*کار کردن با تنش و کرنش مهندسی راحت تر از حقیقی ، چون با ابعاد اولیه کار می کنیم
و برای تنش و کرنش حقیقی از روابط زیر استفاده می شود

$$\sigma_t = \sigma(1+\varepsilon) \qquad \varepsilon_t = Ln(1+\varepsilon)$$

مقدمه

*اغلب مواد تحت نیرو هستند مانند بال هواپیما (از آلیاژ آلومینیم) ، محور خودرو (از فولاد) .....

* برای طراحی موفق یک قطعه در شرایط سرویس ، باید بسته به نیروی اعمالی (کشش ، فشار ، برش ،...) خواص مکانیکی آن نیرو ملاک طراحی قرار گیرد

* خواص مکانیکی با آزمایش استاندارد بدست می آید. آزمایشها طبق کتابهای استاندارد **ASTM** اجرا می شوند. خواص کششی با آزمایش کشش، خواص فشاری با آزمایش فشار و خواص برشی با آزمایش پیچش بدست می آید. به دلیل اهمیت خواص مکانیکی کششی ، آزمایش کشش و خواص مکانیکی کششی توضیح داده می شود، اما ابتدا انواع تغییر شکل معرفی می شود.

انواع تغییر شکل

در هر نوع بارگذاری (کشش ، فشار ، برش ، .....) ۲ نوع تغییر شکل ملاحظه می شود

- ۱- کشسان یا الاستیک (Elastic Deformation)

تغییر شکلی که با حذف نیرو از بین رفته و جسم به ابعاد اولیه بر می گردد

- ۲- مومسان ، دائم یا پلاستیک (Plastic Deformation)

تغییر شکلی که با حذف نیرو از بین نمی رود و جسم به ابعاد اولیه بر نمی گردد

3

- با اعمال نیرو ابتدا تغییر شکل الاستیک ظاهر می شود
- اگر نیرو از حدی بیشتر شود علاوه بر تغییر شکل الاستیک ، پلاستیک هم ظاهر می گردد

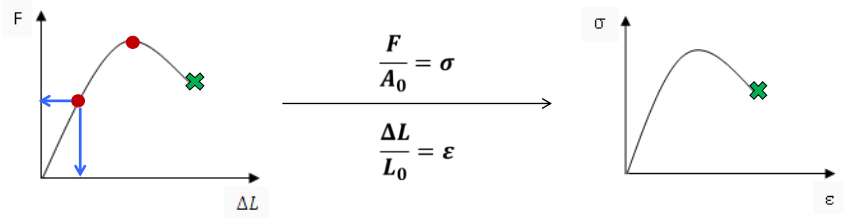
- با باربرداری تغییر شکل الاستیک صفر اما تغییر شکل پلاستیک باقی می ماند
- اگر نیروی وارده ، آنقدر زیاد باشد که قطعه بشکند ، بعد از شکست ، تغییر شکل الاستیک صفر اما تغییر شکل پلاستیک باقی می ماند

4

آزمایش کشش (Tension test)

- ۱- ابتدا نمونه استاندارد ساخته می‌شود (مشخصات منطقه باریک شده: قطر ۱۲/۸ mm، طول ۶۰ mm ، طول موثر ۵۰ mm که همان طول اولیه)
- ۲- نمونه در فک دستگاه کشش بسته و تحت نیروی کشش تک محوری افزاینده قرار می‌گیرد
- ۳- نمونه همزمان تغییر شکل داده تا بشکند (نقطه × اسلاید بعد)
- ۴- دستگاه نمودار نیرو- تغییر طول رسم کرده ، برای نقاط انتخابی نیرو و تغییر طول تعیین کرده ، نیروها را به عدد ثابت سطح مقطع و تغییر طول ها را به عدد ثابت طول اولیه تقسیم و در واقع تنش و کرنش مهندسی آنها بدست می آید و نمودار تنش- کرنش مهندسی رسم می کنیم

5



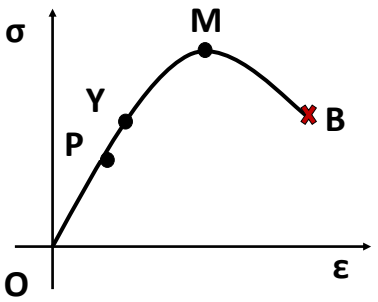
از نمودار تنش- کرنش مهندسی خواص مکانیکی کششی بدست می آید

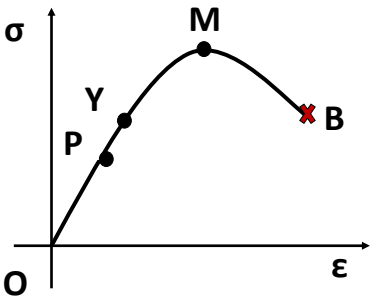
6

خواص مکانیکی کششی(Tensile properties)

- ۱- حد تناسب (Proportional limit)

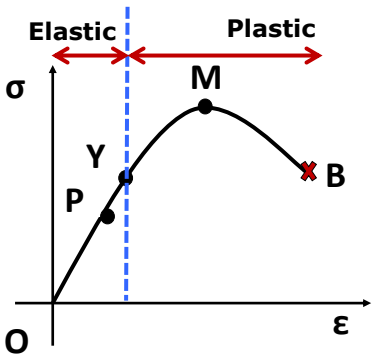
یا نقطه P، آخرین جایی از نمودار که رابطه ی تنش- کرنش خطی، به عبارتی در محدوده ی OP از نمودار σ-ε رابطه خطی





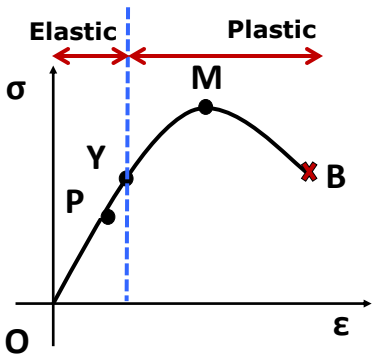
۲- حد الاستیک (Elastic limit)
یا نقطه Y

- آخرین جایی از نمودار که تنها تغییر شکل الاستیک داریم (محدوده OY تغییر شکل الاستیک)
- جایی که تغییر شکل پلاستیک آغاز می شود (نقطه تسلیم یا Yield point). از این نقطه تغییر شکل پلاستیک به الاستیک اضافه می شود



- نقطه ی **Y** مرز منطقه ی الاستیک و پلاستیک
- در محدوده ی **P** تا **Y**در منطقه ی الاستیک هستیم اما شکل منحنی در **P** از حالت خطی خارج می شود و به شکل منحنی در می آید

9



- در منطقه الاستیک (تا **Y**) رابطه **σ-ε** خطی فرض شده، طبق قانون هوک

$$\sigma = E\,\varepsilon \qquad Hook's\ law$$

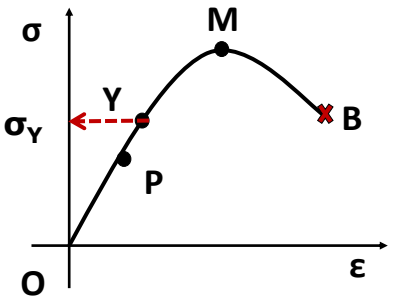
- **σ** تنش مهندسی (**Pa**) ، **ε** کرنش مهندسی (بدون واحد) ، **E** ضریب یا مدول یانگ ، ضریب یا مدول الاستیسیته (**Pa**)

10

۳- استحکام تسلیم (Yield strength)

یا تنش تسلیم ، σ_Y

- تنشی که به ازای آن تغییر شکل پلاستیک آغاز می شود
- این تنش معادل نقطه ی **Y** در نمودار



$$\sigma_Y = \frac{F_Y}{A_0}$$

F_Y نیروی آغاز تغییر شکل پلاستیک

A_0 سطح مقطع اولیه

- بزرگترین تنشی که به ازای آن تغییر شکل الاستیک داریم و یا کوچکترین تنشی که تغییر شکل پلاستیک آغاز می شود
- از مشخصات ذاتی ماده ، برای هر جنس عدد معینی (در جدول)

- σ_Y مهمترین ملاک طراحی قطعات تحت نیرو (رشته ی مکانیک و عمران) ، یعنی نیرویی اعمالی در حدی باشد که تنش قطعه کمتر از σ_Y شود

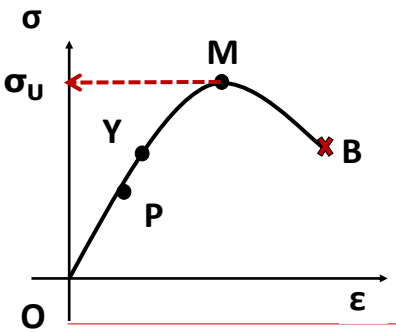
- در رشته ی مواد اگر هدف شکل دهی موفق فلزات است باید تنش بیشتر از σ_Y باشد و باید در محدوده ی **Y** تا **M** باشیم

۴- استحکام کششی یا نهایی

(Tensile strength, Ultimate strength)

یا تنش نهایی ، σ_U

- تنش معادل نقطه ی ماکزیمم
- از مشخصات ذاتی ماده (در جدول)



$$\sigma_U = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

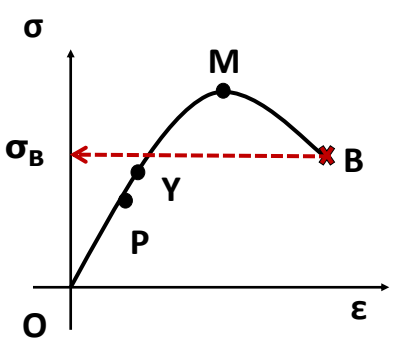
F_{max} نیروی ماکزیمم

- گاهی σ_U ملاک طراحی

13

- ۵- استحکام شکست **(Breaking strength)**

تنش معادل نقطه ی شکست ، σ_B



$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_0}$$

F_B نیروی شکست

- در طراحی اهمیت ندارد

14

- علاوه بر ۵ خاصیت بیان شده ، می توان از آزمایش کشش

انعطاف پذیری ، چقرمگی و جهندگی را بدست آورد

15

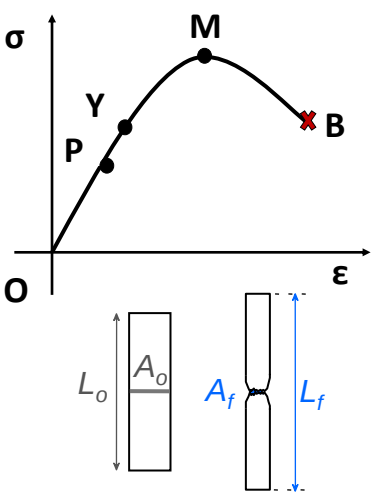
انعطاف پذیری (Ductility)

- مقدار تغییر شکلی که ماده می دهد تا بشکند ، تابع محور کرنش

به ۲ صورت بیان می شود

۱- در صد ازدیاد طول

۲- در صد کاهش سطح مقطع



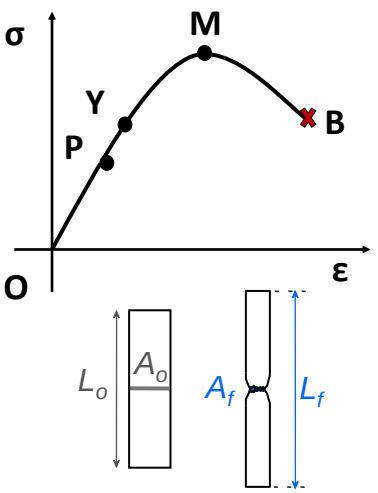
- درصد ازدیاد طول (Elongation%)

$$Elong.\% = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 = \varepsilon_f \%$$

l_f طول شکست و l_0 طول اولیه

16

- در صد کاهش سطح مقطع
(Reduction in area %)



A_f سطح مقطع شکست و A_0 سطح مقطع اولیه

$$Red.\% = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

برای یک ماده با شرایط مشخص این ۲ روش جوابهای متفاوت می دهند .
بطور کلی هر چه بزرگتر باشند ، ماده تغییر شکل بیشتری می دهد.

چقرمگی (Toughness)

مقدار انرژی در واحد حجم که ماده جذب می کند تا بشکند را چقرمگی یا مدول چقرمگی نامند، معادل سطح زیر منحنی تنش- کرنش مهندسی ، تابع محور تنش و کرنش، با U_T نمایش داده ، واحد در سیستم SI ، J/m^3 or Pa در سیستم انگلیسی $lb.in/in^3$ or Psi

فلزات از نظر میزان تغییر شکل به ۲ دسته

الف- نرم (Ductile): ابتدا تغییر شکل الاستیک، بعد پلاستیک می دهد تا بشکند ، مانند اکثر فلزات

ب- ترد (Brittle): تنها تغییر شکل الاستیک می دهد تا بشکند مانند چدن در کشش

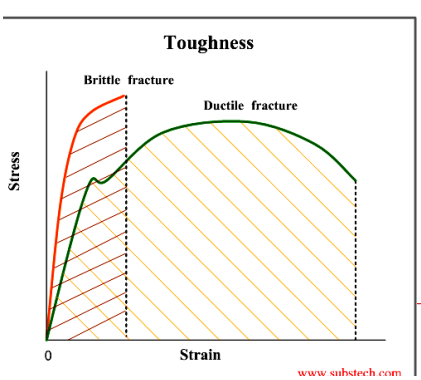
چقرمگی بطور تقریبی از روابط زیر بدست می آید

۱- فلز نرم

$$U_T \approx \sigma_u . \varepsilon_f \qquad \text{or} \qquad U_T \approx \left(\frac{\sigma_u + \sigma_y}{2}\right) . \varepsilon_f$$

۲- فلز ترد

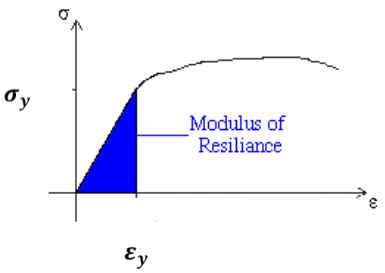
$$U_T \approx \frac{2}{3} \sigma_u . \varepsilon_f$$



* کرنش شکست در مواد ترد کمتر از ۵٪

جهندگی (Resilience)

مقدار انرژی در واحد حجم که ماده جذب می کند تا تغییر شکل الاستیک دهد را جهندگی یا مدول جهندگی نامند ، معادل سطح زیر منحنی تنش- کرنش مهندسی در منطقه الاستیک، با U_R نمایش داده، واحد مانند چقرمگی



$$U_R = \frac{1}{2}\,\sigma_y.\varepsilon_y \xrightarrow{\sigma_y = E\,\varepsilon_y} = \frac{{\sigma_y}^2}{2\,E}$$

ε_y

کرنش معادل نقطه **y** یا کرنشی که تغییر شکل پلاستیک آغاز