

BMM 205

Malzeme Biliminin Temelleri

Malzemelerin Mekanik Özellikleri Bölüm - 2

Dr. Ersin Emre Ören

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Ankara - TÜRKİYE

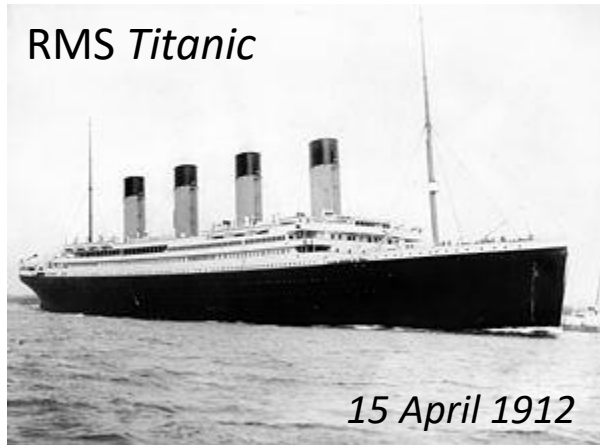
eeoren@etu.edu.tr

<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

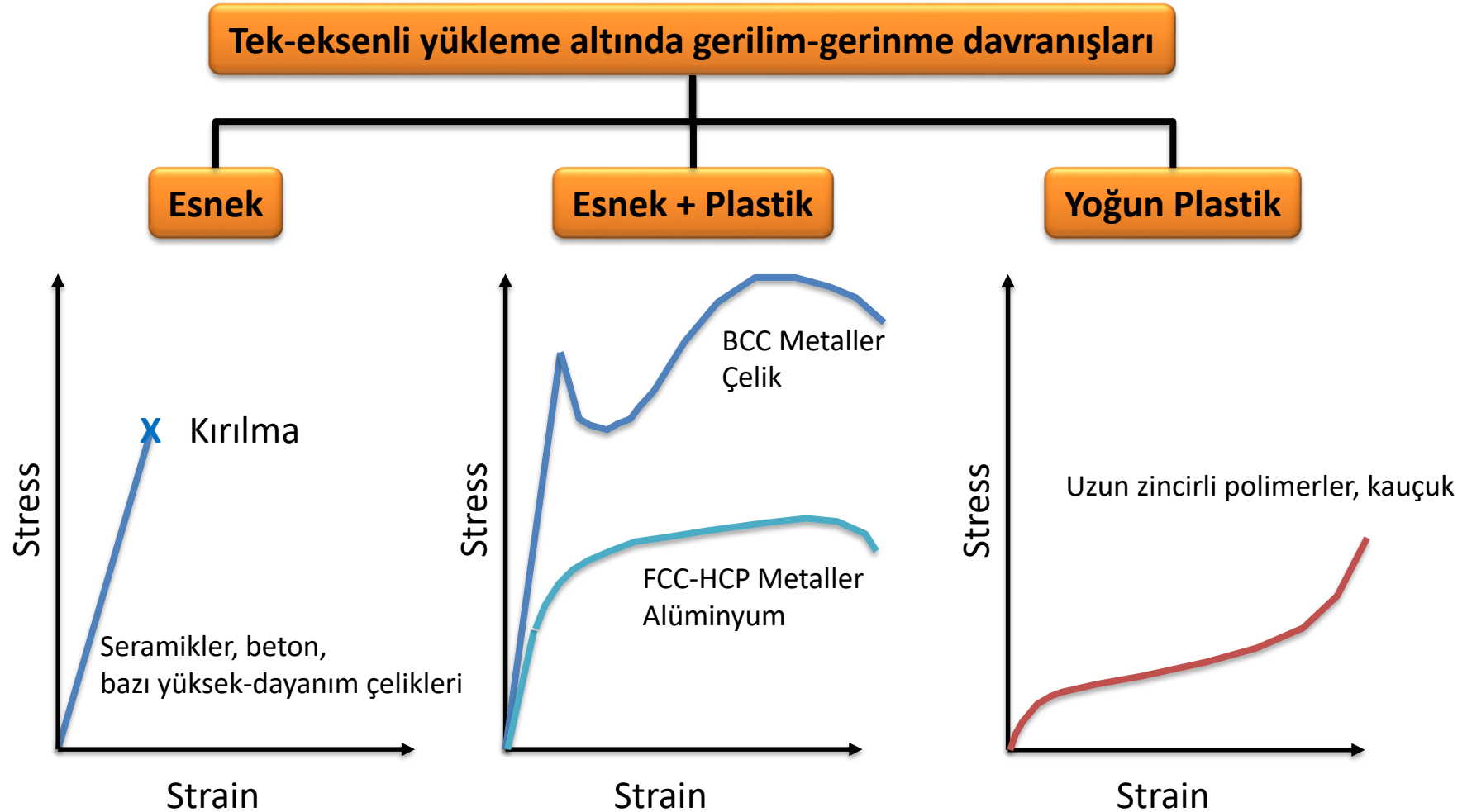


3 June 1998

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.

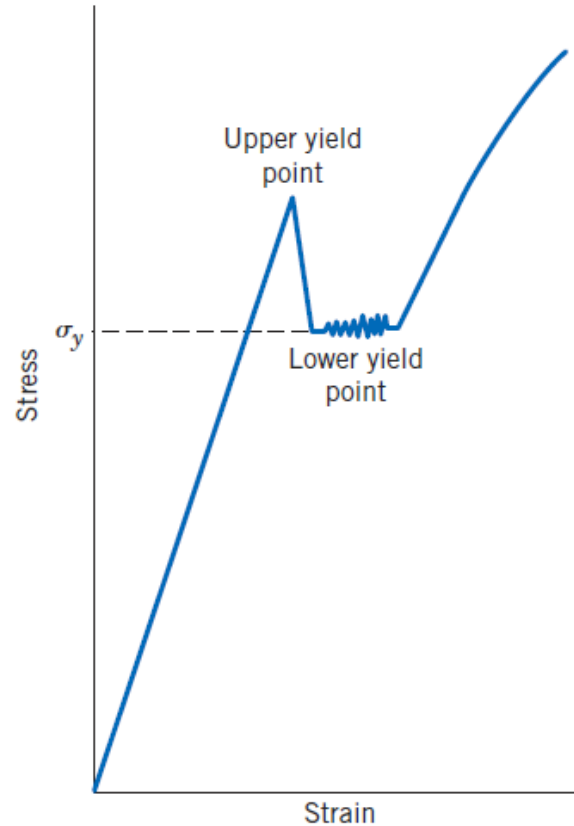
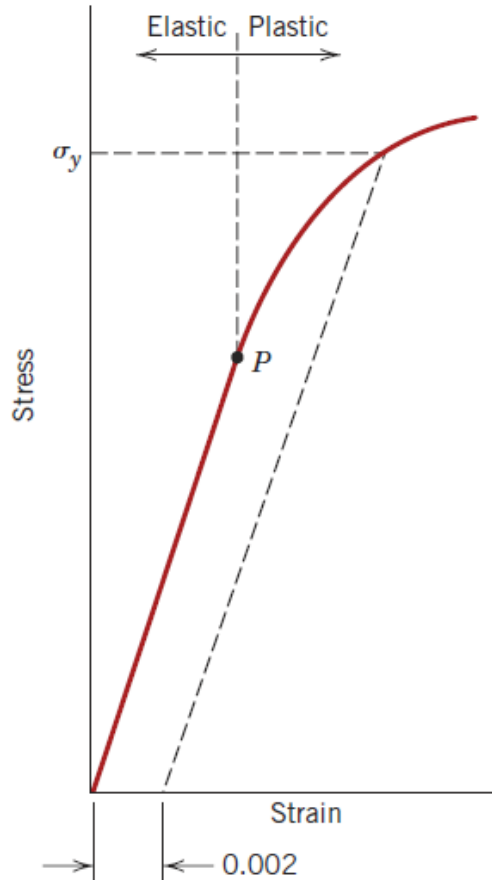


Plastik (Yoğruk) Deformasyon:

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

$$\sigma_y$$

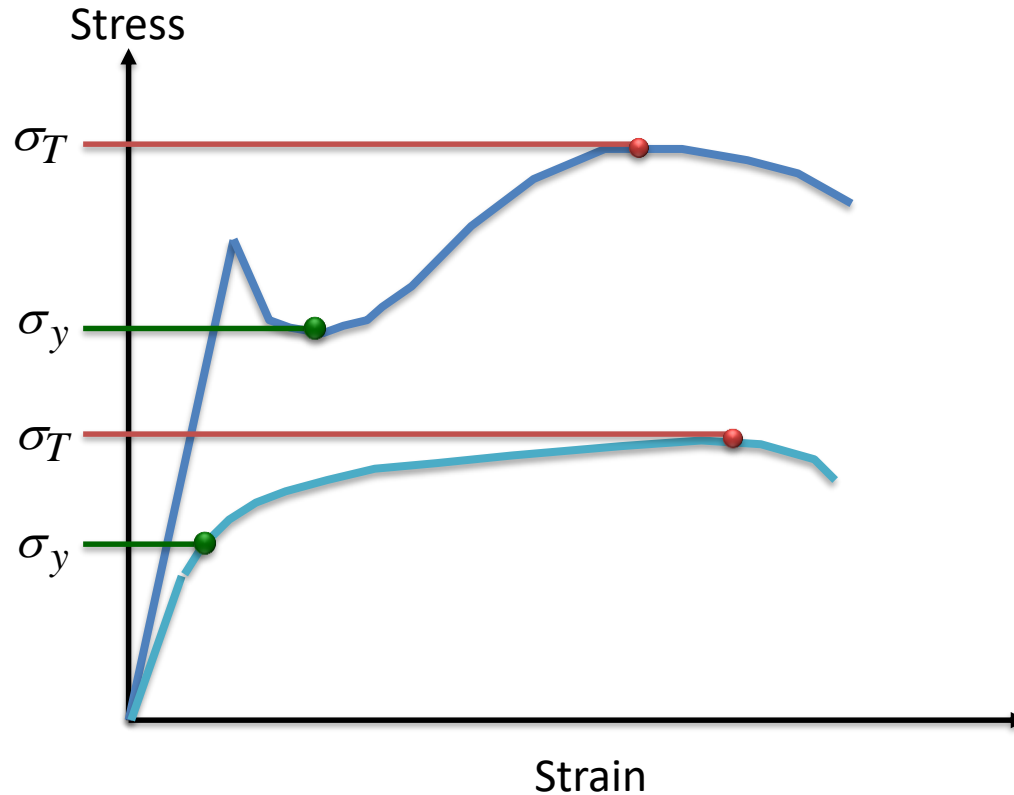
Metaller için akma dayanımı değerleri:

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

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

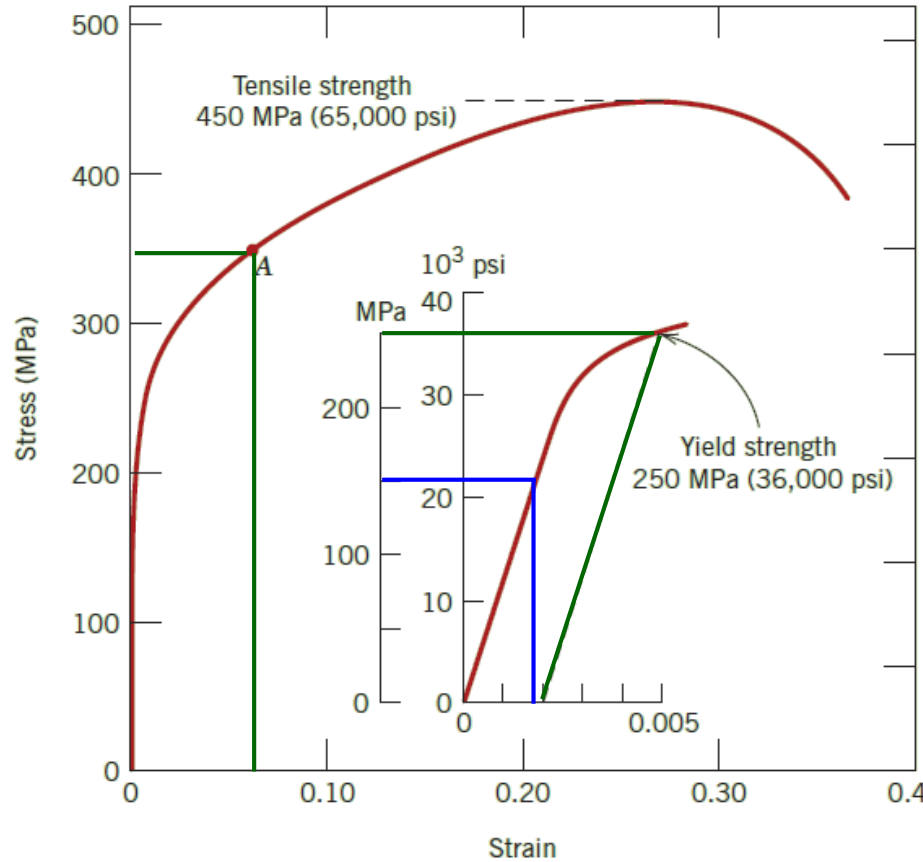
Çekme veya Kopma Dayanımı (Tensile Strength): Akma olayının başlamasından sonra plastik deformasyonun devam edebilmesi için gereken gerilme belirli bir noktaya kadar artar ve daha sonra boyun verme ile birlikte daha az gerilim altında gerinim artmaya devam eder.

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.

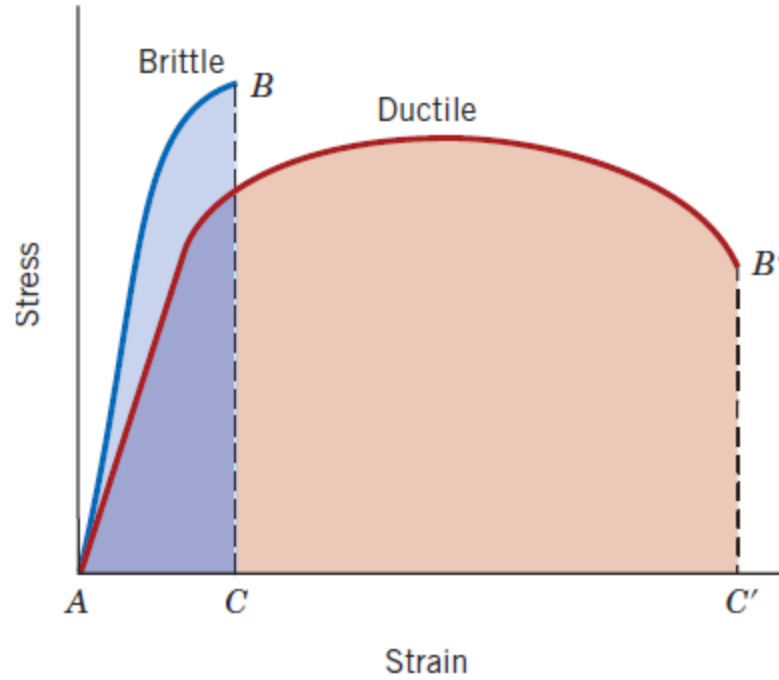
$$a) E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \Rightarrow E = \frac{150 - 0}{0.0016 - 0} = 93.8 \text{ GPa}$$

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

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

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

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



Süneklik Hesabı:

Yüzde uzama:

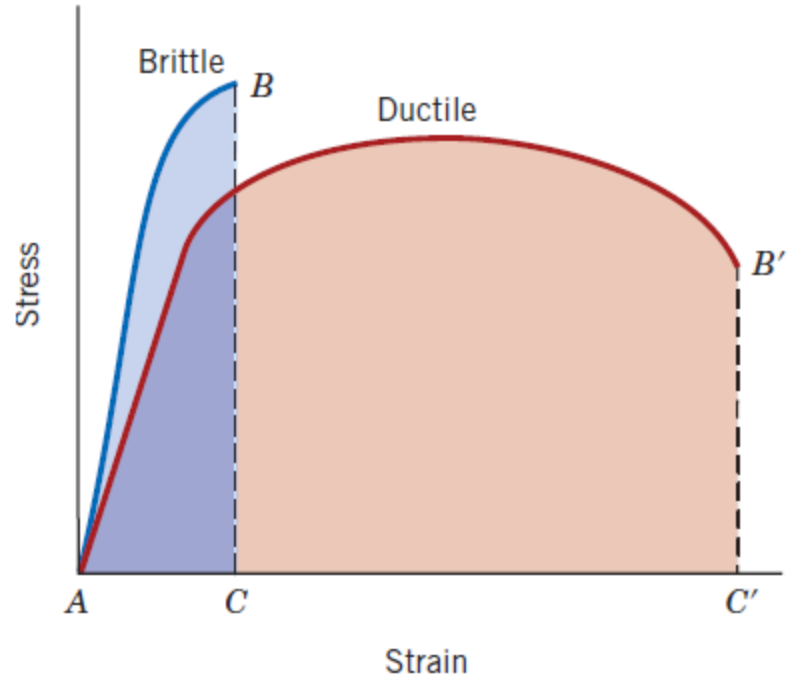
$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) \times 100$$

Yüzde alan daralması:

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

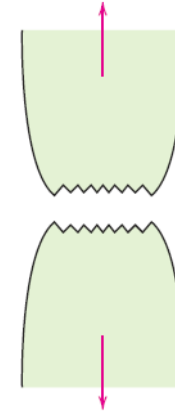
<i>Metal Alloy</i>	<i>Yield Strength MPa (ksi)</i>	<i>Tensile Strength MPa (ksi)</i>	<i>Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)]</i>
Aluminum	35 (5)	90 (13)	40
Copper	69 (10)	200 (29)	45
Brass (70Cu-30Zn)	75 (11)	300 (44)	68
Iron	130 (19)	262 (38)	45
Nickel	138 (20)	480 (70)	40
Steel (1020)	180 (26)	380 (55)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

Sünek ve Kırılgan Malzemeler:



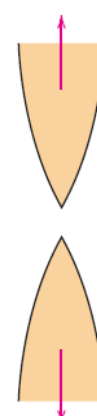
Kırılgan

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:

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

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

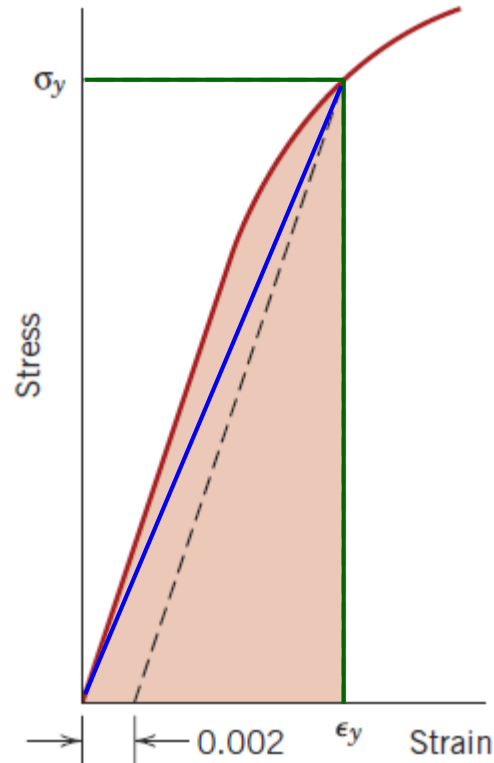
$$\Rightarrow \%RA = \left(1 - \frac{r_f^2}{r_o^2} \right) \times 100$$

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

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.



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

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

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

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

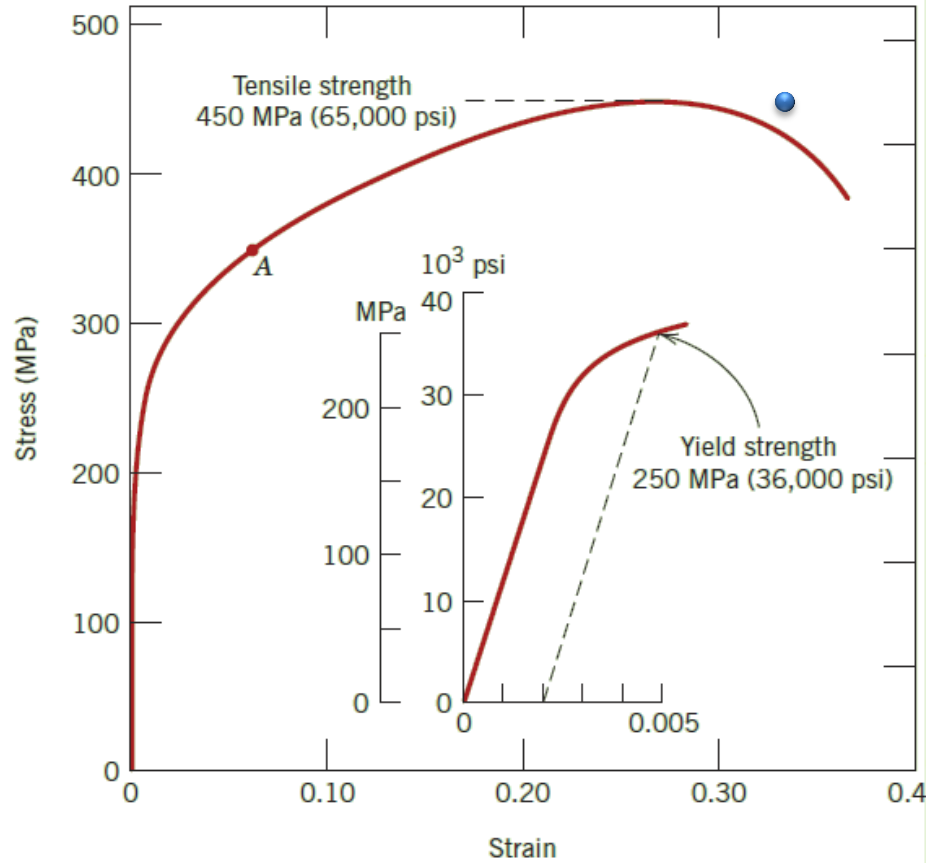
$$1 \text{ N} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

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

Gerçek Gerilim ve Gerçek Gerinim (True stress and strain):

Mühendislik Gerilim ve Gerinimdeki Problemler Nedir?



1. Malzemenin çekme dayanımını aştıktan sonra dayanıklılığının azaldığı yanılgısını verir. Gerçekte malzemenin dayanımı artmaktadır.
2. Çekme ve basma deneyi sonuçları farklıdır.
3. Birbirini takip eden farklı yüklemeler sonucu oluşan gerilimler toplanamaz.

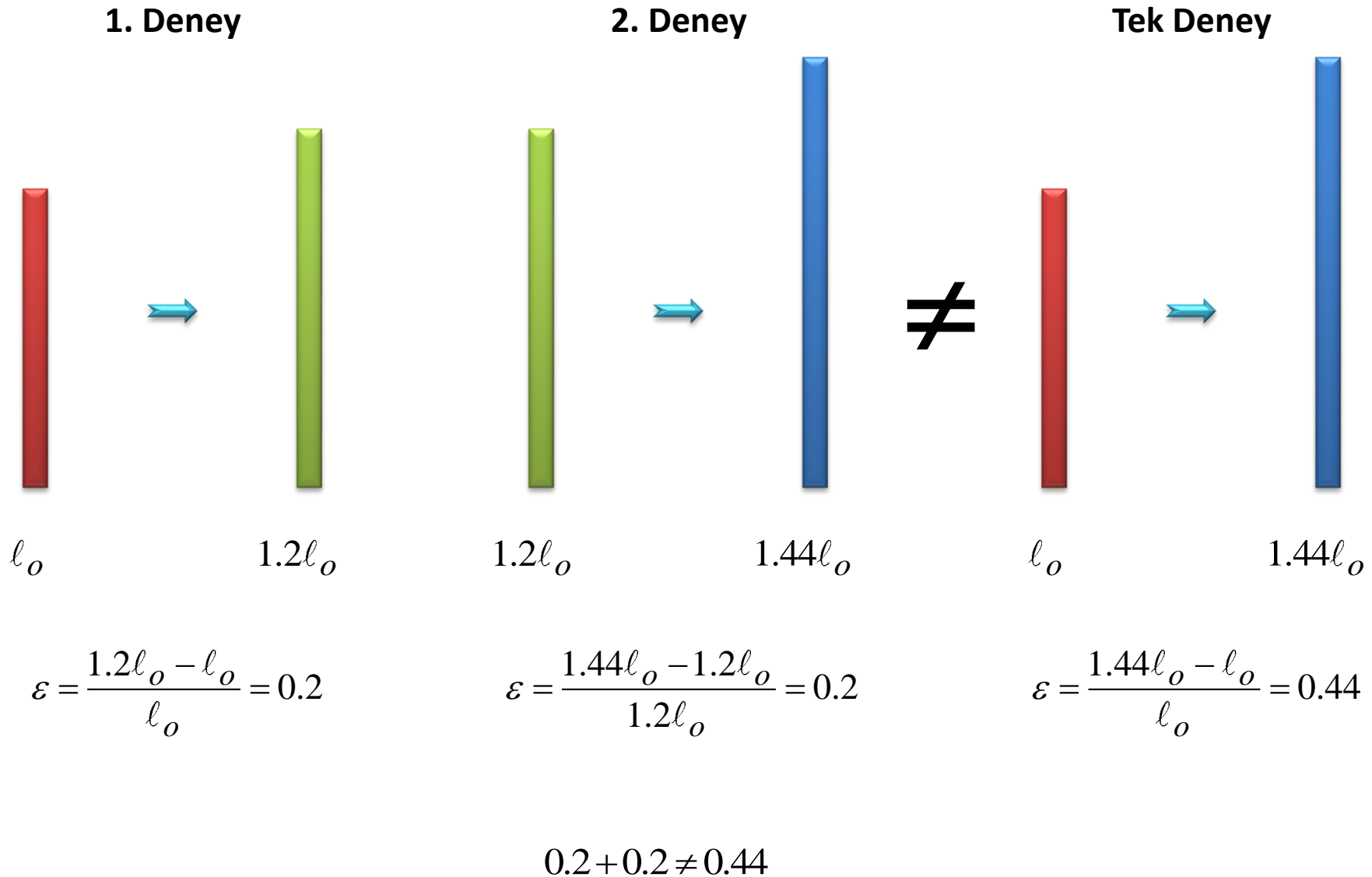
Soru

Boyu l_o olan bir çubuğun çekme (tension) altında boyu $2l_o$ 'ya çıkarılmakta basma altında ise $1/2l_o$ 'ya düşürülmektedir. Oluşan mühendislik gerinmelerini hesaplayınız.

$$\varepsilon_{\text{Çekme}} = \frac{2l_o - l_o}{l_o} = 1$$

$$\varepsilon_{\text{Basma}} = \frac{1/2l_o - l_o}{l_o} = -0.5$$

Gerçek Gerilim ve Gerçek Gerinim (True stress and strain):



Gerçek Gerilim ve Gerçek Gerinim (True stress and strain):

Bu problemler malzeme kesit alanında ve boyundaki değişimlerin göz ardı edilerek hep başlangıç kesit alanı A_o ve başlangıç boyu l_o 'nun kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Gerçek Gerilim (True Stress): $\sigma_T = \frac{F}{A_i}$

Gerçek Gerinim (True Strain): $\epsilon_T = \int_{l_o}^{l_i} \frac{dl}{l} \Rightarrow \epsilon_T = \ln(l) \Big|_{l_o}^{l_i} = \ln(l_i) - \ln(l_o)$

$$\Rightarrow \epsilon_T = \ln\left(\frac{l_i}{l_o}\right)$$

$$\Rightarrow \epsilon_T = \ln\left(\frac{l_o + \Delta l}{l_o}\right) = \ln\left(1 + \frac{\Delta l}{l_o}\right) = \ln(1 + \epsilon)$$

$$\Rightarrow \epsilon_T = \ln(1 + \epsilon)$$

Eğer deformasyon sırasında malzemenin hacmi değişmez ise: $A_o l_o = A_i l_i$

$$\sigma_T = \frac{F}{\frac{A_o l_o}{l_i}} \Rightarrow \sigma_T = \frac{F}{A_o} \frac{l_i}{l_o} \Rightarrow \sigma_T = \sigma \frac{l_o + \Delta l}{l_o} \Rightarrow \sigma_T = \sigma(1 + \epsilon)$$

Gerçek Gerilim ve Gerçek Gerinim (True stress and strain):

Soru

Boyu l_o olan bir çubuğun çekme (tension) altında boyu $2l_o$ 'ya çıkarılmakta basma altında ise $1/2l_o$ 'ya düşürülmektedir. Oluşan mühendislik ve gerçek gerinimleri hesaplayınız.

Çekme

Basma

Mühendislik gerinmesi:

$$\varepsilon = \frac{2l_o - l_o}{l_o} = 1$$

$$\varepsilon = \frac{1/2l_o - l_o}{l_o} = -0.5$$

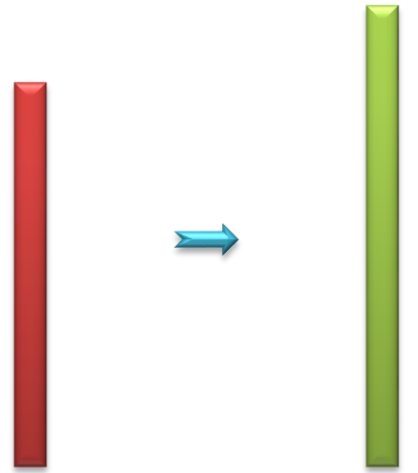
Gerçek gerinme:

$$\varepsilon_T = \ln\left(\frac{2l_o}{l_o}\right) = \ln(2) = 0.693$$

$$\varepsilon_T = \ln\left(\frac{1/2l_o}{l_o}\right) = \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -0.693$$

Gerçek Gerilim ve Gerçek Gerinim (True stress and strain):

1. Deney

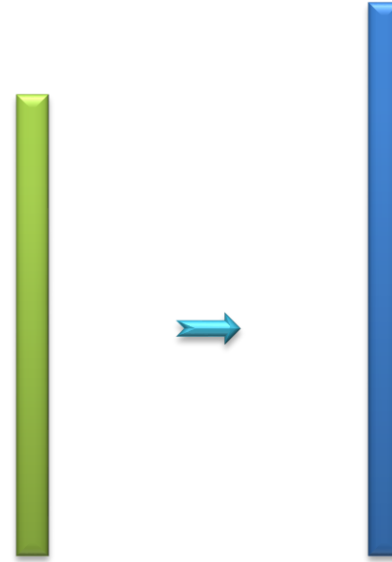


$$l_0 \qquad 1.2l_0$$

$$\varepsilon = \frac{1.2l_0 - l_0}{l_0} = 0.2$$

$$\varepsilon_T = \ln\left(\frac{1.2l_0}{l_0}\right) = 0.182$$

2. Deney

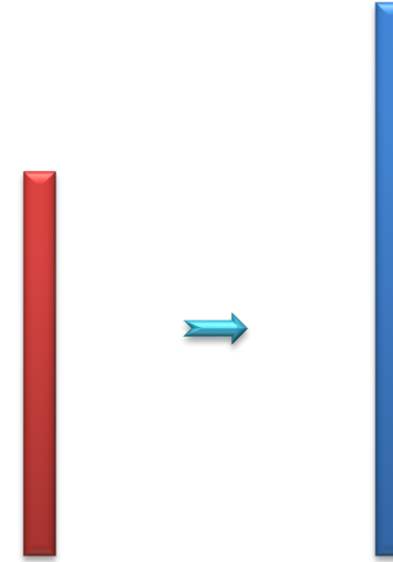


$$1.2l_0 \qquad 1.44l_0$$

$$\varepsilon = \frac{1.44l_0 - 1.2l_0}{1.2l_0} = 0.2$$

$$\varepsilon_T = \ln\left(\frac{1.44l_0}{1.2l_0}\right) = 0.182$$

Tek Deney

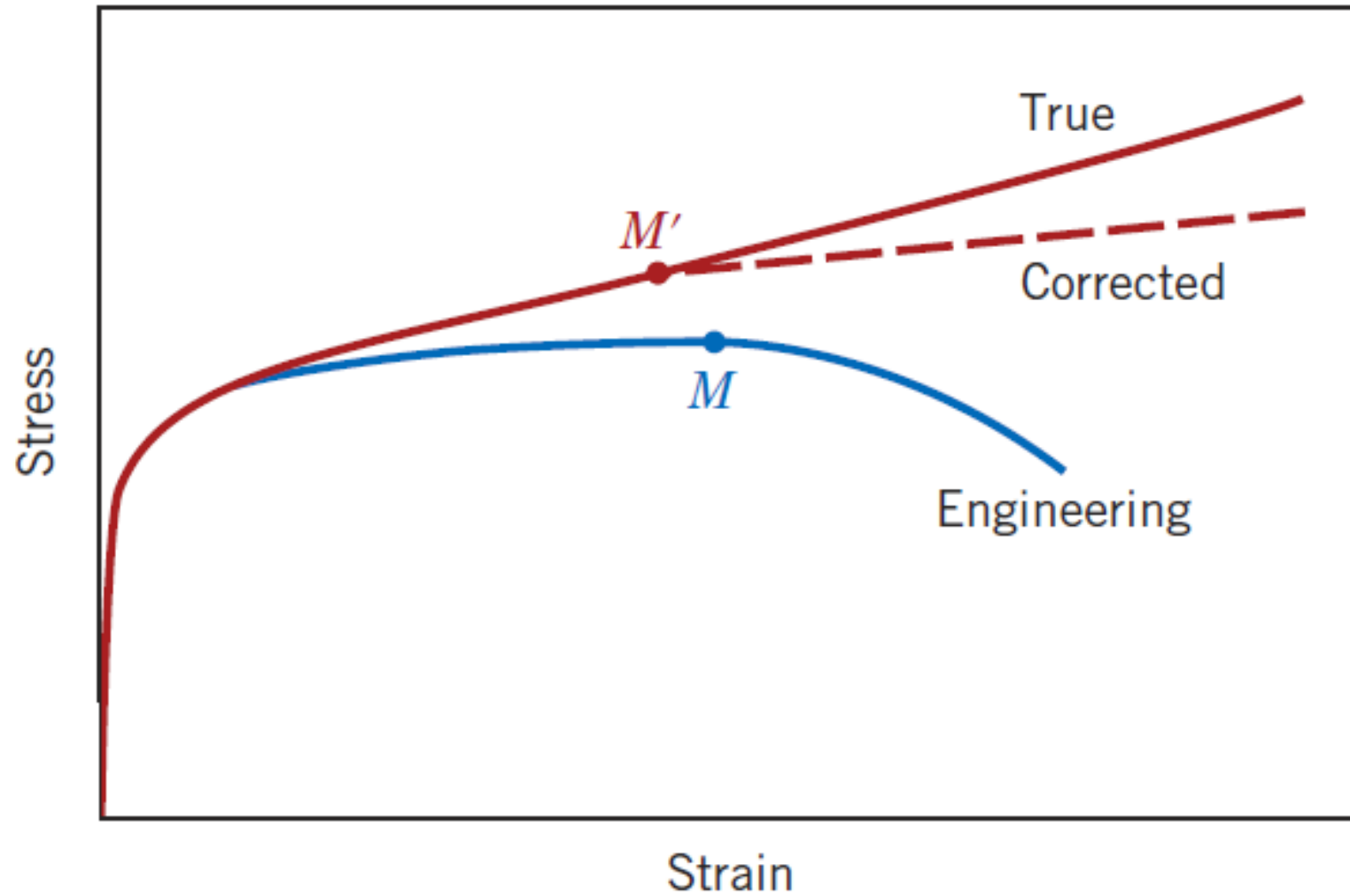


$$l_0 \qquad 1.44l_0$$

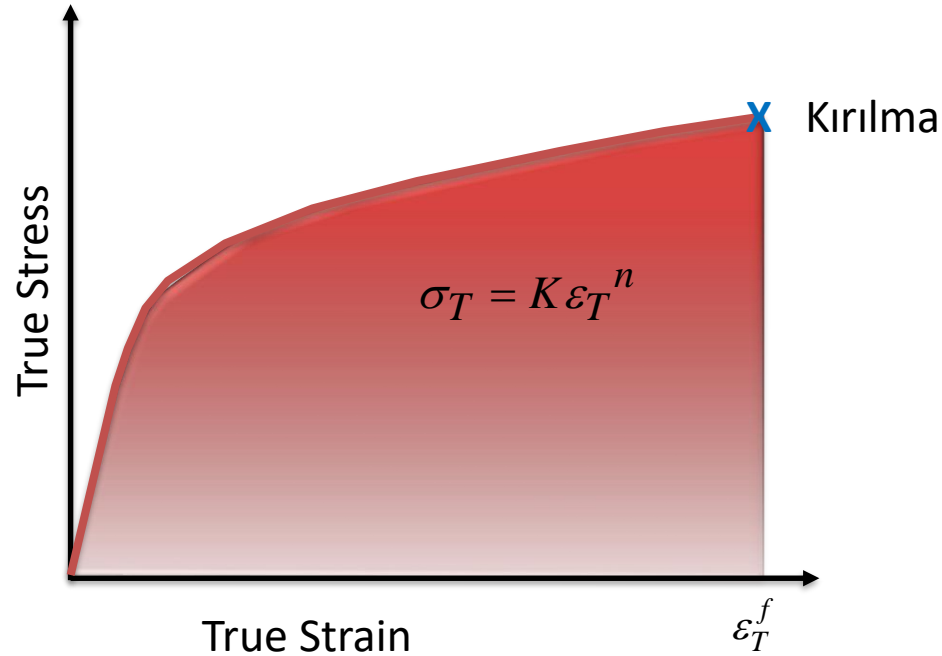
$$\varepsilon = \frac{1.44l_0 - l_0}{l_0} = 0.44$$

$$\varepsilon_T = \ln\left(\frac{1.44l_0}{l_0}\right) = 0.364$$

Gerçek Gerilim ve Gerçek Gerinim (True stress and strain):



Tokluk (Toughness): Bir malzemenin birim hacmini çekme altında koparmak için gereken enerjidir.



$$\text{Enerji} = \int_0^{\epsilon_T^f} \sigma_T \, d\epsilon_T$$

$$\text{Enerji} = \int_0^{\epsilon_T^f} K \epsilon_T^n \, d\epsilon_T$$

$$\text{Enerji} = \frac{1}{n+1} K \epsilon_T^{n+1} \Big|_0^{\epsilon_T^f}$$

$$\text{Enerji} = \frac{1}{n+1} K (\epsilon_T^f)^{n+1}$$

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

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

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

Tokluk (Toughness): Bir malzemenin birim hacmini çekme altında koparmak için gereken enerjidir.

Soru

304 paslanmaz çeliğinin kırılma gerinmesi 0.4 ise Aşağıda verilen tabloyu kullanarak bu malzemenin tokluğunu hesaplayınız.

<i>Material</i>	<i>n</i>	<i>K</i>	
		<i>MPa</i>	<i>psi</i>
Low-carbon steel (annealed)	0.21	600	87,000
4340 steel alloy (tempered @ 315°C)	0.12	2650	385,000
304 stainless steel (annealed)	0.44	1400	205,000
Copper (annealed)	0.44	530	76,500
Naval brass (annealed)	0.21	585	85,000
2024 aluminum alloy (heat treated—T3)	0.17	780	113,000
AZ-31B magnesium alloy (annealed)	0.16	450	66,000

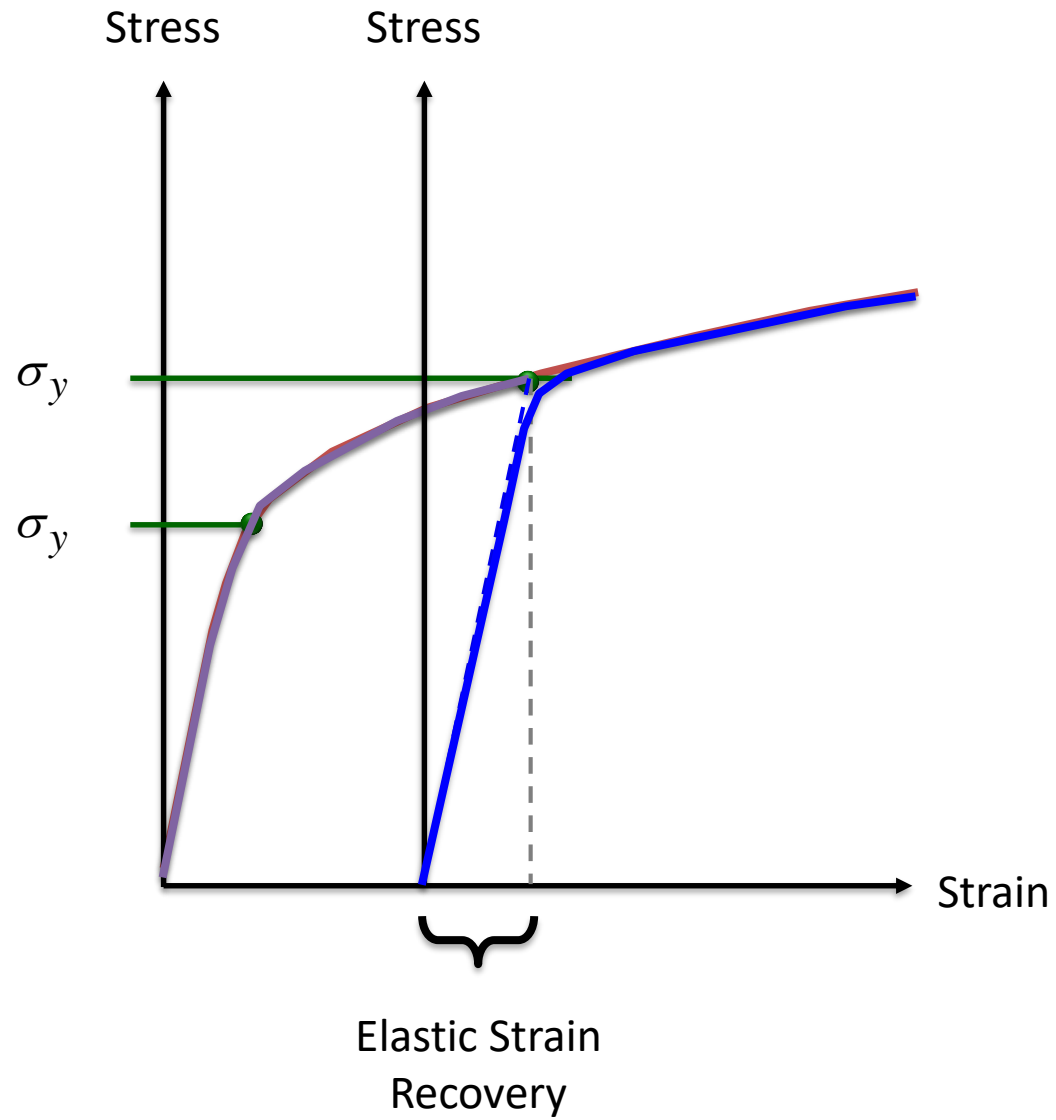
$$Enerji = \frac{1}{n+1} K (\epsilon_T^f)^{n+1}$$

$$\Rightarrow Enerji = \frac{1}{0.44+1} 1400 \times 0.4^{0.44+1}$$

$$\Rightarrow Enerji = 259.86 \text{ MJ/m}^3$$

$$\Rightarrow Enerji = 259.86 \text{ J/cm}^3$$

Elastik Geri Kazanım:



Strain Hardening
Gerinim ile Dayanım Arttırımı

Sertlik (Hardness): Bir malzemenin bölgesel plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu direnç.

En sık kullanılan mekanik test yöntemidir. Çünkü:

1. Basit ve ucuzdur.
2. Diğer mekanik testlerin aksine test sırasında malzeme bozulmaz (nondestructive).
3. Çekme dayanımı (Tensile strength) gibi diğer mekanik özellikler sertlik datası kullanılarak tahmin edilebilir.

Mohs Sertlik Sıkalası: Malzemelerin birbirlerini çizebilme yeteneklerine göre 1'den 10'a kadar yapılan bir sıkaladır.



Talk
1



Alçı
2



Kalsit
3



Florit
4



Apatit
5



Ortoklaz
6



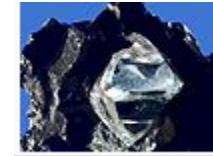
Kuars
7



Topaz
8



Yakut
9

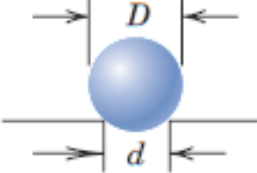
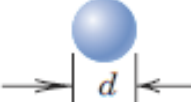
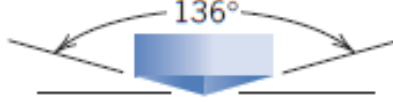

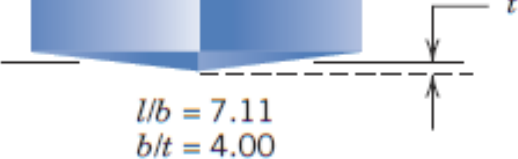
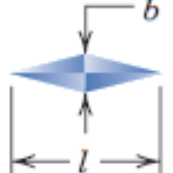
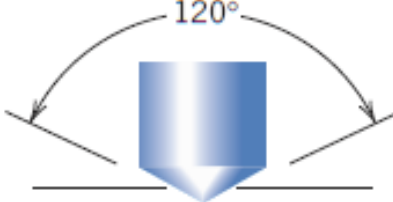
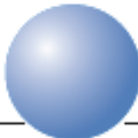




Elmas
10

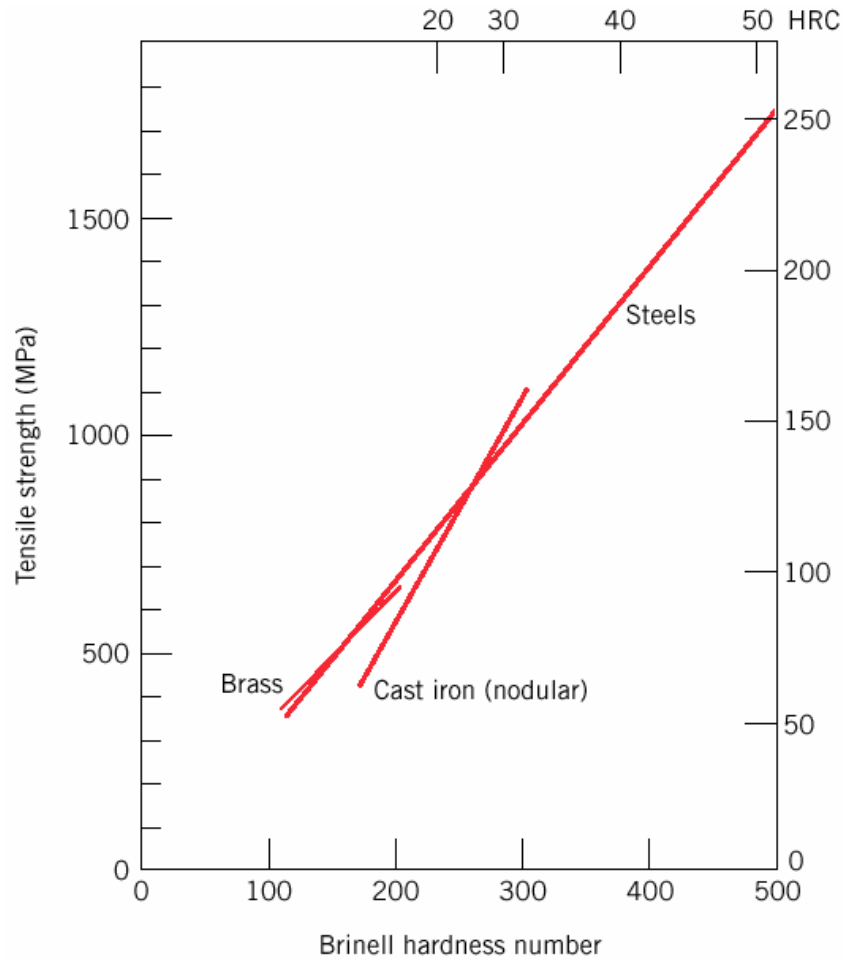


Friedrich Mohs
1773-1839

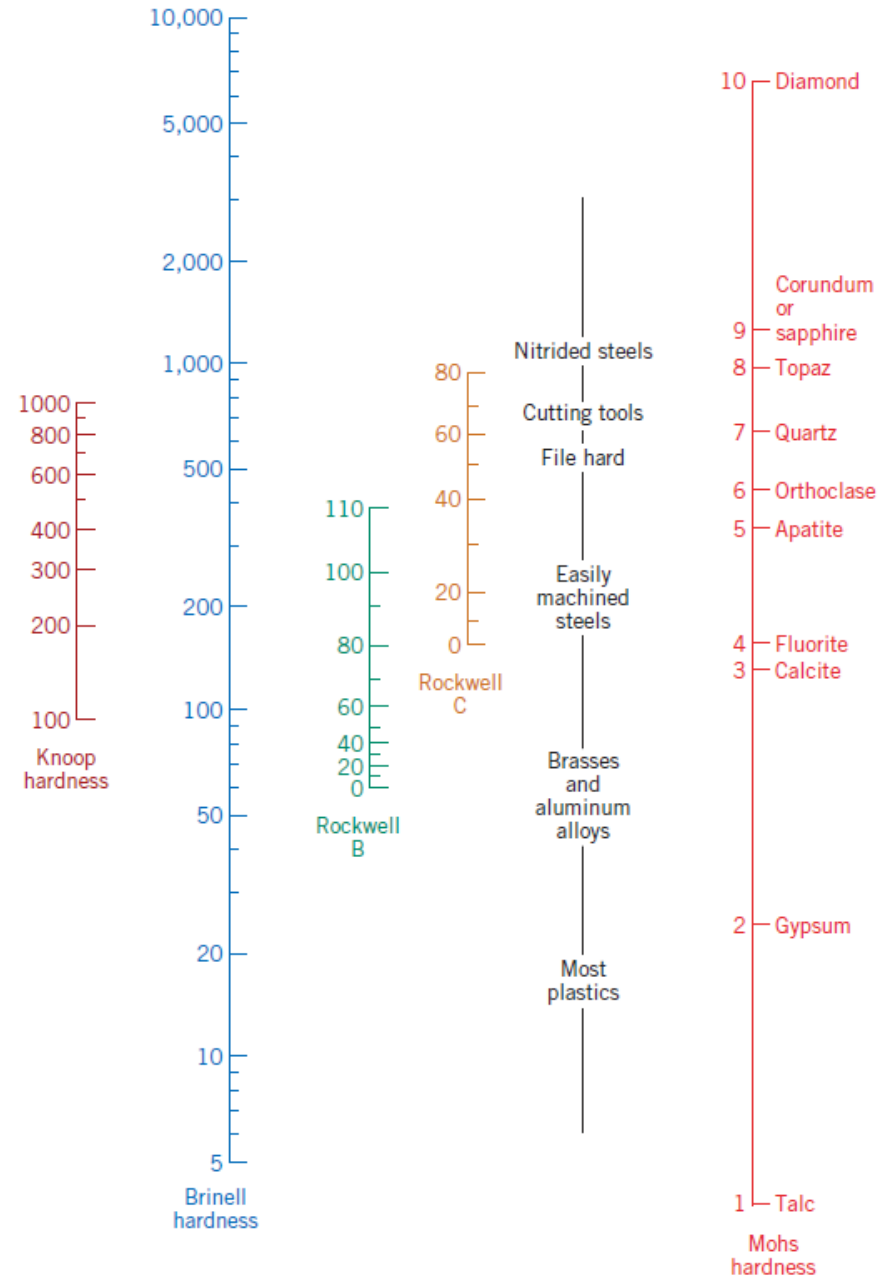
Modern Teknikler:

<i>Test</i>	<i>Indenter</i>	<i>Shape of Indentation</i>	
		<i>Side View</i>	<i>Top View</i>
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide		
Vickers microhardness	Diamond pyramid		
Knoop microhardness	Diamond pyramid		
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> ⎧ Diamond cone; $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter ⎩ steel spheres 	 	 

Modern Teknikler:



Çekme Dayanımı – Sertlik İlişkisi



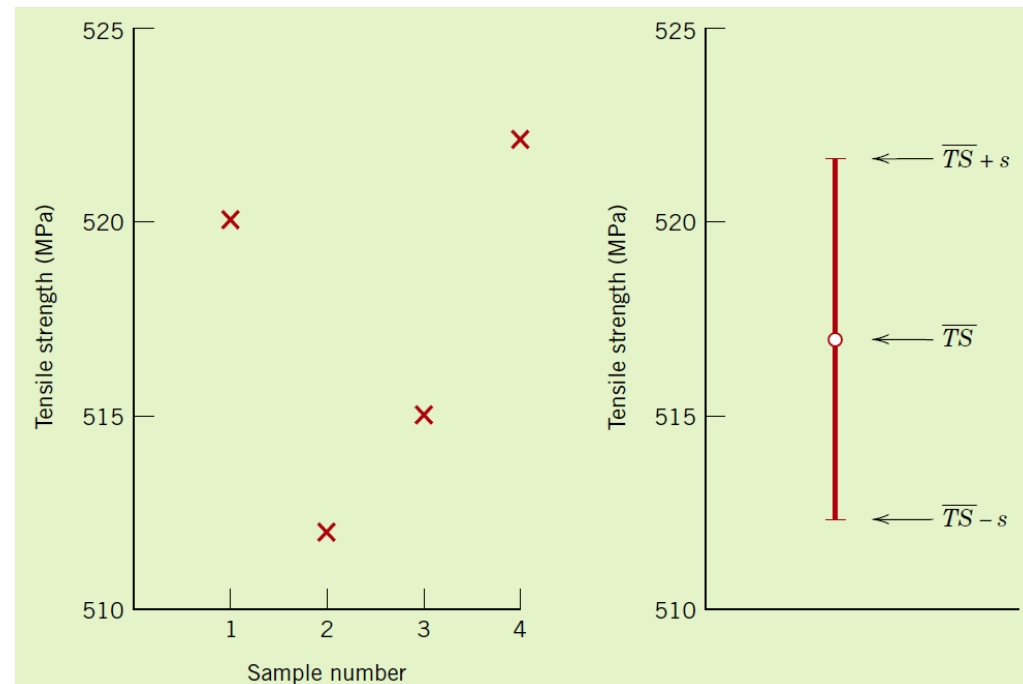
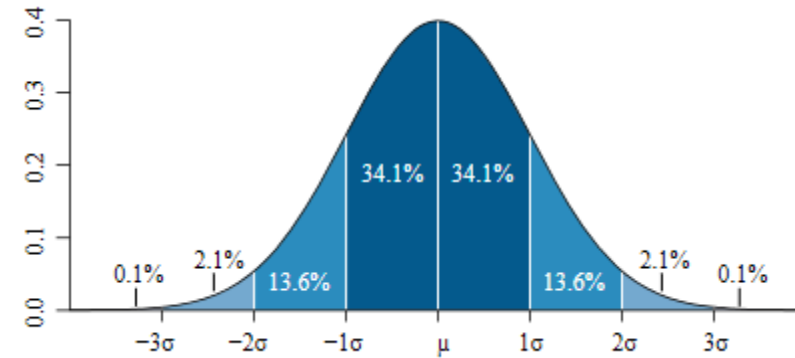
Malzeme Özelliklerindeki Değişkenlik

Ortalama (Average)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Standard Sapma (Standard Deviation):

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2}$$



Malzeme Özelliklerindeki

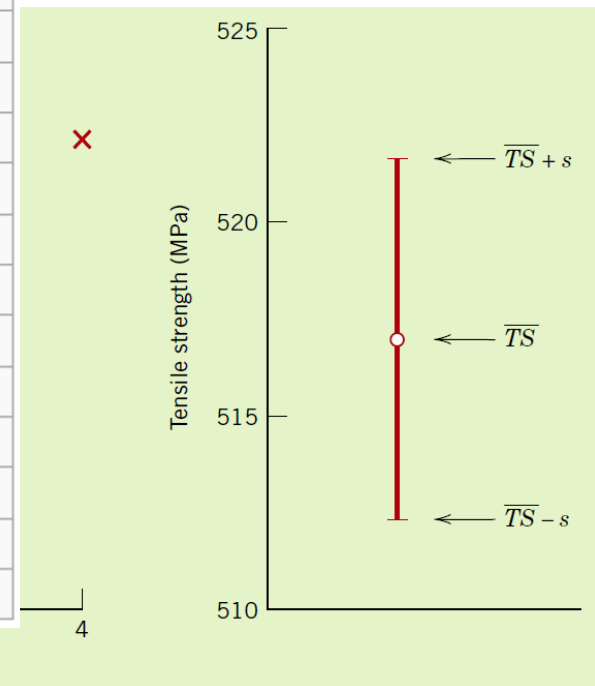
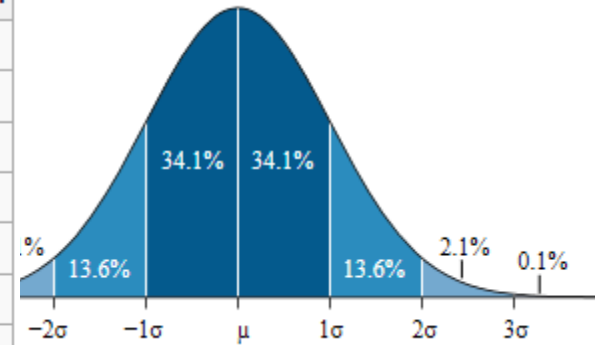
Ortalama (Averaj)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Standard Sapma

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$z\sigma$	Percentage within CI	Percentage outside CI	Fraction outside CI
0.674 490 σ	50%	50%	1 / 2
0.994 458 σ	68%	32%	1 / 3.125
1 σ	68.268 9492%	31.731 0508%	1 / 3.151 4872
1.281 552 σ	80%	20%	1 / 5
1.644 854 σ	90%	10%	1 / 10
1.959 964 σ	95%	5%	1 / 20
2 σ	95.449 9736%	4.550 0264%	1 / 21.977 895
2.575 829 σ	99%	1%	1 / 100
3 σ	99.730 0204%	0.269 9796%	1 / 370.398
3.290 527 σ	99.9%	0.1%	1 / 1,000
3.890 592 σ	99.99%	0.01%	1 / 10,000
4 σ	99.993 666%	0.006 334%	1 / 15,787
4.417 173 σ	99.999%	0.001%	1 / 100,000
4.891 638 σ	99.9999%	0.0001%	1 / 1,000,000
5 σ	99.999 942 6697%	0.000 057 3303%	1 / 1,744,278
5.326 724 σ	99.999 99%	0.000 01%	1 / 10,000,000
5.730 729 σ	99.999 999%	0.000 001%	1 / 100,000,000
6 σ	99.999 999 8027%	0.000 000 1973%	1 / 506,797,346
6.109 410 σ	99.999 9999%	0.000 0001%	1 / 1,000,000,000
6.466 951 σ	99.999 999 99%	0.000 000 01%	1 / 10,000,000,000
6.806 502 σ	99.999 999 999%	0.000 000 001%	1 / 100,000,000,000
7 σ	99.999 999 999 7440%	0.000 000 000 256%	1 / 390,682,215,445



Önümüzdeki Ders Saatinde

Ders Kitabımızın 7. Bölümündeki

DISLOKASYONLAR VE GÜÇLENDİRME MEKANİZMALARI

adlı konuya başlayacağız!