

BMM 205

Malzeme Biliminin Temelleri

Malzemelerin Mekanik Özellikleri Bölüm - 1

Dr. Ersin Emre Ören

**Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü**

**TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara - TÜRKİYE**

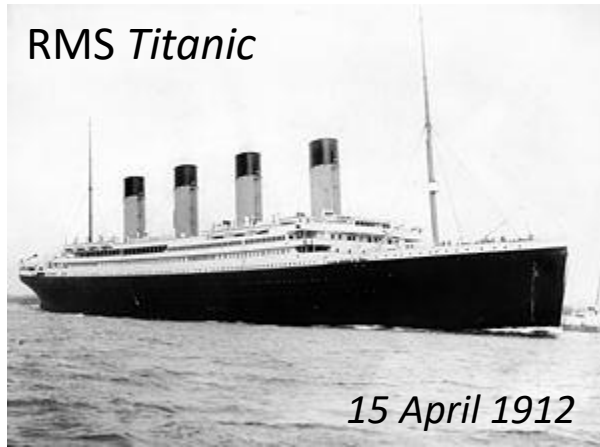
eeoren@etu.edu.tr

<http://eeoren.etu.edu.tr>



**BİYONANOTASARIM
LABORATUVARI**

Mekanik Özellikler:



Japan Airlines Flight 123



12 August 1985

Space Shuttle *Challenger*



January 28, 1986

Eschede train disaster

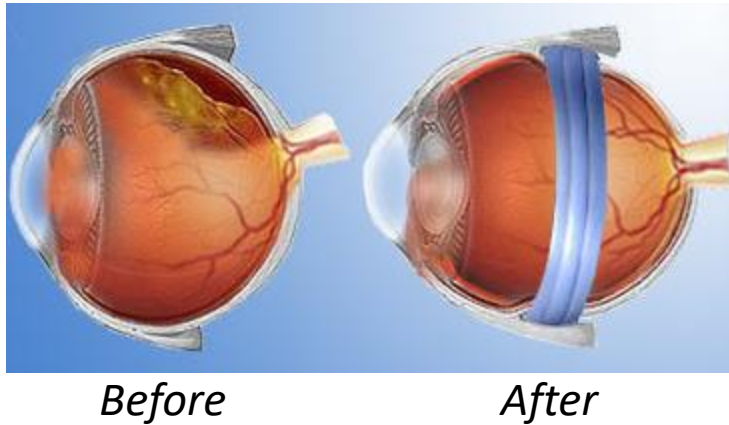


3 June 1998

Retinal detachment is a disorder of the eye in which the retina peels away from its underlying layer of support tissue.



A **scleral buckle** is one of several ophthalmologic procedures that can be used to repair a retinal detachment.



poly(methyl acrylate-co-2-hydroxyethyl acrylate)

The dry polymer, shaped as a band or ring, placed as a “belt” around the sclera, expands through hydration to create an indentation in the zone of the retinal detachment to reestablish retinal contact.

The device is left in place as a permanent implant (infact “exoplant”).

This hydrogel device, introduced into clinical practice in the 1980s, apparently performed satisfactorily for years as an approved product.

Since mid 1990s hydrogel scleral buckles are no longer used in retinal surgery...

poly(methyl acrylate-co-2-hydroxyethyl acrylate)

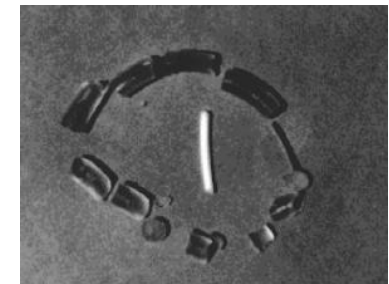
In the 1990s, reports of long-term complications of these hydrogel scleral buckles began to surface.

The hydrogel structures resumed swelling, sometimes with fragmentation, after maintaining stable dimensions for years.

Those buckles remained in place for 7 to 15 years, with a mean time of 10.7 years. In a study of 15 patients with 17 scleral buckles, all reported complications within 4 to 14 years.

Removal of the buckles was technically difficult and post-operative complications were significant, although immediate palliative relief was experienced after surgery.

Pressures applied to the eye by the swelling have led to blindness and loss of the eyeball.



J. J. Kearney et al. Am. J. Ophthalm., 137 (2004).

Secondary Variables and Units (SI):

velocity

acceleration

force

energy

power



1 m

1 m

$\Delta t = 1\text{ s}$

Horsepower (hp)?



Gerilme (Stress): Birim alana uygulanan kuvvet

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

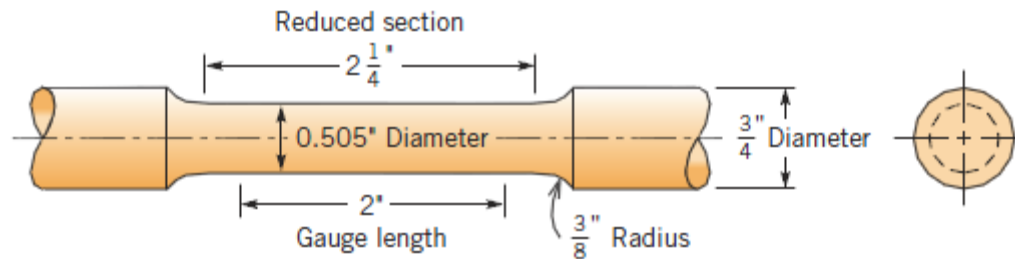
$$\frac{lb}{in^2} = 1 \text{ psi}$$

Paskal

$$1 \text{ psi} = 6.89 \text{ kPa}$$

Gerilme (Strain): Birim uzunlukta meydana gelen boyutsal değişim

$$\frac{cm}{cm}$$

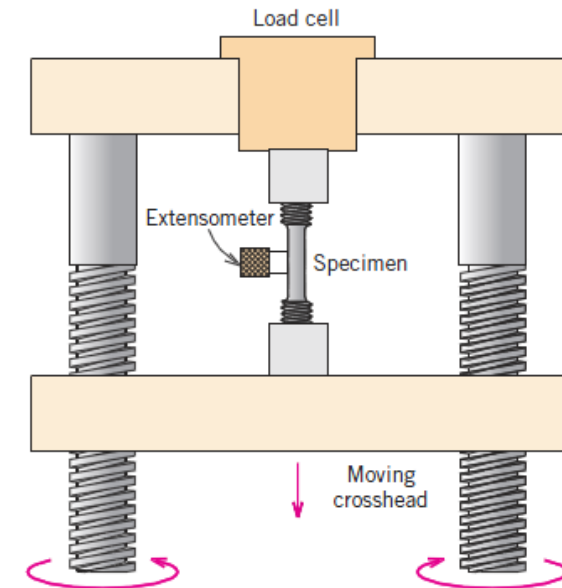


Mühendislik Gerilmesi (Engineering Stress):

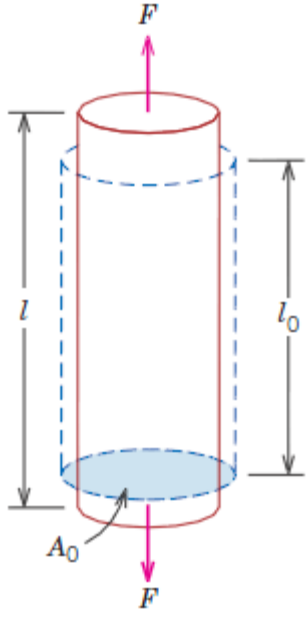
$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Mühendislik Gerilmesi (Engineering Strain):

$$\varepsilon = \frac{l - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l}$$

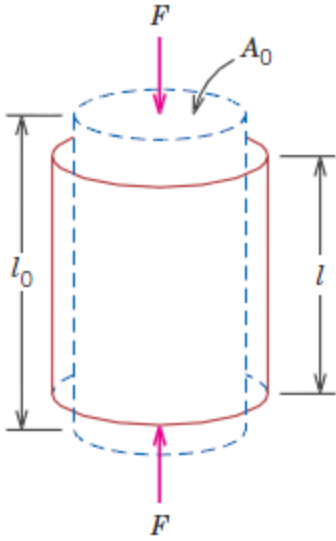


Çekme (Tensile)



Uzama

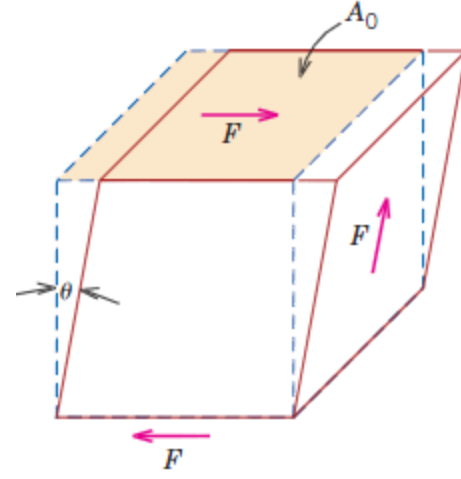
Basma (Compressive)



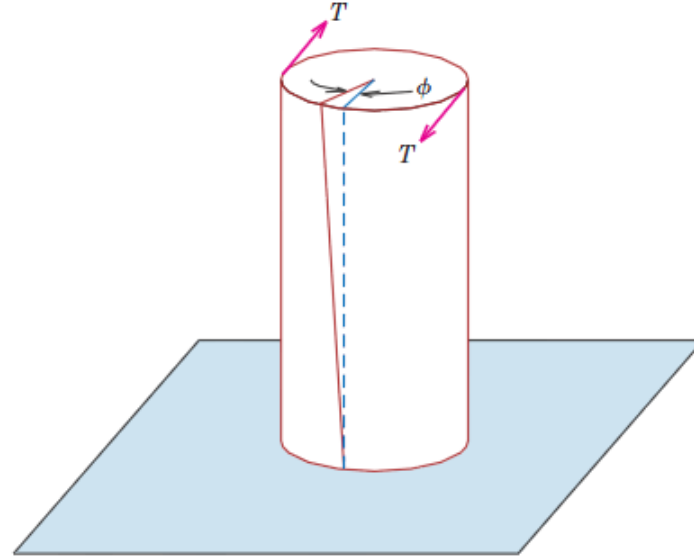
Kısalma

Dik (normal) gerilmelerdir (Kuvvet uygulanan alana diktir)

Kesme (Shear)

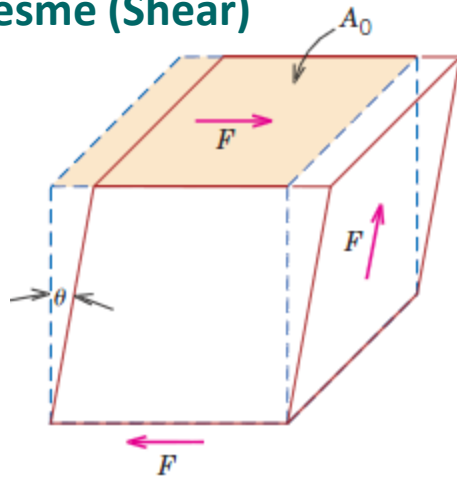


Burma (Torsion)



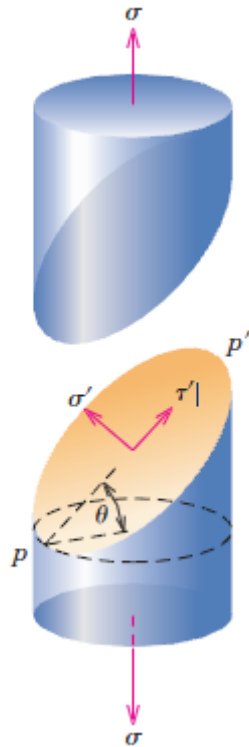
Paralel gerilmedir (Kuvvet uygulanan alana paraleldir)

Kesme (Shear)



Kesme Gerilmesi (Shear Stress): $\tau = \frac{F}{A_0}$

Kesme Gerinmesi (Shear Strain): $\gamma = \tan(\theta)$

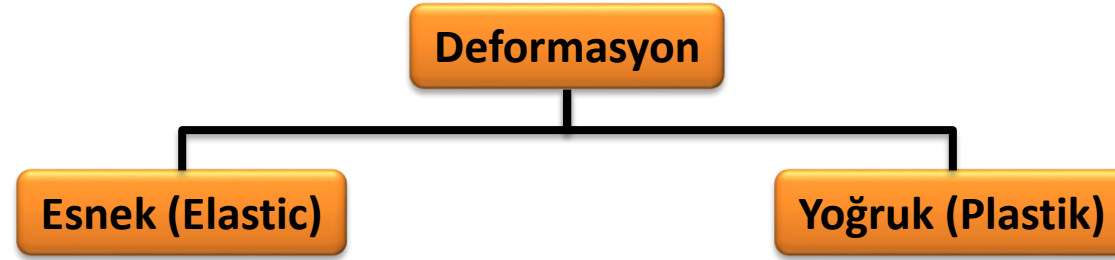


$$\sigma' = \sigma \cos^2 \theta = \sigma \left(\frac{1 + \cos 2\theta}{2} \right)$$

$$\tau' = \sigma \sin \theta \cos \theta = \sigma \left(\frac{\sin 2\theta}{2} \right)$$

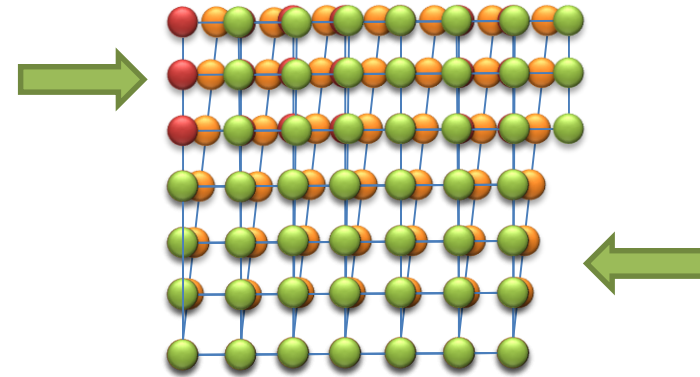
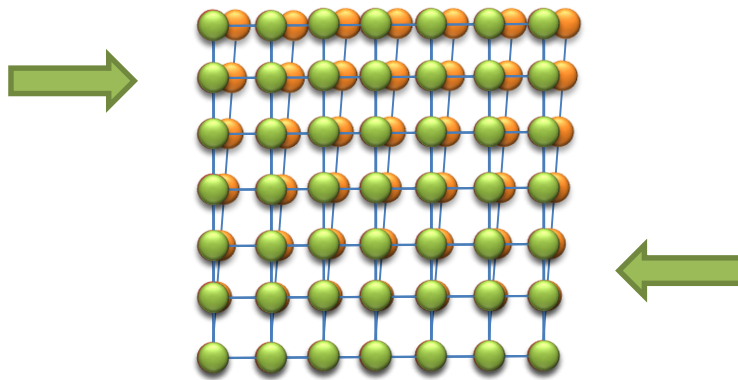
Şekil Değişikliği veya Deformasyon (Deformation)

Uygulanan kuvvet veya yük altında meydana gelen şekil değişikliklerine deformasyon denir...



- Şekil değişiklikleri kalıcı değildir.
- Yük otadan kalktığı zaman eski haline döner...

- Şekil değişiklikleri kalıcıdır.
- Yük otadan kalksa bile şekil değişiklikleri zamanla eski haline dönmez...



Gerilim – Gerinim Davranışları

Malzemelerde olan gerinimler malzemeye uygulanan gerilime bağlıdır.

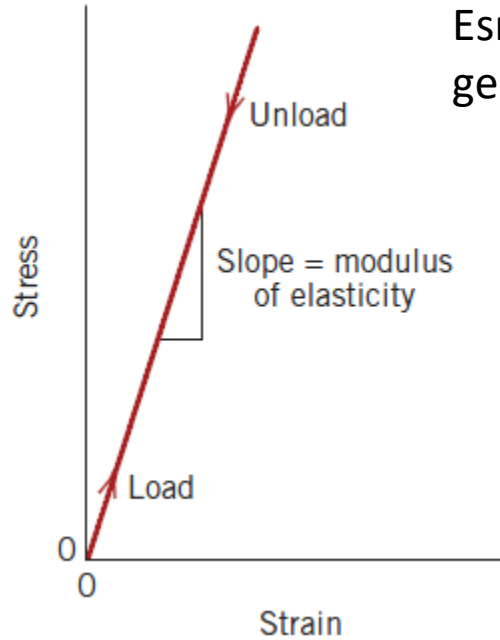
Gerilim ve gerinimin birbirleri ile doğru orantılı olduğu deformasyona esnek deformasyon denir.

$$\sigma = E\varepsilon$$

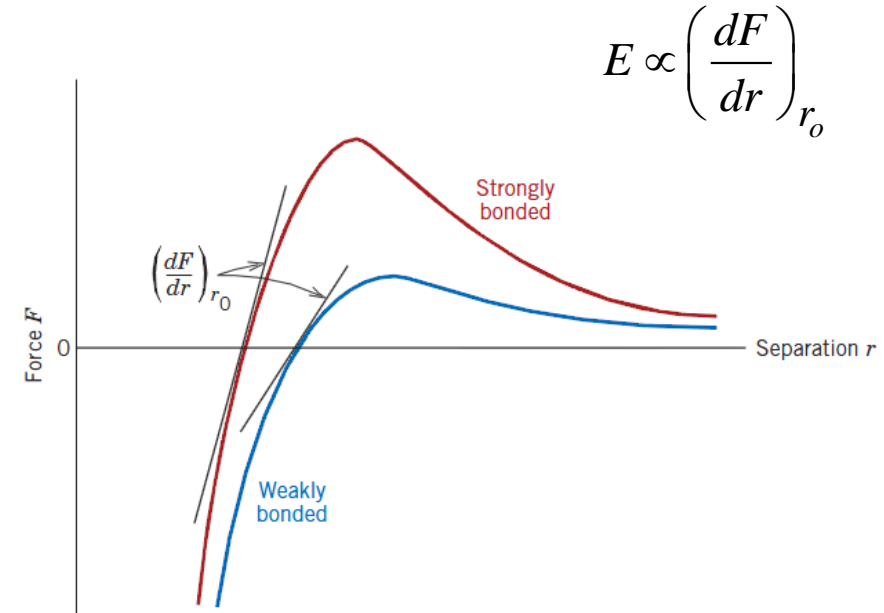


Esneklik Modülü (Modulus of elasticity):

Esnek deformasyon bölgesinde gerilim – gerinim grafiğinin eğimine denir.



<i>Metal Alloy</i>	<i>GPa</i>
Aluminum	69
Brass	97
Copper	110
Magnesium	45
Nickel	207
Steel	207
Titanium	107
Tungsten	407



$$E \propto \left(\frac{dF}{dr} \right)_{r_0}$$



Thomas Young
1773-1829

Anelastisite (Anelaticity): (Elastik deformasyonun zamana bağımlılığı)

Gerçekte bir yükleme yapıldığı zaman oluşan deformasyon zamana bağlı olarak değişir. Aynı şekilde yük kaldırıldığı zaman elastik malzemenin eski haline dönmesi zaman alır.

Metallerde bu zaman normalde oldukça küçüktür. Ama bazı polimerik malzemelerde bu zaman dikkat çekici büyüklükte olabilir ve bu tip davranışlara **viskoelastik** davranış denir.

Soru
305 mm uzunluğunda bir bakır tel 276 MPa'lık bir gerilim altında çekilmektedir. Deformasyonun tamamen elastik olduğu kabul edilirse bu yük altında teldeki uzama miktarını hesaplayınız.

$$E_{Cu} = 110 \text{ GPa}$$

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{\Delta l}{l_0}$$



$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

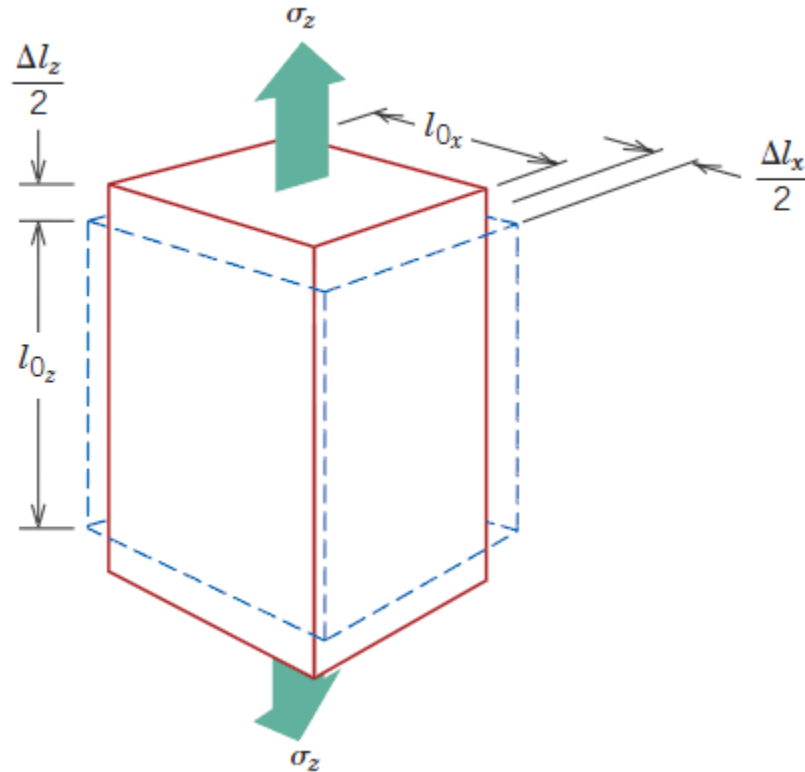


$$\Delta l = \frac{276 \text{ MPa} \cdot 305 \text{ mm}}{110 \times 10^3 \text{ MPa}} = 0.77 \text{ mm}$$

Malzemelerin Esneklik (elastic) Özellikleri

Malzemelere bir çekme kuvveti uygulandığında kuvvet yönünde bir elastik uzama yani gerinim ε_z oluşur.

buna karşılık kuvvet yönüne dik boyutlarda ise bir kısalma yani basma gerinimleri ε_x ve ε_y oluşur.



Poisson oranı: yanal ve eksenel gerinimlerin oranı

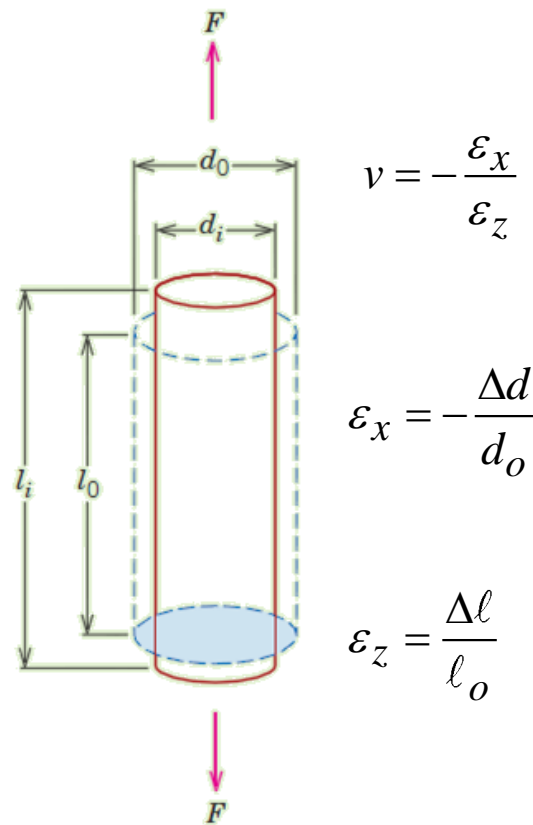
$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

<i>Metal Alloy</i>	<i>Poisson's Ratio</i>
Aluminum	0.33
Brass	0.34
Copper	0.34
Magnesium	0.29
Nickel	0.31
Steel	0.30
Titanium	0.34
Tungsten	0.28

Soru

Çapı 10 mm olan silindir şeklindeki prinç (brass) tele çekme gerilimi uygulanmaktadır. Bu telin çapında 2.5×10^{-3} mm'lik değişikliğe neden olan yükü hesaplayınız.

$$\nu_{Brass} = 0.34 \quad E_{Brass} = 97 \text{ GPa}$$



$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z}$$

$$\varepsilon_x = -\frac{\Delta d}{d_0}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} \Rightarrow \varepsilon_x = \frac{-2.5 \times 10^{-3} \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = -2.5 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_z = -\frac{\varepsilon_x}{\nu} \Rightarrow \varepsilon_z = -\frac{-2.5 \times 10^{-4}}{0.34} = 7.35 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = E \varepsilon_z \Rightarrow \sigma = 97 \times 10^3 \text{ MPa} \times 7.35 \times 10^{-4} = 71.3 \text{ MPa}$$

$$F = \sigma A \Rightarrow F = 71.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \pi \left(\frac{10 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2 = 5600 \text{ N}$$

Soru

20 kişilik (2 ton) bir asansörü tek bir çelik halat ile güvenli bir şekilde çalıştırmamız isteniyor. Çelik halatın boyu 1000 cm ise ve telin yük altında en fazla 0.188 cm uzama toleransı varsa bu telin kalınlığı ne kadar olmalıdır.

$$E_{Steel} = 207 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow \varepsilon_z = \frac{0.188 \text{ cm}}{1000 \text{ cm}} = 1.88 \times 10^{-4} \quad F = mg \Rightarrow F = 2000 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$= 19620 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 19620 \text{ N}$$

$$\sigma = E\varepsilon_z \Rightarrow \sigma = 207 \times 10^3 \text{ MPa} \times 1.88 \times 10^{-4}$$

$$= 38.916 \text{ MPa}$$

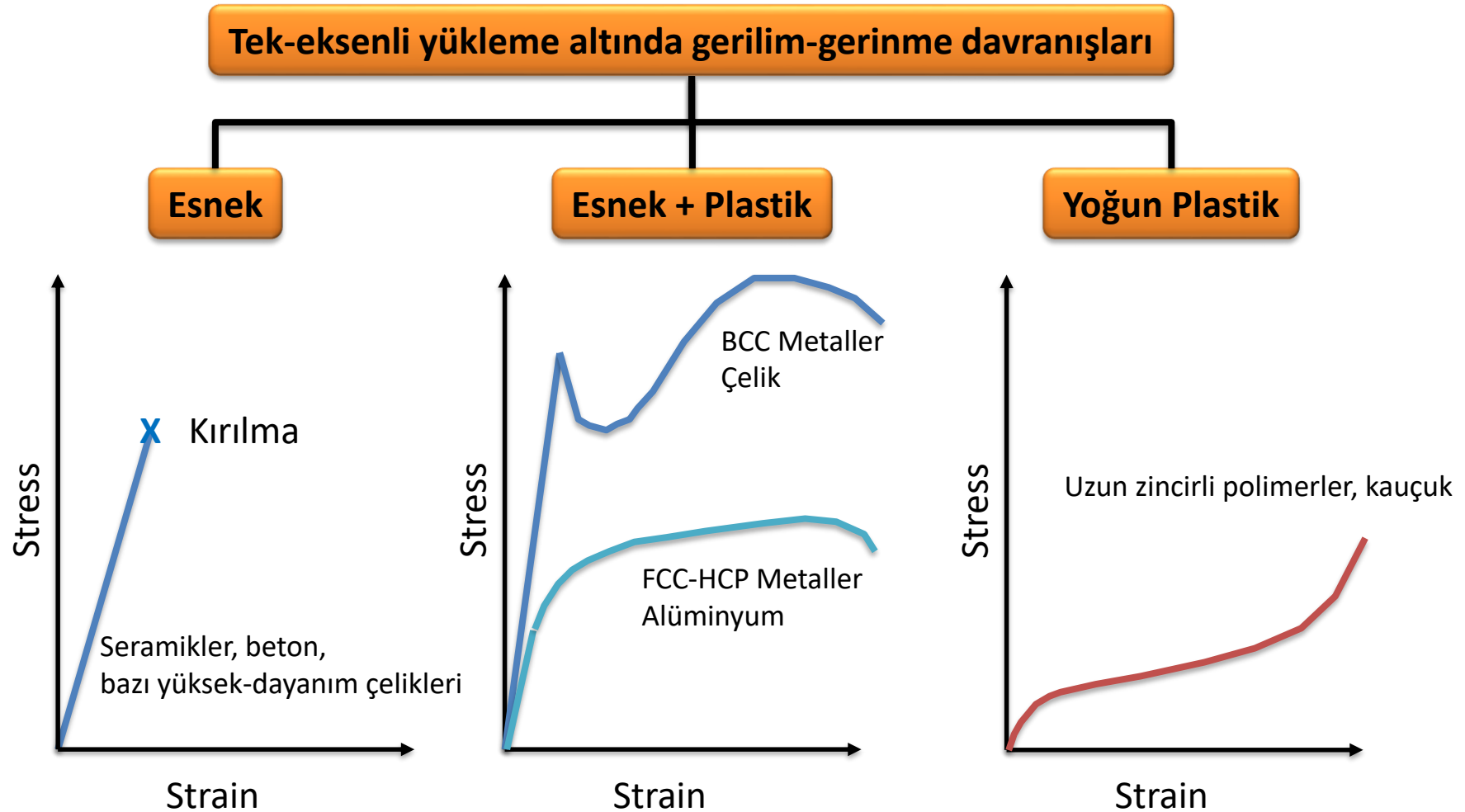
$$F = \sigma A \Rightarrow A = \frac{19620 \text{ N}}{38.916 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 5.042 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{5.042 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$= 1.3 \text{ cm}$$

Plastik (Yoğruk) Deformasyon:

Metallerin birçoğunda esnek deformasyon sadece çok küçük gerilmelere kadar olur. $\epsilon = 0.005$

Malzeme daha fazla deformasyona uğrarsa gerilme ile gerinme arasındaki doğrusal ilişki ortadan kalkar ve kalıcı yani plastik (yoğruk) deformasyon oluşur.

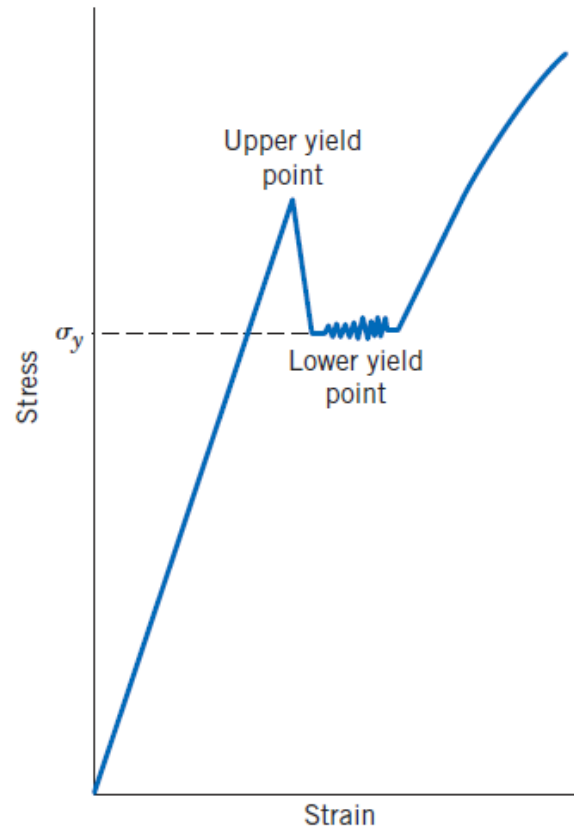
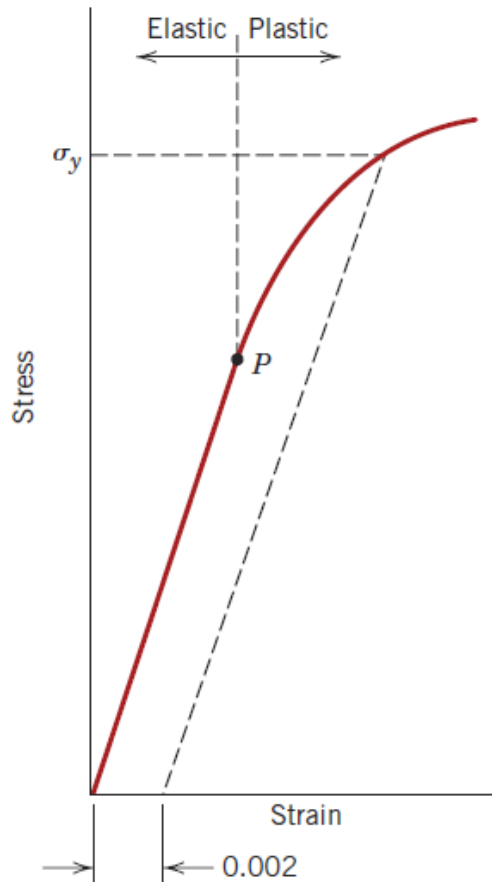


Plastik (Yoğruk) Deformasyon:

Metallerin birçoğunda esnek deformasyon sadece çok küçük gerinmelere kadar olur. $\varepsilon = 0.005$

Malzeme daha fazla deformasyona uğrarsa gerilme ile gerinme arasındaki doğrusal ilişki ortadan kalkar ve kalıcı yani plastik (yoğruk) deformasyon oluşur.

Esnek deformasyon – Plastik deformasyon geçişi



Akma Dayanımı (Yield Strength):

Esnek deformasyonun bitip plastik deformasyonun başladığı gerilim

$$\sigma_y$$

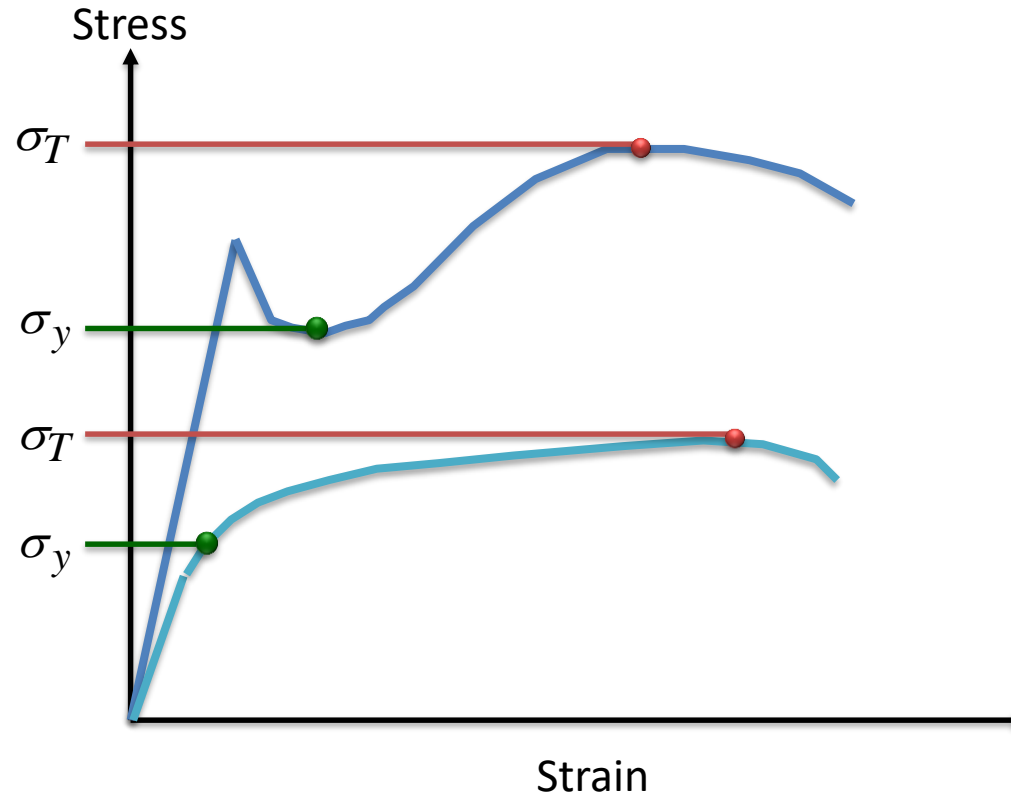
Metaller için akma dayanımı değerleri:

$$35 \text{ MPa} \leq \sigma_y \leq 1400 \text{ MPa}$$

Akma Dayanımı (Yield Strength): Esnek deformasyonun bitip plastik deformasyonun başladığı gerilim.

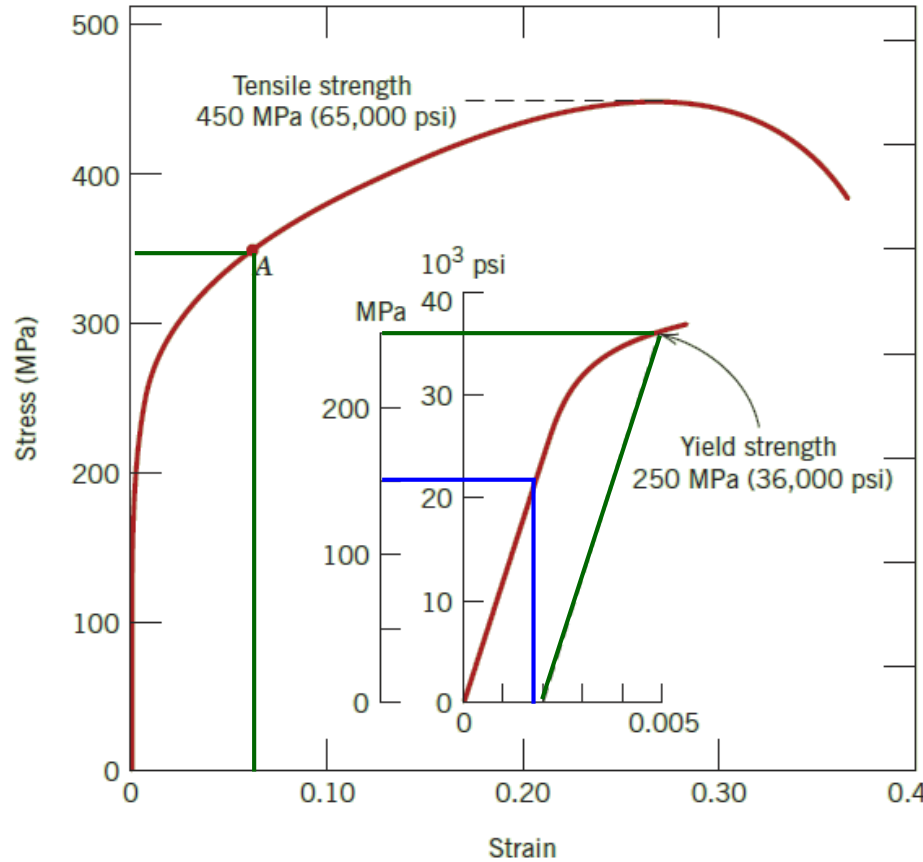
Çekme veya Kopma Dayanımı (Tensile Strength): Akma olayının başlamasından sonra plastik deformasyonun devam edebilmesi için gereken gerilme belirli bir noktaya kadar artar ve daha sonra boyun verme ile birlikte daha az gerilim altında gerinim artmaya devam eder.

Gerilim-Gerinme eğrisinde ulaşılan en yüksek gerilim değerine **Çekme veya Kopma Dayanımı** denir.



Soru

Aşağıda çekme gerilme-gerinme davranışı verilen pirinç (brass) telin;



- Esneklik modülü;
- Akma dayanımını;
- 12.8 mm çapındaki bir telin taşıyabileceği en fazla yükü
- başlangıçta 250 mm uzunluğa sahip bir telin 345 MPa çekme gerilimi altındaki uzama miktarını hesaplayınız.

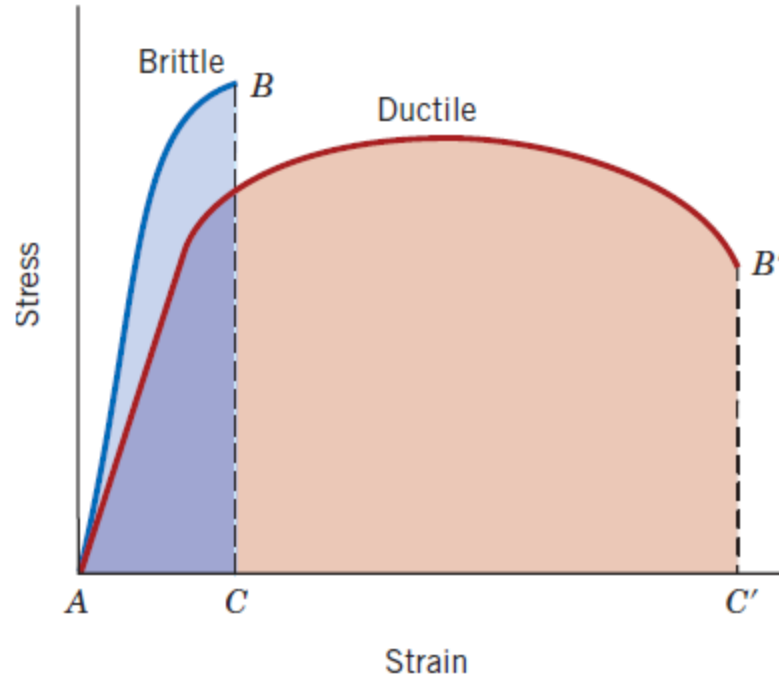
$$a) E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \Rightarrow E = \frac{150 - 0}{0.0016 - 0} = 93.8 \text{ GPa}$$

$$b) \sigma_y = 250 \text{ MPa}$$

$$c) \sigma_T = 450 \text{ MPa} \Rightarrow F = \sigma_T A_0 = 450 \text{ MPa} \times \pi \left(\frac{12.8 \times 10^{-3}}{2} \right)^2 = 57.90 \text{ kN}$$

$$d) \Delta l = \varepsilon l_0 \Rightarrow \Delta l = 0.06 \times 250 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

Süneklik (Ductility): Malzemelerin bir diğer önemli mekanik özelliğide süneklidir.



Süneklik Hesabı:

Yüzde uzama:

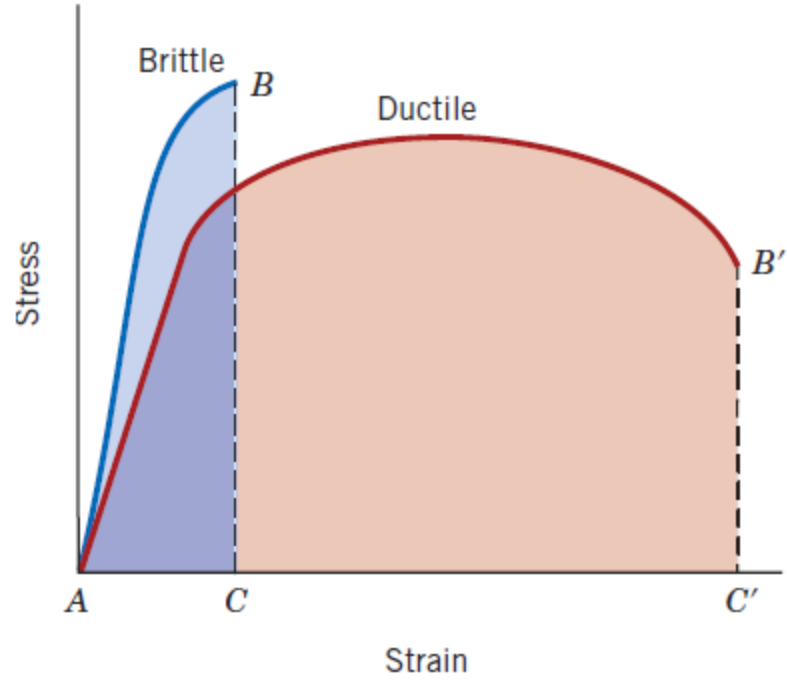
$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) \times 100$$

Yüzde alan daralması:

$$\%RA = \left(\frac{A_o - A_f}{A_o} \right) \times 100$$

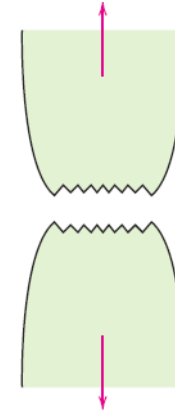
<i>Metal Alloy</i>	<i>Yield Strength MPa (ksi)</i>	<i>Tensile Strength MPa (ksi)</i>	<i>Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)]</i>
Aluminum	35 (5)	90 (13)	40
Copper	69 (10)	200 (29)	45
Brass (70Cu-30Zn)	75 (11)	300 (44)	68
Iron	130 (19)	262 (38)	45
Nickel	138 (20)	480 (70)	40
Steel (1020)	180 (26)	380 (55)	25
Titanium	450 (65)	520 (75)	25
Molybdenum	565 (82)	655 (95)	35

Sünek ve Kırılğan Malzemeler:



Kırılğan

Soğuk metaller,
Seramikler.



Sünek

Alüminyum (Al)



Çok sünek

Kurşun (Pb),
Altın (Au).



Alüminyum (Al)



Çelik

Soru

1030 çeliğinden yapılan 12.00 mm çapındaki bir çubuk çekme deneyi ile kopuncaya kadar çekilmektedir. Numunenin kopma bölgesindeki çapı 8.20 mm ölçüldüğüne göre numunedeki yüzde alan daralmasını hesaplayınız.

Yüzde alan daralması:

$$\%RA = \left(\frac{A_o - A_f}{A_o} \right) \times 100$$

$$\Rightarrow \%RA = \left(\frac{\pi r_o^2 - \pi r_f^2}{\pi r_o^2} \right) \times 100 \Rightarrow \%RA = \left(\frac{r_o^2 - r_f^2}{r_o^2} \right) \times 100$$

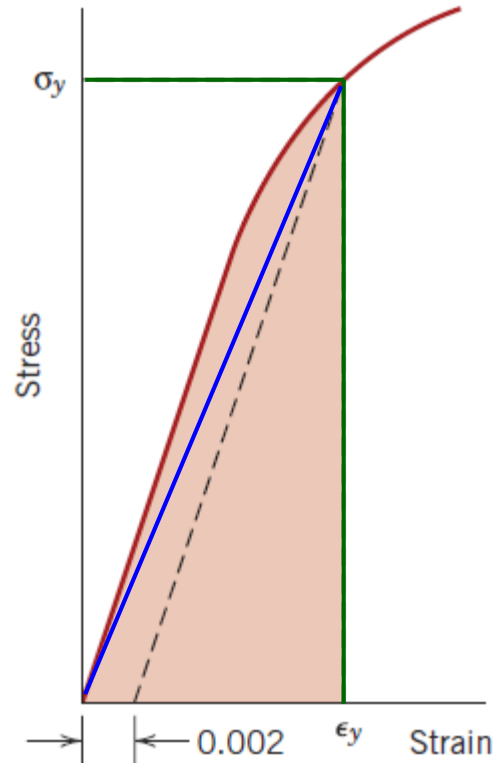
$$\Rightarrow \%RA = \left(1 - \frac{r_f^2}{r_o^2} \right) \times 100$$

$$\Rightarrow \%RA = \left(1 - \frac{8.20^2}{12.00^2} \right) \times 100 = \%53$$

Elastikiyet (Resilience): Bir malzemenin esnek deformasyon sırasında enerji emme kapasitesidir.

Elastikiyet Modülü (Modulus of Resilience):

Bir malzemenin birim hacmini çekme altında akma noktasına kadar getirmek için gereken enerjidir.



$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma \, d\epsilon$$

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} E\epsilon \, d\epsilon = \frac{1}{2} E\epsilon^2 \Big|_0^{\epsilon_y} = \frac{1}{2} E\epsilon_y^2$$

$$U_r = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y$$

$$1 \text{ N} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ J} = \text{N}\cdot\text{m} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}^2}$$

Önümüzdeki Ders Saatinde
Ders Kitabımızın 6. Bölümündeki
MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ
adlı konuya devam edeceğiz!