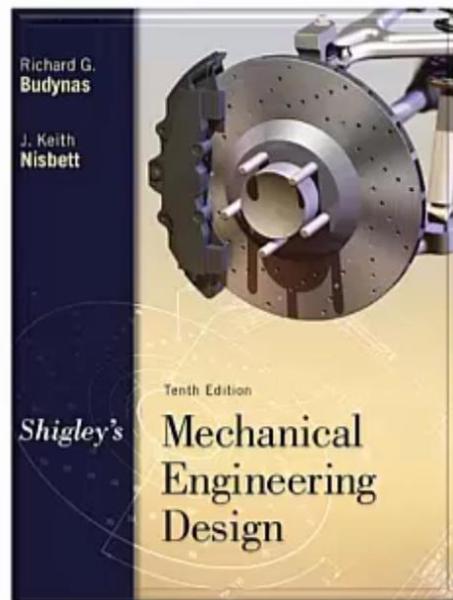
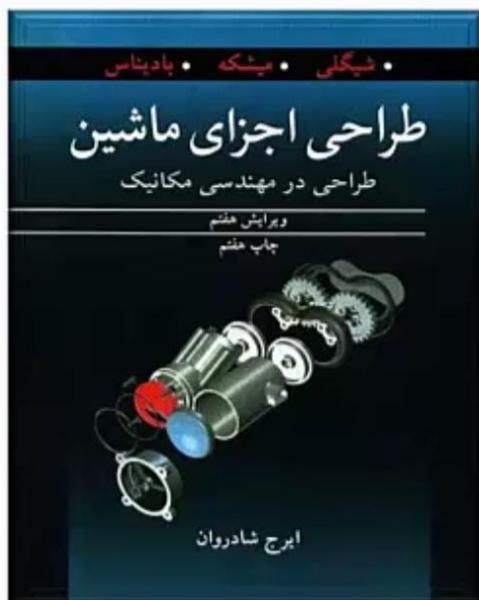




- بخش اول : مفاهیم اولیه - تحلیل تنش - معیارهای شکست
- بخش دوم : خستگی
- بخش سوم : پیچ - پرچ و خار
- بخش چهارم : جوش
- بخش پنجم : فنرهای مکانیکی
- بخش ششم : یاتاقان های غلتشی
- بخش هفتم : یاتاقان های لغزشی
- بخش هشتم : چرخ دنده ها
- بخش نهم : کلاچ و ترمز
- بخش دهم : اجزای مکانیکی انعطاف پذیر (تسمه - زنجیر - کابل)



- طراحی اجزای ماشین (Mechanical Engineering Design)





مفاهیم اولیه

- ❖ طراحی در مهندسی مکانیک
- ❖ مراحل طراحی
- ❖ مفهوم شکست و ضریب ایمنی



تعریف طراحی :

اگر ایده ای را از حالت بالقوه به حالت بالفعل در آوریم ، در صورتیکه نیاز ما را برطرف سازد می گوئیم طراحی انجام داده ایم.



طراحی در مهندسی مکانیک



ریاضیات
علم مواد
مکانیک مهندسی



تنش
گرانش
استحکام
ضریب اطمینان

اگر طرح منجر به ساخت شد محصول باید:

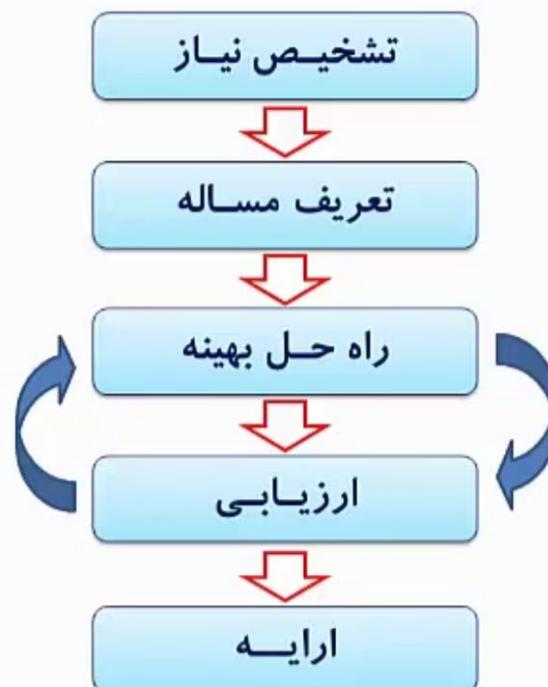
بدریه
Univers

- ❖ کارا (به درد بخور) باشد (functional)
- ❖ ایمن باشد (safe)
- ❖ قابل اطمینان باشد (reliable)
- ❖ مقرون به صرفه باشد (competitive)
- ❖ قابل استفاده باشد (usable)
- ❖ قابل ساخت باشد (manufacturable)
- ❖ قابل فروش باشد (marketable)



طراحی اجزای ماشین - مدرس: پویا پاشایی

مراحل طراحی



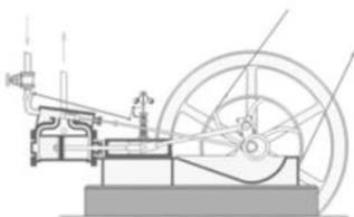
ملاحظات طراحی

15. ظاهر Styling	1. استحکام Strength
16. شکل Shape	2. عملکرد Functionality
17. اندازه Size	3. سفتی Stiffness
18. کنترل Control	4. سایش Wear
19. خواص حرارتی Thermal properties	5. خوردگی Corrosion
20. سطح Surface	6. ایمنی Safety
21. روغنکاری Lubrication	7. قابلیت اطمینان Reliability
22. قابلیت فروش Marketability	8. قابلیت تولید Manufacturability
23. نگهداری Maintenance	9. سودمندی Utility
24. حجم Volume	10. قیمت Cost
25. مسئولیت Liability	11. اصطکاک Friction
26. بازیافت Remanufacturing	12. وزن Weight
	13. عمر Life
	14. سر و صدا Noise

انواع طراحی مهندسی

▪ طراحی اصیل (Original Design)

- رایج یک طرح بدون وجود سابقه ای از آن.
- خلاقیت در رایج طراحی اصیل مهمترین عامل است.
- اختراعات مهم در طول تاریخ به نوعی طرح اصیل بوده اند:



موتور بخار جمیز وات، ۱۶۹۰



تلفن، الکساندر گراهام بل، ۱۸۷۵

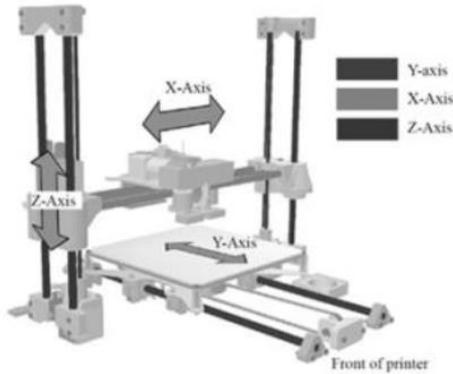


گرامافون استوانه‌ای ادیسون، ۱۸۹۹

انواع طراحی مهندسی

طراحی تطبیقی (Adaptive Design)

- ارایه یک طرح بر اساس یک قابلیت موجود برای حل یک مساله دیگر.
- قابلیت: ماشینی که حرکت X-Y-Z را کنترل می کند (Numerical Control machine)
- ماشین فرزکاری CNC
- ماشین اندازه گیری مختصاتی (CMM)



NC Table-XYZ



CNC-Milling Machine



Coordinate Measuring Machine (CMM)

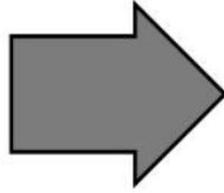
انواع طراحی مهندسی

طراحی مجدد (Re-Design)

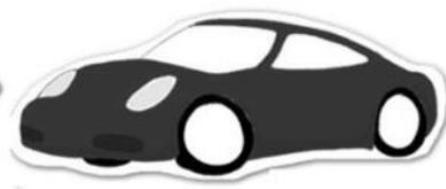
- به دلیل تغییر نیاز و یا توسعه فناوری، طرح قبلی به طرح جدید ارتقا داده می شود.



صفحه گرامافون



CD player



انواع طراحی مهندسی

طراحی برای انتخاب (Design for Selection)

- طراحی انجام می شود تا بر اساس نتایج، قطعه استاندارد مورد نیاز انتخاب گردد.

- طراحی اجزای استاندارد در صنعت و بازار



Sliding Bearing



Ball Bearings & Roller Bearings



Roller Chains



O-rings



Bolts and Screws

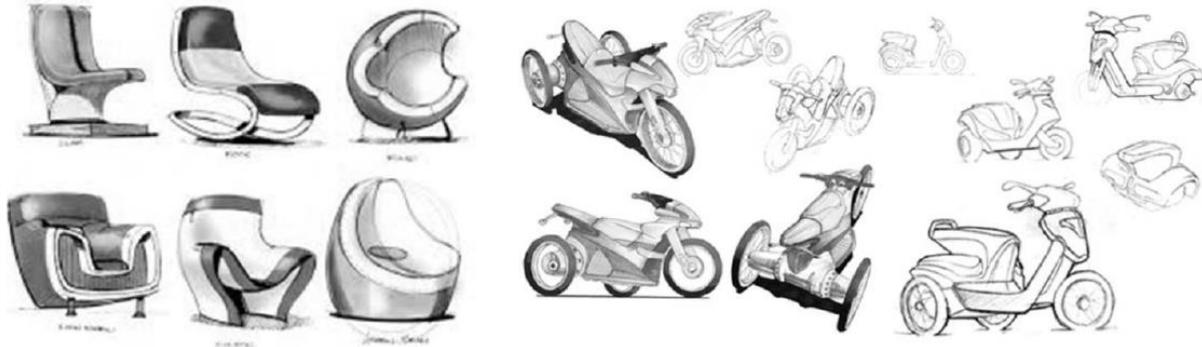


Lead screws & ball screws

انواع طراحی مهندسی

طراحی صنعتی (Industrial Design)

- ارایه یک طرح همراه با ظاهر و شکل مناسب.
- اهداف
- جذب مشتری
- کاربرپسند
- ارضای الزامات طراحی و عملکردی



طراحی اجزای ماشین - مدرس: پویا پاشایی

مراحل طراحی

بیشینه تنش در قطعه



مقاومت ماده قطعه



استاتیک

علم مواد

مقاومت مصالح
الاستیسیته
مکانیک شکست
روش های عددی

روند کلی حل مساله طراحی:

- ۱- پیدا کردن نقاط بحرانی
- ۲- محاسبه بیشترین مقدار تنش
- ۳- بررسی وضعیت ایمنی یا شکست



گسیختگی ماده



شکست نرم



شکست ترد

تغییر شکل پلاستیک





$$F.S. = \frac{\text{مقاومت ماده}}{\text{بیشینه تنش در قطعه}}$$

$$F.S. = \frac{\text{بیشینه نیرو قابل تحمل قطعه}}{\text{نیروی اعمالی به قطعه}}$$

* ضریب اطمینان در واقع میزان ناخوابگی طراحی است .

ضریب طراحی به این صورت تعریف می شود:

$$n_d = \frac{\text{strength}}{\text{stress}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{برای تنشهای محوری: } n = \frac{S}{\sigma} \\ \text{برای تنشهای برشی: } n = \frac{S_s}{\tau} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n < 1 \\ n = 1 \\ n > 1 \end{array} \right.$$

استانداردهای مهندسی

Aluminum Association (AA)
American Bearing Manufacturers Association (ABMA)
American Gear Manufacturers Association (AGMA)
American Institute of Steel Construction (AISC)
American Iron and Steel Institute (AISI)
American National Standards Institute (ANSI)
American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)
American Society of Mechanical Engineers (ASME)
American Society of Testing and Materials (ASTM)
American Welding Society (AWS)
ASM International
British Standards Institution (BSI)
Industrial Fasteners Institute (IFI)
Institute of Transportation Engineers (ITE)
Institution of Mechanical Engineers (IMechE)
International Bureau of Weights and Measures (BIPM)
International Federation of Robotics (IFR)
International Standards Organization (ISO)
National Association of Power Engineers (NAPE)
National Institute for Standards and Technology (NIST)
Society of Automotive Engineers (SAE)

۴. لازم است که فردی که می خواهد طراحی کند حداقل با یکی از نرم افزار های زیر آشنایی داشته باشد:

۱. ANSYS: برنامه ای برای آنالیز تنش ، کرنش تغییر طول

۲. MAPLE: برنامه ای است ریاضی که میتوان برنامه مربوط به طراحی پروژه را به آن داد.

۳. MATLAB: همانند میپل است.

۴. AUTOCAD: برنامه ای برای رسم فنی و نقشه کشی.

۵. INVENTOR: برای طراحی پیچ ، جوش ، شافت ، بلبرینگ و چرخ دنده.

۶. SOLID WORKS: نرم افزاری قدرتمند برای نقشه کشی دو بعدی و سه بعدی و مونتاژ قطعاتی که

به طور جداگانه رسم شده است.

۷. COSMOS WORKS: این نرم افزار جانبی SOLID WORKS برای آنالیز تنش و کرنش است.

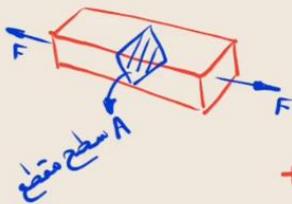
۸. WORKING MODEL: برای حرکت دادن اجزأ و آنالیز نیرویی

۹. VISUAL NASTARAN: همانند بالا.

تبدیل تنش و دایره مور

- ❖ تنش های ماکزیمم و مینیمم
- ❖ تبدیل تنش
- ❖ دایره مور تنش (Mohr's circle)

Normal stress:



$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- + نیرو کشش (t)
- نیرو فشار (c)

واحد نیرو: N (نیوتن)
 واحد مساحت: A (m^2)
 واحد تنش: Pa (پاسکال)

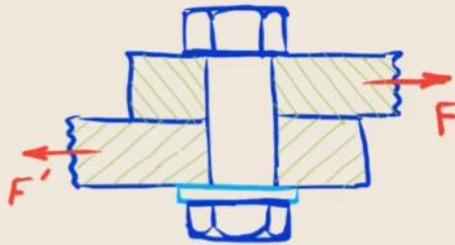
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa} = 10^3 \text{ Pa} \quad \bullet \text{ کیلو پاسکال}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} \quad \leftarrow \bullet \text{ مگا پاسکال}$$

۲. تنش برشی

Shear Stress:



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

$$Pa : N/m^2$$

Bending Stress:

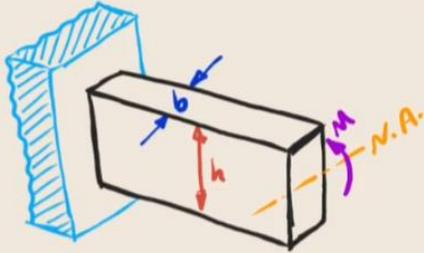
$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

M : گشتاور خمشی (N.m)

c : شعاع مقطع (دایره‌ای) (m)

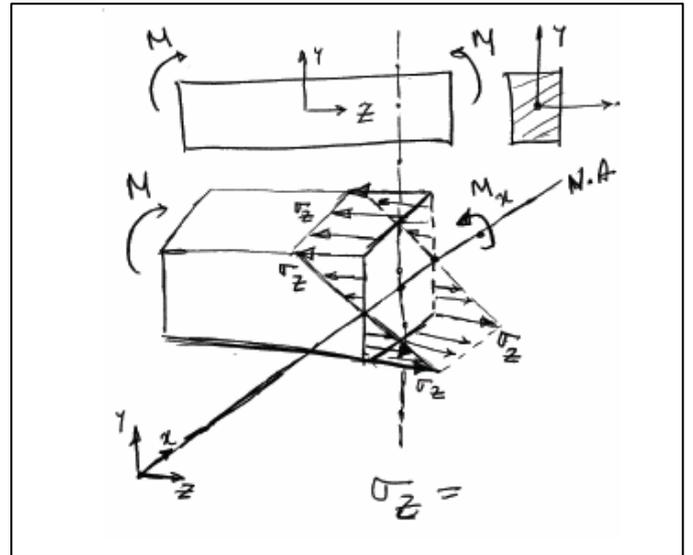
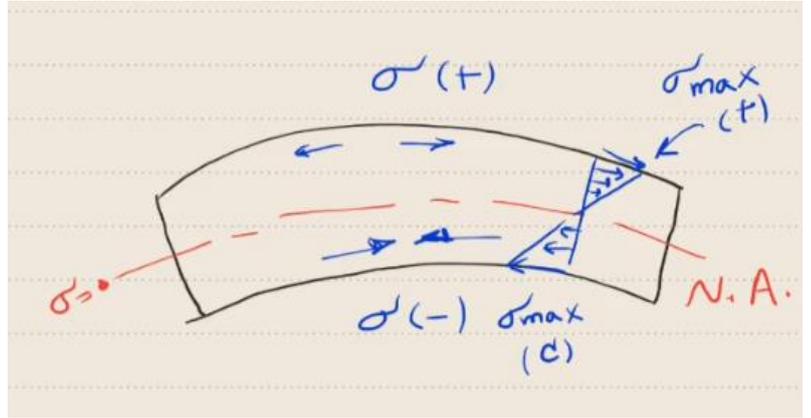
بیشترین فاصله از تارخشی مقطع (N.A.)

I : ممان اینرسی مقطع (m⁴)



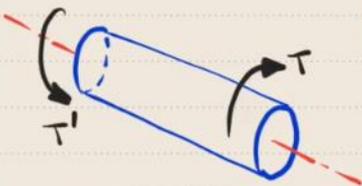
مقطع مستطبی $I = \frac{1}{12} bh^3$

مقطع دایره‌ای $I = \frac{1}{4} \pi D^4$



Torsion Stress:

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J}$$



$$J = \frac{1}{2} \pi c^4$$

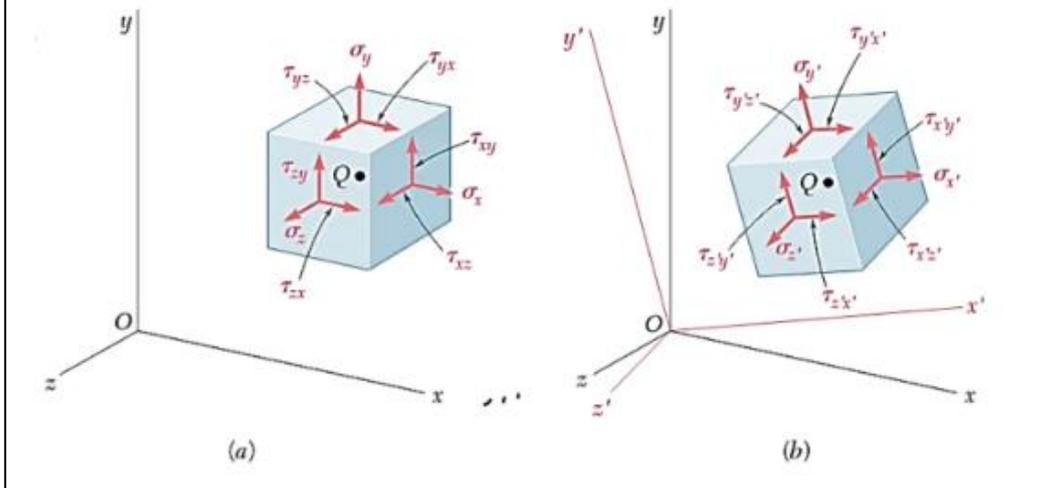
T : گشتاور پیچشی (N.m)

c : شعاع مقطع (دایره‌ای) (m)

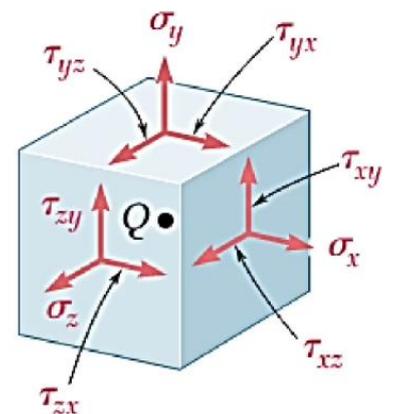
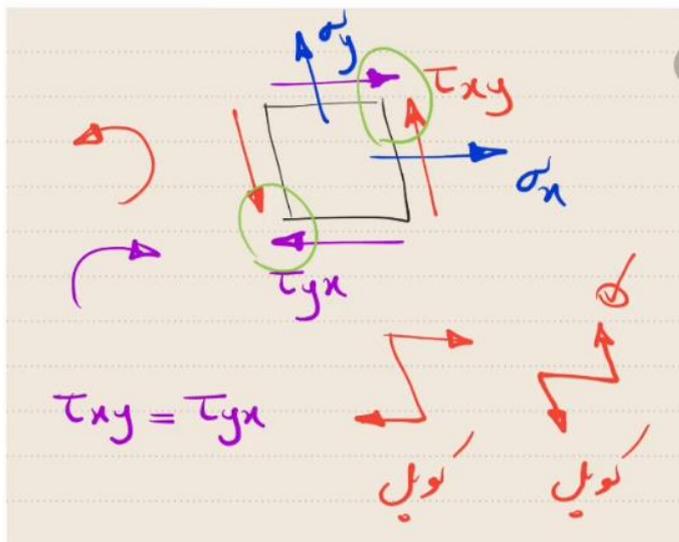
J : ممان قطری مقطع (m⁴)



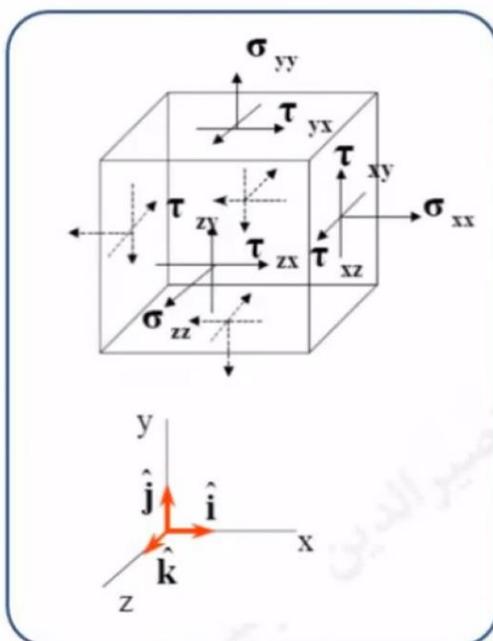
وضعیت عمومی تنش در یک نقطه



مرور



مولفه های تنش :

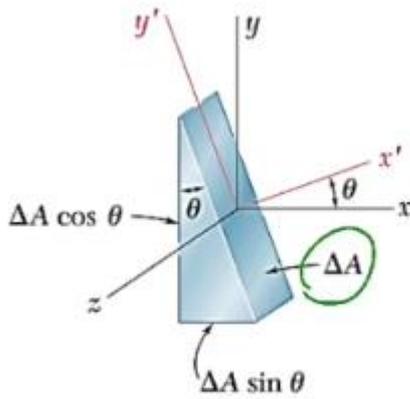


$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

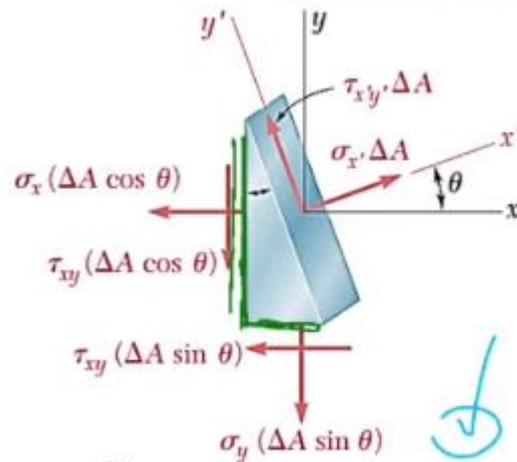
تقارن تانسور تنش $\rightarrow \begin{cases} \tau_{xy} = \tau_{yx} \\ \tau_{xz} = \tau_{zx} \end{cases}$



تبدیل تنش صفحه ای



(a)



(b)

$$\sum F_x = 0: \sigma_x \Delta A - \sigma_x (\Delta A \cos \theta) \cos \theta - \tau_{xy} (\Delta A \cos \theta) \sin \theta - \sigma_y (\Delta A \sin \theta) \sin \theta - \tau_{xy} (\Delta A \sin \theta) \cos \theta = 0$$

$$\sum F_y = 0: \tau_{x'y'} \Delta A + \sigma_x (\Delta A \cos \theta) \sin \theta - \tau_{xy} (\Delta A \cos \theta) \cos \theta - \sigma_y (\Delta A \sin \theta) \cos \theta + \tau_{xy} (\Delta A \sin \theta) \sin \theta = 0$$



تبدیل تنش صفحه ای

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta$$

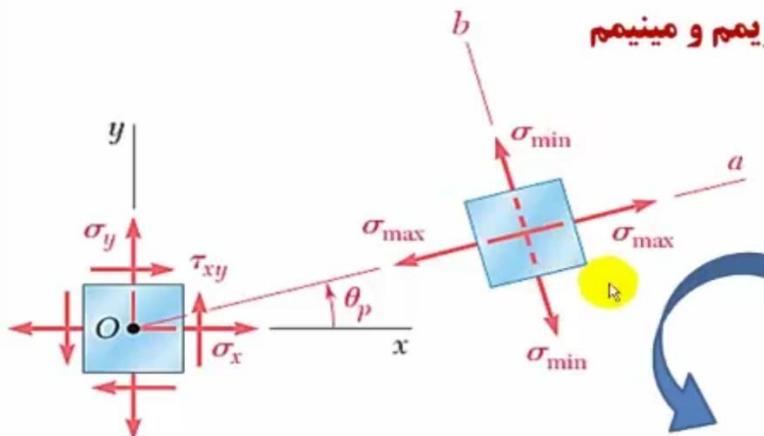
$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

$$\sigma_{x'} + \sigma_{y'} = \sigma_x + \sigma_y$$



تبدیل تنش

تنش های نرمال (قائم) ماکزیمم و مینیمم



$$\tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

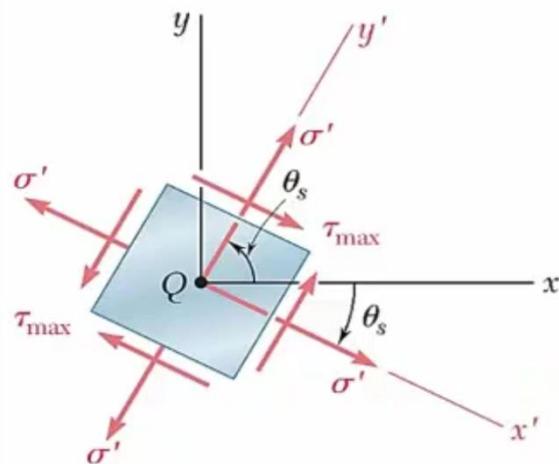
$$\tau = 0$$

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$



تبدیل تنش

تنش برشی ماکزیمم



$$\tan 2\theta_s = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

$$\tau_{\max} = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right|$$



تنش های اصلی در حالت تنش صفحه ای

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

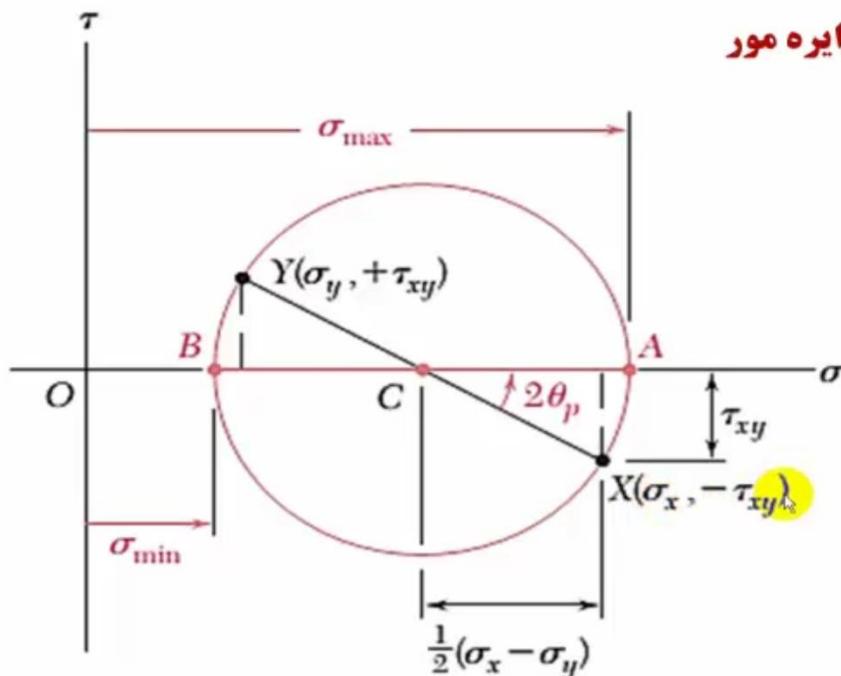
نرمال

$$\tau_1, \tau_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

برشی

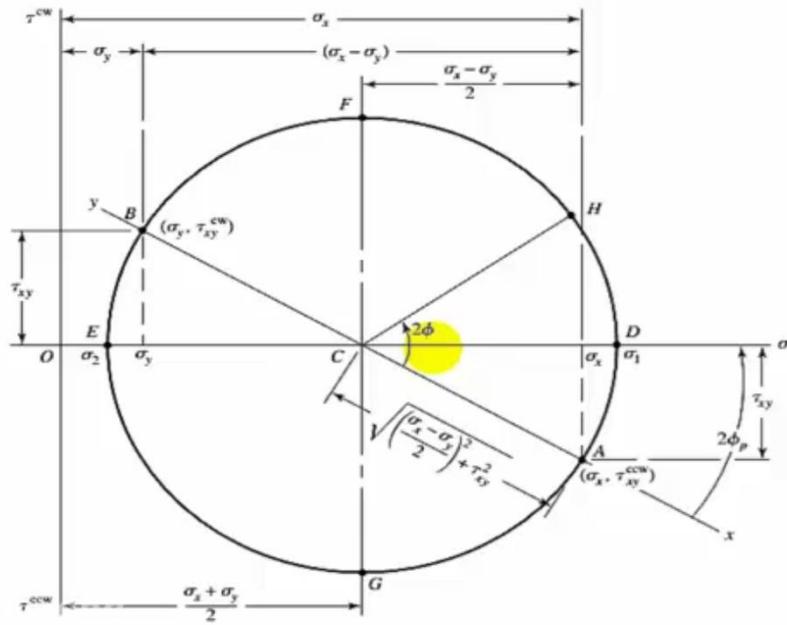


ترسیم دایره مور





(Mohr's circle diagram) دایره مور



$$(\sigma_{x'} - \sigma_{ave})^2 + \tau_{x'y'}^2 = R^2$$

دایره مور تنش سه بعدی

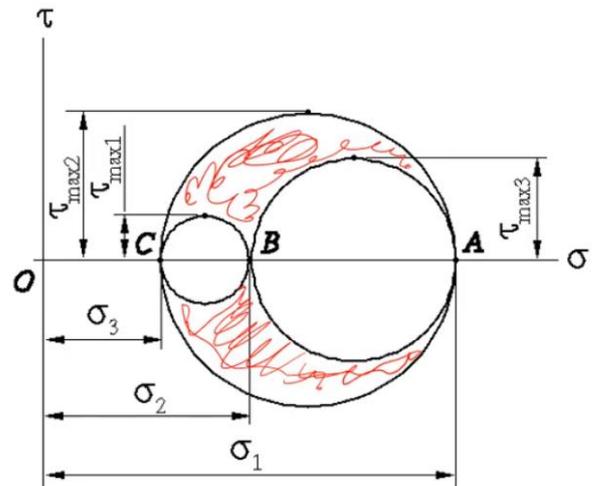


$$\det(\sigma - \lambda I) = 0 \Rightarrow$$

- σ_1
- σ_2
- σ_3

$$\det \begin{pmatrix} \sigma_x - \lambda & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \lambda & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \lambda \end{pmatrix} = 0$$

بزرگترین مقدار σ_1
کوچکترین مقدار σ_3

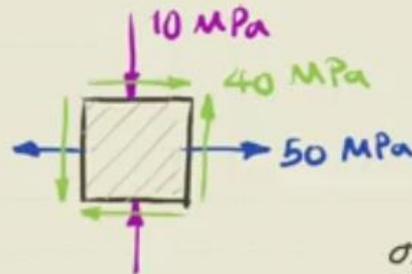


مثال ۱. برای حالت تنش صفحه ای نشان داده شده در شکل،
مطلوبست تعیین:

(الف) صفحات اصلی

(ب) تنش برشی ماکزیمم و تنش قائم (نرمال) مربوط به آن

(ج) تنش های اصلی



$$\sigma_x = +50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = -10 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = +40 \text{ MPa}$$

θ_p

$$\tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{2(40)}{50 - (-10)} = \frac{80}{50 + 10}$$

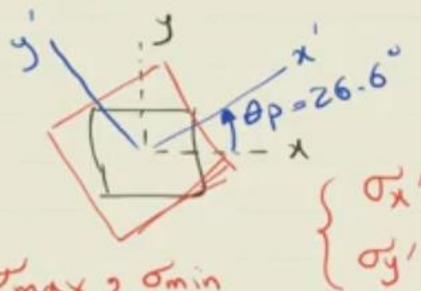
$$2\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{80}{60}\right) \rightarrow 2\theta_p = 53.1^\circ$$

$$\rightarrow 2\theta_p = 233.1^\circ$$

$$233.1^\circ = 53.1^\circ + 180^\circ$$

$$\Rightarrow \theta_p = \frac{53.1}{2} = 26.6^\circ$$

$$\theta_p = \frac{233.1}{2} = 116.6^\circ$$



$\theta_p, \sigma_{max}, \sigma_{min}$

↓
⊙

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{1,2} \quad \sigma_1 \rightarrow \sigma_{\max} \quad \sigma_2 \rightarrow \sigma_{\min}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{50 + (-10)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{50 - (-10)}{2}\right)^2 + 40^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 20 \pm \sqrt{30^2 + 40^2} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = \sigma_{\max} = 20 + 50 = 70 \text{ MPa} \\ \sigma_2 = \sigma_{\min} = 20 - 50 = -30 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

تنس های اصل

$$\sigma_{\max} = 70 \text{ MPa (t)}$$

$$\sigma_{\min} = -30 \text{ MPa (c)}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

θ_s
تنس برشی / بزرگ

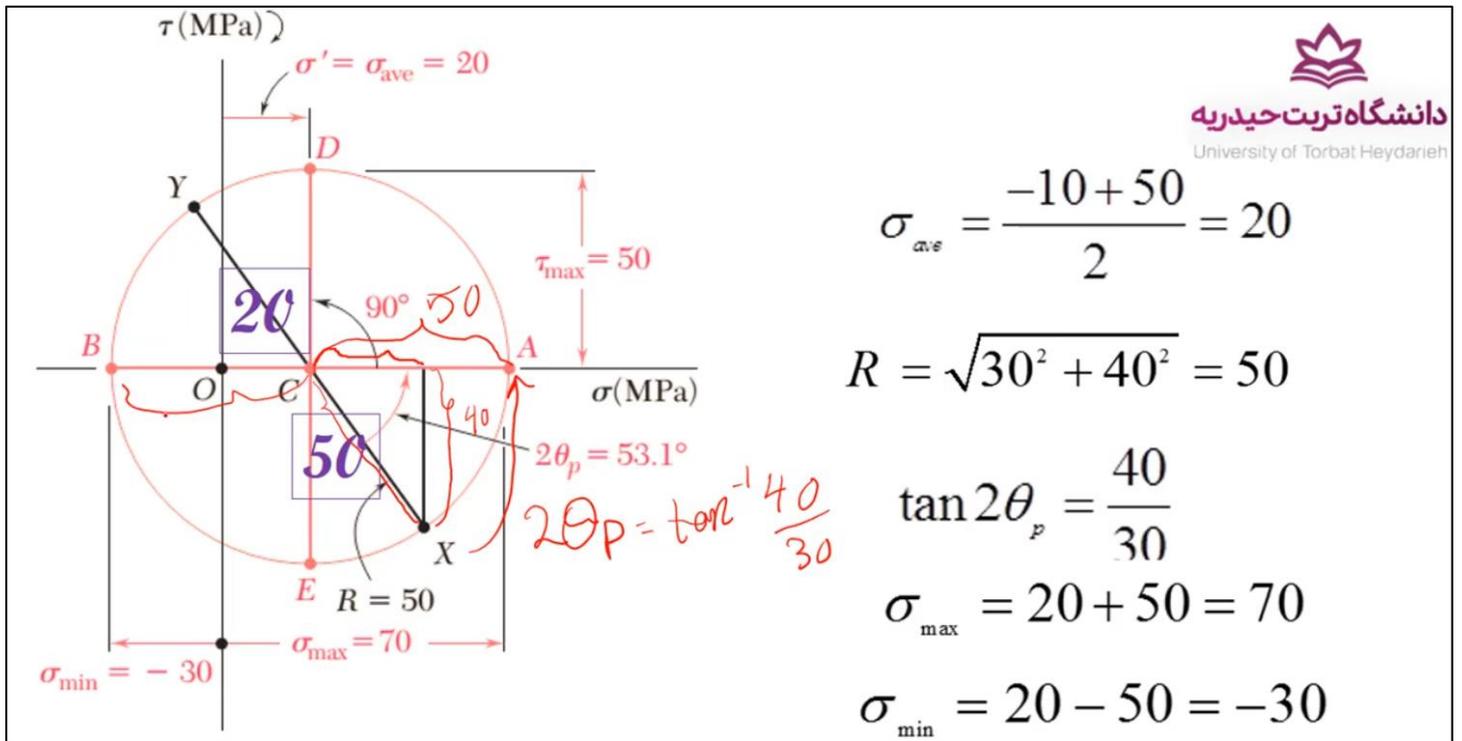
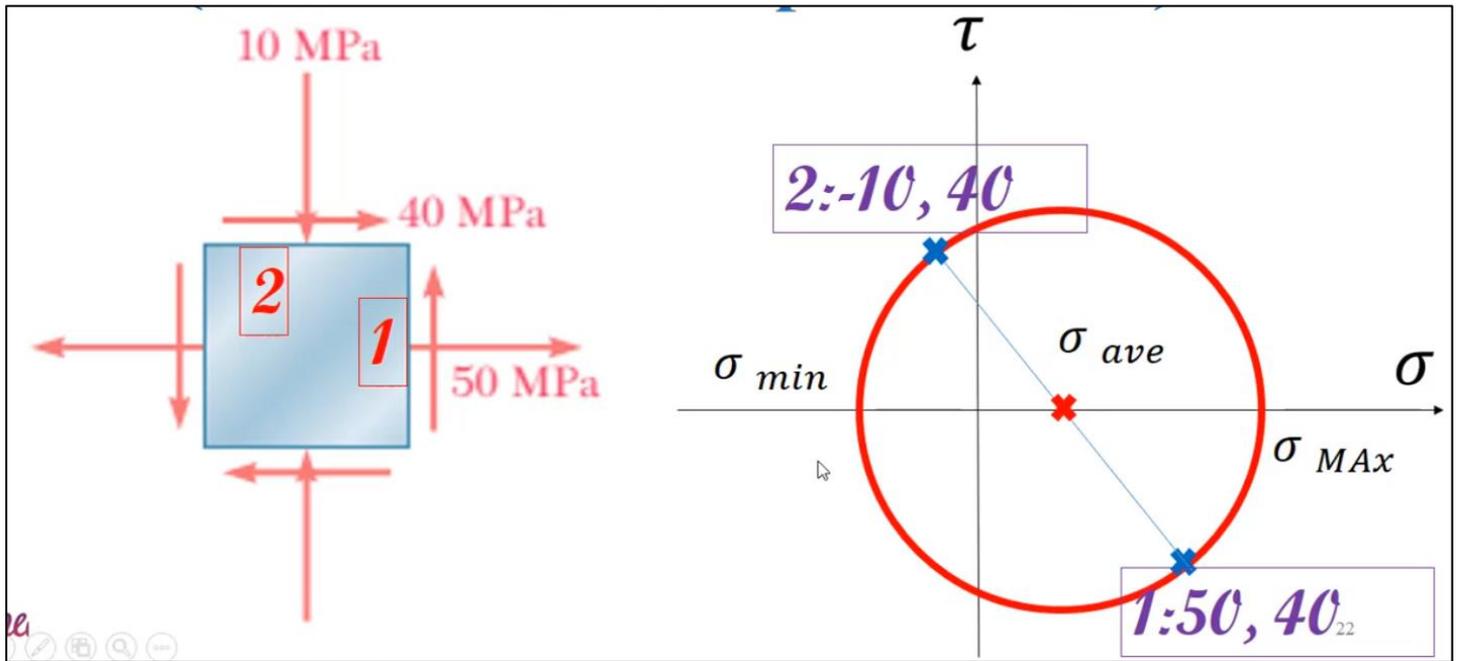
$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{50 - (-10)}{2}\right)^2 + 40^2}$$

30²

$$\tau_{\max} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sigma_{\text{ave}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = 20 \text{ MPa}$$

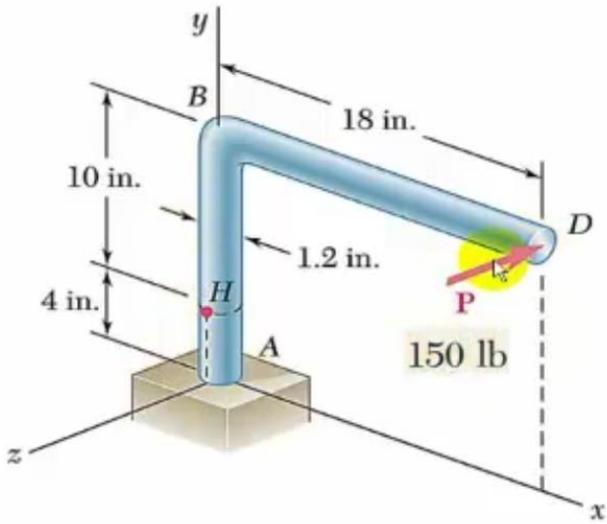
:(Mohr's circle for plane stress)





(الف) مطلوبست تعیین مقدار تنش های نرمال و برشی در نقطه H
(ب) موقعیت صفحات اصلی و مقدار تنش های اصلی در نقطه H

مثال:



سؤال: چگونه یک مسأله طراحی را حل کنیم؟

جواب) روند کلی حل یک مسئله طراحی بدین صورت است که ابتدا در سازه مورد نظر نقطه یا نقاط بحرانی (critical points) را که در آنها ماکزیم تنشها را داریم بیابیم سپس مقادیر تنش را در این نقاط محاسبه و با مقاومت ماده مقایسه می کنیم.

اگر مقدار تنش ماکزیم مساوی یا بزرگتر از مقاومت قابل تحمل ماده بود در قطعه شکست (Failure) روی می دهد. پس در تمامی مسائل طراحی اجزا با یک رابطه کلی سر و کار داریم که عبارت است از:

$$\text{مقاومت ماده قطعه} < \text{ماکزیم تنش نرمال}$$

در مرحله یافتن نقاط یا المان بحرانی فاکتورهای مختلفی مؤثر هستند از جمله هندسه قطعه، نحوه بار گذاری، تمرکز تنش. از لحاظ هندسی نقاط با مقاطع کوچکتر تنش بیشتری را تحمل می کنند. در مسائل عملی هیچگاه نمی توان به صورت صد در صد نقطه بحرانی را پیدا کرد آنچه در این مرحله به طراح کمک می کند تجربه و داشتن حس مهندسی می باشد. معمولاً یک سری نقاط را به عنوان نقاط بحرانی حدس زده و پس محاسبه تنشها در این نقاط نقطه با تنش ماکزیم نقطه بحرانی است. یکی از راهکارها یافتن نقاط بحرانی رسم دیاگرامهای نیرو و گشتاور است که هر کجا از این نمودارها حداکثر نیرو و گشتاور را داشتیم آنجا نقطه بحرانی است. به عنوان مثال در یک شافت نقطه بحرانی مربوط به جای خار یا پله های شافت

پس به طور کلی روند زیر را در طراحی باید طی کنیم:

۱. رسم دیاگرامهای P, V, T, M

۲. مقطع بحرانی را از روی دیاگرامها تشکیل می دهیم، مثلاً در استاتیک جایی که ممان ماکزیم است نقطه بحرانی می باشد.

۳. المان بحرانی

۴. تانسور تنش در المان بحرانی

۵. با استفاده از یک معیار تسلیم مناسب تشخیص دهیم که آیا عضو یا مکانیزم مورد نظر تحت این بارگذاری ایمن است یا نه، در واقع ضریب ایمنی را محاسبه می کنیم و مسئله را تاجایی تکرار (چک طرح) می کنیم که ضریب ایمنی داده شده در صورت مسأله ارضا شود.



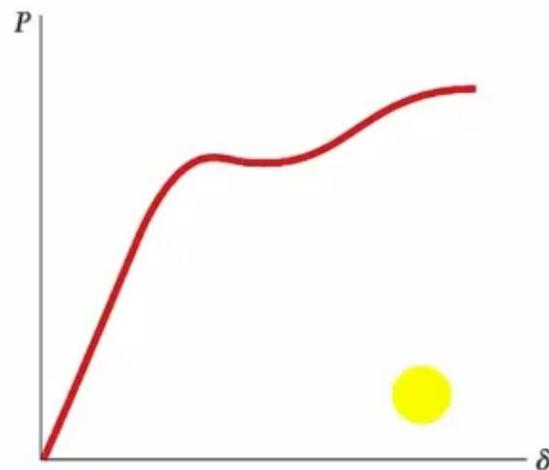
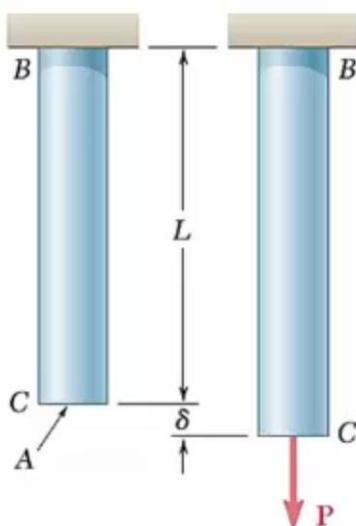
مقاومت مواد

- ❖ مفهوم کرنش
- ❖ نمودار تنش-کرنش
- ❖ قانون هوک و مدول الاستیک
- ❖ رفتار الاستیک - پلاستیک ماده
- ❖ بارهای تکراری (خستگی)
- ❖ مقاومت برشی ماده



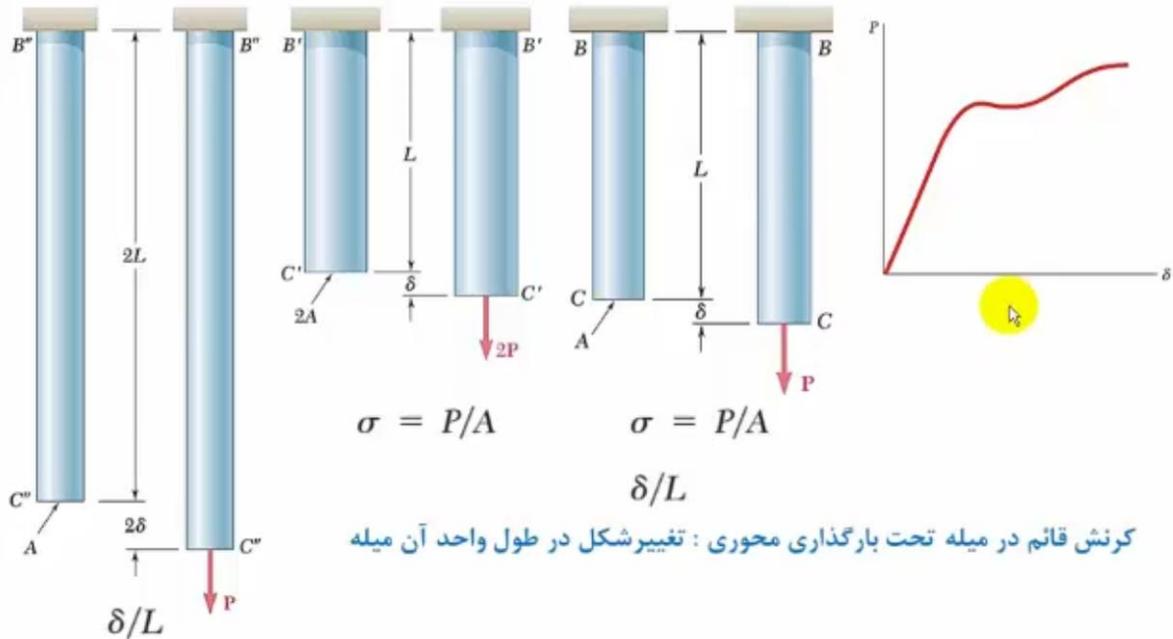
مفهوم کرنش

- ❖ اگر نیروی P را به انتهای C میله وارد کنیم، طول میله زیاد می شود.
- ❖ نمودار بار بر حسب تغییر شکل (اندازه بار P بر حسب تغییر شکل δ):





❖ گرچه نمودار بار-تغییر شکل حاوی اطلاعات مفیدی برای تحلیل میله مورد نظر است، نمی توان با استفاده از آن تغییر شکل میله ای از همان جنس و ابعاد متفاوت را پیش بینی کرد.



STRESS-STRAIN DIAGRAM



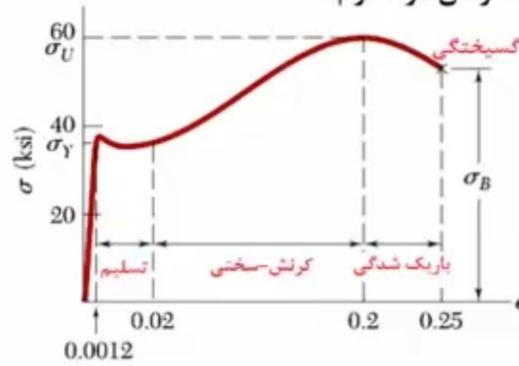
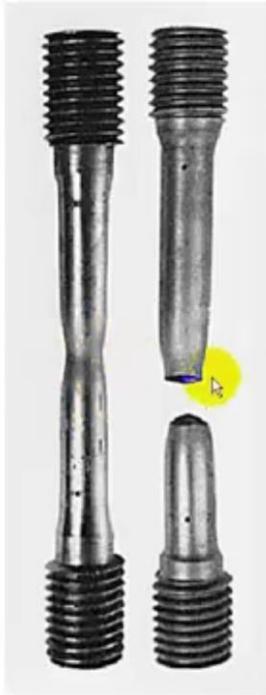
نمونه تست کشش



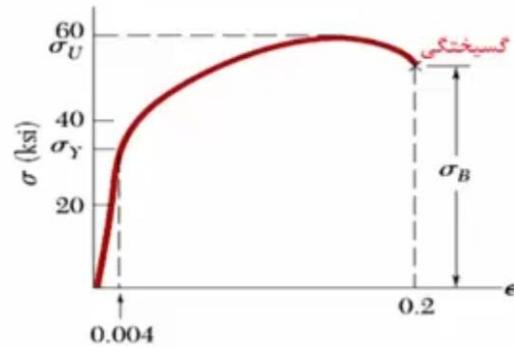


نمودار تنش- کرنش

❖ نمودار تنش-کرنش مواد نرم:



فولاد کم-کربن

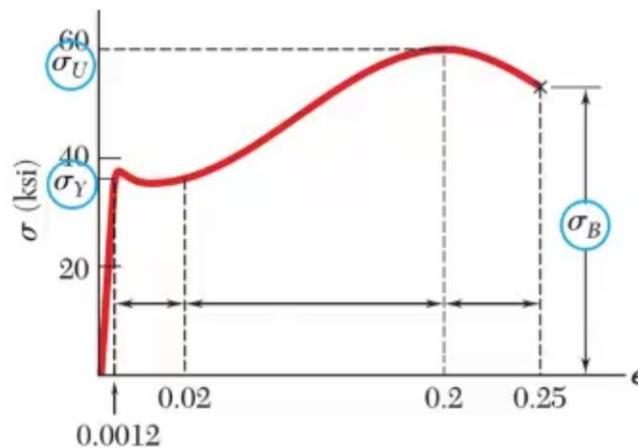
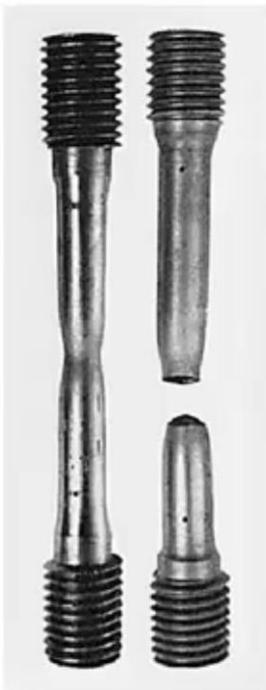


آلیاژ آلومینیم



نمودار تنش-کرنش

❖ نمودار تنش-کرنش مواد نرم:



❖ استحکام تسلیم ماده (σ_Y): تنش که تسلیم در آن شروع می‌گردد.

❖ استحکام نهایی ماده (σ_U): تنش متناظر با بار ماکزیمم اعمال شده به نمونه

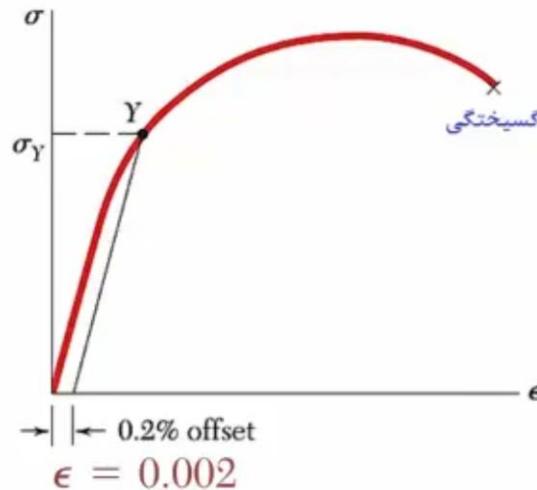
❖ استحکام شکست (σ_B): تنش متناظر با گسیختگی ماده



نمودار تنش- کرنش

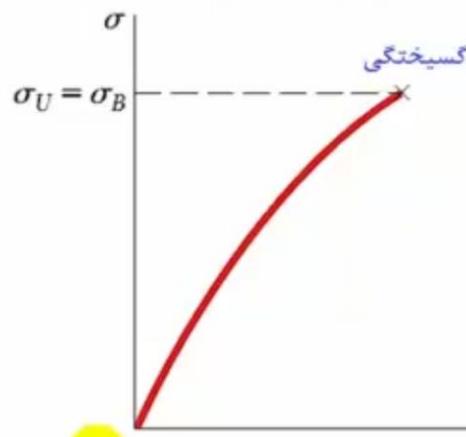
❖ تعیین استحکام تسلیم با روش انحراف (offset method):

در آلومینیوم و بسیاری از مواد شکل پذیر دیگر، آغاز تسلیم با قسمت افقی نمودار تنش-کرنش مشخص نمی شود بلکه تنش همچنان افزایش می یابد (هرچند نه بصورت خطی) تا به استحکام نهایی برسیم.



نمودار تنش- کرنش

❖ نمودار تنش-کرنش مواد ترد (چدن-شیشه-سنگ...):



مشخصه مواد شکننده آن است که گسیختگی بدون تغییر چشمگیر آهنگ ازدیاد طول رخ می دهد. بنابراین در مواد شکننده تفاوتی بین استحکام نهایی و استحکام شکست وجود ندارد. هم چنین در زمان گسیختگی کرنش در مواد شکننده خیلی کمتر از مواد شکل پذیر است.





❖ معیار استاندارد برای شکل پذیری ماده، درصد افزایش طول (Percent elongation) است که بصورت زیر تعریف می گردد:

$$\text{Percent elongation} = 100 \frac{L_B - L_0}{L_0}$$

L_0 طول اولیه نمونه آزمون کشش
 L_B طول نهایی نمونه هنگام گسیختگی

❖ معیار دیگری برای شکل پذیری که گاهی به کار می رود، درصد کاهش سطح مقطع (percent reduction in area) است که بصورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Percent reduction in area} = 100 \frac{A_0 - A_B}{A_0}$$

A_0 سطح مقطع اولیه نمونه
 A_B سطح مقطع مینیمم نمونه هنگام گسیختگی



❖ اگر نمونه ساخته شده از ماده شکل پذیر به جای کشش در معرض فشار قرار گیرد:

✓ برای یک فولاد خاص، استحکام تسلیم در کشش و فشار یکی است.

✓ به ازای مقادیر بیشتر کرنش (پس از تسلیم)، منحنی های تنش-کرنش کششی و فشاری متفاوت می شوند و باید توجه کرد که در حالت فشاری، باریک شدگی نمی تواند رخ دهد.

✓ در بیشتر مواد شکننده استحکام نهایی در حالت فشاری خیلی بیشتر از استحکام نهایی در حالت کششی است (وجود عیب هایی نظیر ترک ها یا حفره های میکروسکوپی ماده را در حالت کشش ضعیف می کنند ولی بر مقاومت آن در برابر شکست فشاری تأثیر نمی گذارند).



مثالی از ماده شکننده با خواص متفاوت تحت کشش و فشار، بتن (concrete) است.



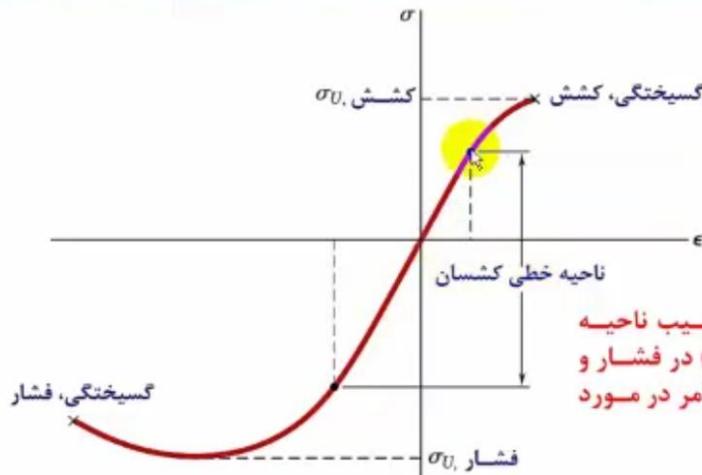
❖ نمودار تنش-کرنش بتن:

منطقه کشش:

گستره خطی کشسان - بعد از تسلیم کرنش سریع تر از تنش تغییر می کند (تا گسیختگی)

منطقه فشار:

گستره خطی کشسان بسیار بزرگتر - پس از رسیدن تنش به مقدار ماکزیمم گسیختگی رخ نمی دهد.

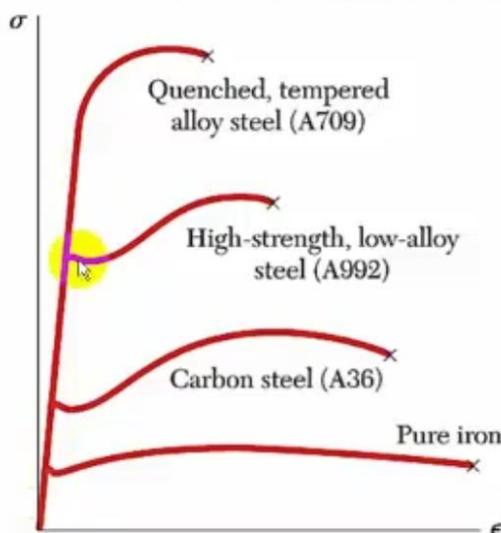


توجه: مدول کشسانی (شیب ناحیه خطی منحنی تنش-کرنش) در فشار و کشش یکسان است و این امر در مورد بیشتر مواد صادق است.



HOOKE'S LAW; MODULUS OF ELASTICITY

❖ قسمت ابتدایی نمودار تنش-کرنش خط راست است؛ یعنی در تغییر شکل های کوچک، تنش مستقیماً با کرنش متناسب است.



$$\sigma = E\epsilon$$

❖ این رابطه، قانون هوک نام دارد و ضریب E مدول کشسانی ماده است.

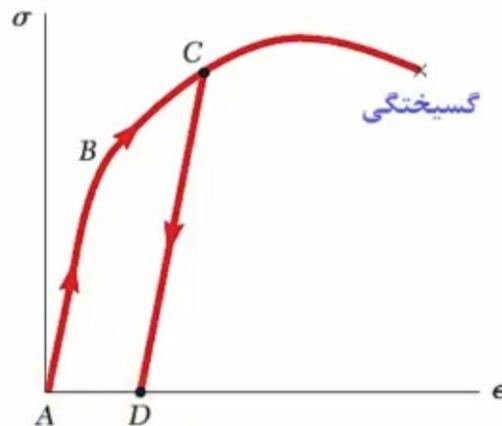
❖ بزرگترین تنشی که در معادله فوق صدق می کند، حد تناسب ماده نامیده می شود.

نمودار تنش-کرنش آهن و فولادهای مختلف



رفتار الاستیک-پلاستیک ماده طراحی اجزای ماشین - مدرس: پویا پاشایی

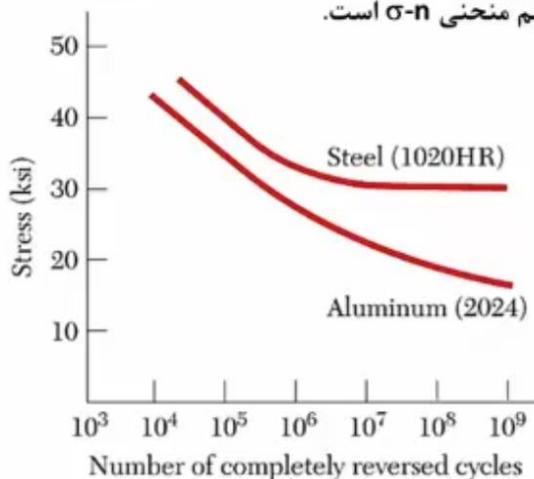
- ❖ اگر کرنشی که در نمونه آزمون در اثر اعمال بار معین ایجاد می شود، پس از برداشتن بار از بین برود، ماده رفتار کشسان (الاستیک) دارد و بزرگترین تنش که به ازای آن این خاصیت صادق است، حد کشسانی ماده نام دارد.
- ❖ با عبور از حد کشسانی ماده، بعد از برداشتن بار، تنش و کرنش بصورت خطی کاهش می یابند و کرنش صفر نمی شود و نشاندهنده تغییر شکل دائمی یا تغییر شکل مومسان (پلاستیک) ماده است.



بارهای تکراری (خستگی) طراحی اجزای ماشین - مدرس: پویا پاشایی

REPEATED LOADINGS; FATIGUE

- ❖ پدیده خستگی سبب می شود یک عنصر ساختمان یا ماشین بعد از تعداد زیادی بارگذاری گسیخته شود، حتی اگر در گستره کشسان باقی بماند.
- ❖ یکی از آزمون های استاندارد خستگی، تعیین تعداد دفعات چرخه های متوالی بارگذاری (n) و برداشتن بار به ازای تراز تنش ماکزیمم (σ) و رسم منحنی σ -n است.

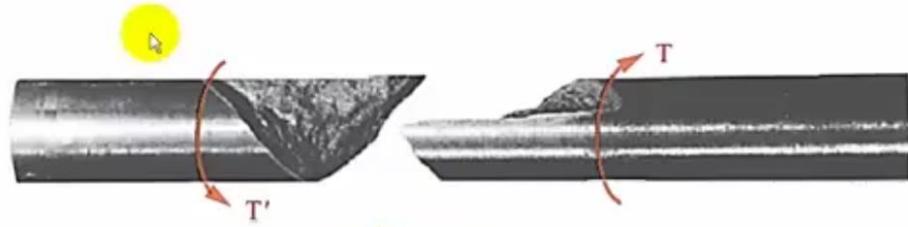


حد دوام: مقدار تنش (σ) که به ازای آن حتی بعد از تعداد زیاد و نامحدودی چرخه، گسیختگی رخ نمی دهد.

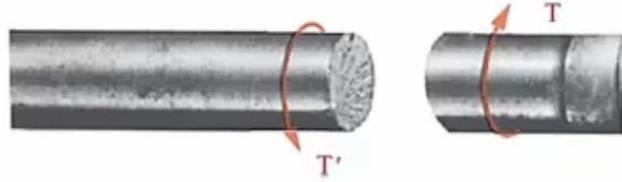
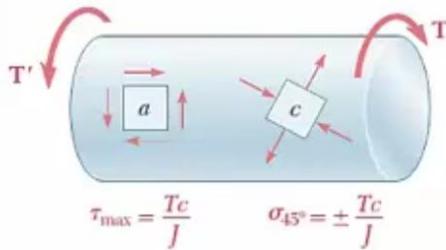
Typical σ -n curves.



❖ این امر دلیلی است در توضیح اینکه مواد شکل پذیر، که معمولاً در برش می شکنند، در امتداد سطحی عمود بر محور نمونه می شکنند ولی مواد شکننده که در کشش ضعیف تر از برش هستند، در امتداد سطحی که با محور زاویه 45° می سازد می شکنند.



مواد ترد



مواد نرم



❖ در گستره کشسان، ϕ زاویه پیچش محور دایره ای متناسب با T گشتاور اعمال شده به محور است.

❖ با بیان کردن ϕ بر حسب رادیان می توان چنین نوشت :

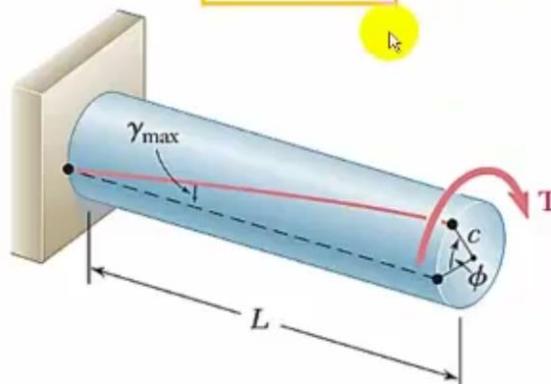
زاویه پیچش در گستره کشسان

$$\phi = \frac{TL}{JG}$$

L = طول محور

J = ممان قطبی مقطع

G = مدول صلابت ماده





- ❖ این رابطه، روش ساده ای برای تعیین مدول صلابت هر ماده معین در اختیار ما می گذارد.
- ❖ نمونه ای از ماده به شکل میله ای استوانه ای با قطر و طول معین در **دستگاه آزمون پیچش** قرار می گیرد. گشتاور افزاینده به نمونه اعمال می شود و مقادیر متناظر زاویه پیچش و طول ثبت می گردد.
- ❖ به کمک **شیب خط** زاویه پیچش بر حسب گشتاور (JG/L) مدول صلابت تعیین می گردد.

$$\phi = \frac{TL}{JG}$$

دستگاه آزمون پیچش



Table A-20

Deterministic ASTM Minimum Tensile and Yield Strengths for Some Hot-Rolled (HR) and Cold-Drawn (CD) Steels

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Process- ing	Tensile Strength, MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation in 2 in, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163



Table A-21 Mean Mechanical Properties of Some Heat-Treated Steels

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI No.	Treatment	Temperature °C (°F)	Tensile Strength MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
4130	Q&T*	205 (400)	1630 (236)	1460 (212)	10	41	467
	Q&T*	315 (600)	1500 (217)	1380 (200)	11	43	435
	Q&T*	425 (800)	1280 (186)	1190 (173)	13	49	380
	Q&T*	540 (1000)	1030 (150)	910 (132)	17	57	315
	Q&T*	650 (1200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalized	870 (1600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Annealed	865 (1585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
	4140	Q&T	205 (400)	1770 (257)	1640 (238)	8	38
Q&T		315 (600)	1550 (225)	1430 (208)	9	43	445
Q&T		425 (800)	1250 (181)	1140 (165)	13	49	370
Q&T		540 (1000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
Q&T		650 (1200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
Normalized		870 (1600)	1020 (148)	655 (95)	18	47	302
Annealed		815 (1500)	655 (95)	417 (61)	26	57	197
4340		Q&T	315 (600)	1720 (250)	1590 (230)	10	40
	Q&T	425 (800)	1470 (213)	1360 (198)	10	44	430
	Q&T	540 (1000)	1170 (170)	1080 (156)	13	51	360
	Q&T	650 (1200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

*Water-quenched



Table A-22

Results of Tensile Tests of Some Metals

Number	Material	Condition	Strength (Tensile)					Strain Strength, Exponent m	Fracture Strain ϵ_f
			Yield S_y MPa (kpsi)	Ultimate S_u MPa (kpsi)	Fracture, σ_f MPa (kpsi)	Coefficient $\sigma_{0.2}$ MPa (kpsi)			
1018	Steel	Annealed	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Steel	Annealed	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Steel	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Steel	Q&T 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) [†]	0.041	0.81	
4142	Steel	Q&T 600°F	1720 (250)	1930 (280)	2340 (340)	1760 (255) [†]	0.048	0.43	
303	Stainless steel	Annealed	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) [†]	1410 (205)	0.51	1.16	
304	Stainless steel	Annealed	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) [†]	1270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aluminum alloy	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aluminum alloy	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aluminum alloy	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18	

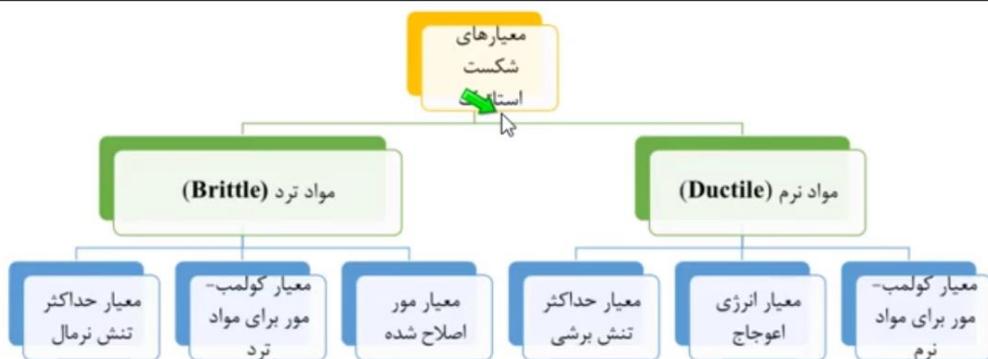
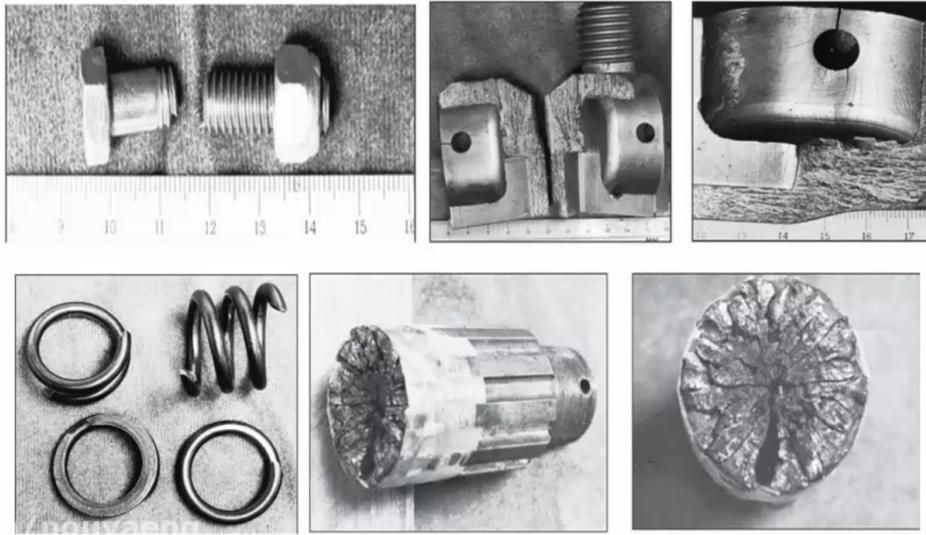
[†]Values from one or two heats and believed to be attainable using proper purchase specifications. The fracture strain may vary as much as 100 percent.

[‡]Derived value.

معیارهای شکست

- ❖ تنوری های شکست بارگذاری ایستا
- ❖ تنوری های شکست مواد چکش خوار
- ❖ تنوری های شکست مواد ترد

شکست قطعات تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی



تنوری های شکست مواد چکش خوار (Ductile Materials)

- ✓ بیشینه تنش برشی (ترسکا)
- ✓ انرژی اعوجاج (فون مایزز)
- ✓ کلمب-مور چکش خوار



پیشینه تنش برشی (ترسکا)

$$\sigma_A \geq \sigma_B \geq 0 \quad \sigma_1 = \sigma_A \quad \sigma_3 = 0$$

$$\sigma_A \geq S_y$$

$$\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad \sigma_1 = \sigma_A \quad \sigma_3 = \sigma_B$$

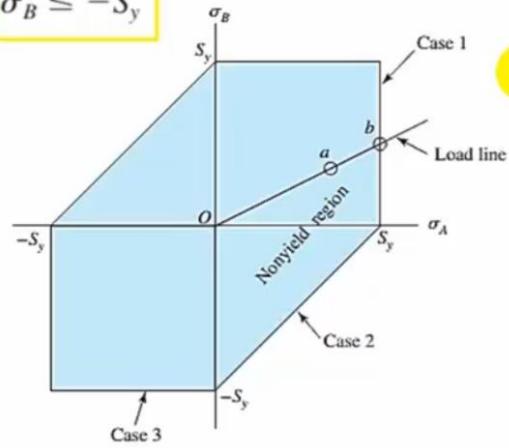
$$\sigma_A - \sigma_B \geq S_y$$

$$0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B \quad \sigma_1 = 0 \quad \sigma_3 = \sigma_B$$

$$\sigma_B \leq -S_y$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

$$S_{sy} = 0.5S_y$$

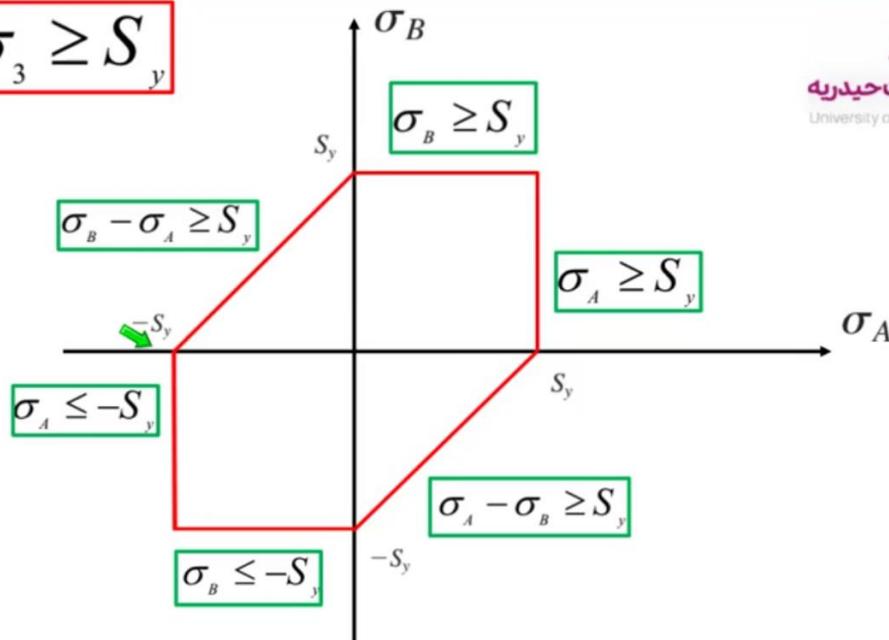


خرابی (تسلیم) در یک ماده نرم هنگامی اتفاق می افتد که تنش برشی حداکثر در جسم به تنش برشی تست کشش تک محوره در نقطه تسلیم برسد

شروع خرابی:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2} \Rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = S_y$$

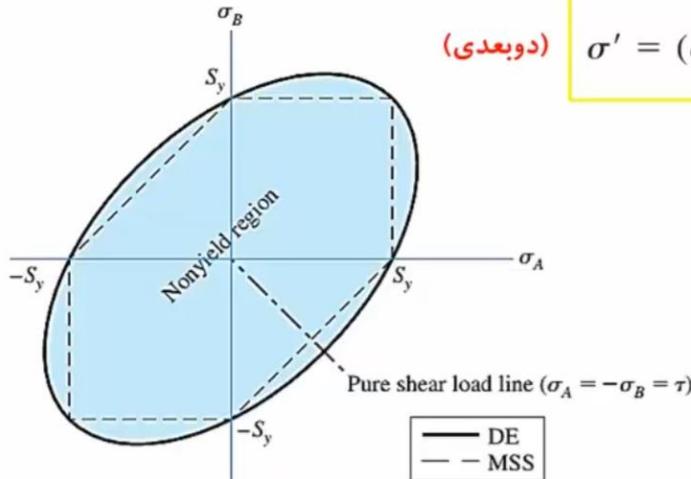
$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y$$





انرژی اعوجاج (فون مایرز)

(سه بعدی)
$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2}$$



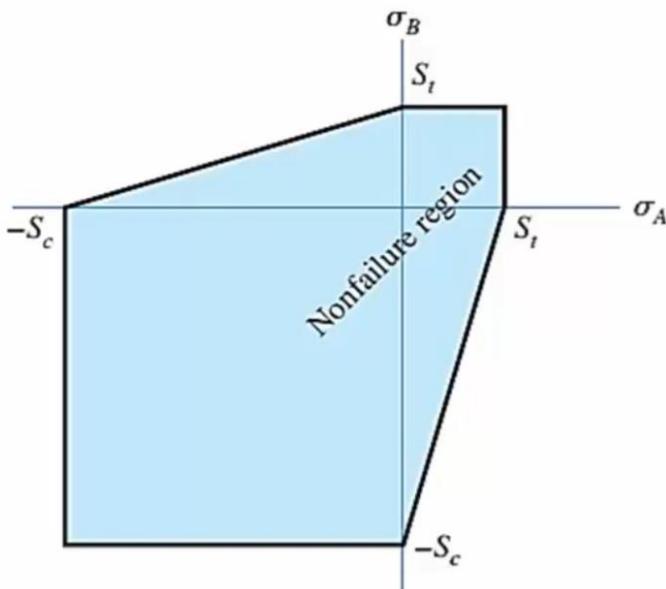
(دو بعدی)
$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (\text{ضریب اطمینان})$$

$$S_{sy} = 0.577S_y$$



کلمب-مور چکش خوار



$$\frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = \frac{1}{n}$$

$$S_{sy} = \frac{S_{yt} S_{yc}}{S_{yt} + S_{yc}}$$



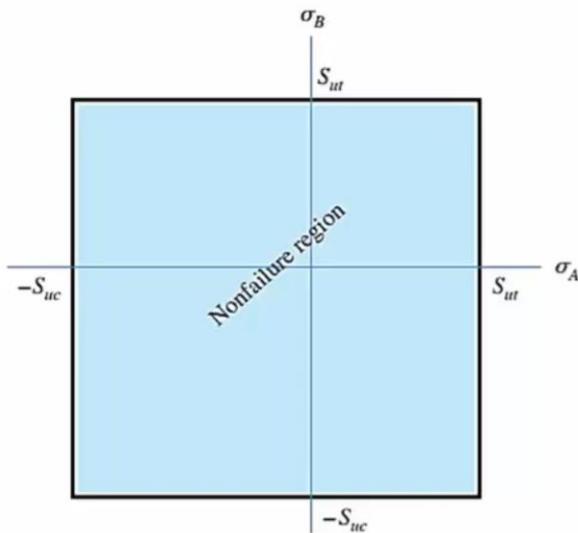
تئوری های شکست مواد ترد (Brittle Materials)

- ✓ بیشینه تنش نرمال
- ✓ کلمب-مور مواد ترد
- ✓ کلمب-مور اصلاح شده



شکست مواد ترد

بیشینه تنش نرمال



$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n}$$

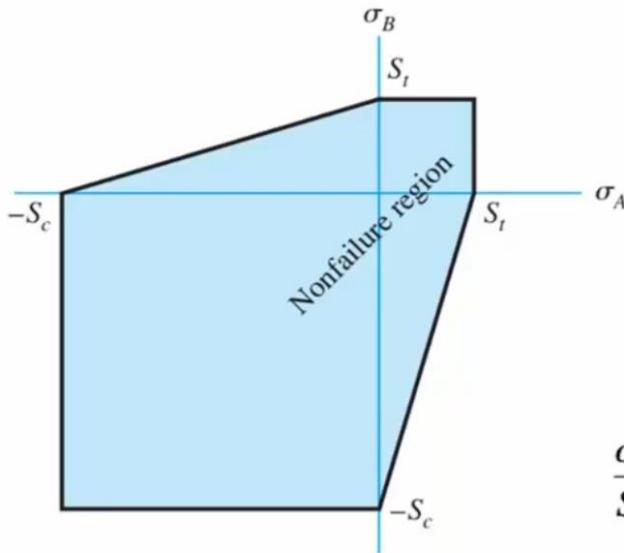
$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n}$$





شکست مواد ترد

کلمب-مور مواد ترد



$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$$

$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$$



شکست مواد ترد

کلمب-مور اصلاح شده

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n}$$

$$\sigma_A \geq \sigma_B \geq 0 \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad \text{and} \quad \left| \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \right| \leq 1$$

$$\frac{(S_{uc} - S_{ut})\sigma_A}{S_{uc}S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$$

$$\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad \text{and} \quad \left| \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \right| > 1$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n}$$

$$0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$$

