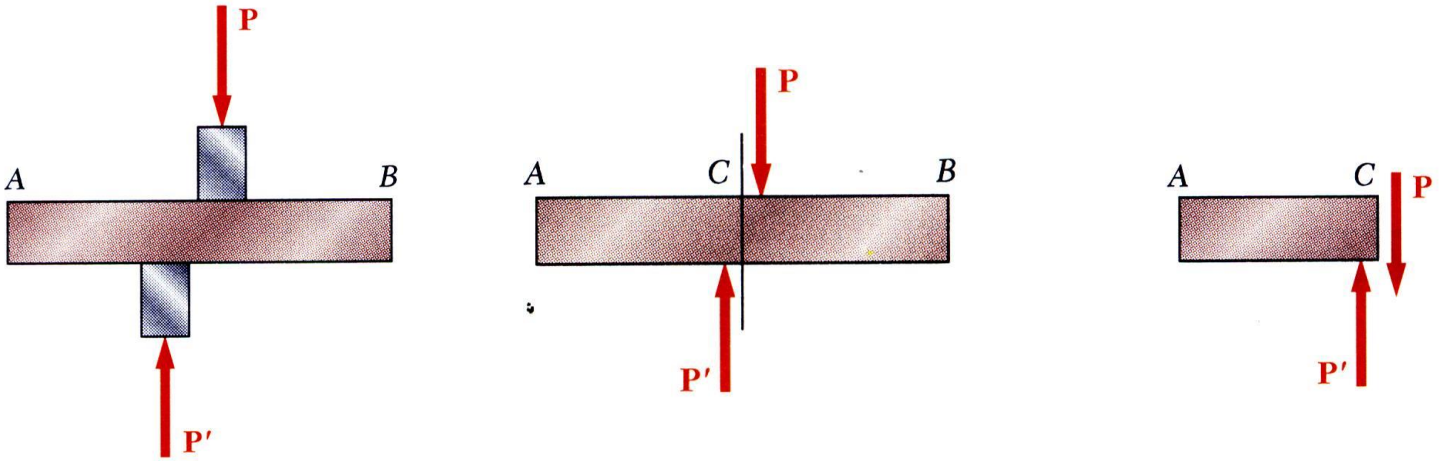


- اگر نیروی اعمال شده خارج از مرکز باشد، برآیند توزیع تنش یک نیروی محوری و یک ممان ایجاد می کند. این نوع بارگذاری نمی تواند یکنواخت یا متقارن باشد.

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

انواع تنش: تنش برشی

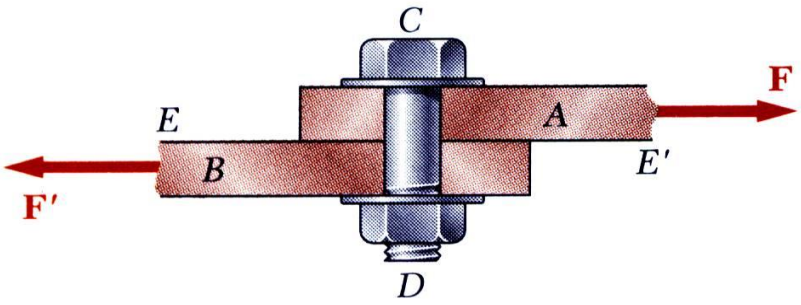
- زمانی که نیروها مانند شکل و بصورت متقابل بر روی جسم اثر کنند، در نقطه **C** شاهد شکل گیری تنشی بنام تنش برشی خواهیم بود.
- برآیند نیروهای برشی داخلی با عنوان برش مقطع **C** شناخته می شوند و معادل نیروی **P** هستند.
- مقدار این تنش از صفر تا حداکثر (حتی بیش از متوسط) متغیر است.
- توزیع این تنش را نمی توان یکنواخت در نظر گرفت.

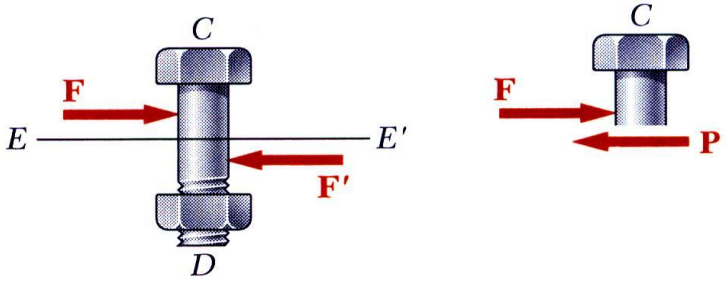


مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

انواع تنش: انواع تنش برشی

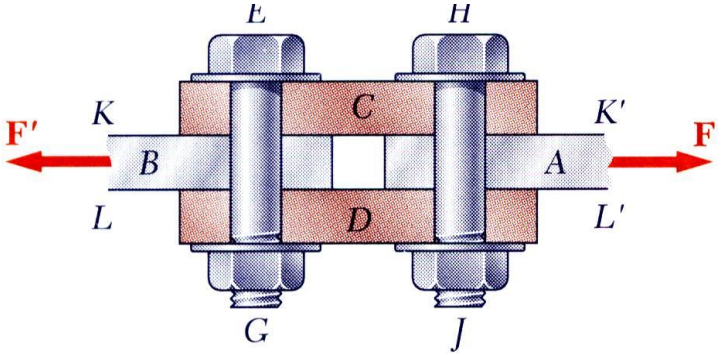
Single Shear

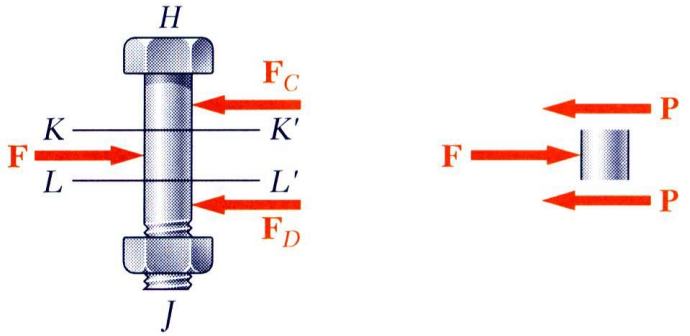




$$\tau_{ave} = \frac{P}{A} = \frac{F}{A}$$

Double Shear





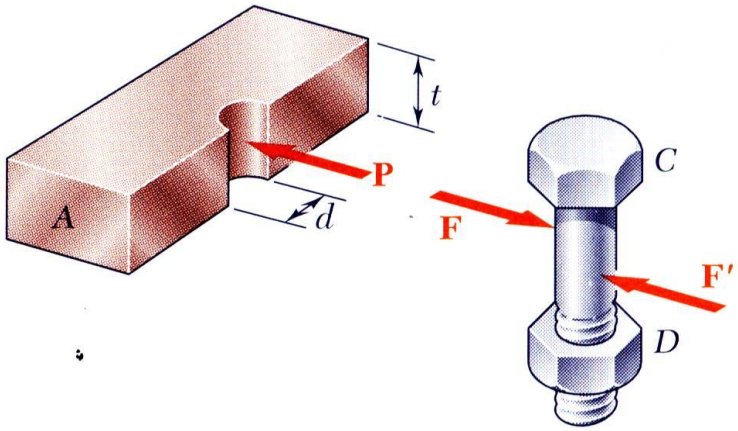
$$\tau_{ave} = \frac{P}{A} = \frac{F}{2A}$$

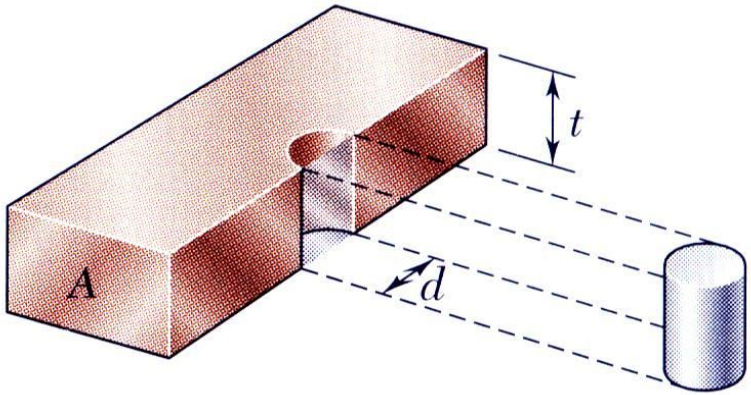
مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

انواع تنش: تنش تکیه گاهی در اتصالات

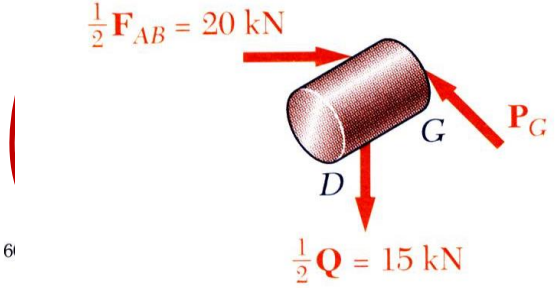
- پیچ ها، پرچ ها و پین ها در محل تماس با سطح تکیه گاهی خود، تنش هایی ایجاد می کنند که برآیند آنها برابر با برآیند نیروهای مخالفی است که از طرف سطح به آنها وارد می شود.
- شدت نیروی متوسط در این وضعیت را تنش تکیه گاهی می نامند.

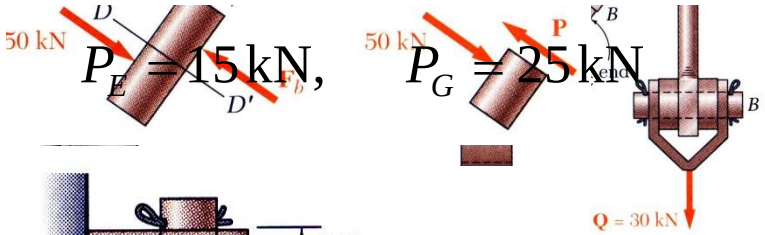
$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t\,d}$$



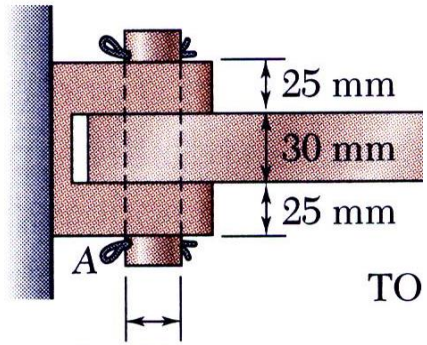


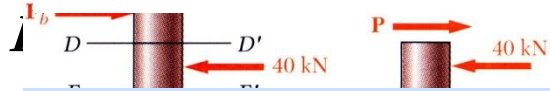
مثال





$P_E = 15\,\text{kN}, \qquad P_G = 25\,\text{kN}$





فشاری (n

کشش

$$\text{BC (circular cross-section)}: A = 314\times10^{-6}\,\text{m}^2$$

$$\sigma_{BC,end} = \frac{P}{A} = \frac{50\times10^{3}\,N}{314\times10^{-6}\,\text{m}^2} = 159\,\text{MPa}$$

$$A = (20\,\text{mm})(40\,\text{mm} - 25\,\text{mm}) = 300\times10^{-6}\,\text{m}^2$$

$$\sigma_{BC,end} = \frac{P}{A} = \frac{50\times10^{3}\,N}{300\times10^{-6}\,\text{m}^2} = 167\,\text{MPa}$$

$$A = \pi r^2 = \pi\left(\frac{25\,\text{mm}}{2}\right)^2 = 491\times10^{-6}\,\text{m}^2$$

$$\tau_{C,ave} = \frac{P}{A} = \frac{50\times10^{3}\,\text{N}}{491\times10^{-6}\,\text{m}^2} = 102\,\text{MPa}$$

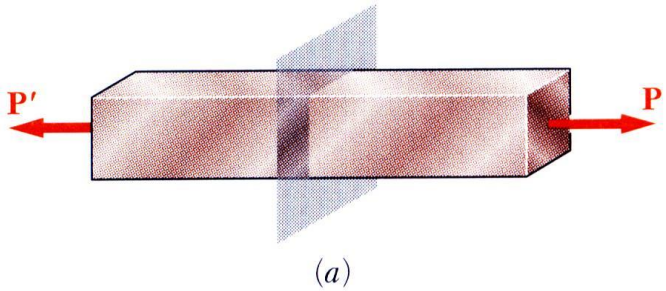
$$\tau_{A,ave} = \frac{P}{A} = \frac{20\,\text{kN}}{491\times10^{-6}\,\text{m}^2} = 40.7\,\text{MPa}$$

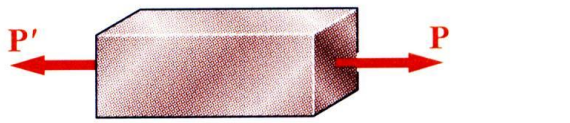
$$\tau_{B,ave} = \frac{P_G}{A} = \frac{25\,\text{kN}}{491\times10^{-6}\,\text{m}^2} = 50.9\,\text{MPa}$$

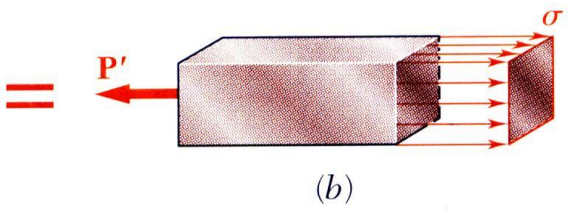
$$\sigma_b = \frac{P}{td} = \frac{40\,\text{kN}}{(30\,\text{mm})(25\,\text{mm})} = 53.3\,\text{MPa}$$

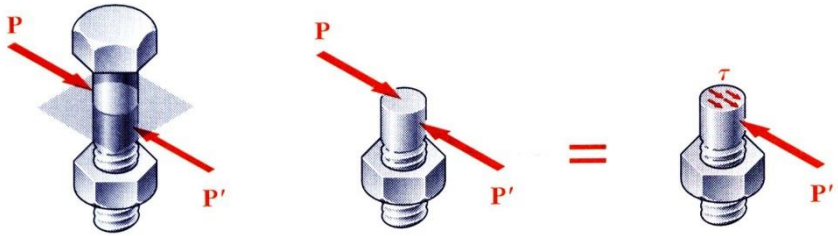
$$\sigma_b = \frac{P}{td} = \frac{40\,\text{kN}}{(50\,\text{mm})(25\,\text{mm})} = 32.0\,\text{MPa}$$

تنش در عضو دو نیرویی





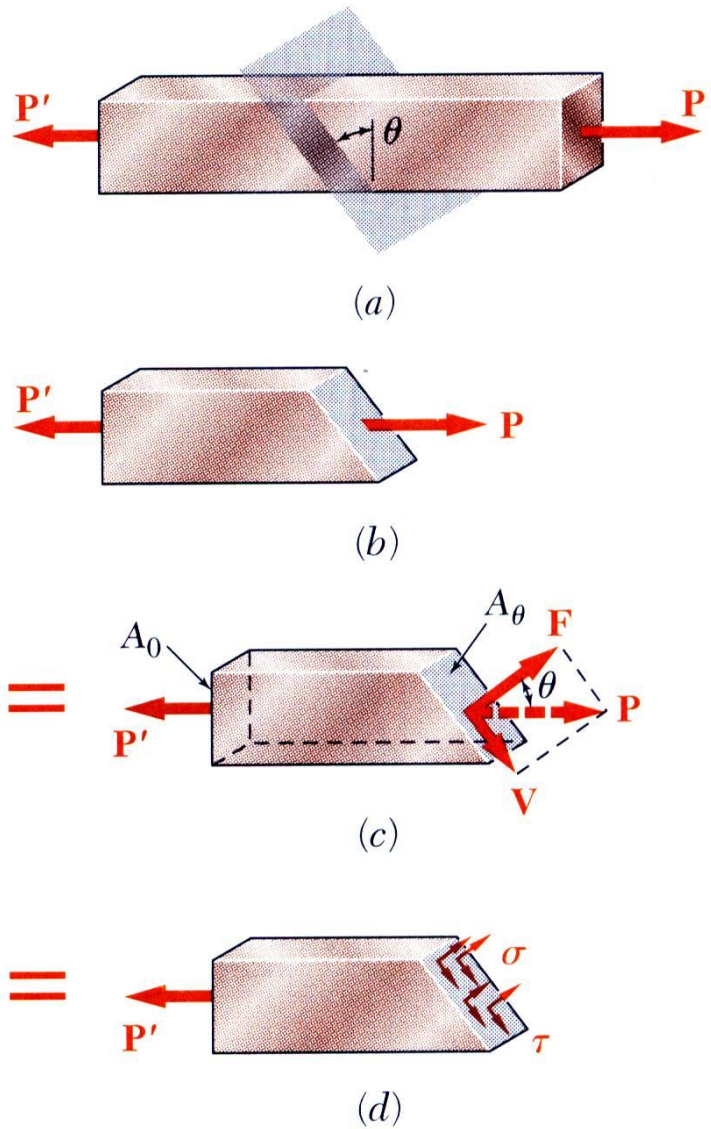




- نیروی محوری در یک عضو دو نیرویی، تنها تنش عمودی ایجاد می کند.
- نیروهای برشی در پیچ ها و پین ها تنها تنش برشی ایجاد می کنند.
- می توان نشان داد که هر یک از نیروهای محوری یا برشی ممکن است هر دو تنش محوری و برشی (بسته به صفحه مورد نظر) را ایجاد کنند.

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

تنش در صفحه مایل



$$F = P\cos\theta$$

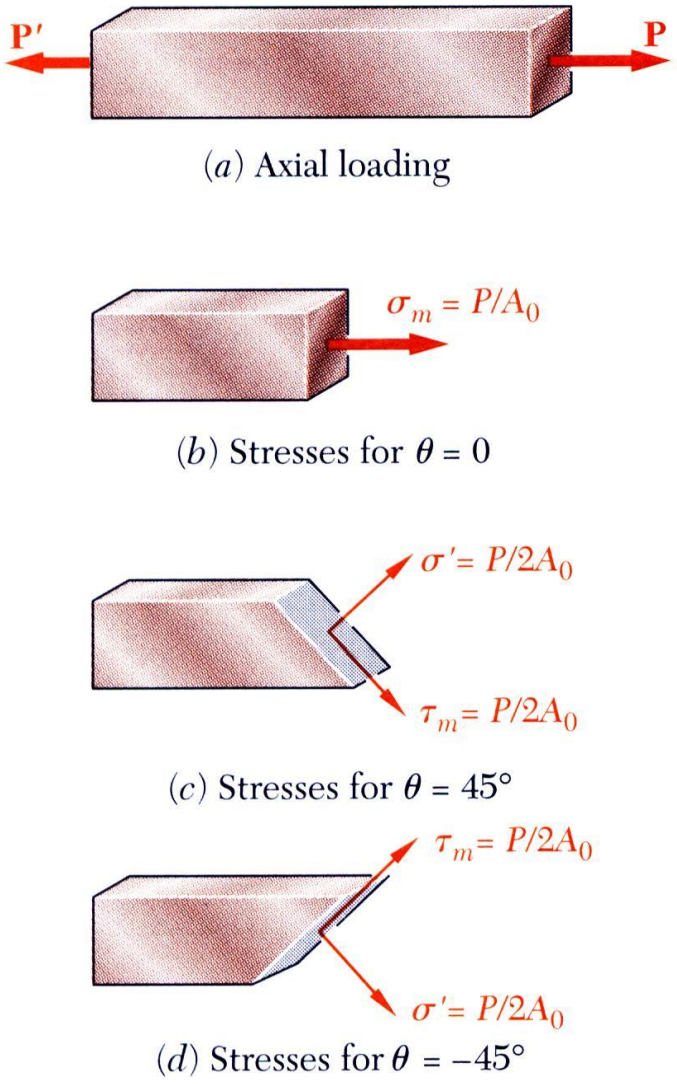
$$V = P\sin\theta$$

$$\sigma = \frac{F}{A_\theta} = \frac{P\cos\theta}{A_0/\cos\theta} = \frac{P}{A_0}\cos^2\theta$$

$$\tau = \frac{V}{A_\theta} = \frac{P\sin\theta}{A_0/\cos\theta} = \frac{P}{A_0}\sin\theta\cos\theta$$

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طرامی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

تنش های حداکثر



$$\sigma = \frac{P}{A_0}\cos^2\theta$$

$$\tau = \frac{P}{A_0}\sin\theta\cos\theta$$

- حداکثر تنش محوری در زاویه صفر.

$$\sigma_m = \frac{P}{A_0} \qquad \tau' = 0$$

- حداکثر تنش برشی در زاویه ۴۵ درجه.

$$\tau_m = \frac{P}{A_0}\sin 45\cos 45 = \frac{P}{2A_0} = \sigma'$$

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

تنش در وضعیت کلی بارگذاری

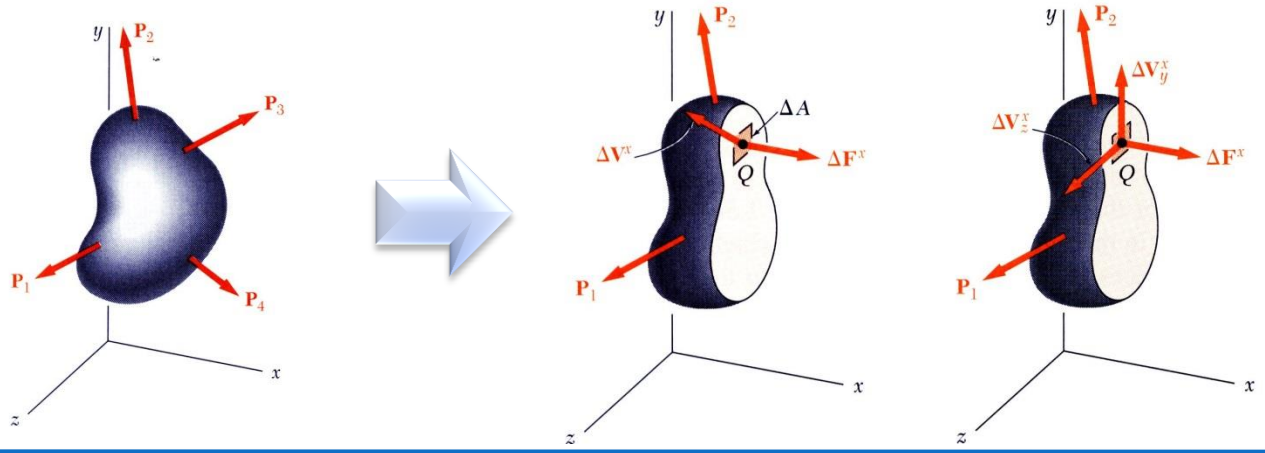
- یک جسم در معرض ترکیبی از نیروها قرار دارد. این جسم را توسط صفحه Q به دو قسمت تقسیم می کنیم.

$$\sigma_x = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F^x}{\Delta A}$$

- توزیع مولفه های تنش داخلی:

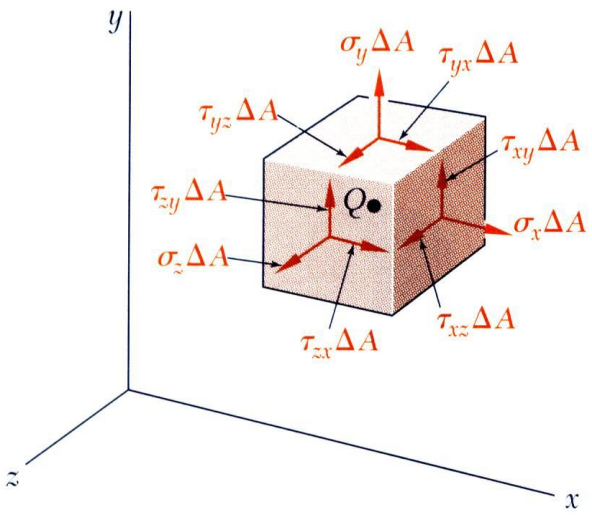
$$\tau_{xy} = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta V_y^x}{\Delta A} \qquad \tau_{xz} = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta V_z^x}{\Delta A}$$

- برای برقراری تعادل بایستی توزیع نیروها و تنش های داخلی در دو قسمت برابر باشند.



مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

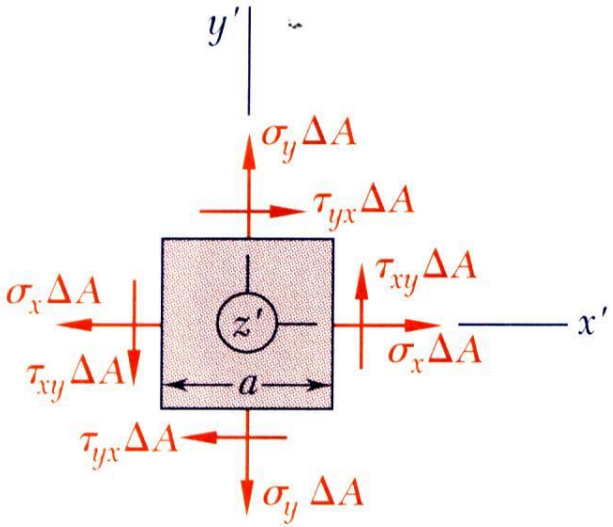
حالت تنش



$$\sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = \sum M_y = \sum M_z = 0$$

$$\sum M_z = 0 = (\tau_{xy} \Delta A)a - (\tau_{yx} \Delta A)a$$



$$\tau_{xy} = \tau_{yx}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy}$$

مفهوم تنش
مرور استاتیک
تحلیل تنش
طراحی
انواع تنش
تنش مداکثر
حالت تنش
ضریب اطمینان

ضریب اطمینان

- ملاحظات ضریب اطمینان:
  - عدم اطمینان ها در خصوصیات مواد.
  - عدم اطمینان ها در بازگذاری ها.
  - عدم اطمینان ها در تحلیل ها.
  - تعداد سیکل های بارگذاری.
  - انواع شکست.
  - ابزار نگهداری و اثرات وخامت اوضاع.
  - اهمیت عضوها در ساختارها.
  - خطر برای حیات انسان.
  - میزان نفوذ در عملکرد ماشین.

$$FS = \text{Factor of safety}$$

$$FS = \frac{\sigma_u}{\sigma_{all}} = \frac{\text{ultimate stress}}{\text{allowable stress}}$$

گناهی که اندوهگینت سازد

در نزد خدا بهتر است

از کار نیکی که به خودپسندی ات وادارد

امیر مؤمنان، امام علی علیه السلام