بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

شکل دادن فلزات

جلسه دوم
(کلیات- ۱)

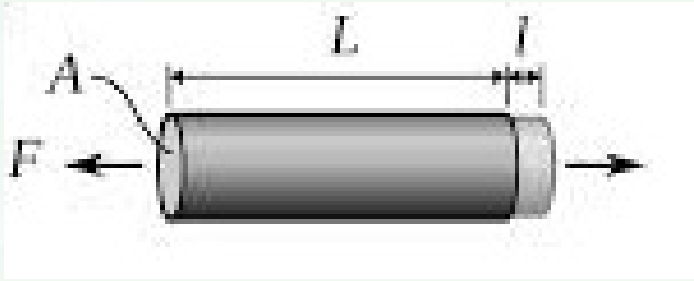
دکتر رضا اسلامی فارسانی

تنش و کرنش

تنش و کرنش بصورت زیر تعریف می شوند:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح مقطع}}$$

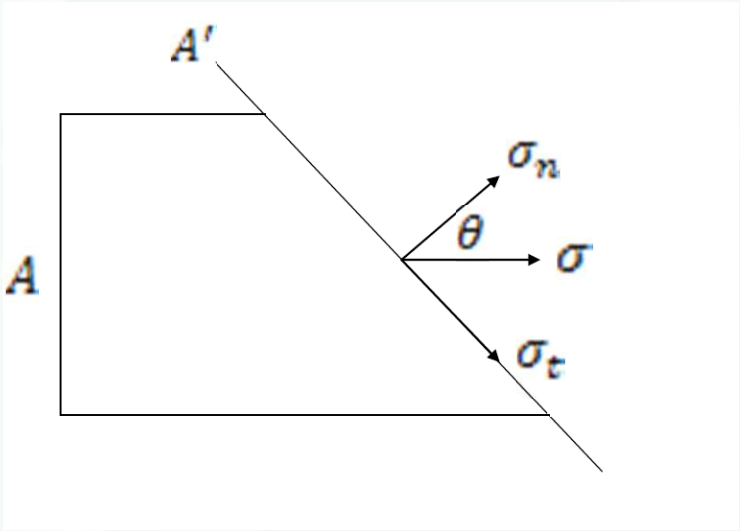
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$



کمانش (Buckling) نوعی تغییرشکل ناشی از تنش فشاری (تراکمی) است که سبب تغییرات زیادی در همراستایی (Alignment) ستون یا صفحات و شاید خمش آنها می شود.

تنش و کرنش

اگر سطح مقطع در نظر گرفته شده عمود بر نیروی اعمالی نبوده و بصورت مورب باشد، یعنی امتداد نیرو با خط عمود بر این سطح مقطع زاویه بسازد، تنش وارد بر آن به ۲ مؤلفه عمودی و مماس بر سطح مقطع تجزیه می شود.



تنش عمودی یا نرمال:

$$\sigma_n = \frac{F}{A}\cos\theta = \sigma\cos\theta$$

تنش مماسی یا برشی:

$$\sigma_t = \frac{F}{A}\sin\theta = \sigma\sin\theta$$

تنش و کرنش

تنش حقیقی:

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

A : سطح مقطعی که در هر لحظه نیرو بر آن اعمال می شود.

تنش مهندسی:

$$S = \frac{F}{A_0}$$

A_0 : سطح مقطع اولیه

کرنش خطی :

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$L - L_0$: تغییرات طولی نمونه

L_0: طول اولیه نمونه

تنش و کرنش

کرنش حقیقی:

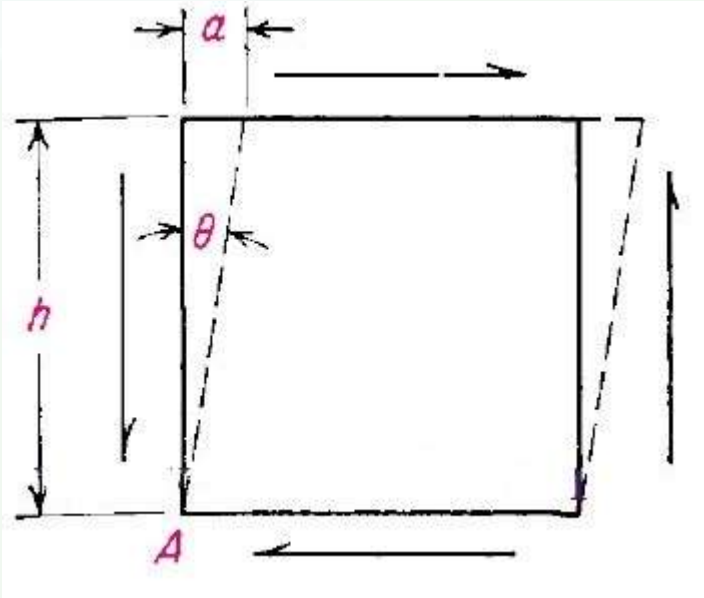
L_0 : طول اولیه

L : طول نهایی

$$\varepsilon = \ln \frac{L}{L_0}$$

کرنش برشی:

$$\gamma = \frac{a}{h} = \tan\theta = \theta$$



تنش و کرنش

رابطه بین تنش حقیقی و تنش مهندسی:

$$\sigma = S(e+1)$$
$$\sigma_T = \sigma_e(1+\varepsilon_e)$$

رابطه بین کرنش حقیقی و کرنش خطی:

$$\varepsilon = \ln(e+1)$$

تغییرشکل های فلزکاری اغلب بجای تغییرات طول برحسب کاهش سطح مقطع بیان می شوند.

کاهش نسبی سطح مقطع، r:

$$r = \frac{A_0 - A_1}{A_0}$$

$$A_0 L_0 = A_1 L_1$$

$$r = 1 - \frac{A_1}{A_0}$$

$$\varepsilon = \ln\frac{L_1}{L_0} = \ln\frac{A_0}{A_1} = \ln\frac{1}{1-r}$$

تغییرشکل الاستیک و پلاستیک

تغییرشکل های الاستیک و پلاستیک

در مواردی تغییرشکل ضروری و مورد نیاز است (نظیر فنر)، اما تغییرشکل زیادی بخصوص اگر دائمی باشد، مضر است.

- ✓ تغییرشکل الاستیک (کشسان یا برگشت پذیر):

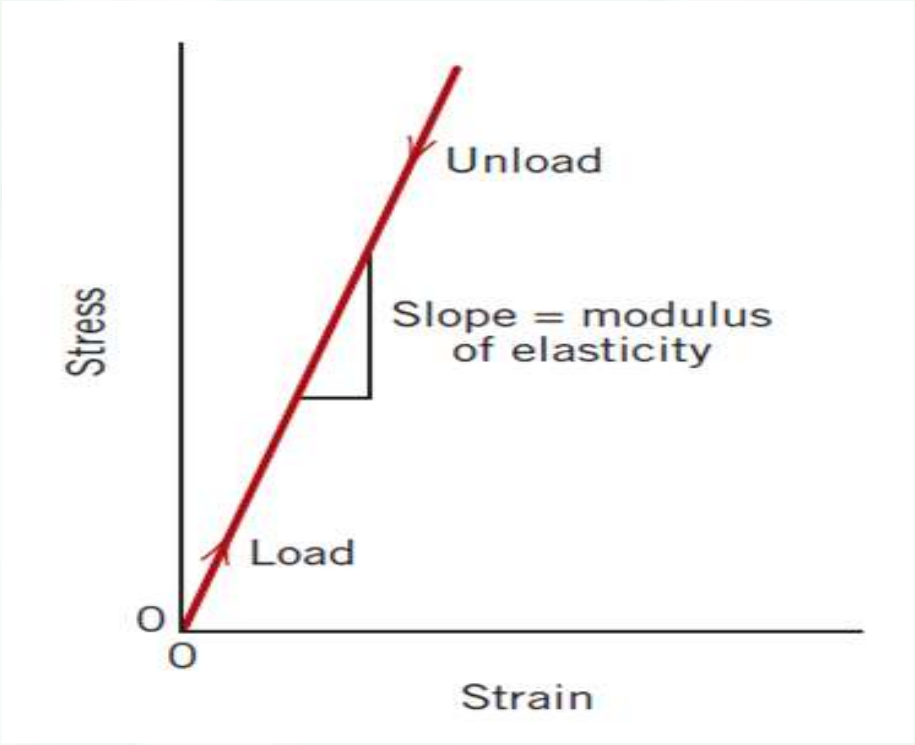
با اعمال نیرو، تغییرشکل ایجاد می شود و با حذف نیرو، این تغییرشکل نیز حذف می شود.

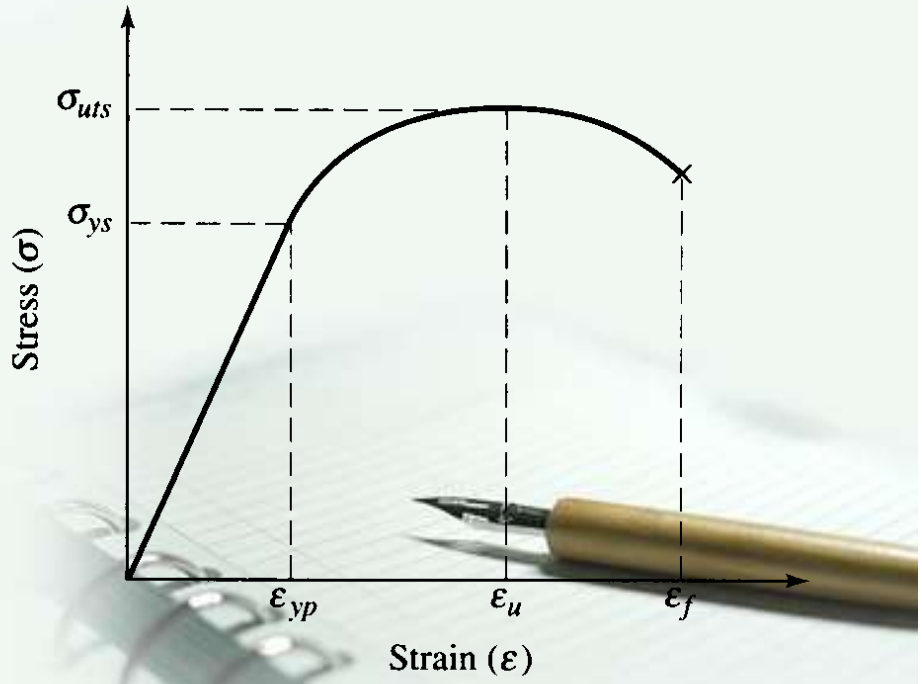
- ✓ تغییرشکل پلاستیک (مومسان یا برگشت ناپذیر):

با اعمال نیرو، تغییرشکل ایجاد می شود و با حذف نیرو، این تغییرشکل حذف نشده و برجای می ماند.

منحنی تنش- کرنش

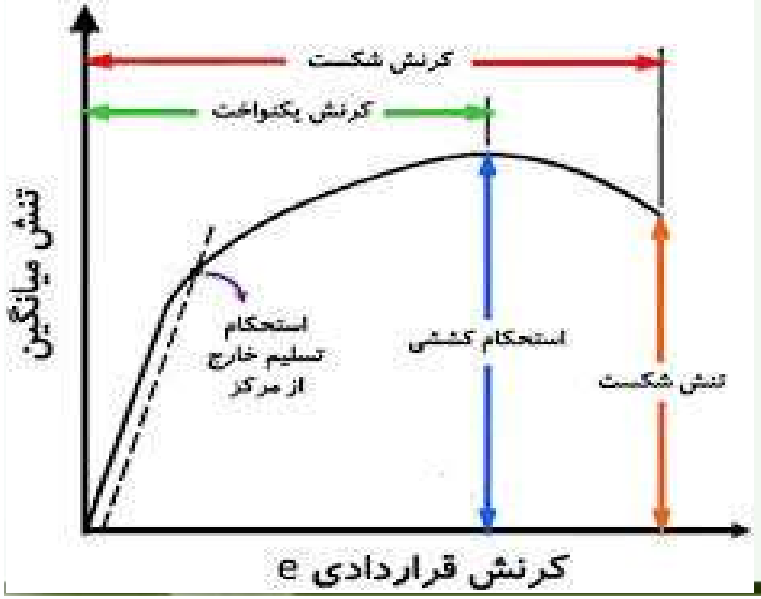
برای بررسی رفتار تغییرشکل مواد از منحنی های تنش-کرنش استفاده می شود. تغییرشکل و رفتار مواد در محدوده الاستیک از قانون هوک، $\sigma = E\varepsilon$ پیروی می کند. نمودار تنش- کرنش در این محدوده خطی است و تنش و کرنش با هم متناسب هستند که ضریب این تناسب (شیب منحنی)، E (مدول الاستیسیته) است.





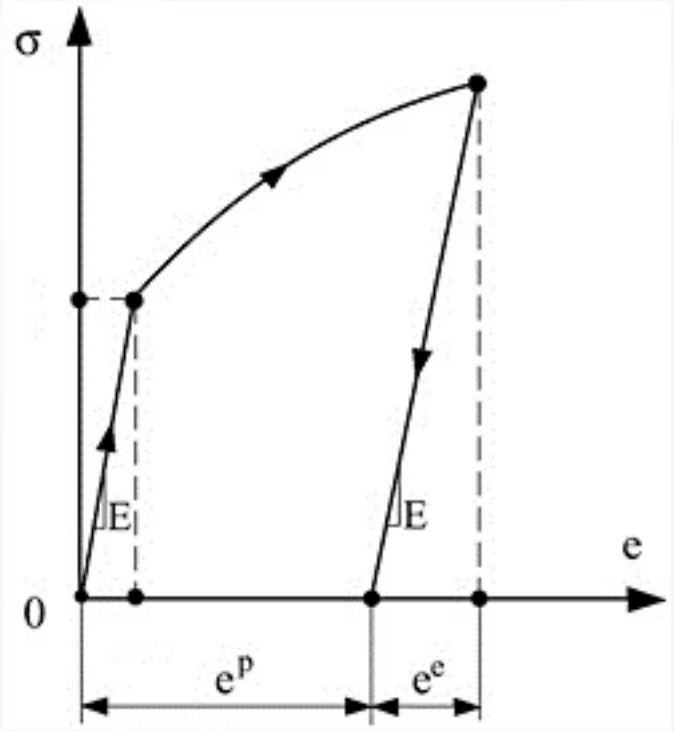
منحنی تنش- کرنش

شروع تغییرشکل پلاستیک، نقطه تنش تسلیم (استحکام تسلیم)، σ_y می باشدکه نمودار تنش- کرنش دیگر خطی نیست. از استحکام تسلیم تا استحکام کششی حداکثر، σ_{uts} تغییرشکل همگن داریم ، یعنی تغییرشکل و تغییرات ابعاد در همه مواضع یکنواخت است. اما در محدوده بعد از σ_{uts} تا نقطه شکست، تغییرشکل پلاستیک ناهمگن داریم و تغییرشکل بطور موضعی در قسمتی بیش از سایر مواضع است.



منحنی تنش- کرنش

در ناحیه پلاستیک، نمودار تنش- کرنش به علت خطی نبودن از قانون هوک پیروی نمی کند و قانون هولمن، $\sigma = K\varepsilon^n$ وجود دارد که برای محدوده الاستیک، n=1 و K=E می باشد. کرنش کل از رابطه ی زیر بدست می آید:

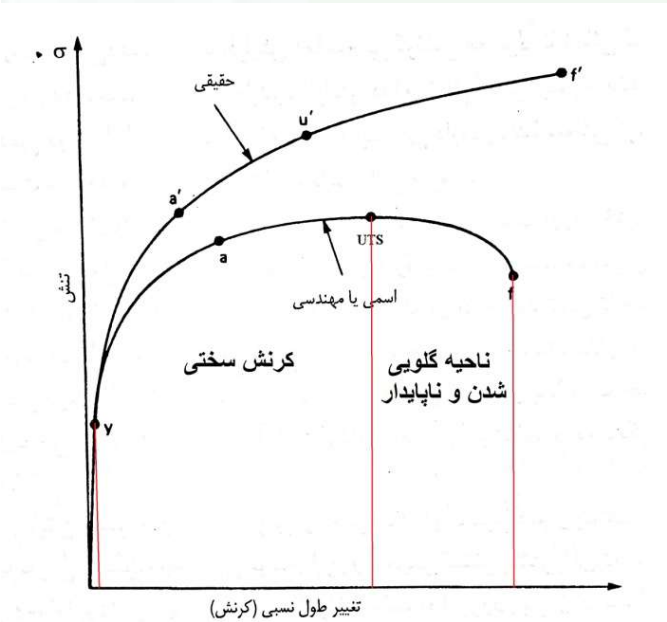


$$e^T = e^e + e^p$$

با حذف نیرو، تغییرشکل الاستیک، e^e حذف شده، اما تغییرشکل پلاستیک، e^p برجای می ماند.

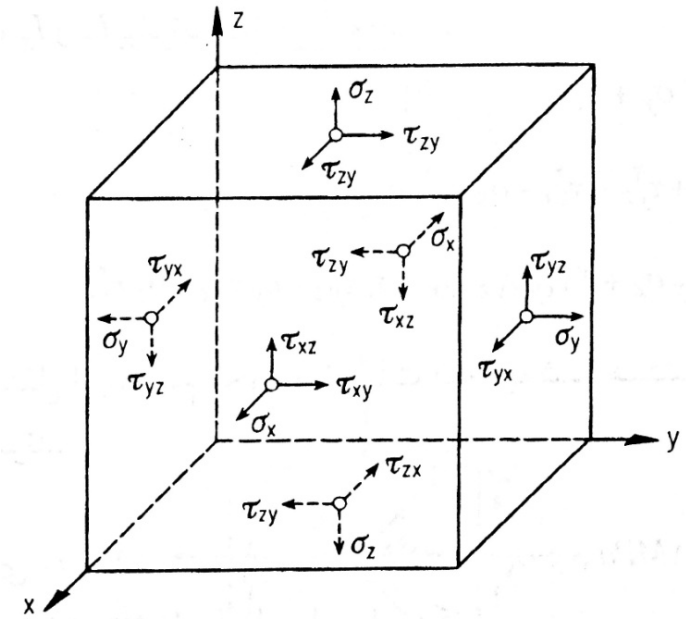
منحنی تنش- کرنش

منحنی های تنش- کرنش شامل دو نوع منحنی حقیقی و مهندسی هستند. بعد از نقطه گلویی شدن (استحکام کششی حداکثر)، کاهش سطح مقطع بیشتر از کاهش نیروی لازم برای ادامه تغییرشکل است، لذا تنش حقیقی، $\sigma = \frac{F}{A}$ افزایش می یابد و منحنی تنش- کرنش تا نقطه شکست همچنان صعودی است. اما در تنش مهندسی، $S = \frac{F}{A_0}$ به علت ثابت بودن سطح مقطع اولیه و کاهش نیرو، تنش تا نقطه شکست کاهش می یابد و لذا منحنی از نقطه گلویی شدن تا این نقطه نزولی است.



مولفه های تنش

در حالت ۳ بعدی، ۱۸ مولفه تنش در یک نقطه از جسم وجود دارد که با بکارگیری معادلات تعادل نیرو، تنش های متناظر در صفحات مقابل با هم برابر و در جهت عکس هستند لذا مولفه های تنش به ۹ عدد کاهش می یابند. با بکارگیری معادلات تعادلی گشتاور خواهیم دید که تنش های برشی در صفحات مجاور با هم برابرند، لذا در نهایت برای مشخص کردن حالت تنش در یک نقطه از جسم به ٦ مولفه مستقل نیاز داریم.



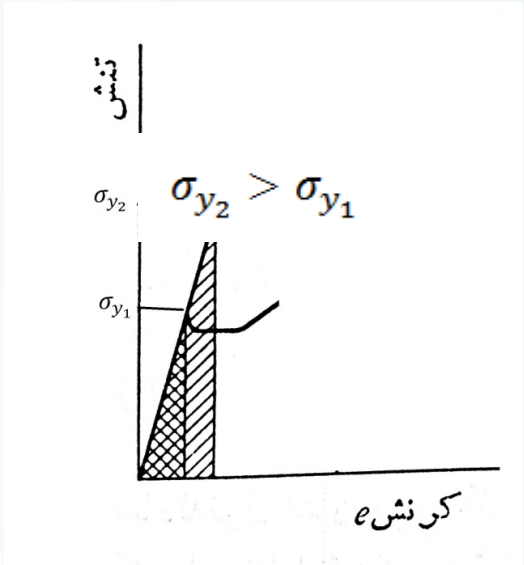
برجهندگی یا رفتار فنری (Resilience)

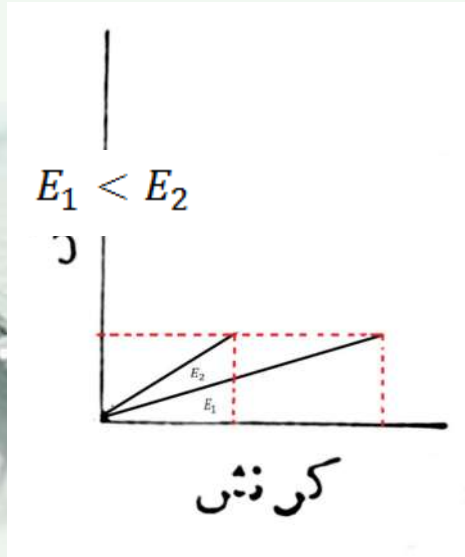
رفتار فنری مشخص می کند که ماده حداکثر چه مقدار انرژی را در تغییرشکل الاستیکی می تواند در خود ذخیره کند، بدون آن که هیچ نوع تغییرشکل پلاستیکی در آن ایجاد شود. سطح زیر منحنی در محدوده الاستیک ($\frac{1}{2}\sigma\varepsilon = \int_0^{\varepsilon_y} \sigma\, d\varepsilon$) یا مقدار جذب انرژی لازم برای تغییرشکل واحد حجم یک ماده از صفر تا نقطه شروع تغییرشکل پلاستیکی (σ_y) را برجهندگی گویند.

برجهندگی

هرچه حد الاستیکی (حد تسلیم) بالاتر و مدول الاستیک کمتر باشد، قابلیت جذب انرژی در محدوده الاستیک، بالاتر و برجهندگی بیشتر است.

$$\frac{1}{2}\sigma\varepsilon = \int_0^{\varepsilon y} \sigma d\varepsilon \qquad \sigma y \text{ کرنش به اندازه ی}$$





چقرمگی (Toughness)

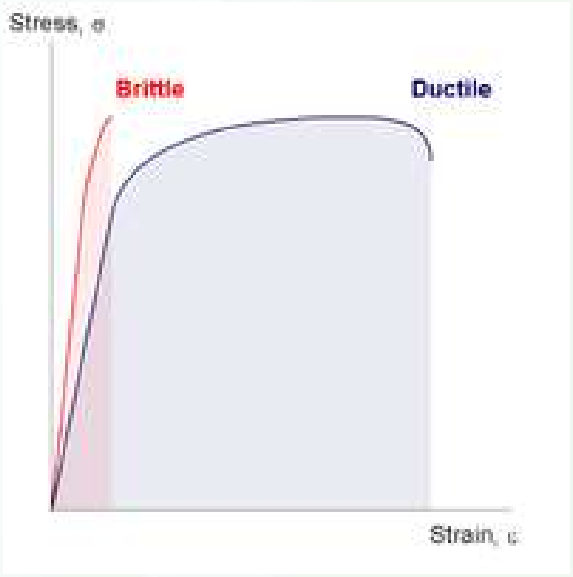
مقدار انرژی لازم جهت شکستن قطعه

نیرو × فاصله = انرژی

$$\int_0^{\varepsilon} \sigma \, d\varepsilon$$

چقرمگی = سطح زیر منحنی تنش- کرنش

چقرمگی: مقدار کار لازم برای آن که واحد حجم ماده را از تنش صفر به تنش پارگی برساند. انرژی لازم برای شکست ماده چقرمه بیشتر از ماده ترد است.



خواص مکانیکی

شکل پذیر یا داکتیل (Ductile)

امکان تغییر شکل پلاستیک مواد جامد در دمای معمول بدون شکست.

اکثر فلزات دارای این خاصیت بوده، اما شیشه و اکثر سرامیک ها در دمای معمول، شکل پذیر نبوده و تغییرشکل پلاستیک نمی دهند.

چکش خواری

خاصیت قابلیت تغییر شکل تحت اعمال بار فشاری.

همه مواد داکتیل، چکش خوار هستند اما عکس آن صادق نیست، چون ممکن است استحکام کششی مناسبی نداشته باشند.

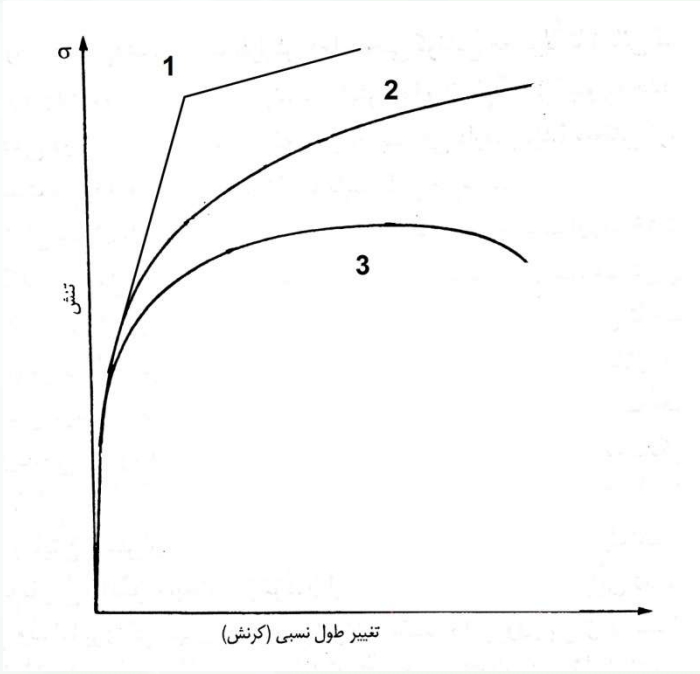
خواص مکانیکی

منحنی ۱) استحکام بالا/ داکتیلیتی پایین/ چقرمگی پایین

منحنی ۲) استحکام بالا/ داکتیلیتی بالا/ چقرمگی بالا

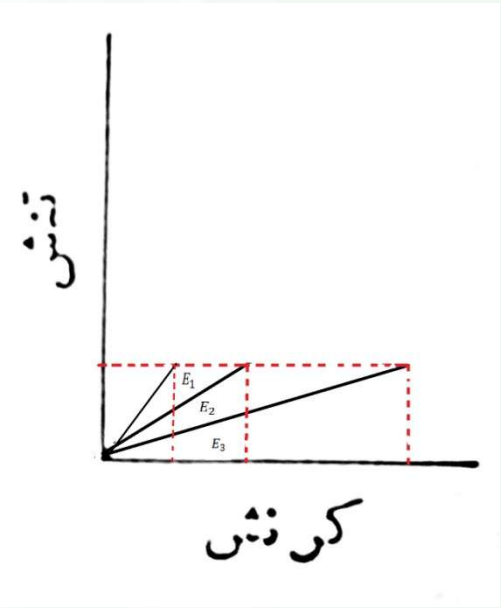
منحنی ۳) استحکام پایین/ داکتیلیتی بالا/ چقرمگی پایین

داکتیلیتی و استحکام بالا بطور توام سبب چقرمگی بالا می شوند.



سفتی (Stiffness)

سفتی یا صلابت، مقاومت ماده در برابر تغییرشکل است که با مدول الاستیک (کشسانی) متناسب است. انعطاف پذیری عکس سفتی است. قطعه ای که در منطقه ارتجاعی تغییرشکل دهد، انعطاف پذیر است. انعطاف پذیری را با تست خمش تعیین می کنند. هر چه ماده مدول الاستیک بیشتری داشته باشد، سفت تر و تغییرشکل الاستیک کمتر است. ماده صلب، مدول الاستیک بسیار بالایی دارد. نهایت سفتی، صلب بودن کامل است.



اگر $E_1 > E_2 > E_3$ باشد، به ازای تنش ثابت داریم: $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$