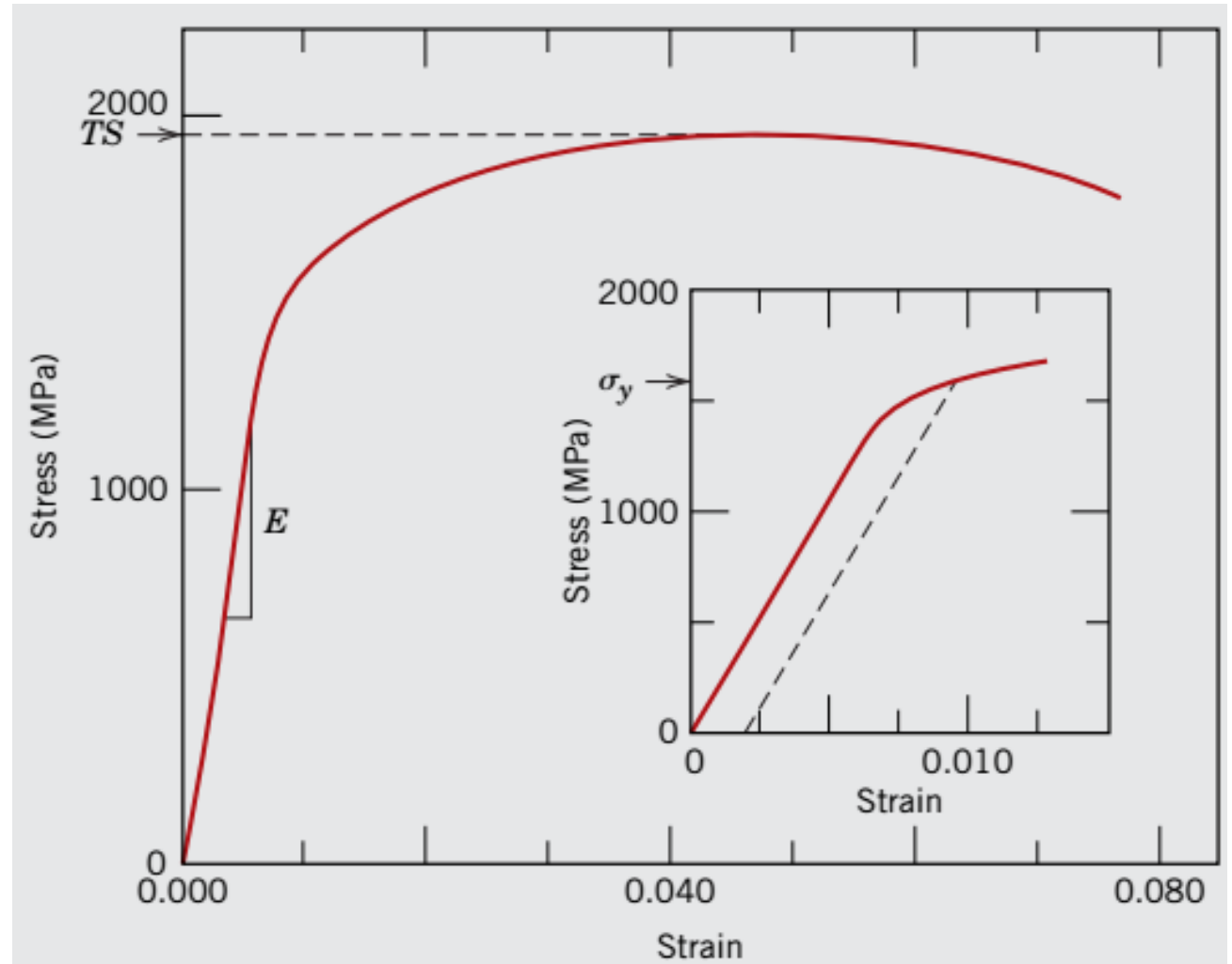
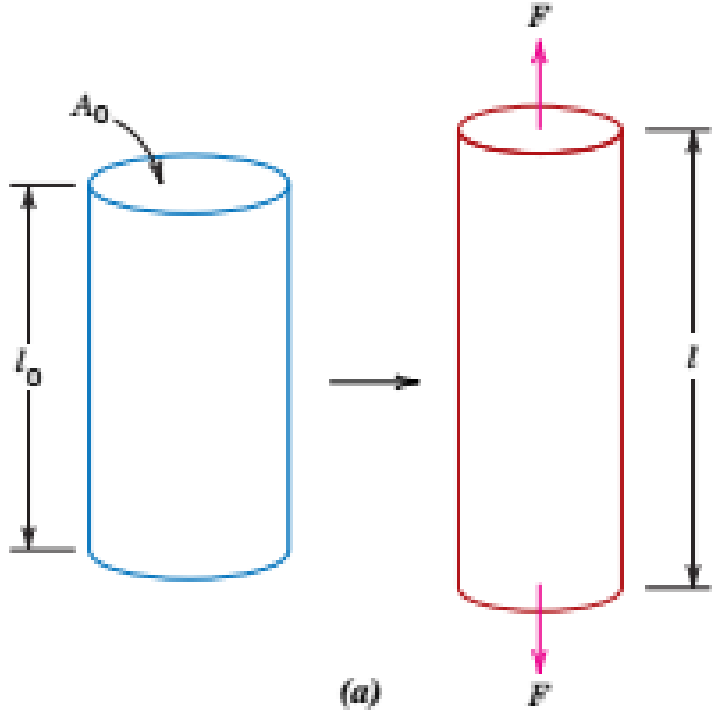




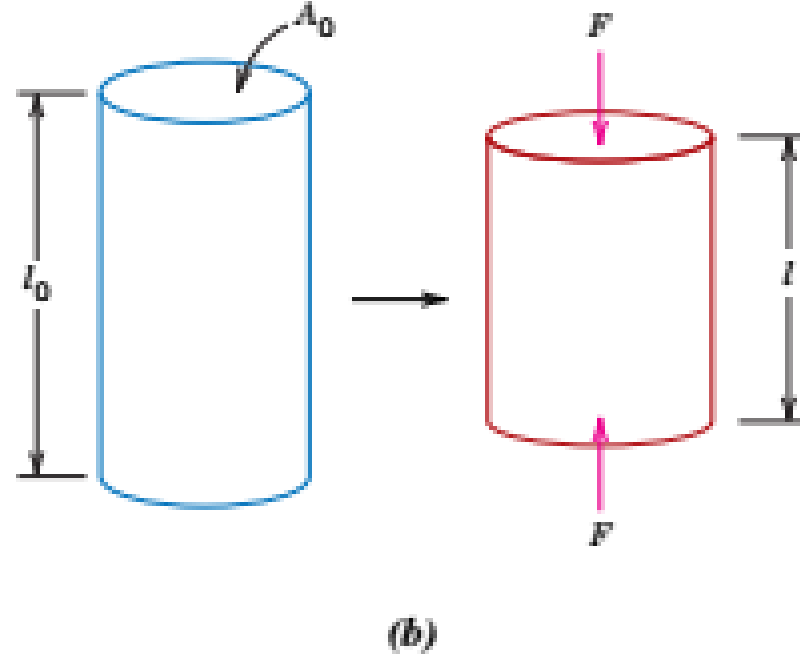
Malzeme I
Malzemelerin
Mekanik Özellikleri



Gerilme ve Gerinim



Çekme kuvveti



Basma kuvveti

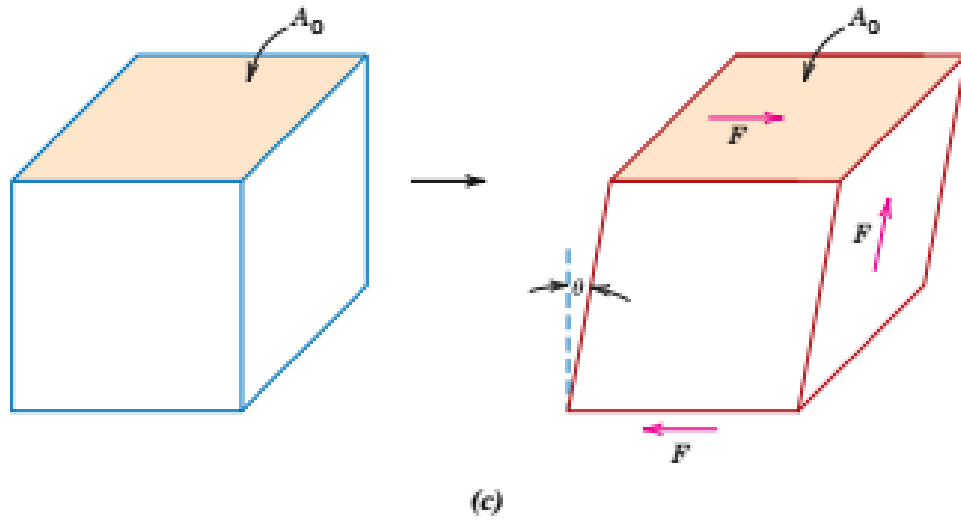
$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Gerilme (σ): Uygulanan kuvvetin birim alanda oluşturduğu basınç. Kuvvetin kesit alana bölümü.

Gerinim (ϵ): Uygulanan kuvvet sonucu gerçekleşen birim şekil değişimi. Toplam değişimin ilk boya oranı.

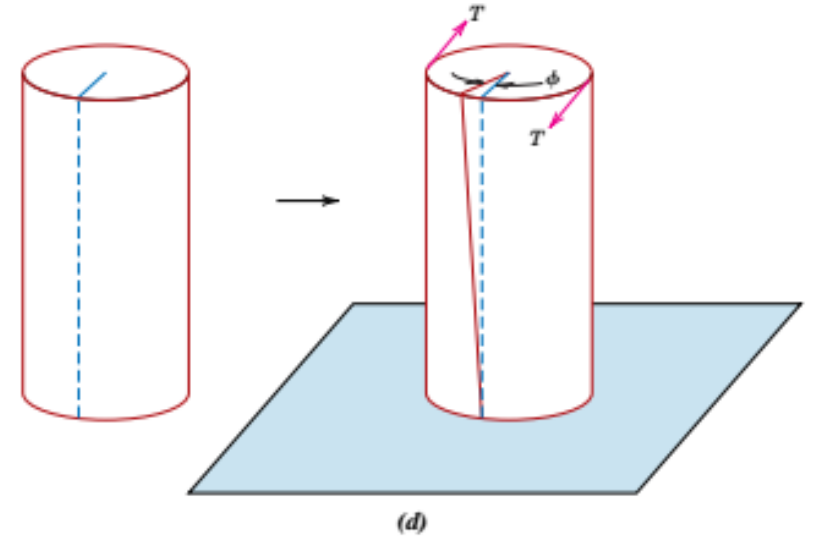
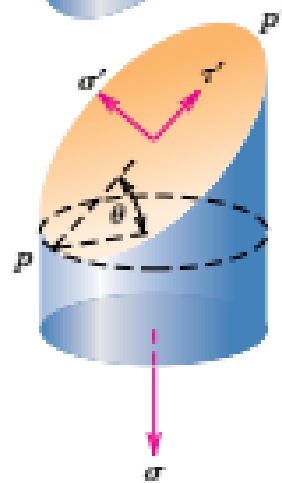
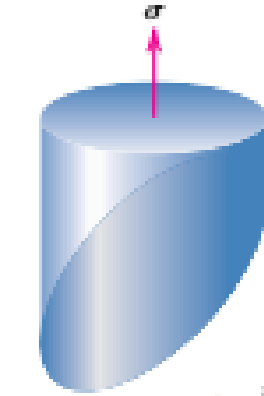
Kayma ve Burma Gerilmesi



Kayma gerilmesi

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

Definition of shear stress



Burma gerilmesi

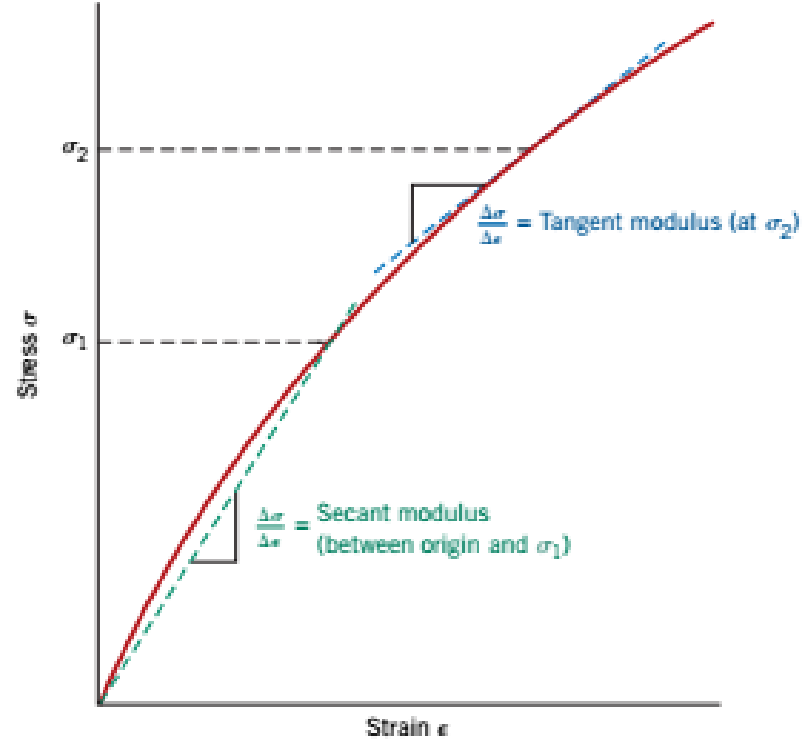
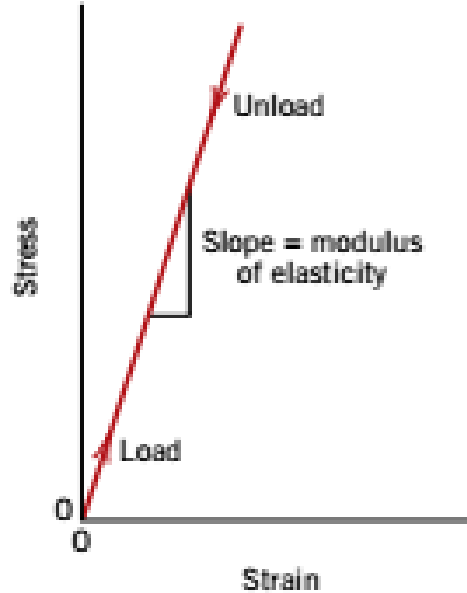
Elastik Deformasyon

Gerilme ile orantılı olarak değişen Şekil değişimine **elastik Şekil değişimi** (deformasyon) adı verilir. Gerilme – gerinim eğrisinde doğrusal olan bu kısmın eğimi **elastisite modülü E**'ye karşılık gelir.

Bir başka ifade ile, malzemeye yük uygulanması ile meydana gelen Şekil değişimi yükün kaldırılması ile ortadan kayboluyorsa (malzeme eski haline dönüyorsa), malzeme elastik deformasyona uğramıştır.

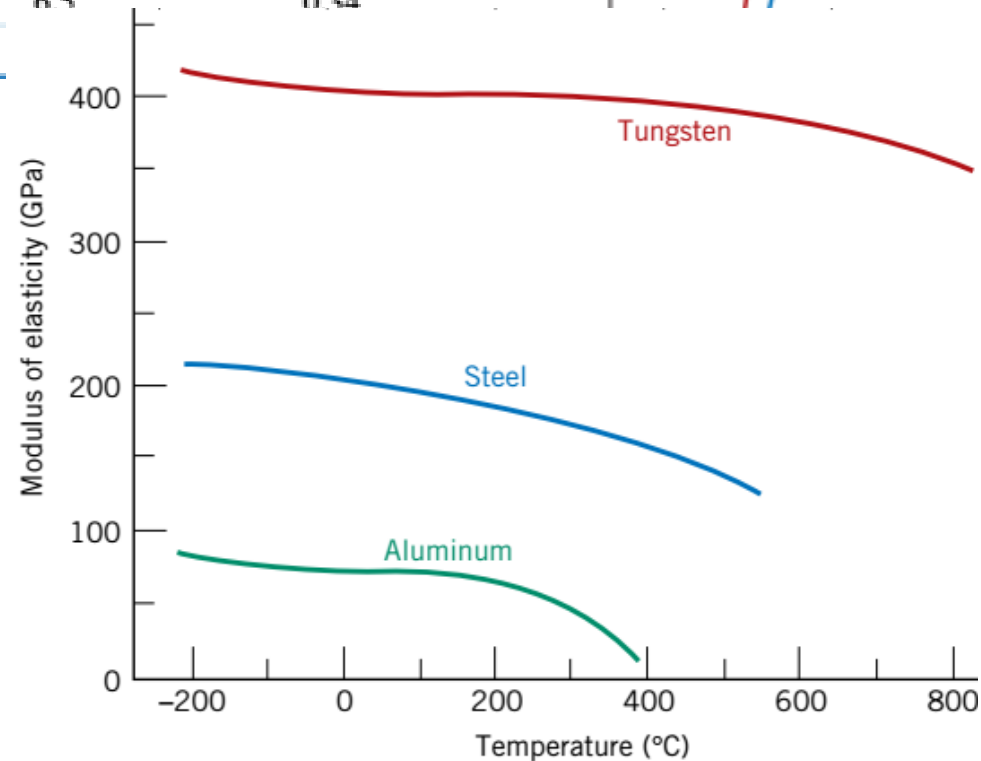
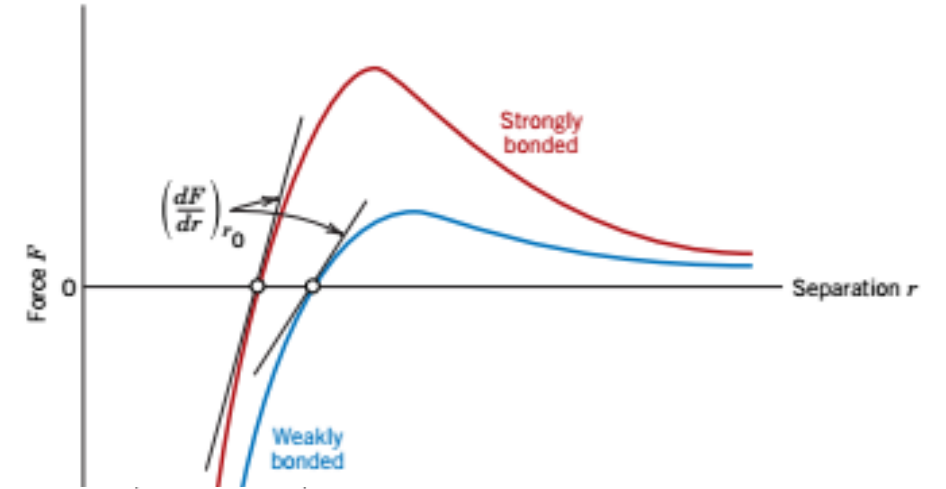
$$\sigma = E\epsilon$$

Hooke kanunu



Elastik Deformasyon

Metal Alloy	Modulus of Elasticity		Shear Modulus		Poisson's Ratio
	GPa	10 ⁶ psi	GPa	10 ⁶ psi	
Aluminum	69	10	25	3.6	0.33
Brass	97	14	37	5.4	0.34
Copper	110	16	46	6.7	0.34
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.29
Nickel	207	30	76	11.0	0.31
Steel	207	30	83	12.0	0.30
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Tungsten	407	59	160		



$$\tau = G\gamma$$

Kayma modülü

Elastik Deformasyon

Örnek: Başlangıç boyu 305 mm olan bir bakır parçaya 276 Mpa'lık çekme gerilmesi uygulanıyor. Şekil değişimi tamamen elastik olduğuna göre, oluşan uzamayı belirleyiniz. ($E_{Cu} = 110 \text{ Gpa}$)

$$\sigma = \epsilon E = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) E$$
$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

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

Malzemelerin Elastik Özellikleri

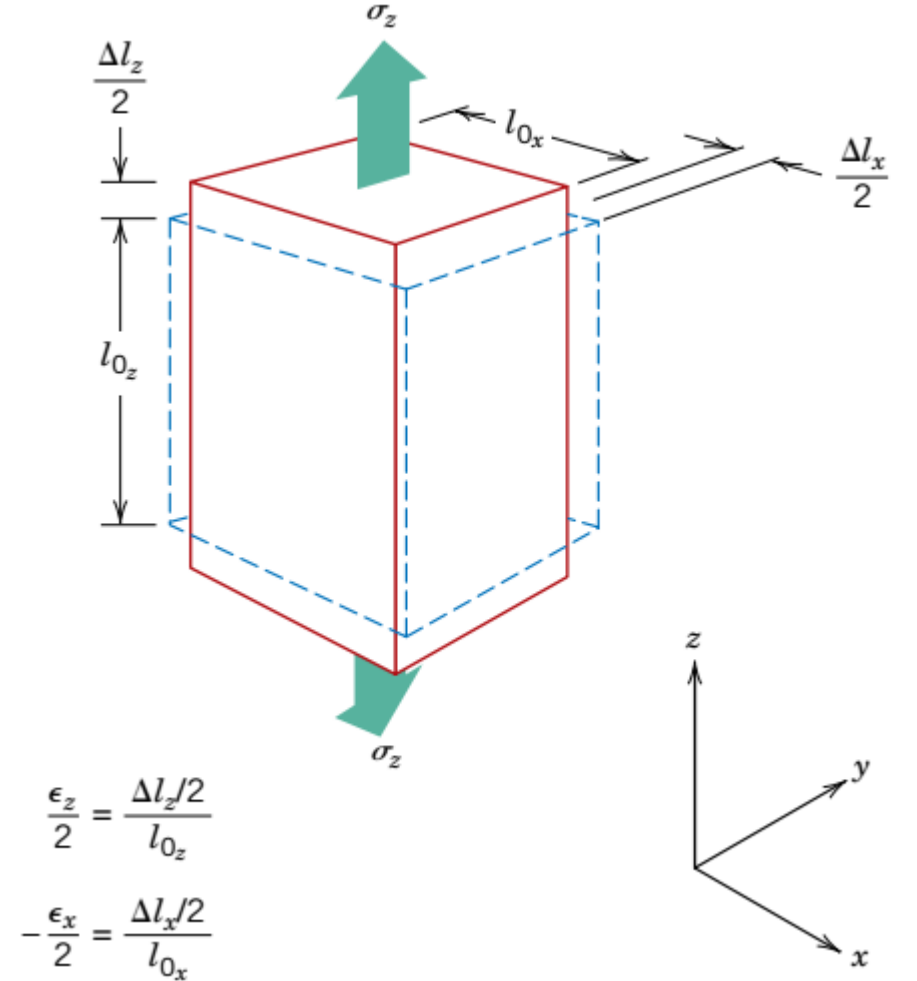
Poisson oranı: Malzemeye tek ekseninde (örneğin z ekseni) çekme gerilmesi uygulandığında, yanal x ve y eksenlerinde kesit daralması meydana gelir (ϵ_x ve ϵ_y basma birim şekil değişimi).

Uygulanan gerilmenin tek eksenli ve malzemenin izotropik olduğu düşünülüğünde $\epsilon_x = \epsilon_y$ olmaktadır.

Poisson oranı (ν) yanal doğrultudaki birim şekil değişiminin aksenal doğrultudaki birim şekil değişimine oranıdır.

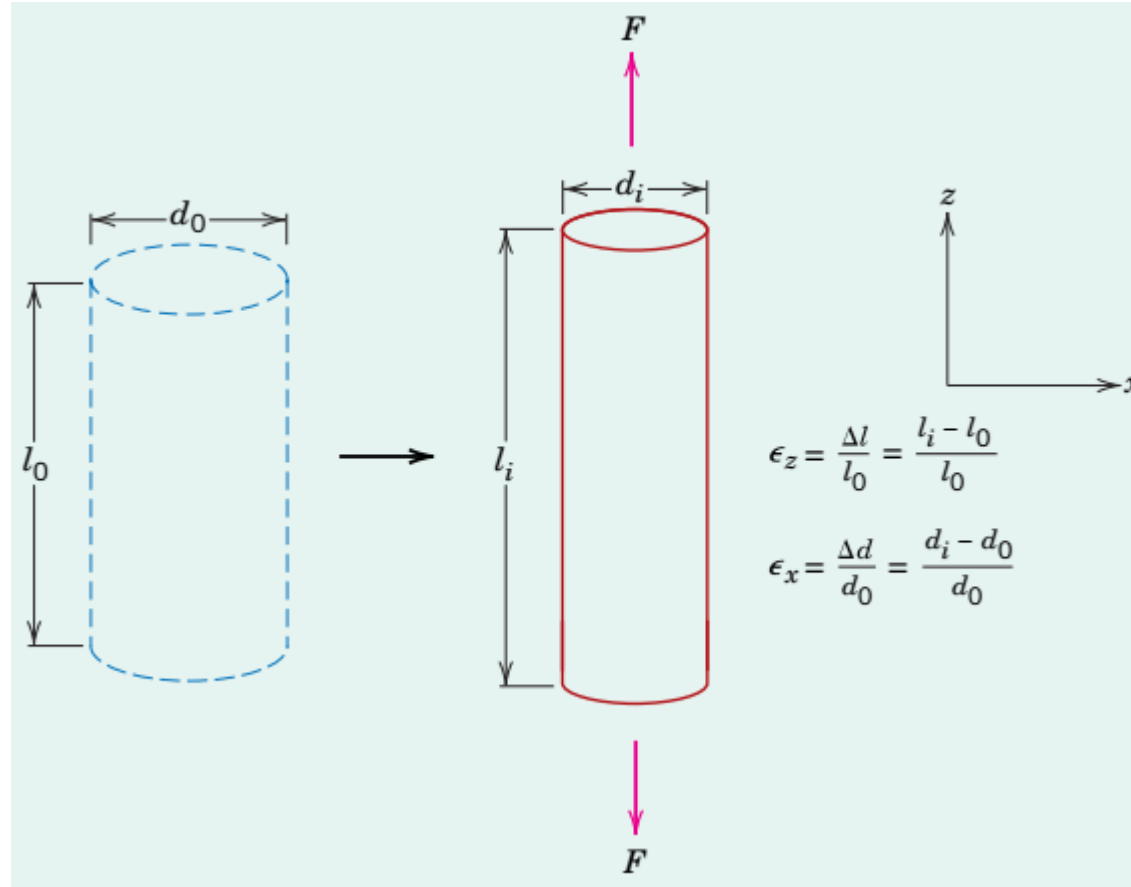
$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

$$E = 2G(1 + \nu)$$



Belirli bir çap değişimi için yk hesabı

10 mm çapındaki silindirik pirinç çubuğa eksenel doğrultuda çekme gerilmesi uygulanacaktır. Şekil değişimi tamamen elastik olduğuna göre, çapta $2,5 \times 10^{-3}$ mm'lik bir daralmanın oluşması için gerekli yükün büyüklüğünü hesaplayınız. (Pirinç için $\nu = 0.34$, $E = 97$ GPa)



Belirli bir çap değişimi için yük hesabı

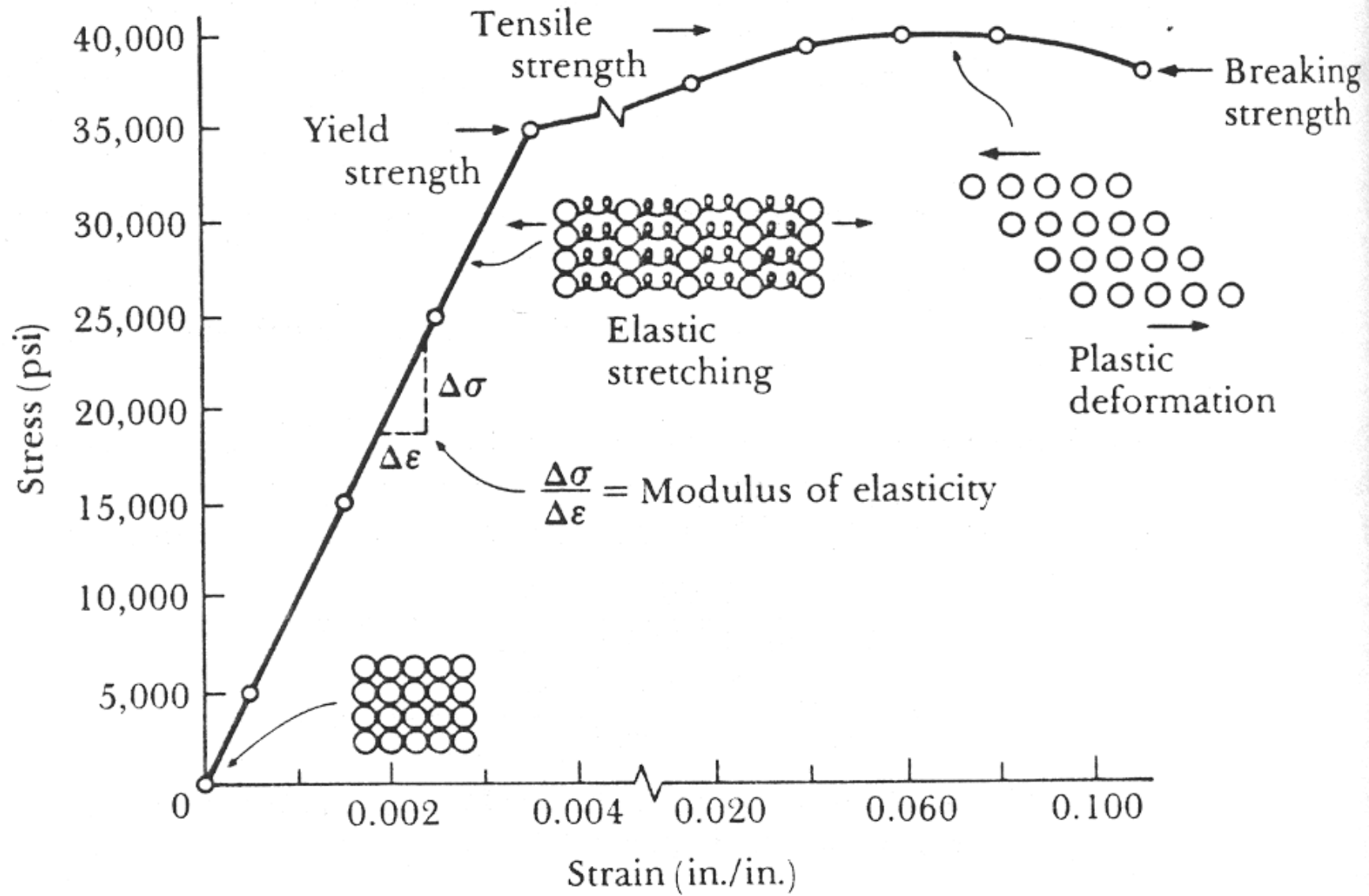
$$\Delta d = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mm}, d_0 = 10 \text{ mm}, \nu = 0.34, E = 97 \text{ GPa}$$

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

$$\epsilon_z = -\frac{\epsilon_x}{\nu} = -\frac{(-2.5 \times 10^{-4})}{0.34} = 7.35 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = \epsilon_z E = (7.35 \times 10^{-4})(97 \times 10^3 \text{ MPa}) = 71.3 \text{ MPa}$$

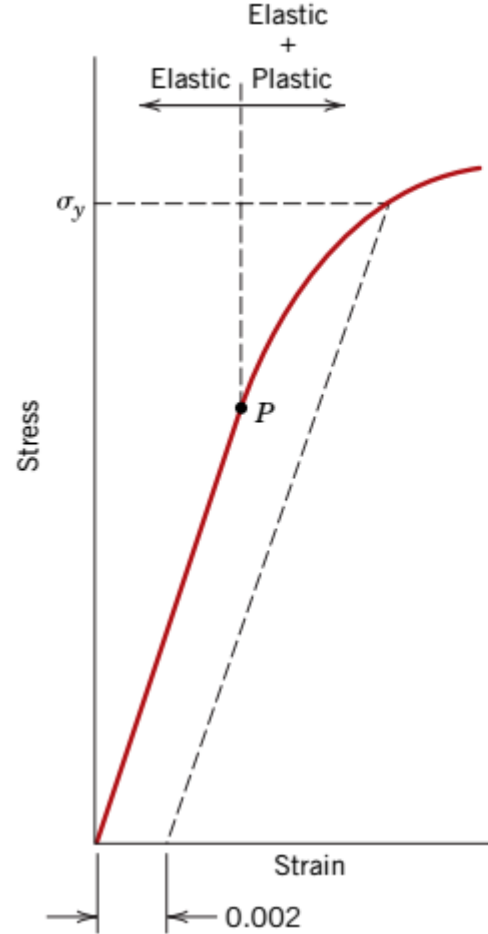
$$\begin{aligned} F &= \sigma A_0 = \sigma \left(\frac{d_0}{2} \right)^2 \pi \\ &= (71.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2) \left(\frac{10 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2 \pi = 5600 \text{ N} \end{aligned}$$



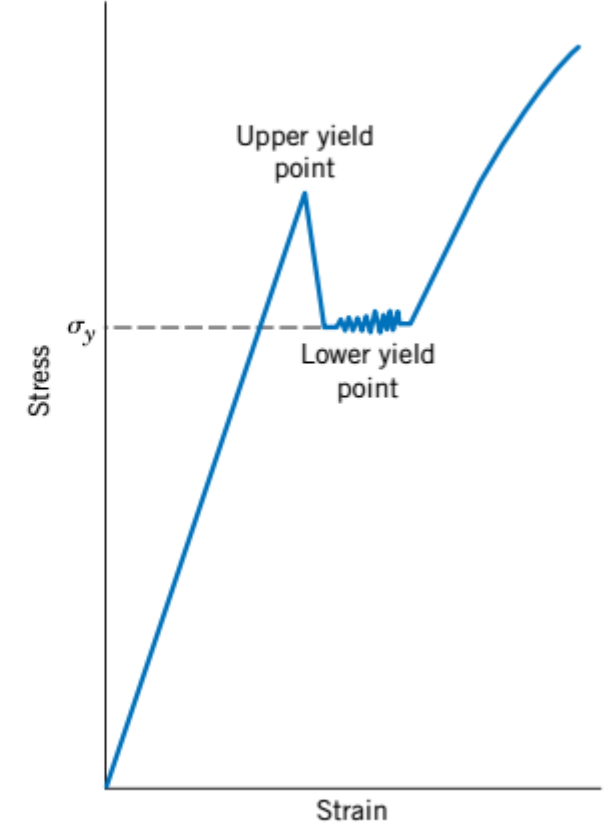
Plastik Deformasyon

Yük altında meydana gelen şekil değişiminin yük kaldırıldıktan sonra da korunmasına **plastik deformasyon** adı verilir. Bir başka ifade ile plastik deformasyon kalıcı deformasyondur.

Akma, plastik deformasyonun başladığı nokta olarak ifade edilirken bu noktaya karşılık gelen gerilme değerine de **akma dayanımı** adı verilir.



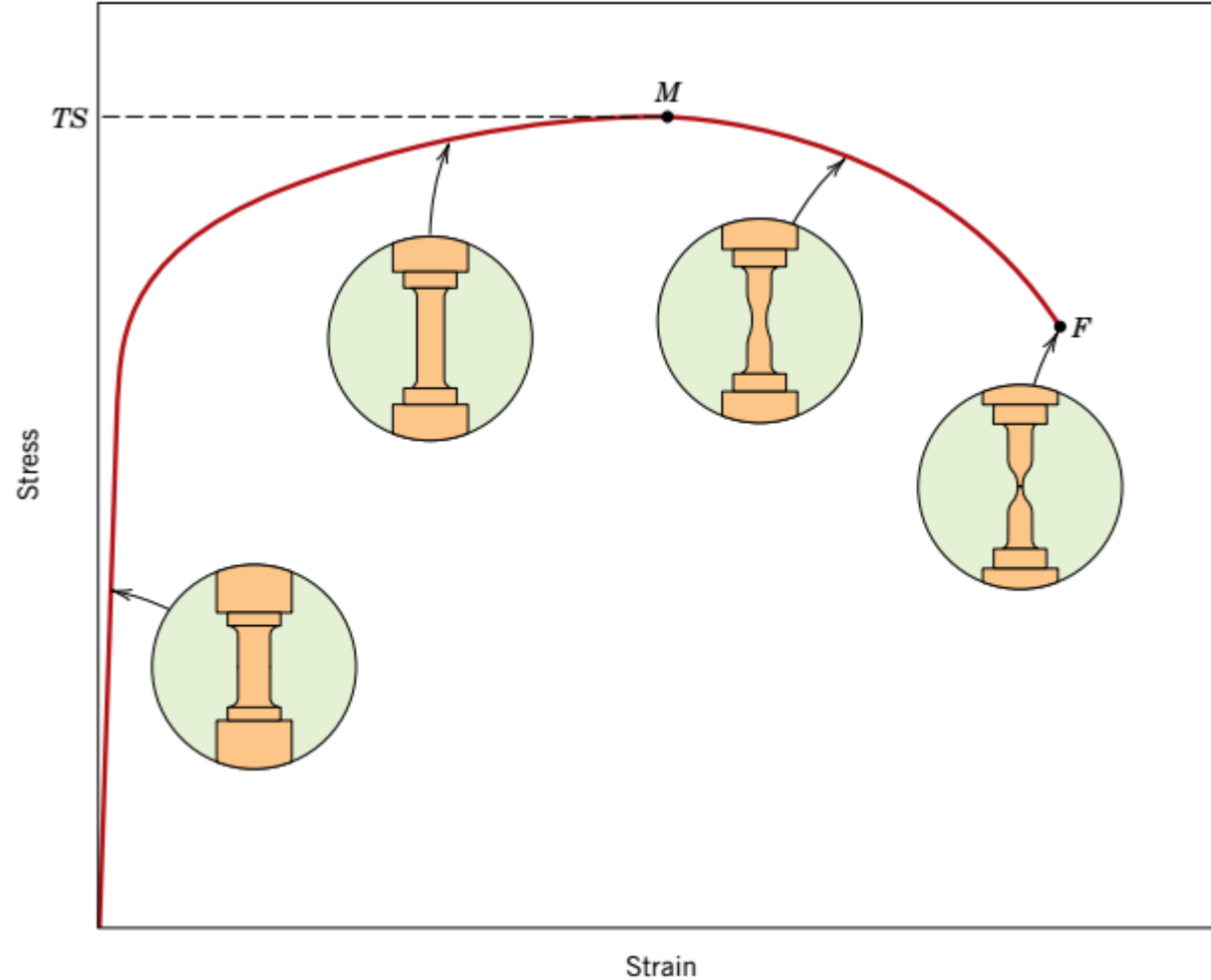
**Belirgin olmayan
akma noktası**



**Belirgin
akma noktası**

Çekme Dayanımı

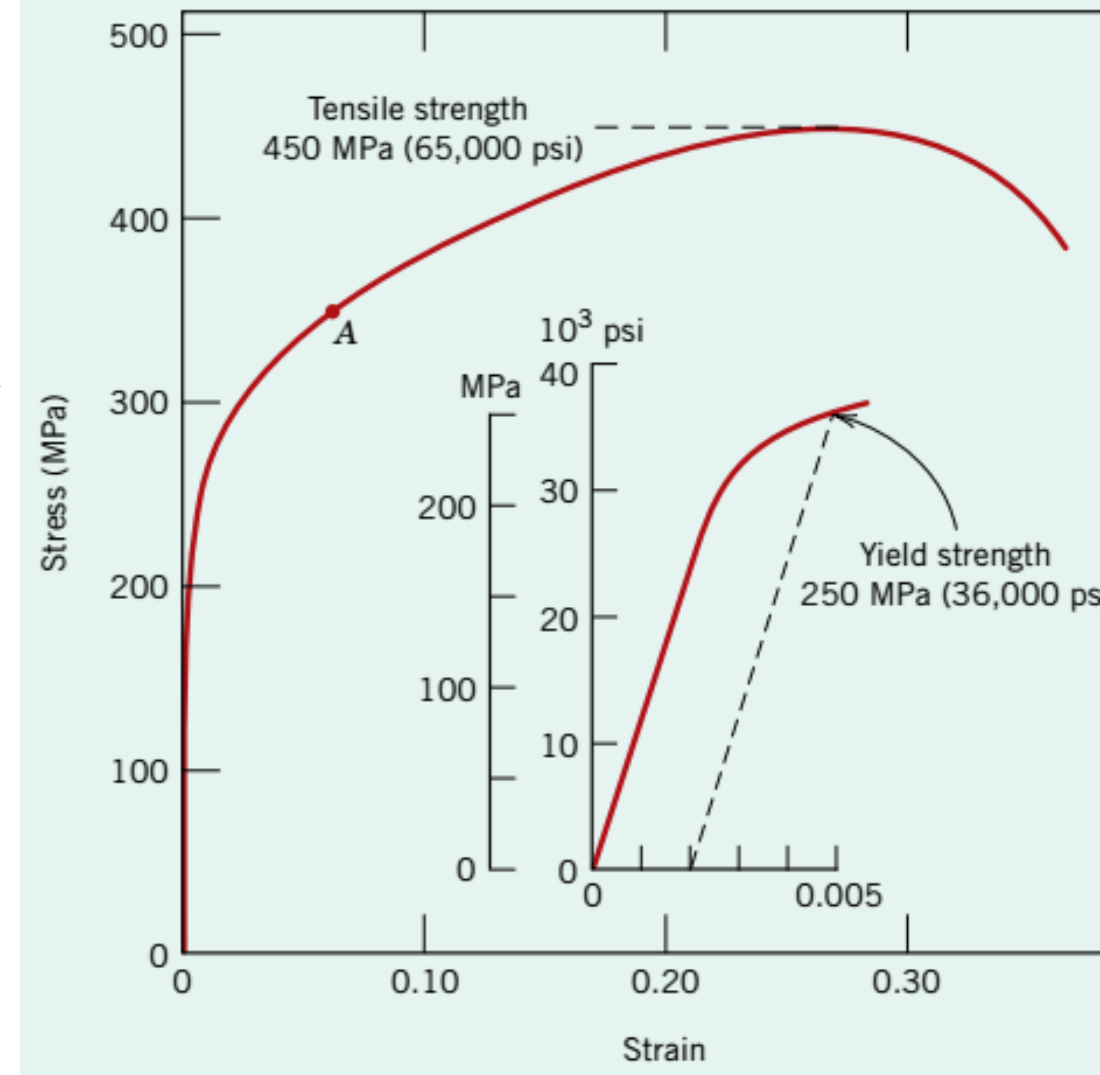
Çekme dayanımı, çekme testin sırasında elde edilen mühendislik gerilmesi – birim şekil değişimi eğrisindeki maksimum gerilme olarak tanımlanır.



Örnek Soru

Şekilde verilen pirinç numuneye ait gerilme-birim şekil değişimi eğrisinden aşağıdaki özellikleri belirleyiniz.

- Elastiklik modülü
- 0,002 birim şekil değişimi için akma dayanımı
- İlk çapı 12,8 mm olan silindirik numune tarafından taşınabilecek maksimum yük
- 345 MPa'lık çekme gerilmesi altında ilk boyu 250 mm olan numunenin uzunluk değişimi.



Örnek Soru

a) Elastiklik modülü

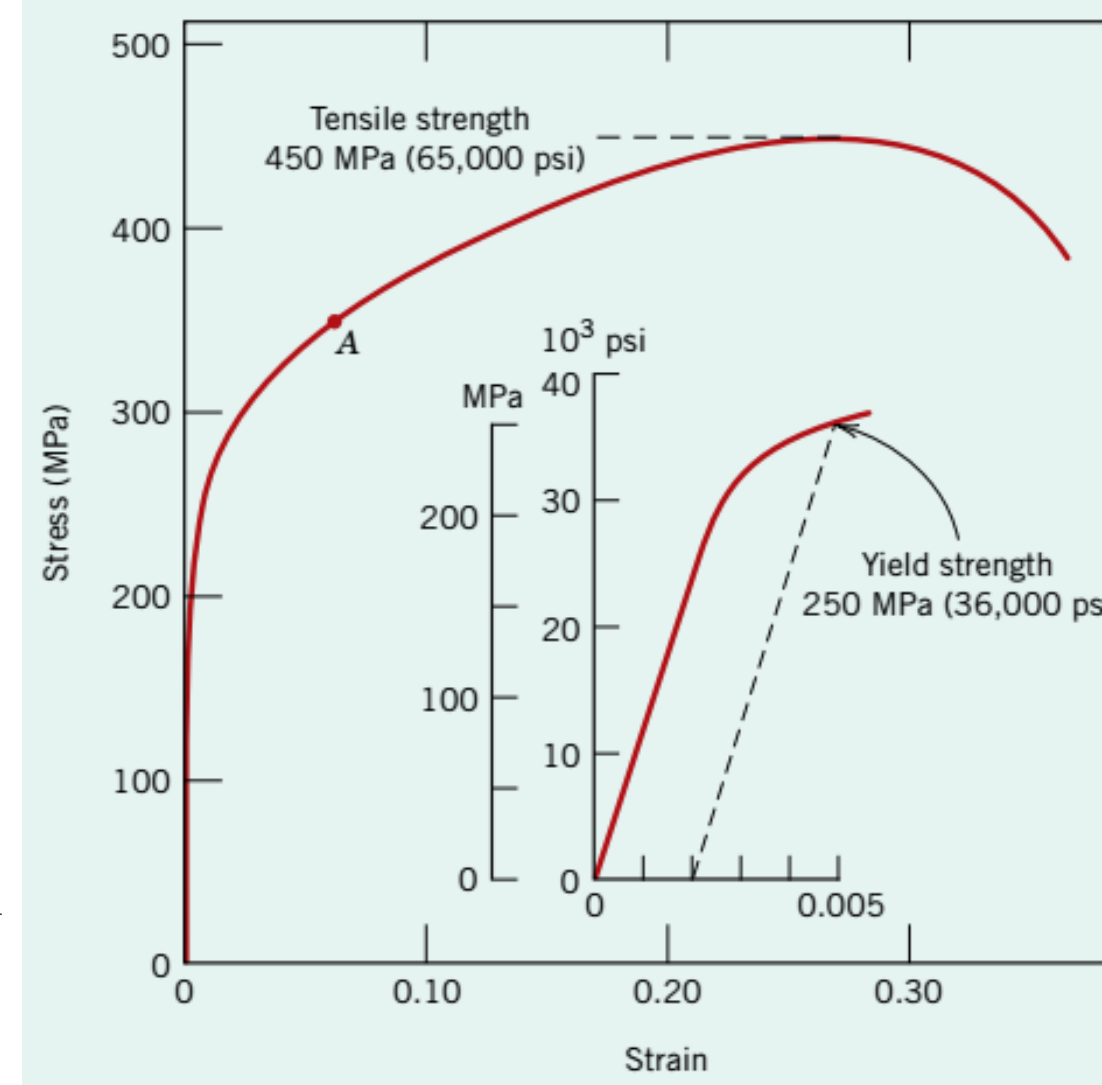
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{(150 - 0)MPa}{0.0016 - 0}$$

$$E = 93.8 GPa$$

b) 0.002 için akma dayanımı ($\sigma_{0.2}$)

$\varepsilon = 0.002$ değerinden gerilme ve gerininin orantılı olarak arttığı eğriye paralel çizilir.

$$\sigma_{0.2} = \sim 250 MPa$$



Örnek Soru

c) $d_o = 12,8 \text{ mm}$ ise F_{maks} ?

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ ise,}$$

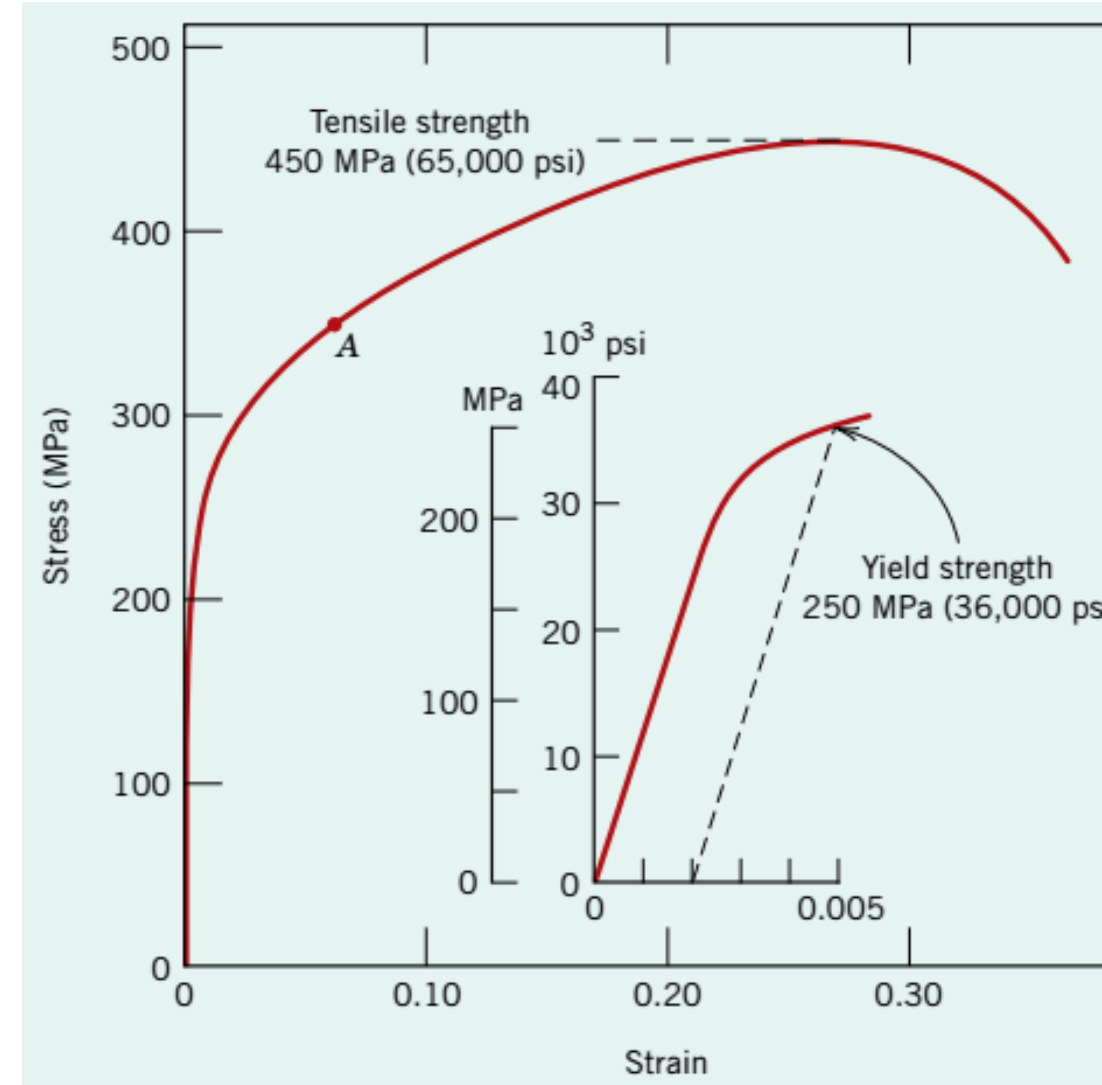
$$F = \sigma \cdot A = 450 \text{ MPa} \cdot (\pi(12,8 \text{ mm}/2)^2)$$

$$F = 57905 \text{ N}$$

d) $\sigma = 345 \text{ MPa}$ iken Δl ?

$$\sigma = 345 \text{ MPa} \text{ iken } \varepsilon = 0.06$$

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l_o = (0.06)(250 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$



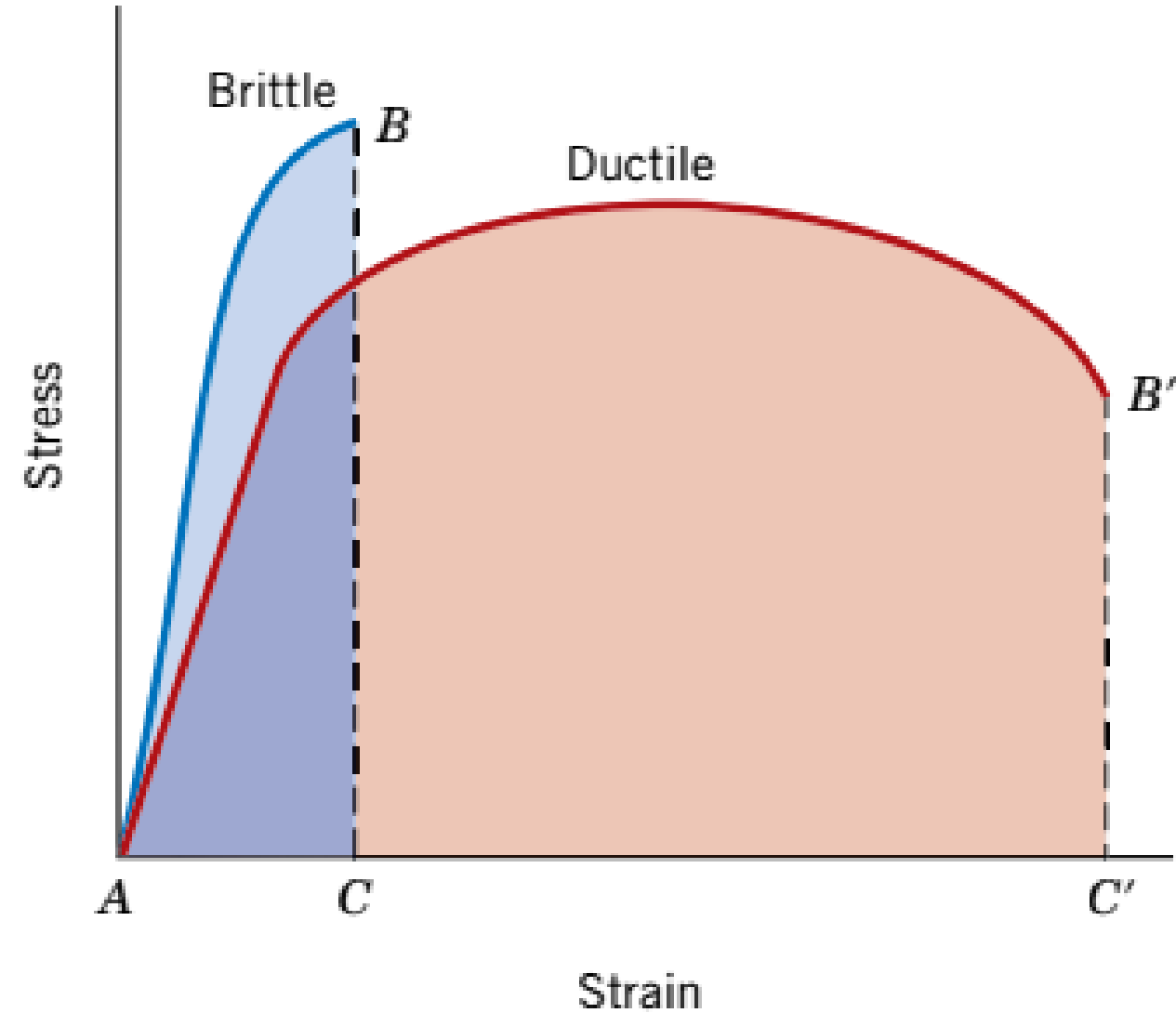
Süneklik

Süneklik, kırılmaya kadar malzemede meydana gelen plastik deformasyonun miktarının bir ölçüsüdür.

Kırılmaya kadar çok az ya da hiç plastik deformasyon göstermeyen malzemelere ise **gevrek** malzemeler adı verilir.

$$\%UZ = \left(\frac{l_k - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

$$\%KD = \left(\frac{A_0 - A_k}{A_0} \right) \times 100$$



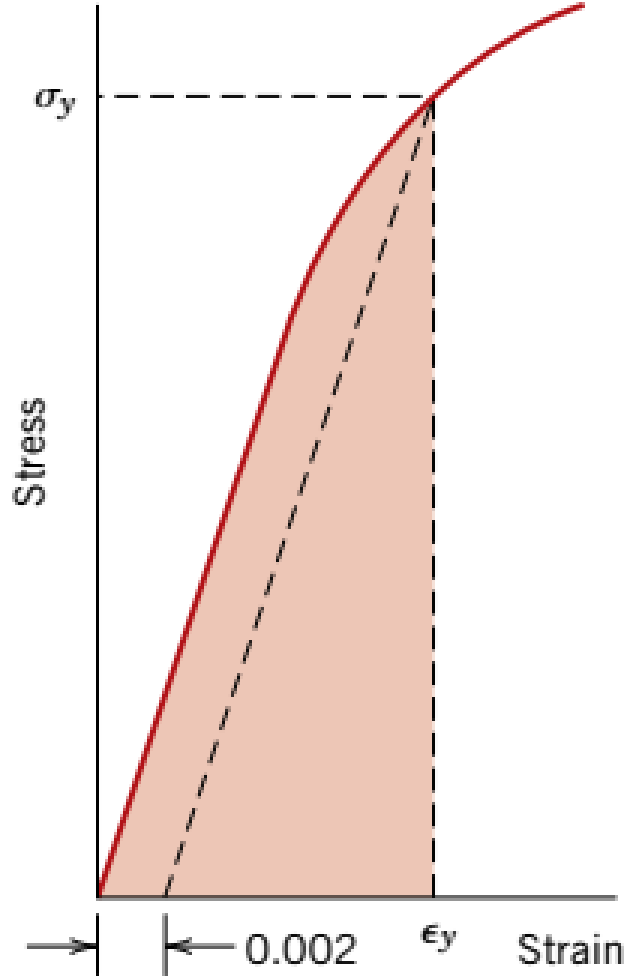
Genel olarak kopma uzaması (%UZ) değeri %5'ten az olan malzemeler **gevrek** olarak kabul edilir.

Süneklik

<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

Rezilyans

Rezilyans, bir malzemenin elastik deformasyon sırasında enerji absorbe etme ve yük boşaldığında bu enerjiyi geri verebilme yeteneğidir. U_r rezilyans modülü ile ifade edilir.



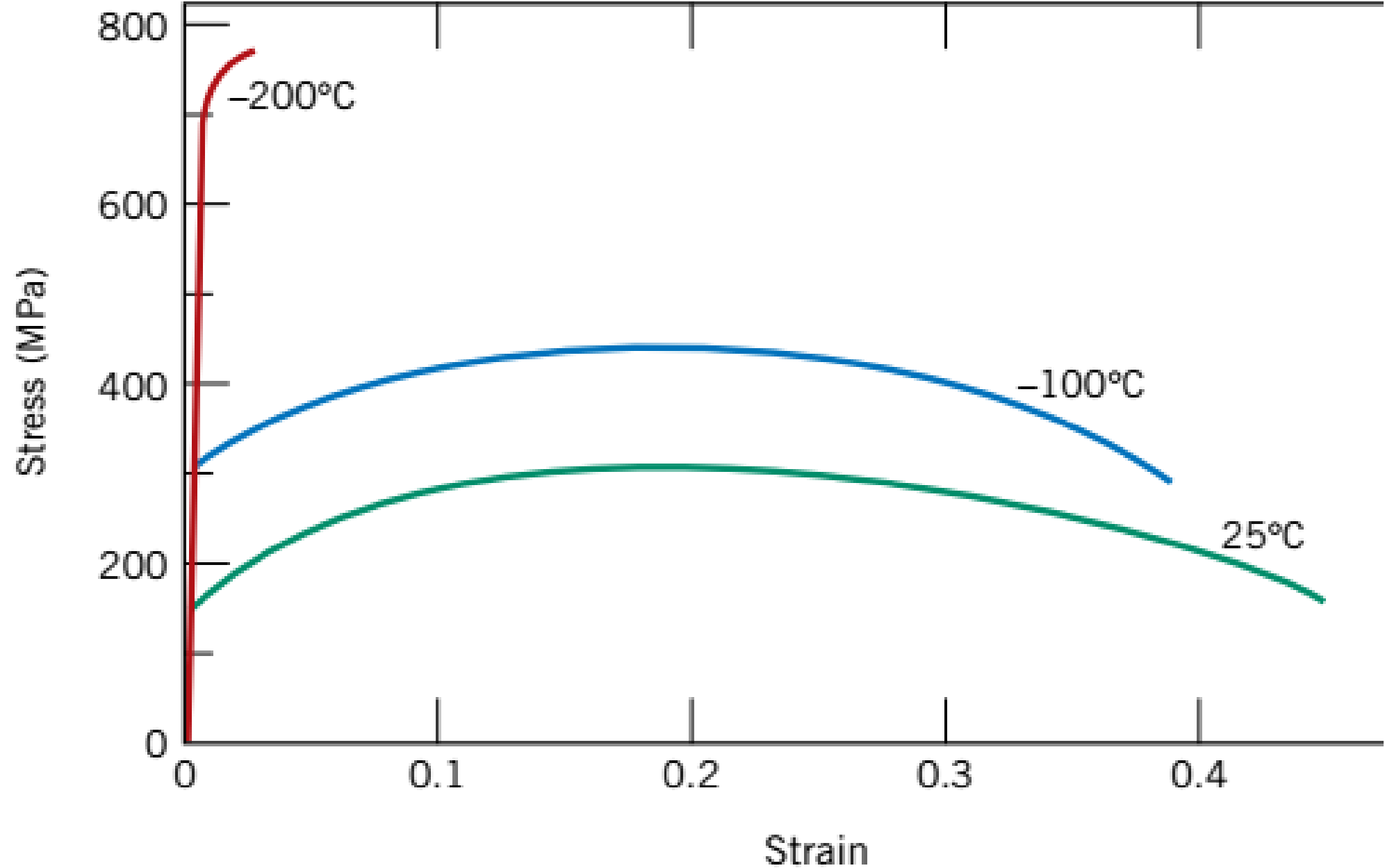
$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon$$

Doğrusal bir elastik bölge kabul edersek;

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

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y = \frac{1}{2} \sigma_y \left(\frac{\sigma_y}{E} \right) = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

Sıcaklık – Mekanik Özellik İlişkisi

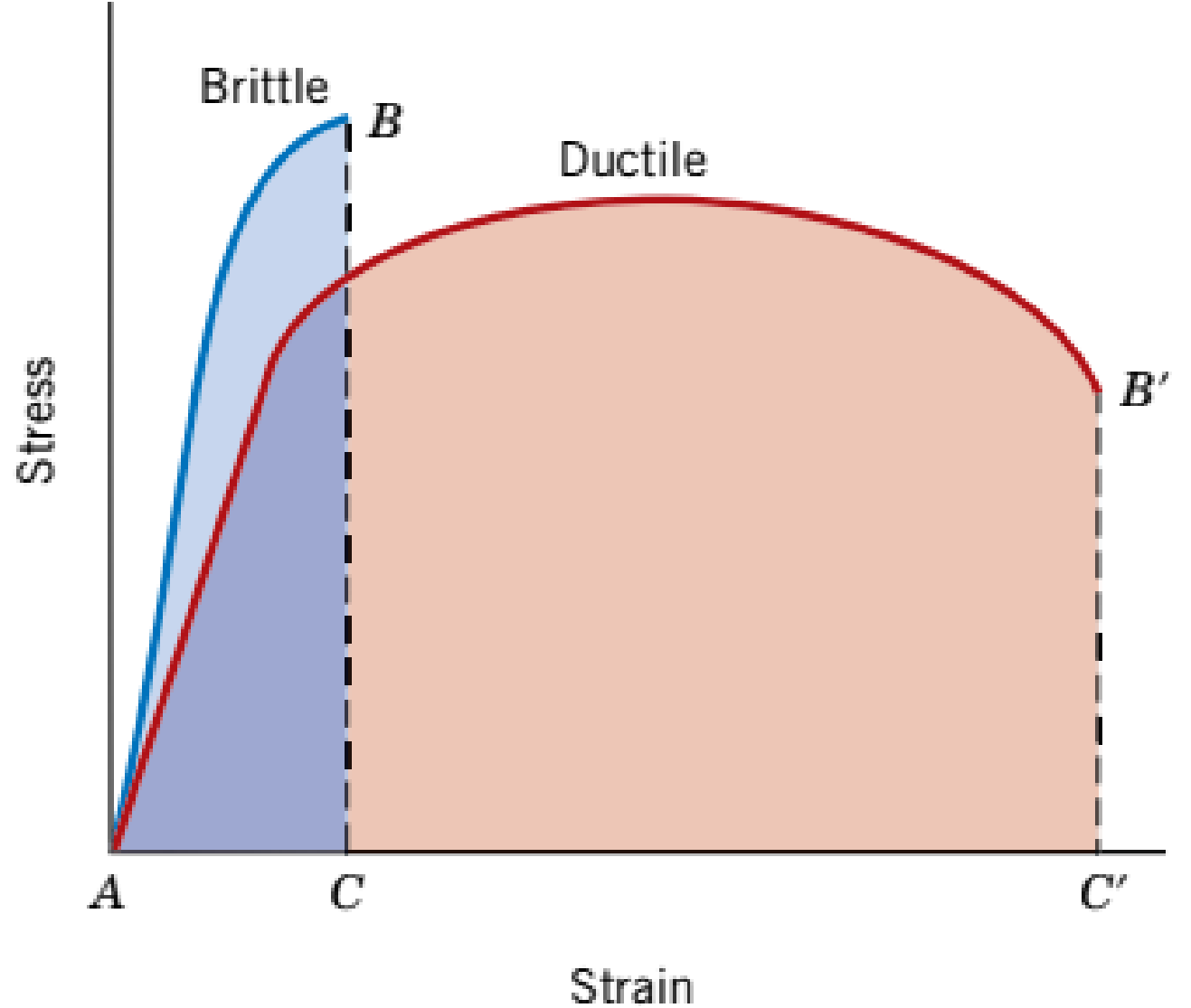


Tokluk

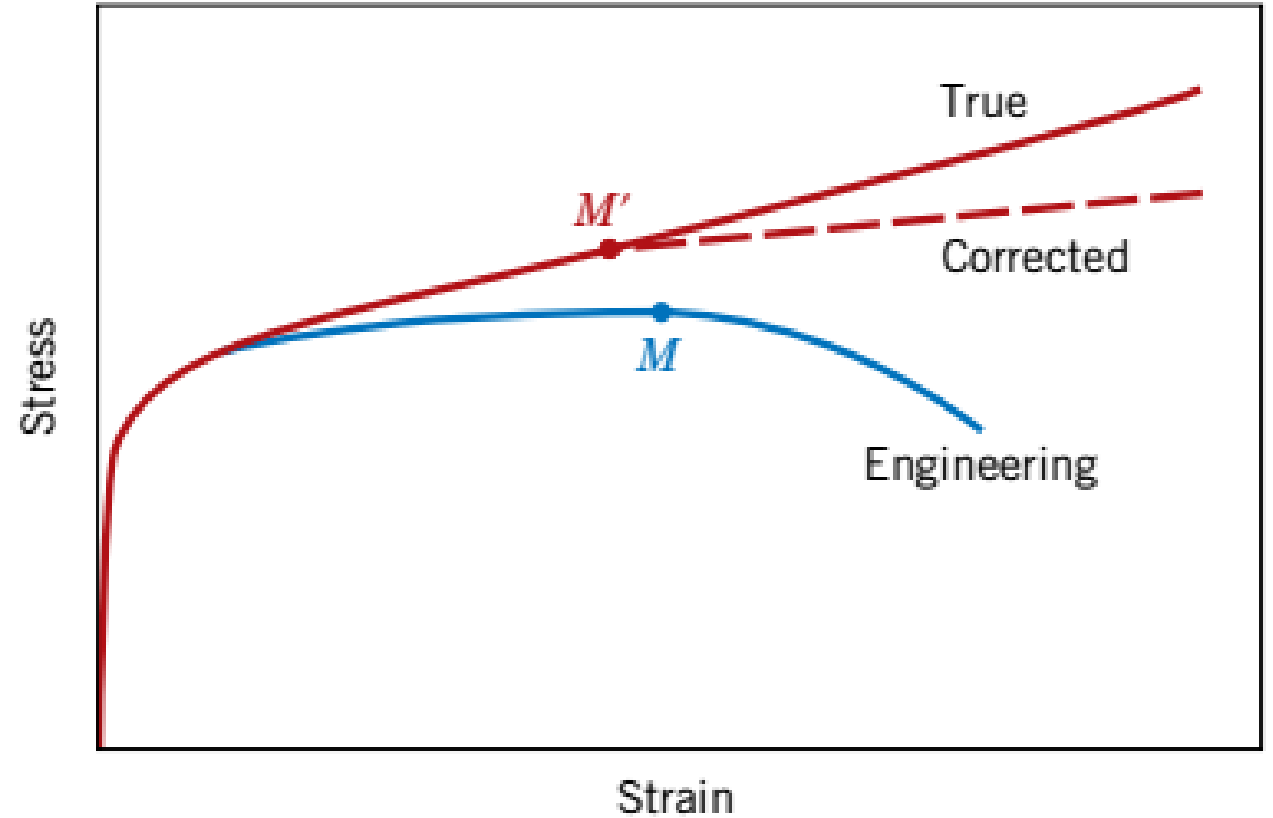
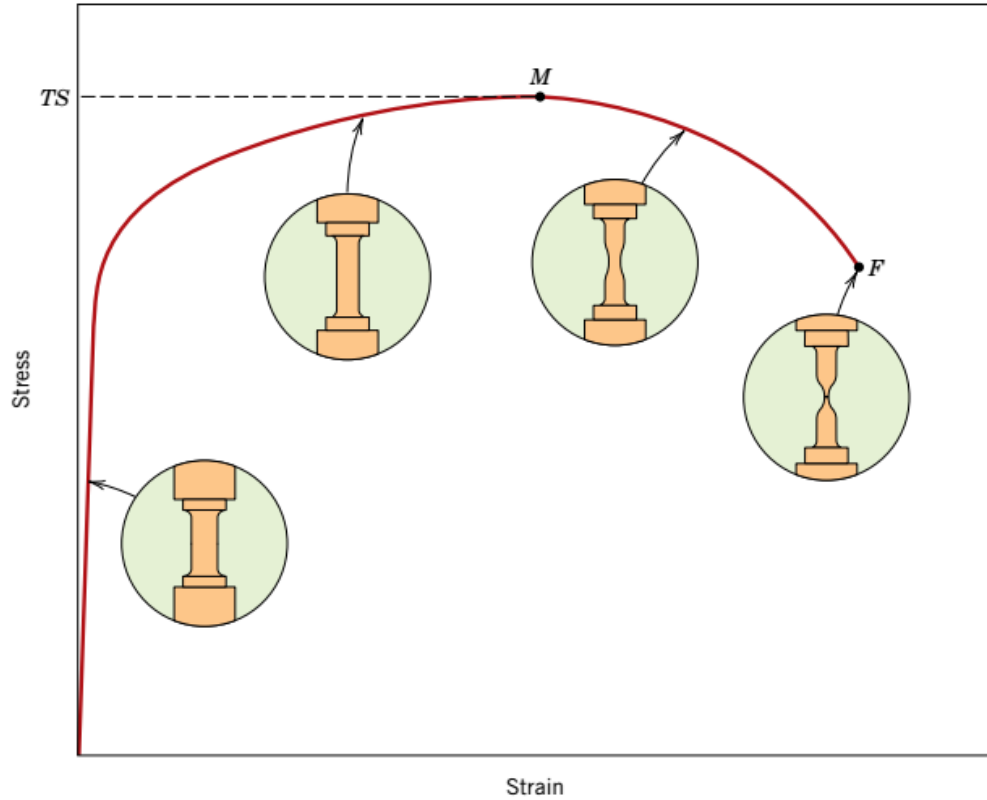
Tokluk terimi birkaç farklı durumda kullanılabilir.

Tokluk, ya da kırılma tokluğu, çatlak veya herhangi bir kusur içeren malzemelerde malzemenin kırılmaya karşı direncini gösteren bir özelliktir.

Bir diğer kullanımında ise tokluk, malzemelerin kırılmadan enerji absorbe etme ve plastik şekil değiştirme kabiliyeti olarak tanımlanabilir.



Gerçek Gerilme – Gerçek Birim Şekil Değişimi



$$\sigma_T = \frac{F}{A_i}$$

$$\epsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

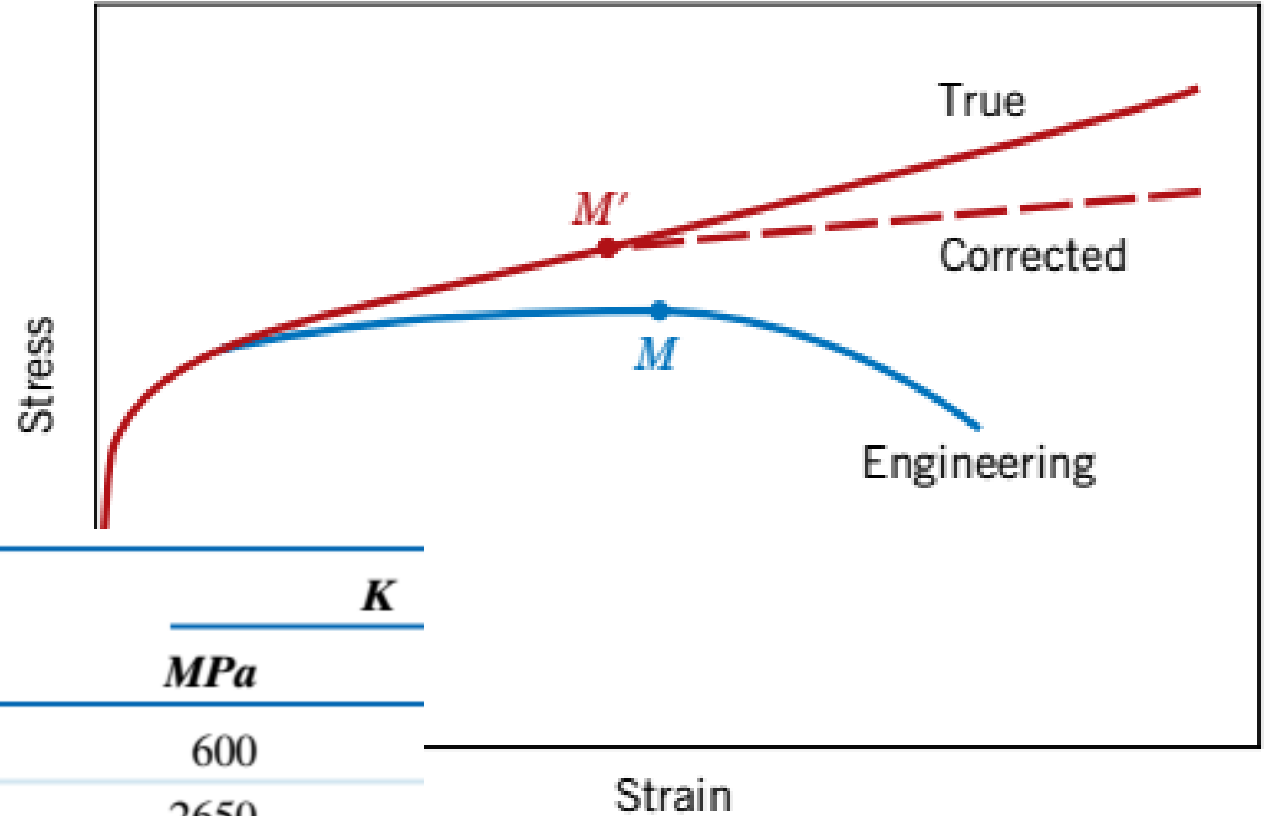
$$A_i l_i = A_0 l_0$$

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon)$$

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

Gerçek Gerilme – Gerçek Birim Şekil Değişimi

$$\sigma_T = K\epsilon_T^n$$



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

Örnek Soru

12,8 mm çapında silindirik bir çelik numuneye kopana dek çekme testi uygulanmış ve mühendislik kopma dayanımı 460 MPa (σ_k) olarak bulunmuştur. Kopma sırasındaki kesit çapı 1,7 mm'dir.

- Yüzde kesit daralması (%KD) cinsinden sünekliği,
- Kopma anındaki gerçek gerilmeyi hesaplayınız.

$$\begin{aligned} \%KD &= \left(\frac{A_0 - A_k}{A_0} \right) \times 100 = \frac{\pi \left(\frac{12,8 \text{ mm}}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{10,7 \text{ mm}}{2} \right)^2}{\pi \left(\frac{12,8 \text{ mm}}{2} \right)^2} \times 100 \\ &= \frac{128,7 \text{ mm}^2 - 89,9 \text{ mm}^2}{128,7 \text{ mm}^2} = \%30 \end{aligned}$$

$$F = \sigma_k \cdot A_0 = \left(460 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (128,7 \text{ mm}^2) = 59202 \text{ N}$$

$$\sigma_g = \frac{F}{A_k} = \frac{59202 \text{ N}}{89,9 \text{ mm}^2} = 658,5 \text{ MPa}$$

Sertlik

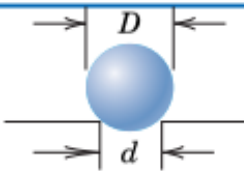
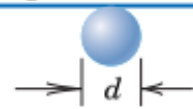
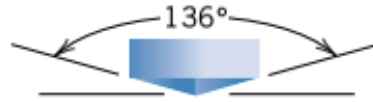

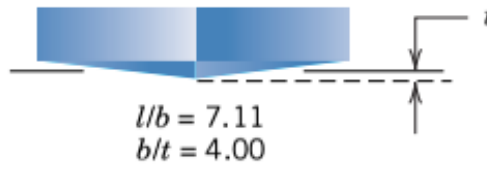
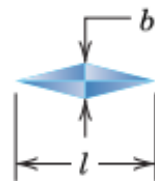
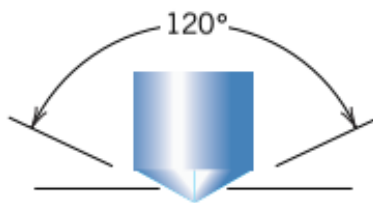


Sertlik, bir malzemenin batma, çizilme gibi bölgesel plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir.

Farklı şekillerde sertlik tayini yapılabilmektedir. Mohs skalası, Rockwell testleri, Brinell testi, Vickers testi vb.

Sertlik deneylerinin yaygın olarak kullanılmasının temel nedenleri:

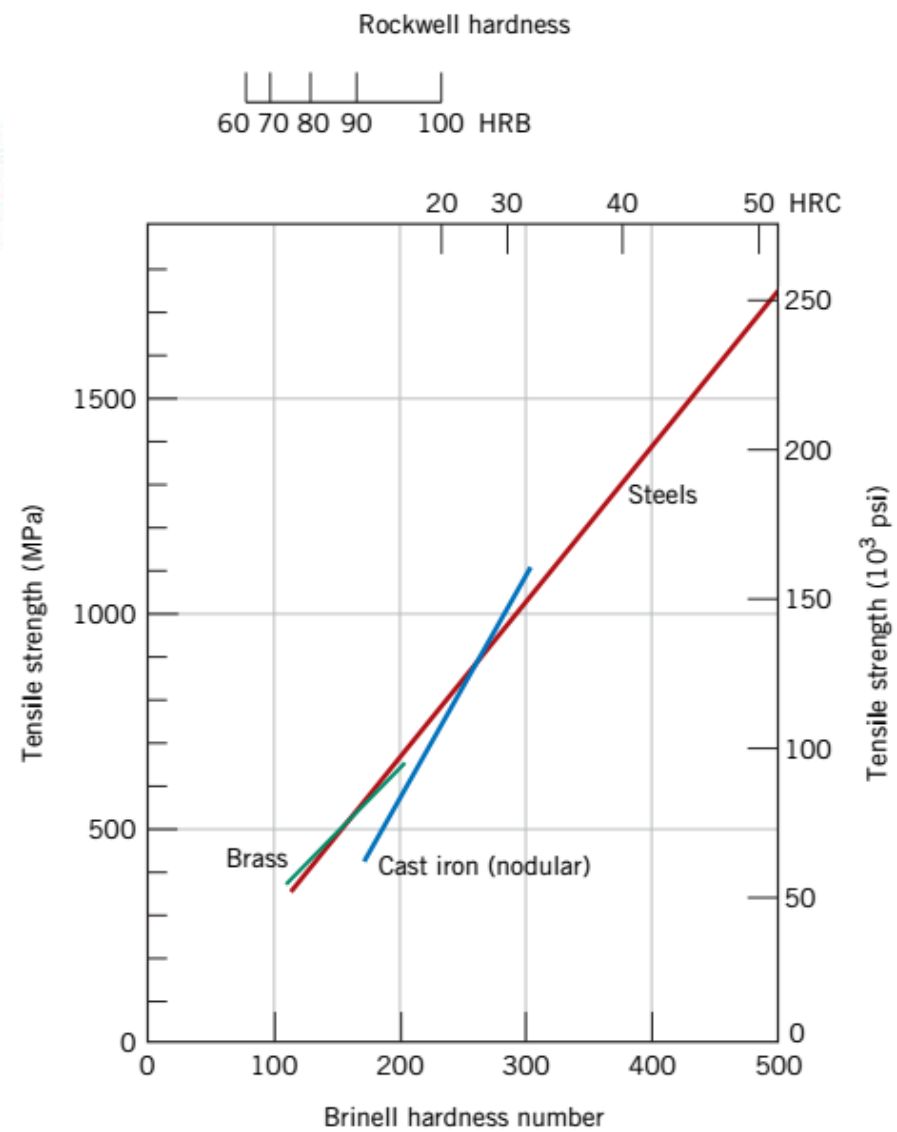
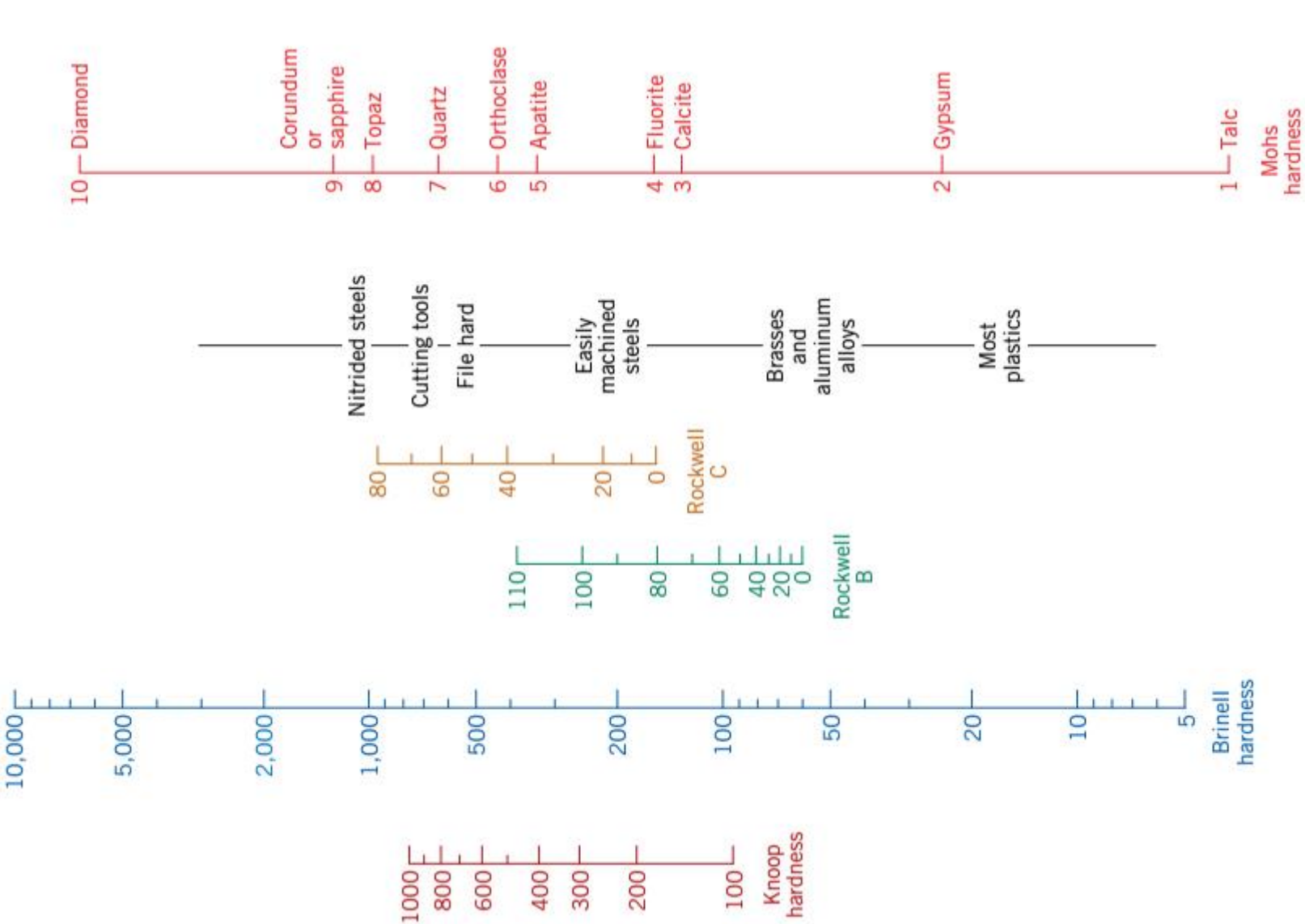
- 1- Basit ve düşük maliyetli olmaları – genellikle özel bir numune hazırlanmasına gerek yoktur ve sertlik ölçme cihazı nispeten ucuzdur.
- 2- Tahribatsız deneyler – numunede hasar ya da aşırı deformasyon meydana gelmez, oluşan tek deformasyon küçük bir izden ibarettir.
- 3- Çoğu zaman, çekme dayanımı gibi diğer mekanik özellikler sertlik verileri kullanılarak tahmin edilebilir.

Sertlik

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
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 		 	<ul style="list-style-type: none"> 60 kg 100 kg 150 kg } Rockwell <ul style="list-style-type: none"> 15 kg 30 kg 45 kg } Superficial Rockwell	

^aFor the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, and D , d , d_1 , and l are all in millimeters.

Sertlik



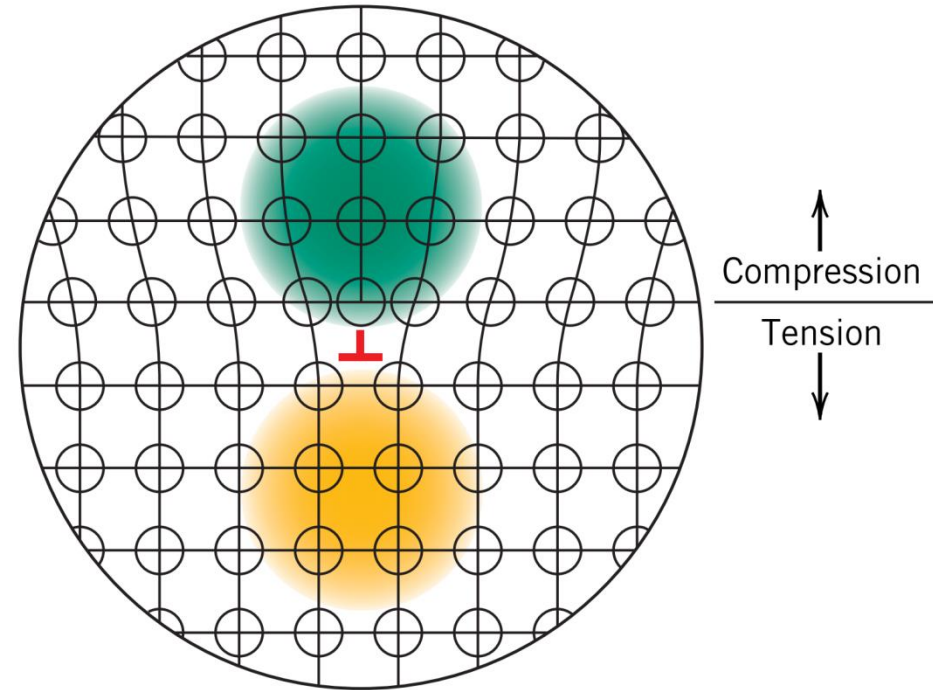
Özet

Özellik	Sembol	Anlamı
Elastiklik modülü	E	Rijitlik – elastik deformasyona karşı direnç
Akma dayanımı	σ_{ak} (σ_y)	Plastik deformasyona karşı direnç
Çekme dayanımı	$\sigma_{ç}$ (σ_{TS})	Maksimum yük taşıma kapasitesi
Süneklik	%UZ, %KD	Kırılma anındaki plastik deformasyon oranı
Rezilyans modülü	U_r	Enerji absorplama, elastik deformasyon
Tokluk (statik)	-	Enerji absorplama, plastik deformasyon
Sertlik	HB, HRC, HV vb.	Bölgesel plastik deformasyona karşı direnç

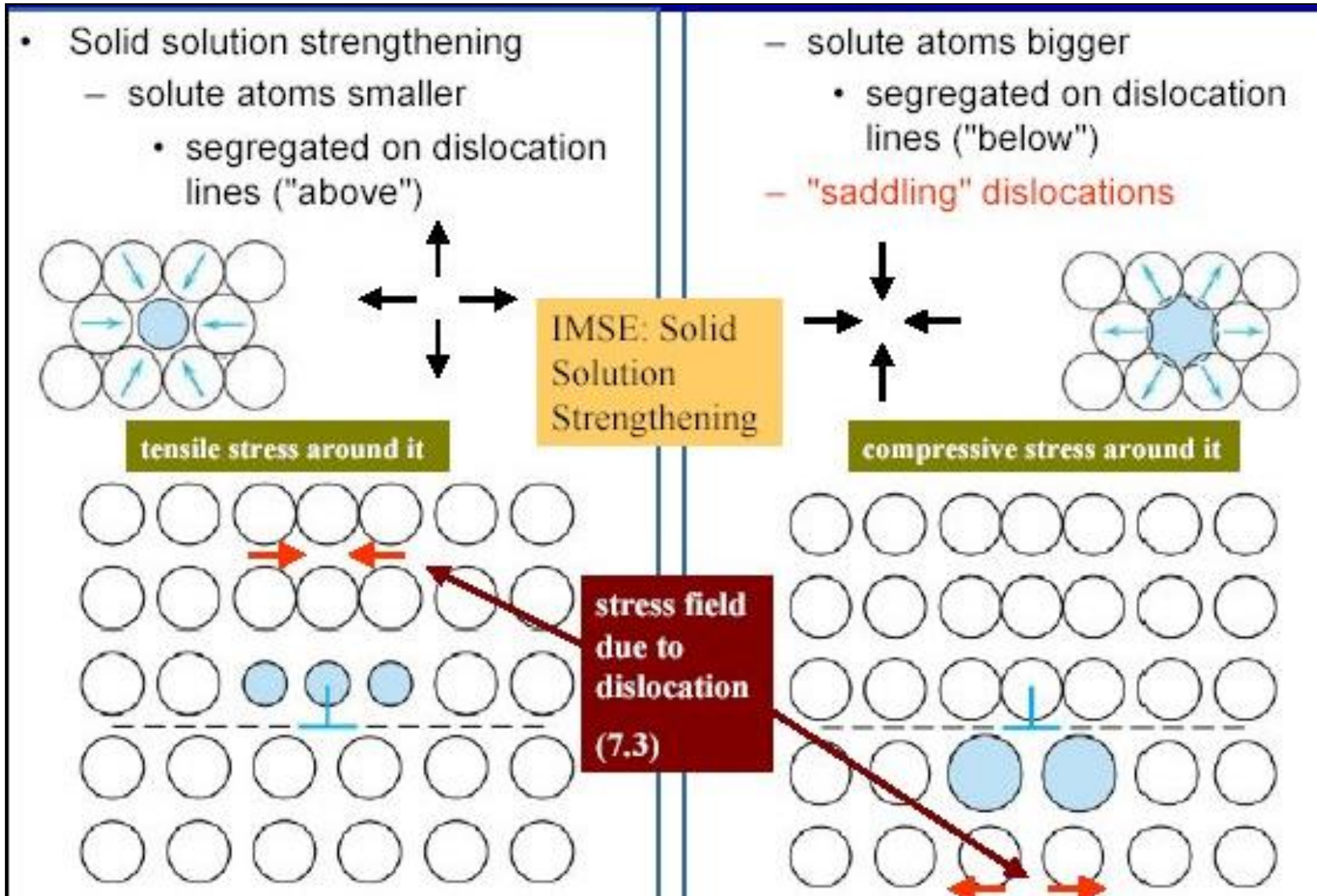
Dislokasyon Sonucu Oluşan Gerilim

Figure 7.4 Regions of compression (green) and tension (yellow) located around an edge dislocation.

(Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 85. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York.)



Katı Eriyik Sertleşmesi



Katı Eriyik Sertleşmesi

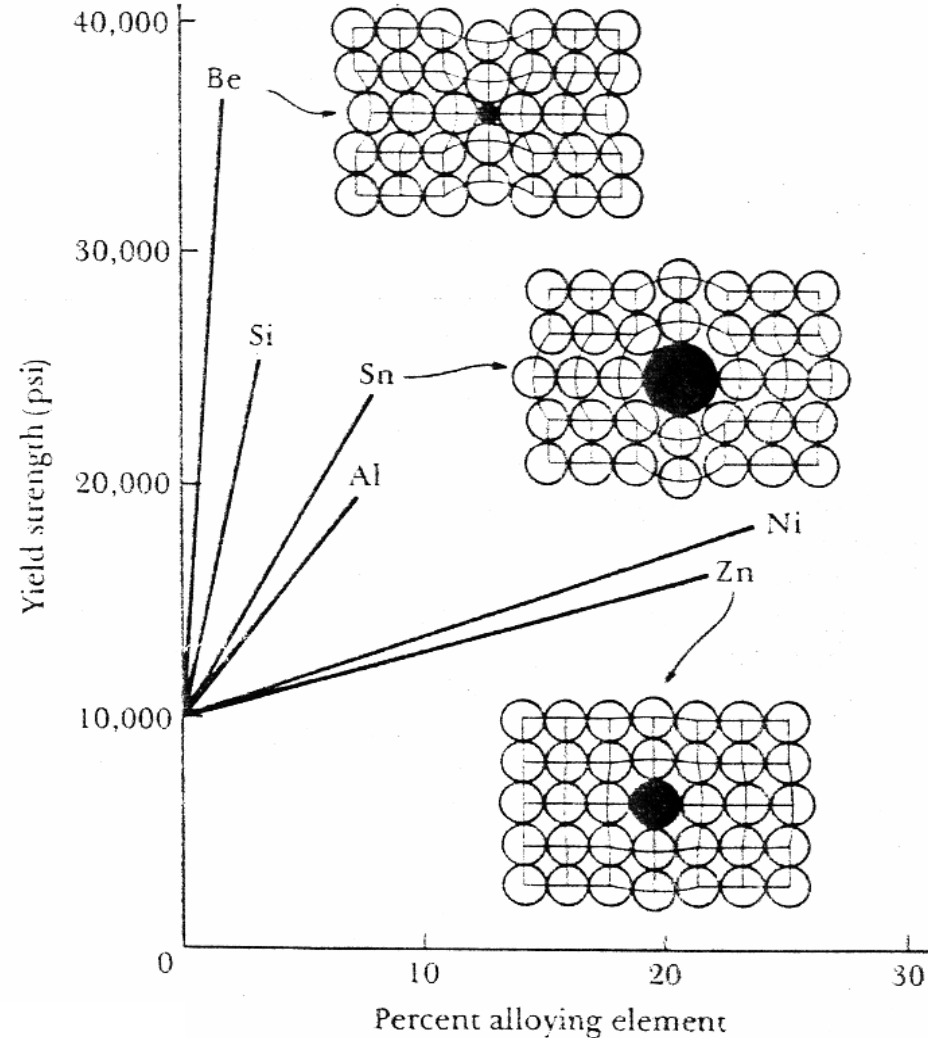
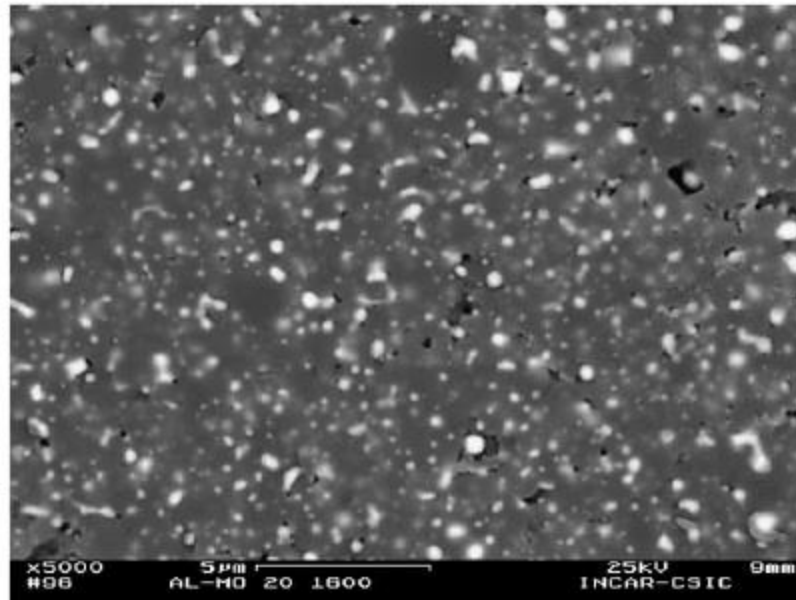
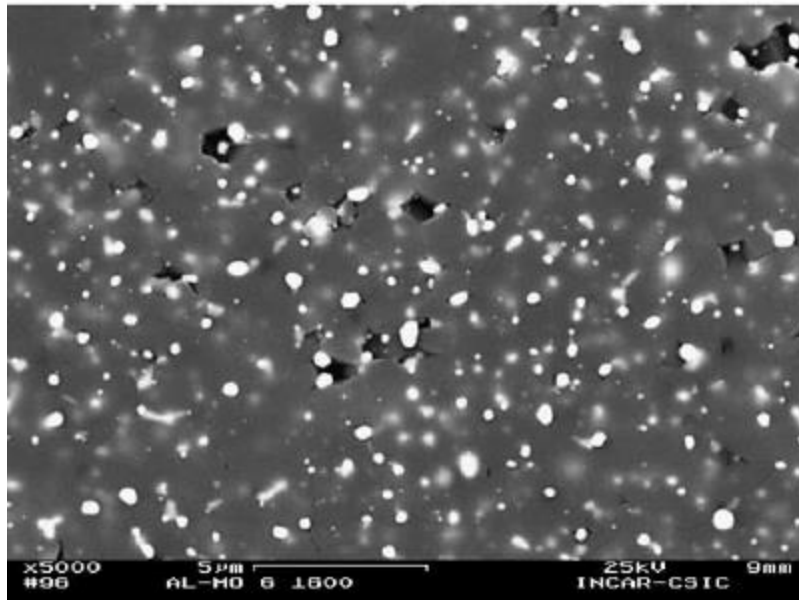
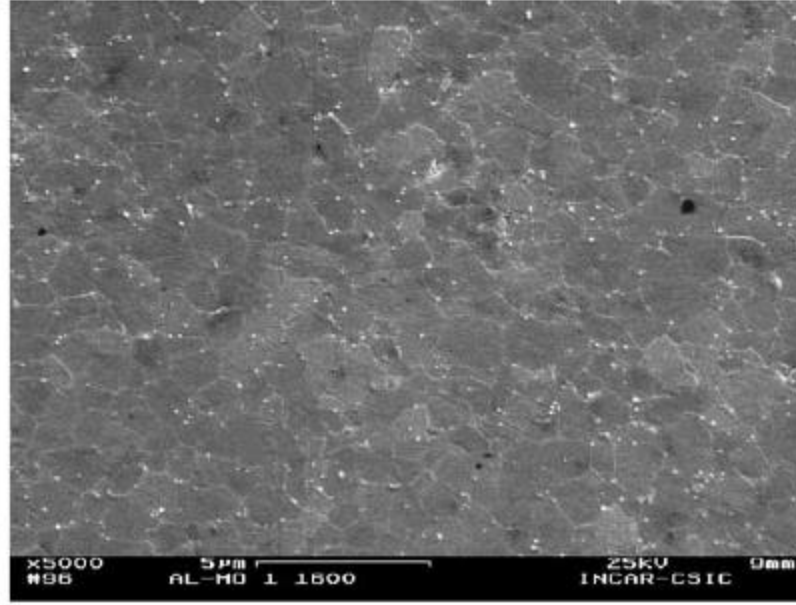
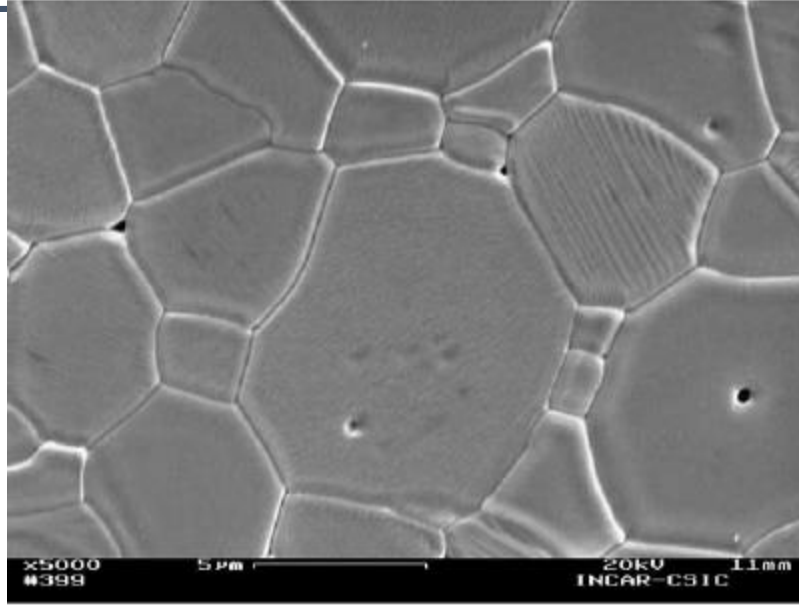


FIG. 8-12 The effect of several alloying elements on the yield strength of copper. Nickel and zinc atoms are about the same size as copper atoms, but beryllium and tin atoms have much different sizes than copper atoms. Both increasing atomic size difference and amount of alloying element increase solid solution strengthening.

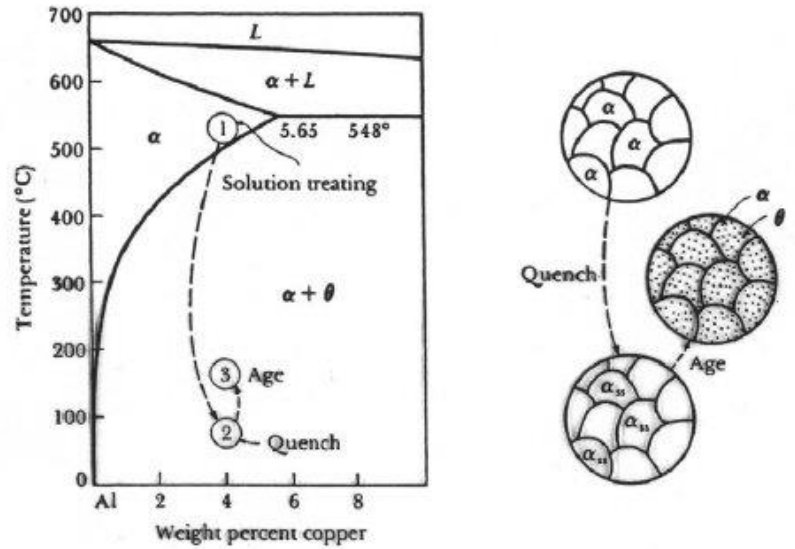
Dispersiyonla Sertleştirme



Alumina/Molybdenum Nanocomposites Obtained in Organic Media

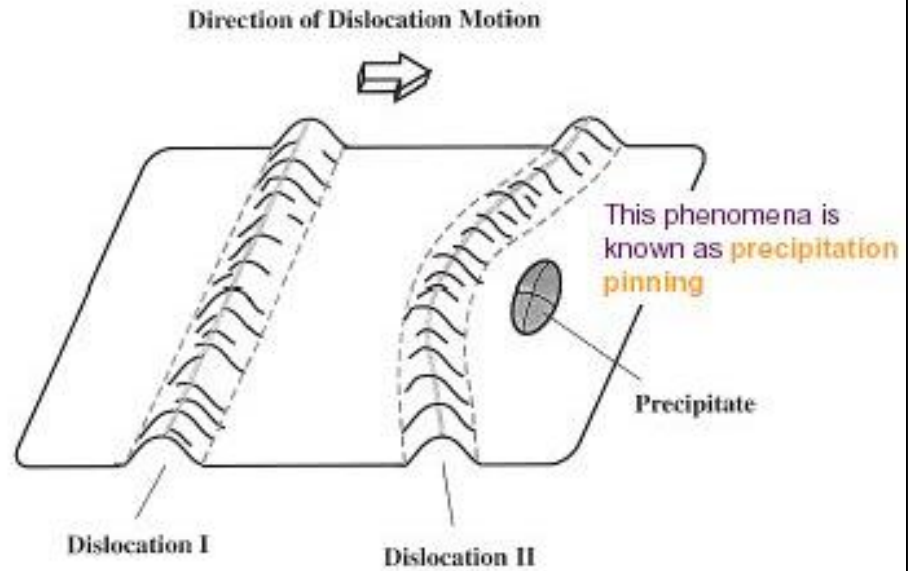
Çökelti Sertleştirme

Microstructure during aging



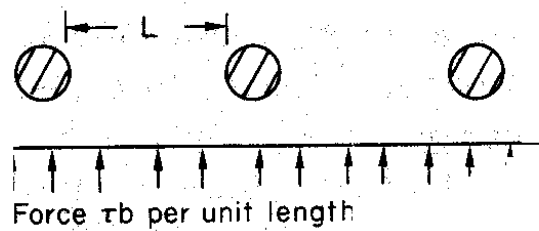
The aluminum-rich end of the aluminum-copper phase diagram showing the three steps in the age-hardening heat treatment and the microstructures that are produced.

Carpet Analogy: Precipitation Hardening



Cökelti Sertlestirmesi

(a) Approach situation

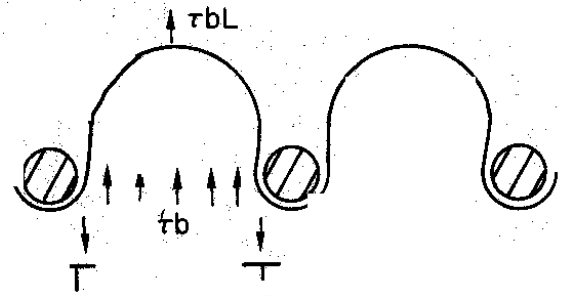


$$\tau_y \text{ dispersion} = \frac{2T}{bL} = \frac{Gb}{L}$$

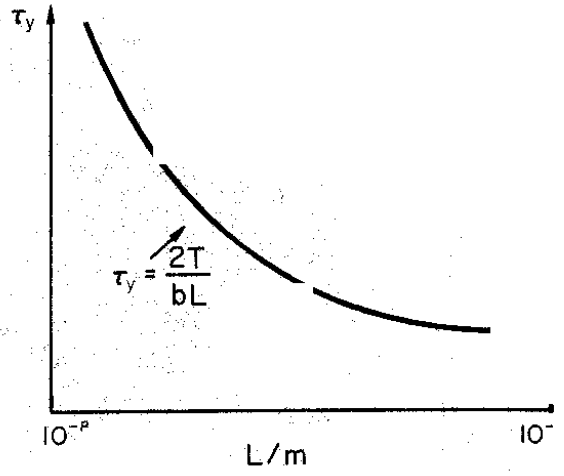
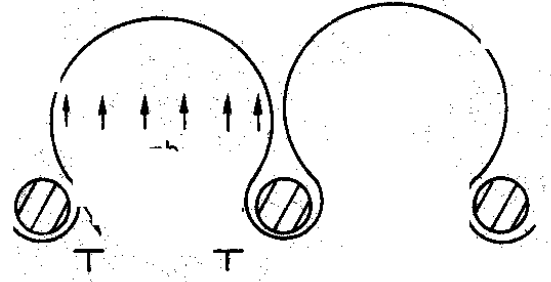
(b) Sub-critical situation



(c) Critical situation

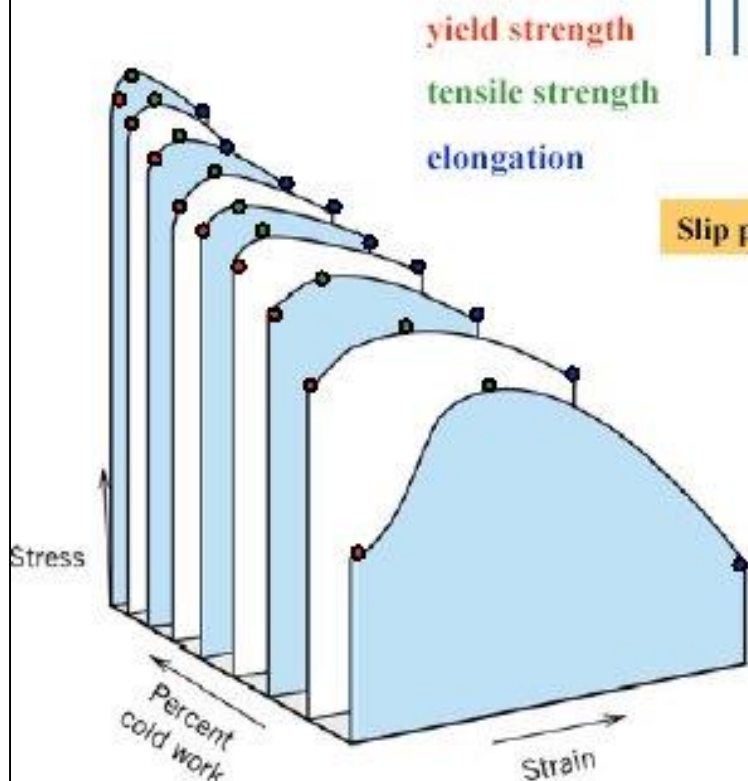


(d) Escape situation

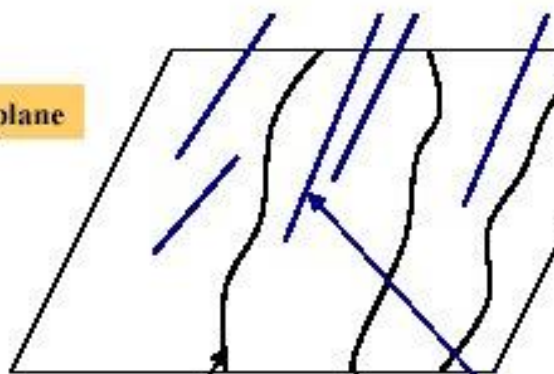


Deformasyonla Sertleştirme

- effect of %CW on stress-strain curve

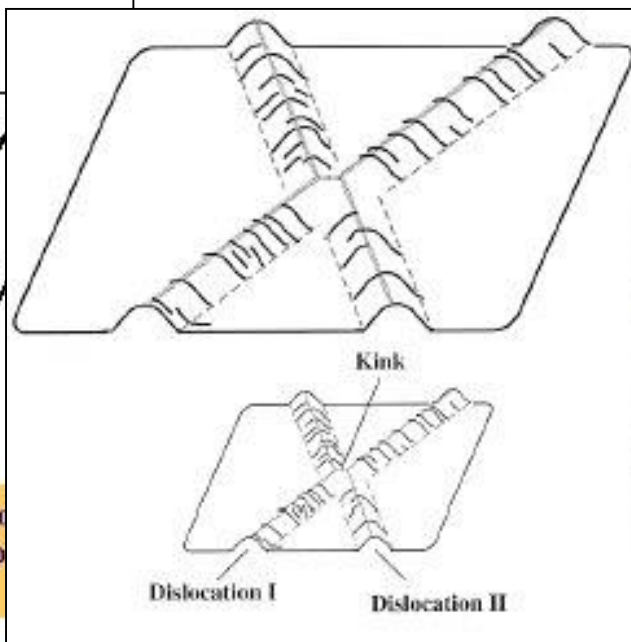
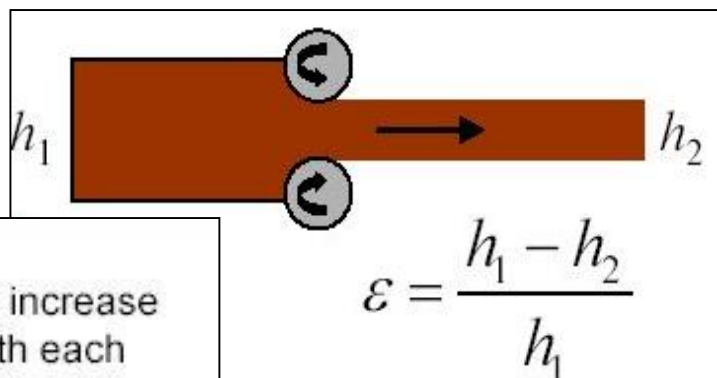


- mechanism
density of dislocations increase and they interact with each other making dislocation movement more difficult

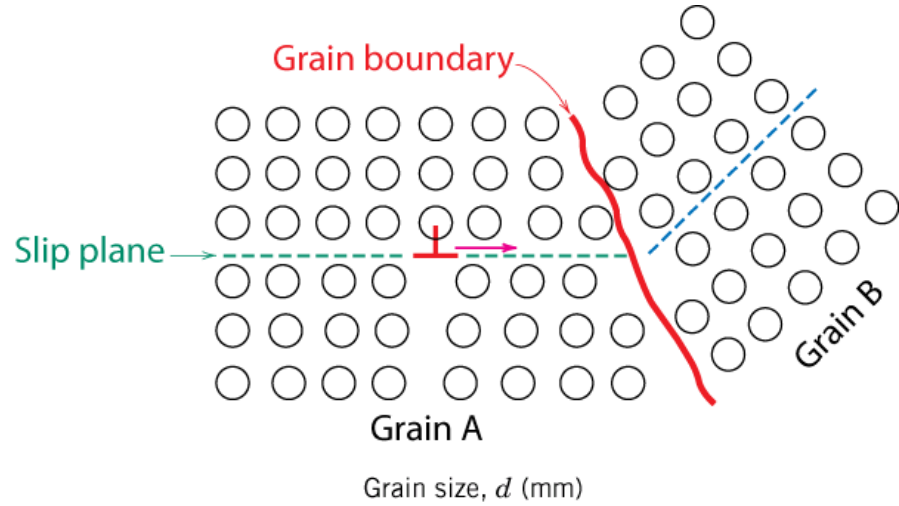


Dislocations on the slip plane

Dislocations on other slip planes

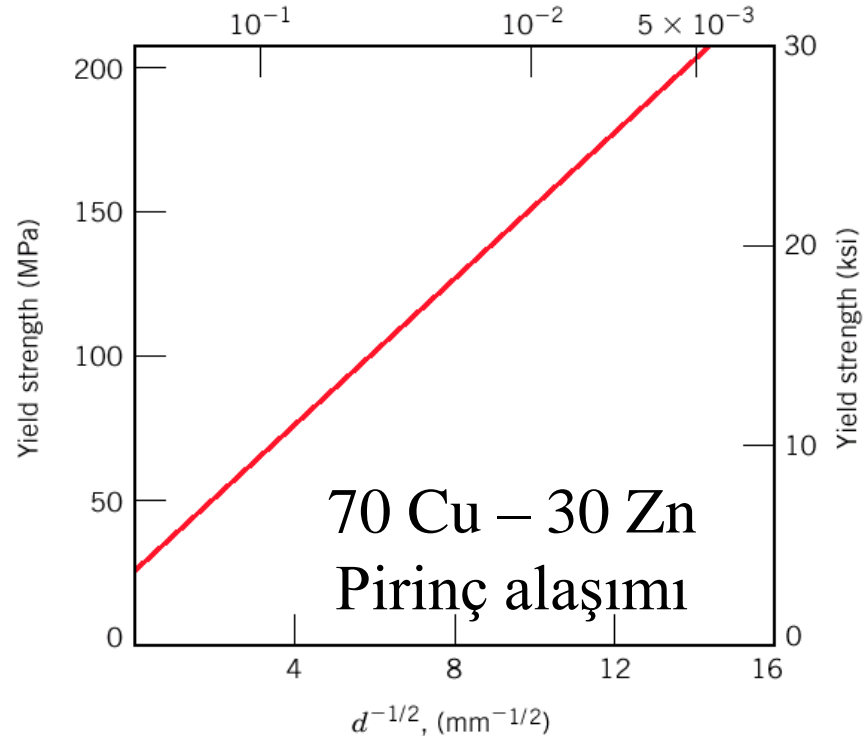


Tane Sınırı Sertleştirmesi



Hall-Petch İlişkisi:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$$



Tane Sınırı Sertleştirme

