

คุณสมบัติเชิงกลของโลหะ

(Mechanical Properties of Metals)

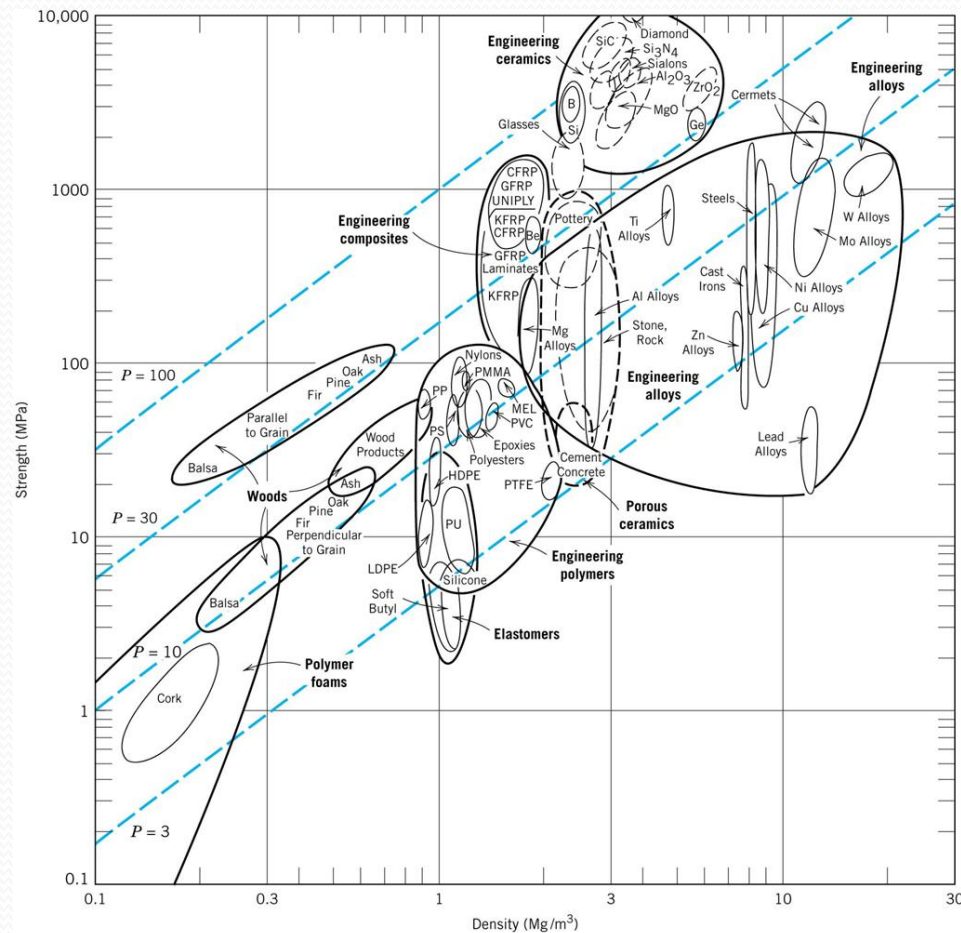
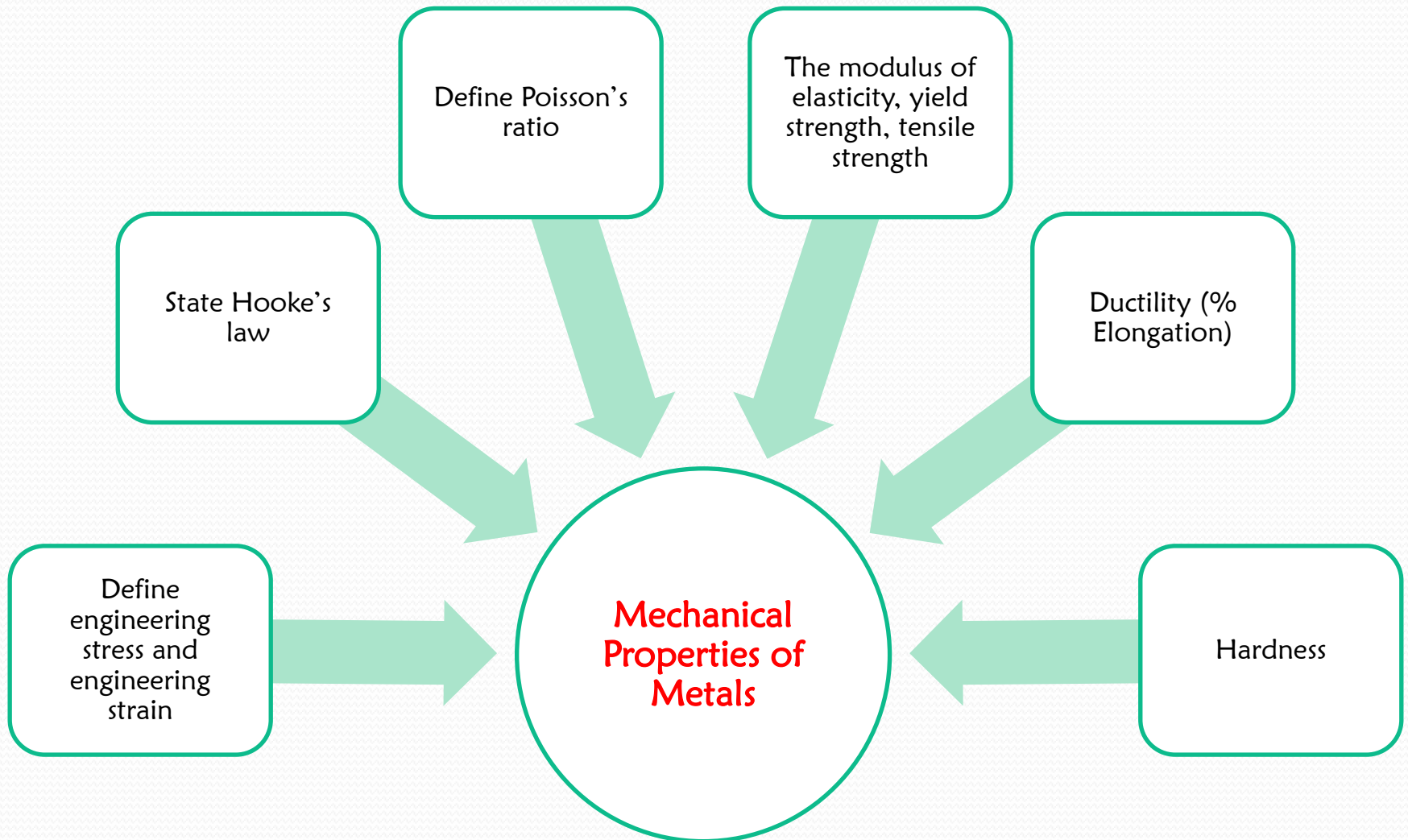


FIGURE 6.22 Strength versus density materials selection chart. Design guidelines for performance indices of 3, 10, 30, and 100 (MPa)^{2/3}m³/Mg have been constructed, all having a slope of $\frac{3}{2}$. (Adapted from M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*. Copyright © 1992. Reprinted by permission of Butterworth-Heinemann Ltd.)

Mechanical Properties of Metals



Mechanical Properties

คุณสมบัติที่เกี่ยวกับการต้านทานการเปลี่ยนรูปของวัสดุ เมื่อถูกแรงภายนอกมากระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง แรงเฉือน เพื่อการนำไปใช้งานทางวิศวกรรมว่าเหมาะสมที่จะใช้งานหรือไม่

- ความแข็งแรง (Strength)
- ความแข็ง (Hardness)
- ความเหนียว (Ductility)
- ความแข็งตึง (Stiffness)

CONCEPTS OF STRESS AND STRAIN

- ถ้าเราใส่แรงที่คงที่ หรือมีลักษณะที่แปรเปลี่ยนตามเวลาอย่างช้าในอัตราที่คงที่ ในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (หรือขนานกับพื้นที่หน้าตัด ในกรณีของแรงเฉือน) ลักษณะทางกลที่จะเกิดขึ้นกับวัสดุจะเป็นความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ซึ่งเป็นลักษณะที่มักจะเกิดกับวัสดุโลหะ ณ อุณหภูมิห้อง
- ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นนี้จะมีอยู่ 3 ประเภทด้วยกันได้แก่ ความเค้นดึง (tension stress), ความเค้นกด (compression stress) และความเค้นเฉือน (shear stress)

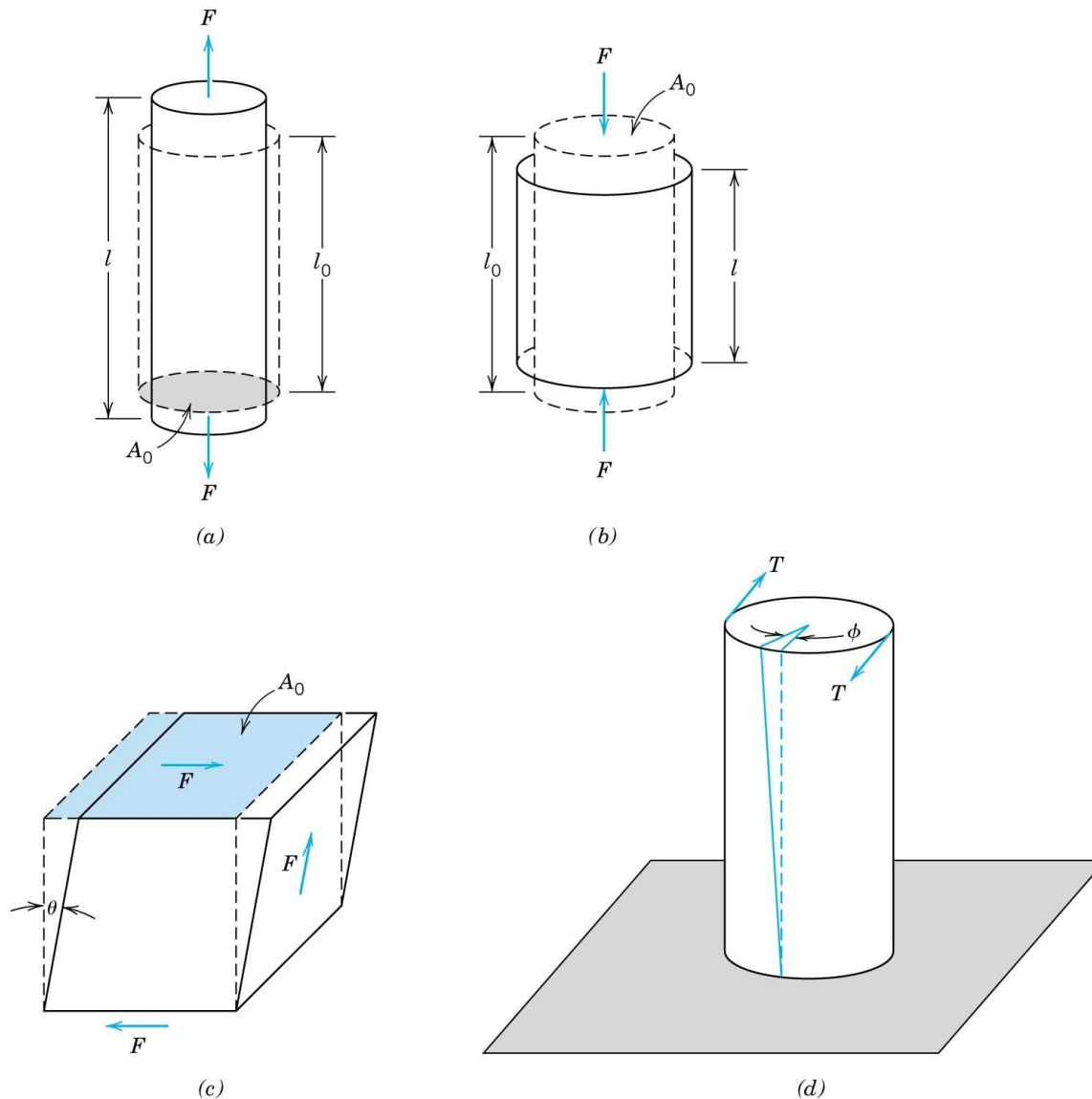
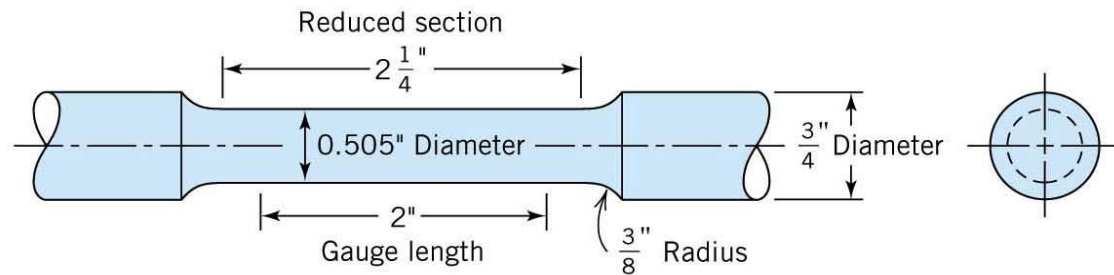


FIGURE 6.1 (a) Schematic illustration of how a tensile load produces an elongation and positive linear strain. Dashed lines represent the shape before deformation; solid lines, after deformation. (b) Schematic illustration of how a compressive load produces contraction and a negative linear strain. (c) Schematic representation of shear strain γ , where $\gamma = \tan \theta$. (d) Schematic representation of torsional deformation (i.e., angle of twist ϕ) produced by an applied torque T .

STRESS-STRAIN TESTING

- Typical tensile specimen

FIGURE 6.2 A standard tensile specimen with circular cross section.



- Typical tensile test machine

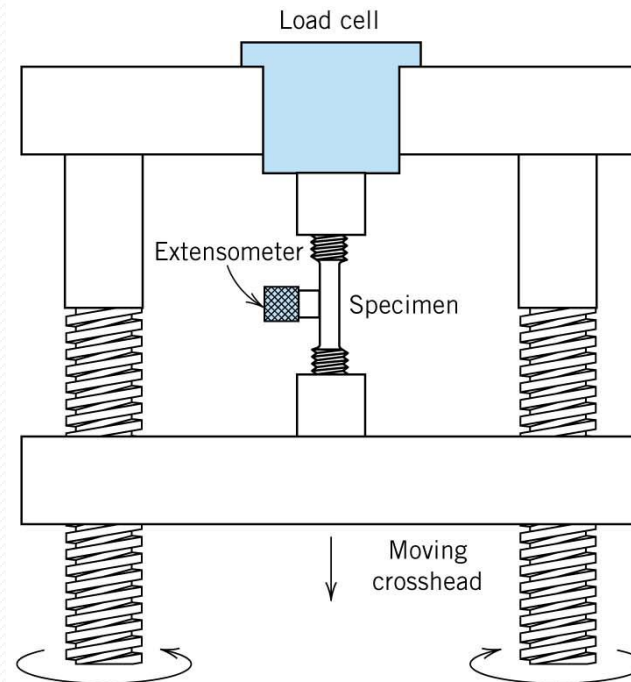
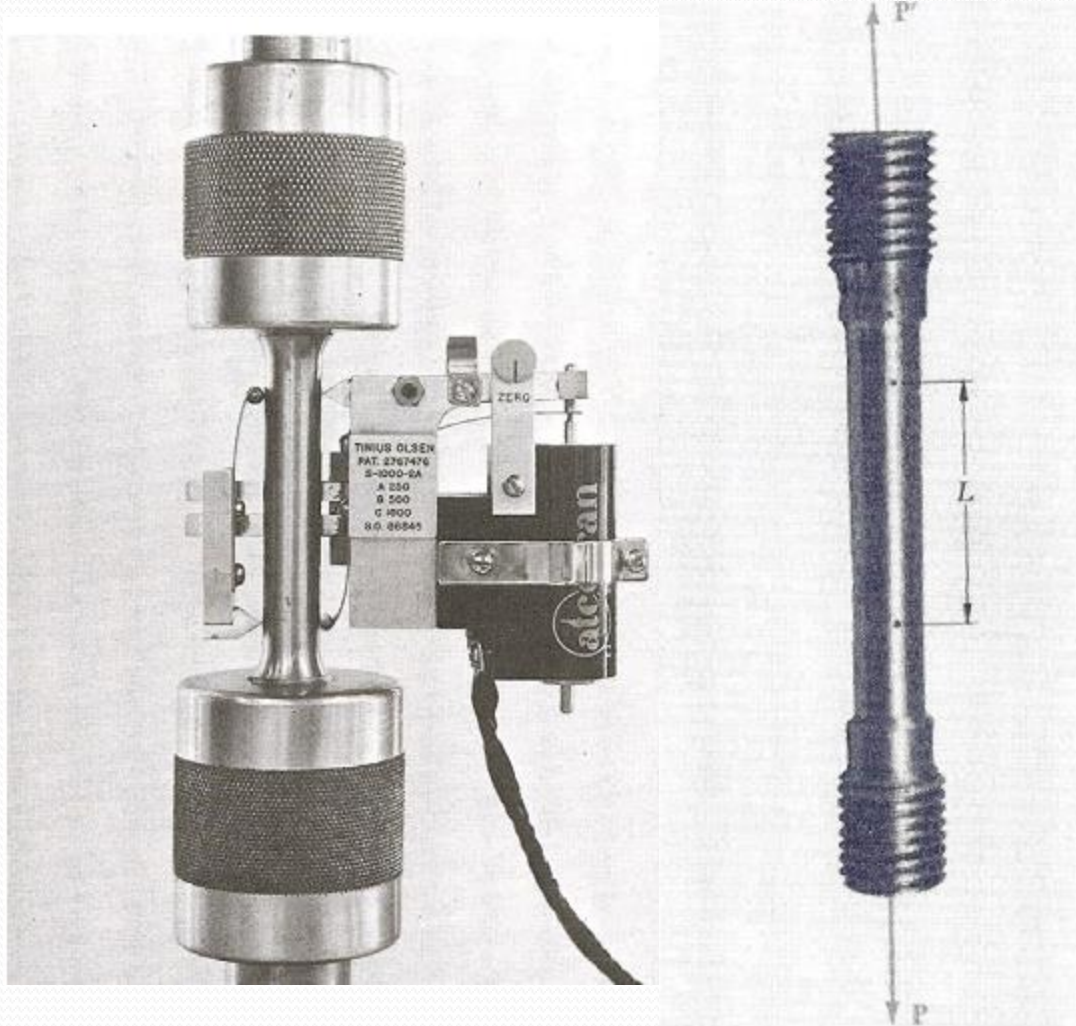


FIGURE 6.3 Schematic representation of the apparatus used to conduct tensile stress-strain tests. The specimen is elongated by the moving crosshead; load cell and extensometer measure, respectively, the magnitude of the applied load and the elongation. (Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*, p. 2. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

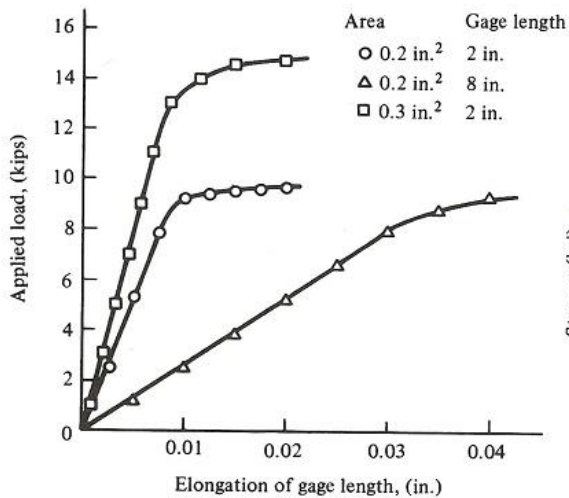
STRESS-STRAIN TESTING



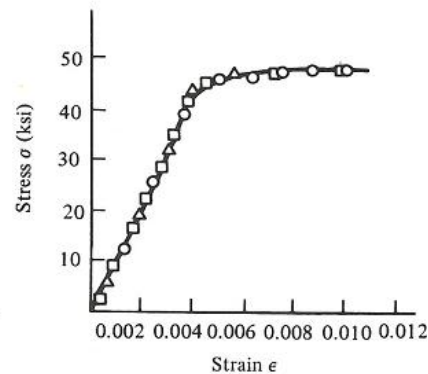
STRESS-STRAIN TESTING

2017-T451 Aluminum Alloy

Load-deformation data



Stress-strain data



Ductile Material Test Specimen

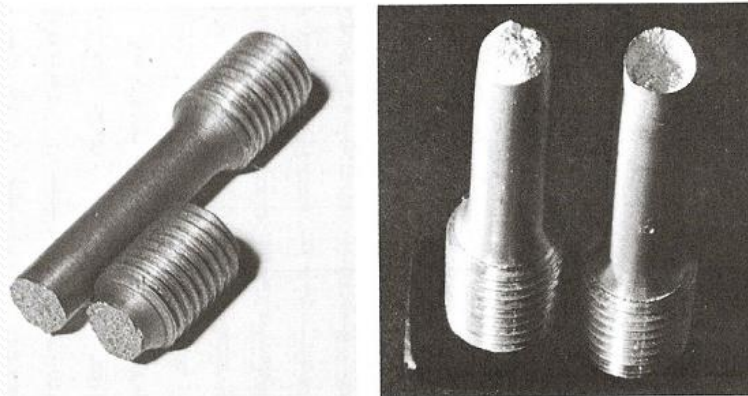
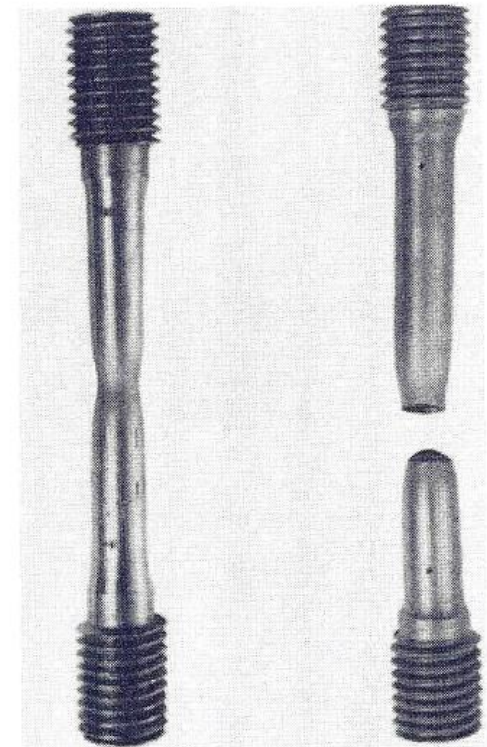
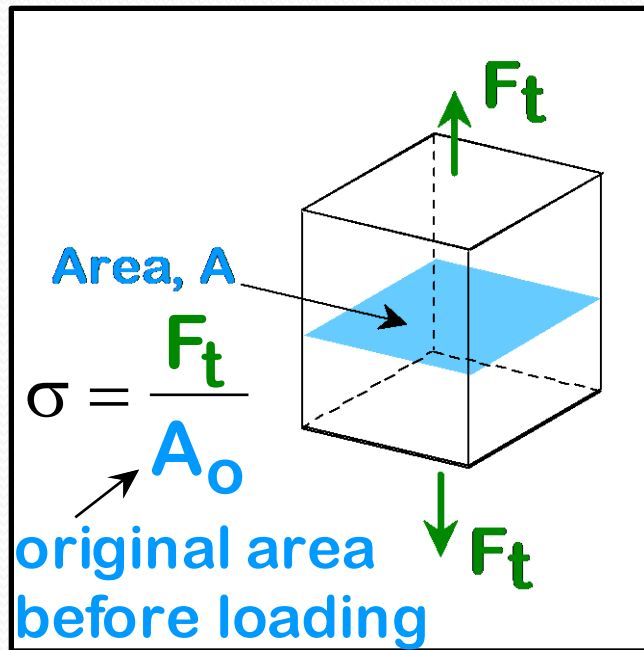


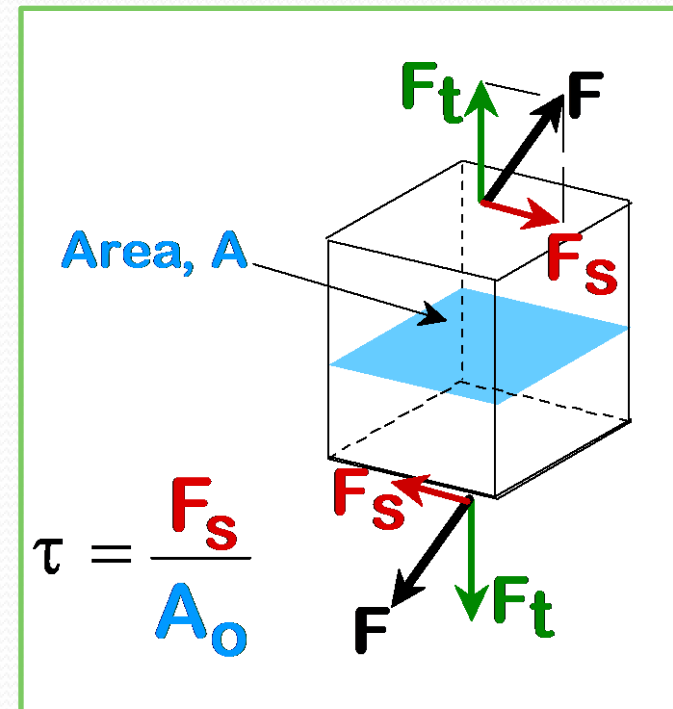
Figure 5.32 Typical Fracture Patterns of (a) Brittle and (b) Ductile Materials in Tension.

ENGINEERING STRESS

- **Tensile stress**, σ :



- **Shear stress**, τ :



Stress (σ or τ) has units:
 N/m^2 or lb/in^2

COMMON STATES OF STRESS

- **Simple** tension: cable

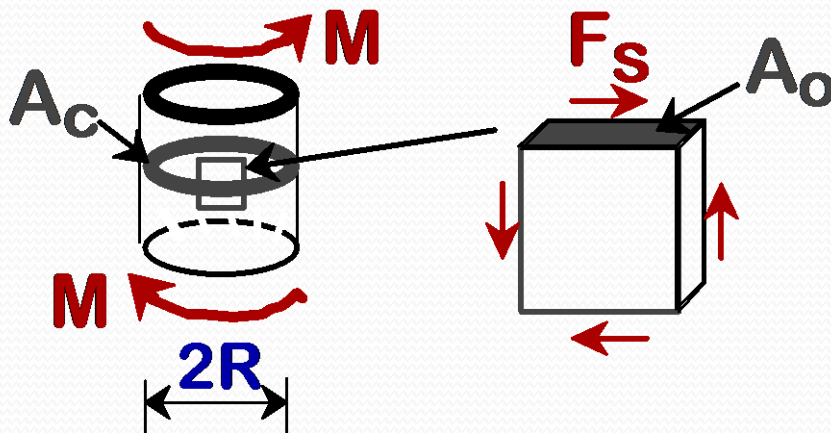


A_0 = cross sectional
Area (when unloaded)

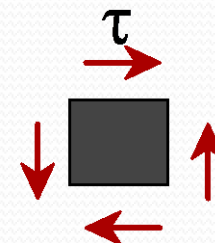
$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$
A diagram of a square element under tension. Two red arrows labeled 'σ' point outwards from the left and right sides of the square.



- **Simple** shear: drive shaft



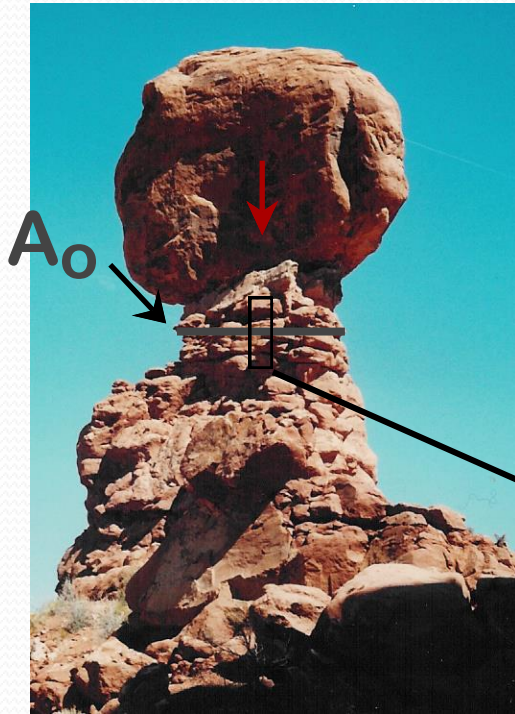
$$\tau = \frac{F_s}{A_0}$$



Note: $\tau = M/A_c R$ here.

OTHER COMMON STRESS STATES (1)

- **Simple** compression:



Balanced Rock, Arches
National Park
(photo courtesy P.M. Anderson)



Canyon Bridge, Los Alamos, NM
(photo courtesy P.M. Anderson)

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



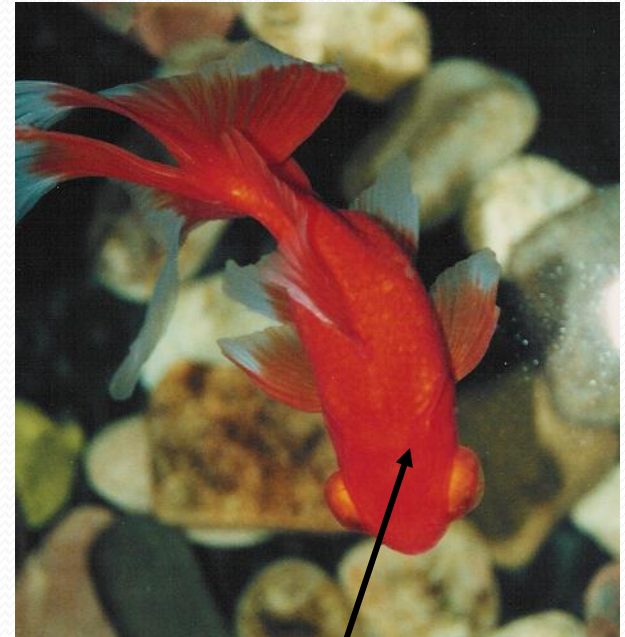
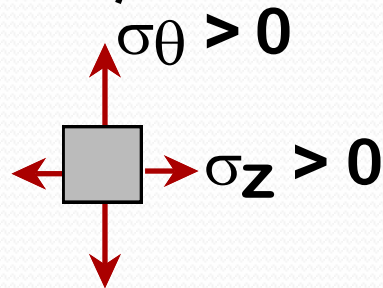
Note: compressive
structure member
($\sigma < 0$ here).

OTHER COMMON STRESS STATES (2)

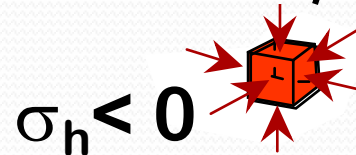
- **Bi-axial** tension:
- **Hydrostatic** compression:



Pressurized tank
(photo courtesy
P.M. Anderson)



Fish under water
(photo courtesy
P.M. Anderson)



ENGINEERING STRAIN

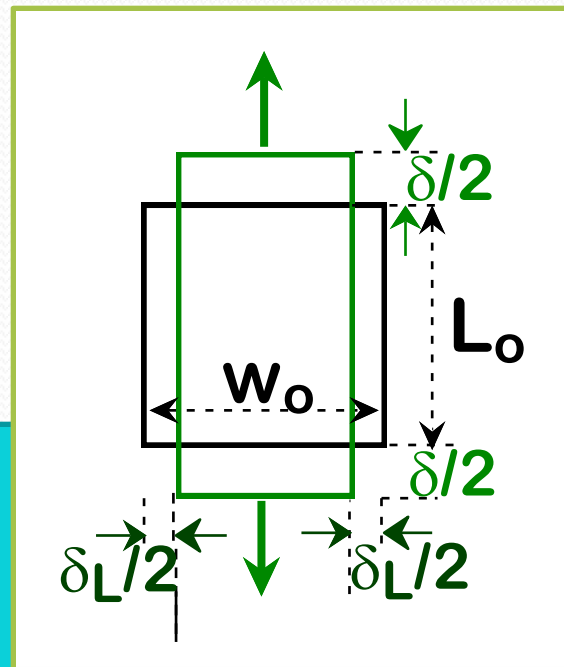
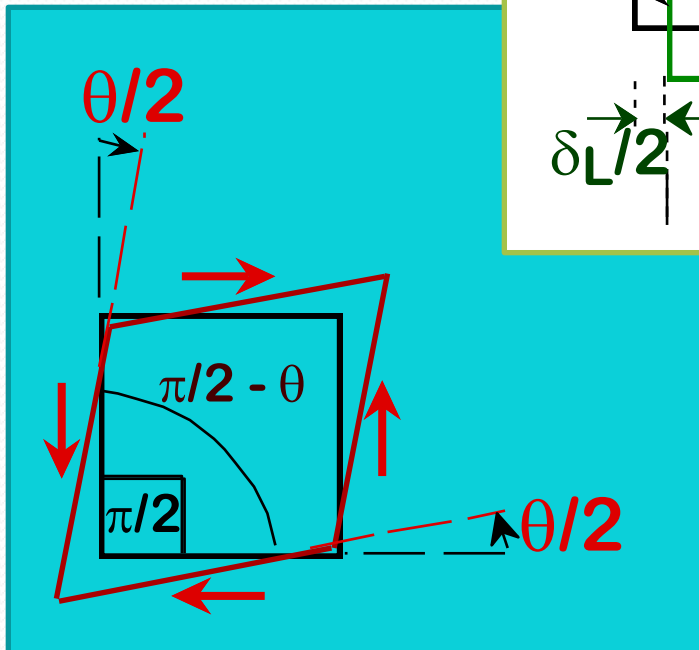
- Tensile strain:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_o}$$

- Lateral strain:

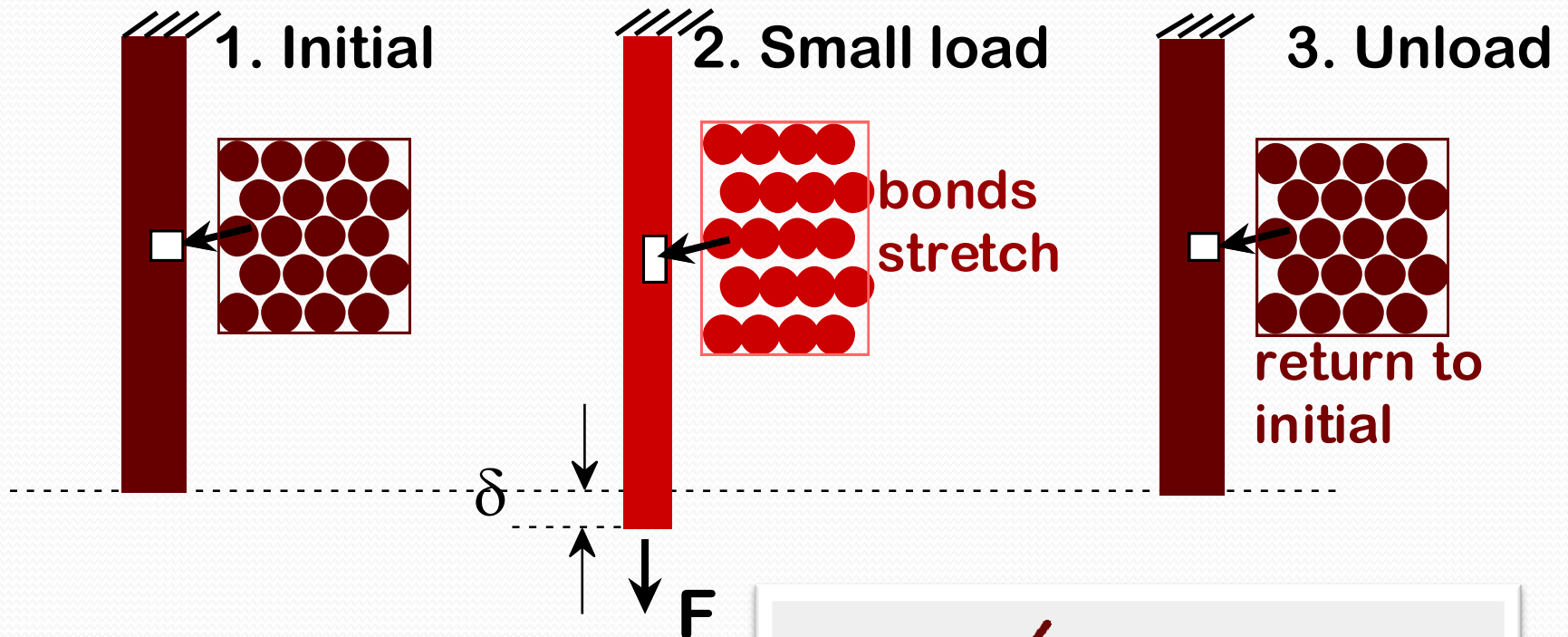
$$\epsilon_L = \frac{-\delta_L}{w_o}$$

- Shear strain:

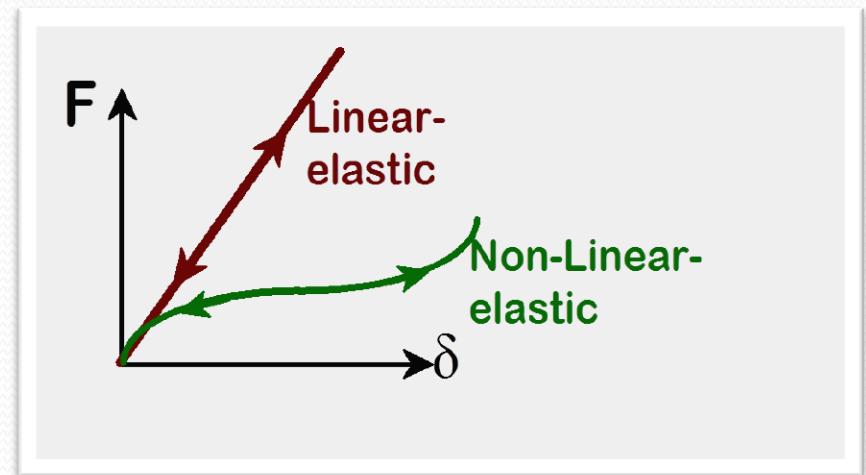


Strain is always dimensionless.

ELASTIC DEFORMATION



Elastic means reversible!



คุณสมบัติแบบอีลาสติก (LINEAR ELASTIC PROPERTIES)

- **Modulus of Elasticity, E:**
(also known as Young's modulus)

- Hooke's Law:

$$\sigma = E \varepsilon$$

- Poisson's ratio, ν :

$$\nu = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon}$$

metals: $\nu \sim 0.33$

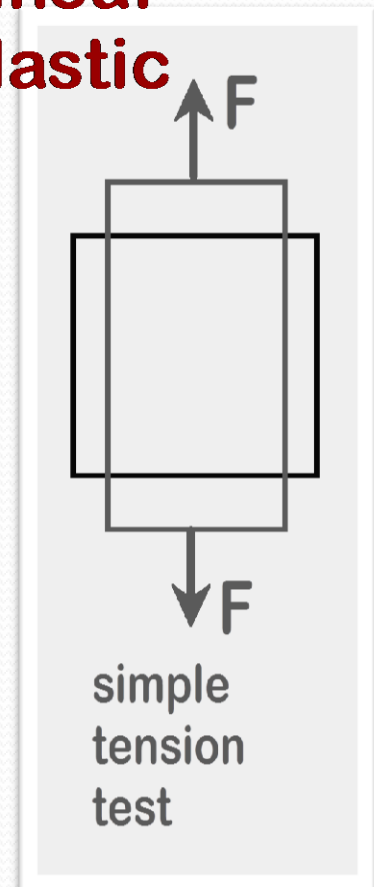
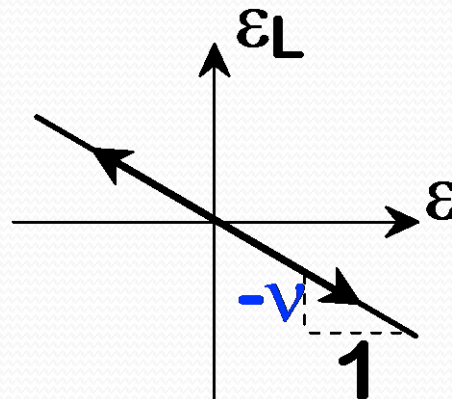
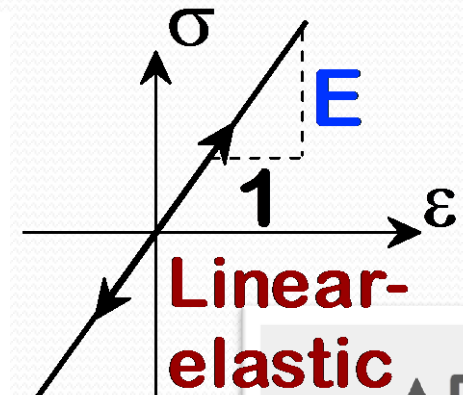
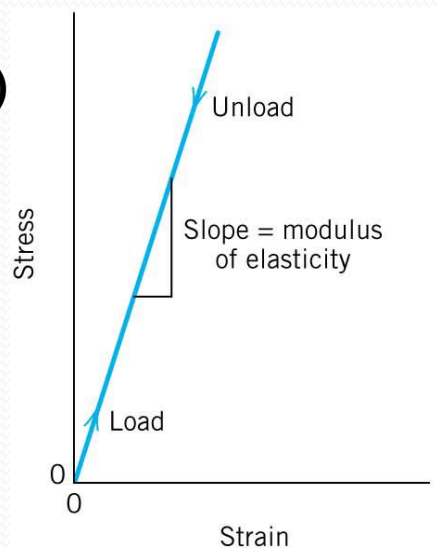
ceramics: ~ 0.25

polymers: ~ 0.40

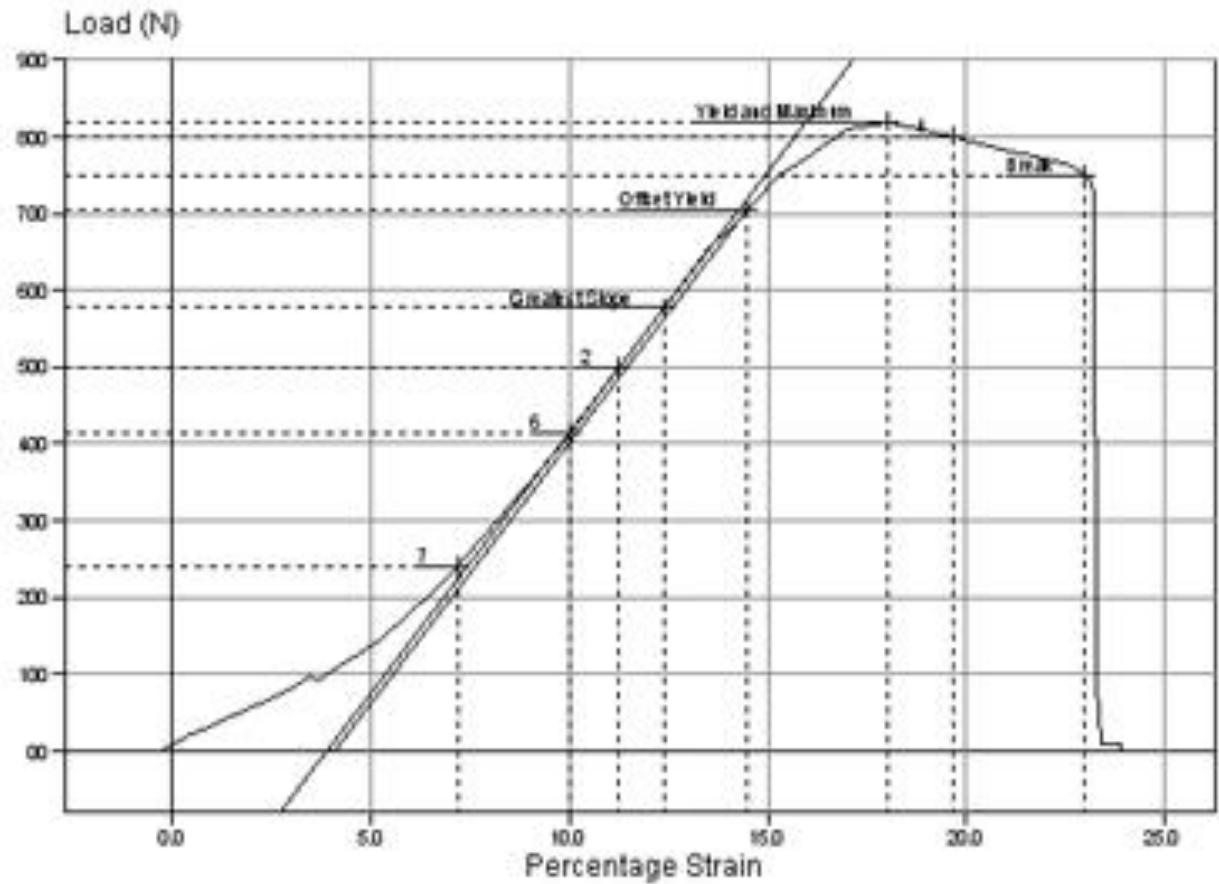
Units:

E: [GPa] or [psi]

ν : dimensionless



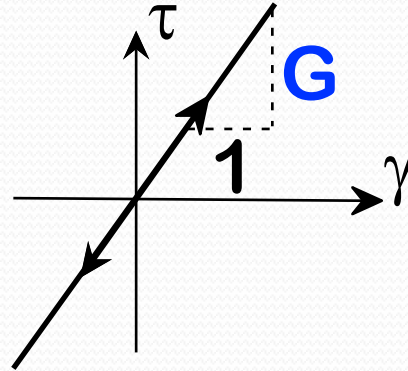
MODULUS OF ELASTICITY



OTHER ELASTIC PROPERTIES

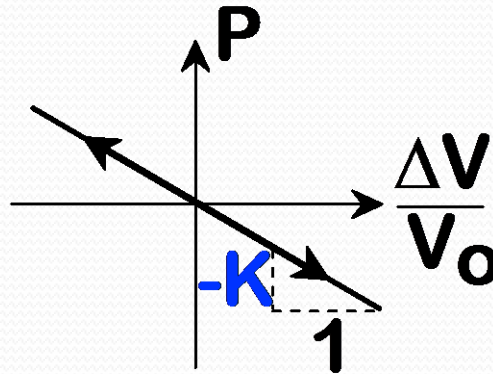
- Elastic Shear modulus, G :

$$\tau = G \gamma$$



- Elastic Bulk modulus, K :

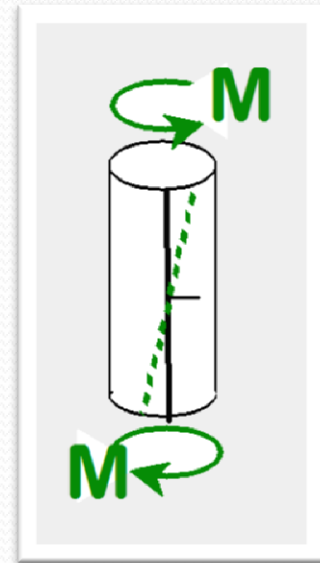
$$P = -K \frac{\Delta V}{V_0}$$



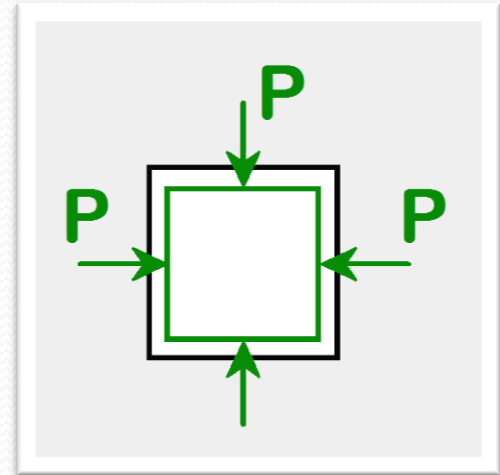
- Special relations for isotropic materials:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

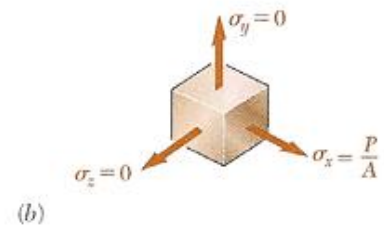
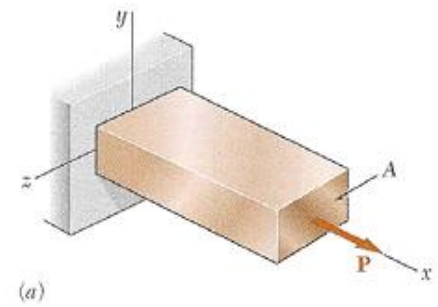
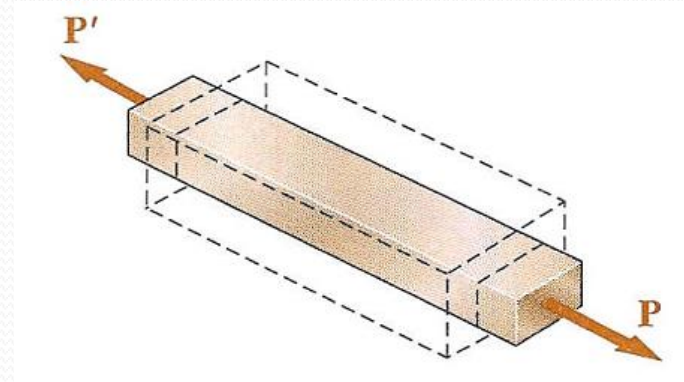
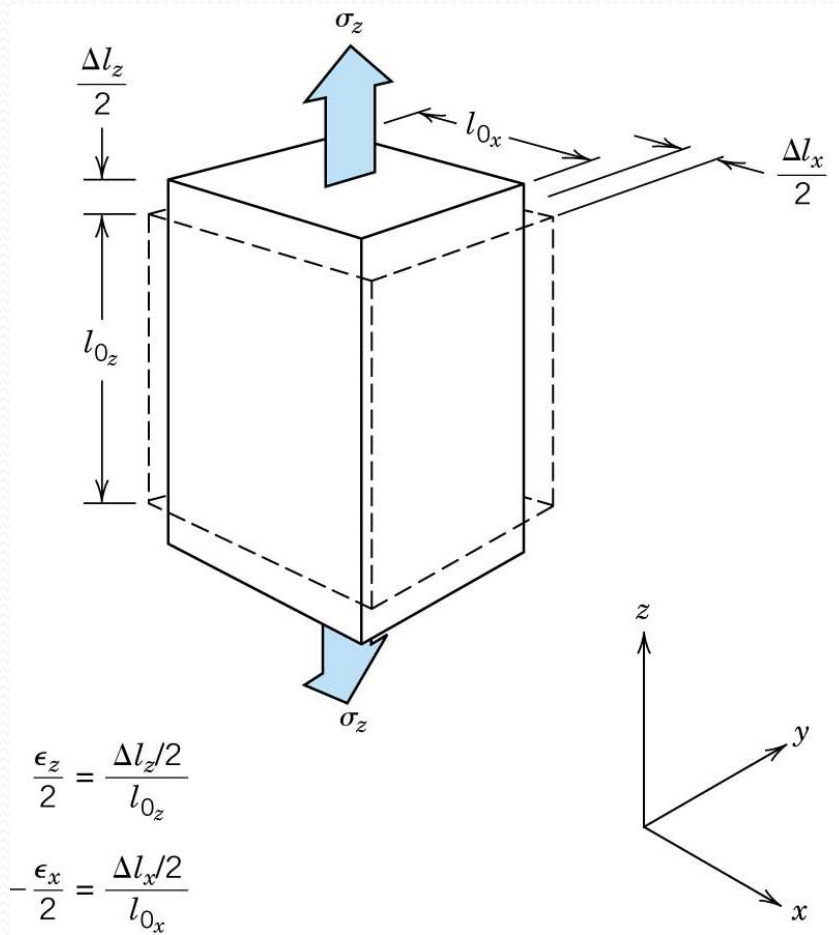


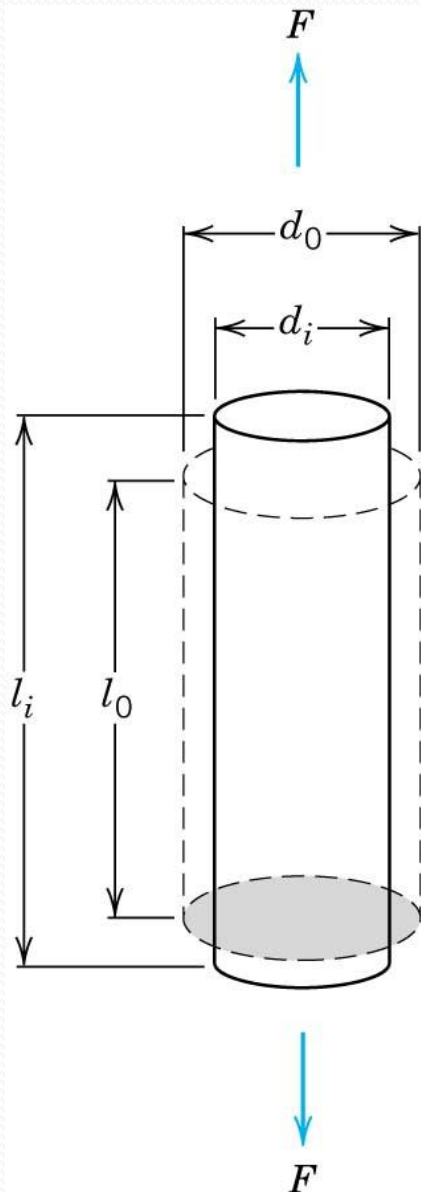
Simple torsion test



Pressure test:
Init. Vol = V_0 .
Vol chg. = ΔV

Poisson's ratio





A tensile stress is to be applied along the long axis of a cylindrical brass rod that has a diameter of 10 mm (0.4 in.). Determine the magnitude of the load required to produce a 2.5×10^{-3} mm (10^{-4} in.) change in diameter if the deformation is entirely elastic. (Poisson's ratio = 0.34 and Young's modulus = 97×10^3 MPa)

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

$$\epsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{d_i - d_0}{d_0}$$

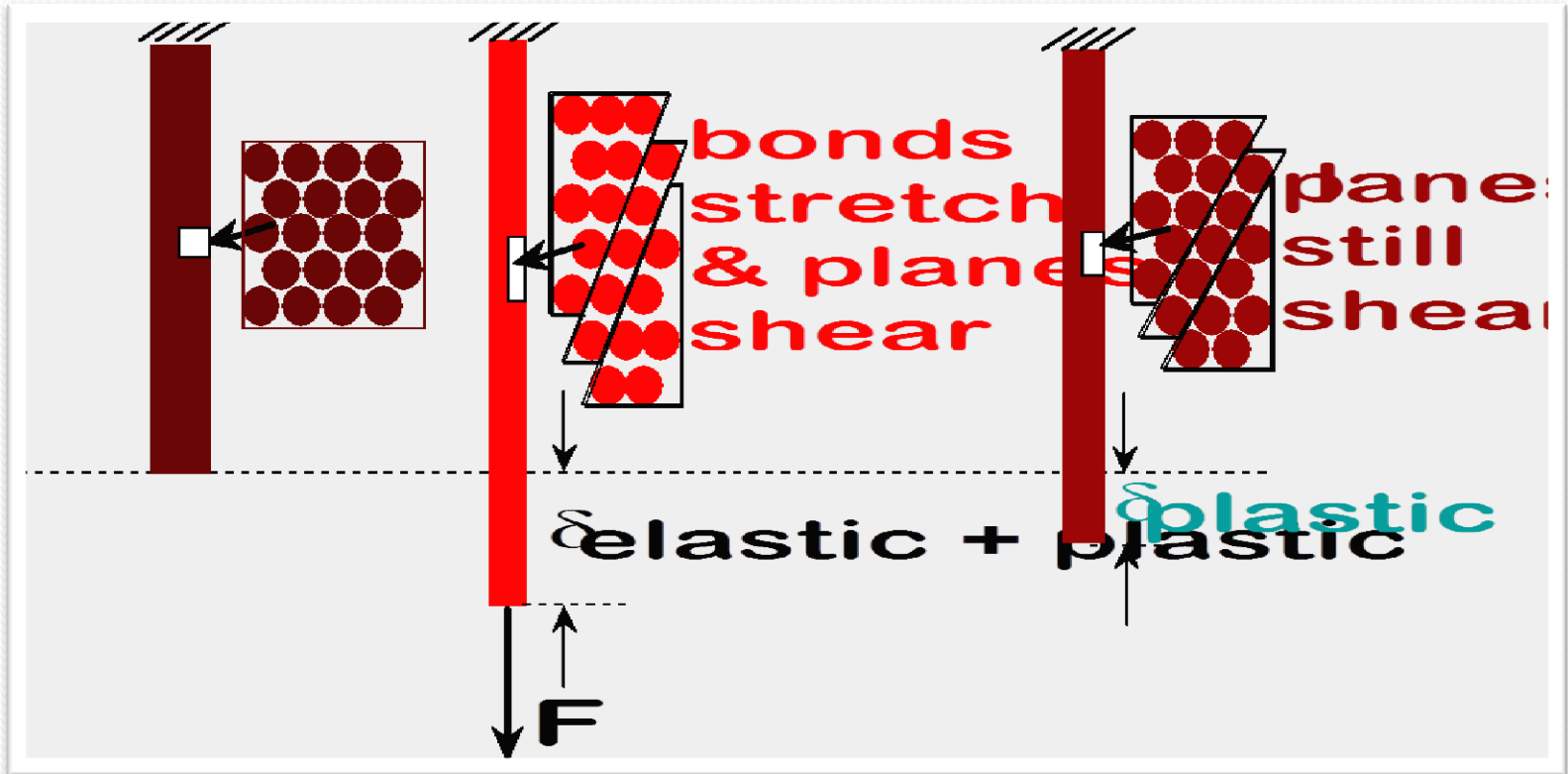
แบบฝึกหัด แท่งทองแดง มีค่าความแข็งแรงจุดครากเท่ากับ 240 MPa ถูกดึงด้วยแรง 6660 N หากความยาวเริ่มต้นของแท่งทองแดงนี้เท่ากับ 380 mm จงหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแท่งทองแดงนี้ หากต้องการให้แท่งทองแดงนี้ยืดตัวออกเท่ากับ 0.5 mm ในขณะที่ถูกดึง กำหนดให้ มอดุลัสความยืดหยุ่นของทองแดงเท่ากับ 110 GPa

PLASTIC DEFORMATION (METALS)

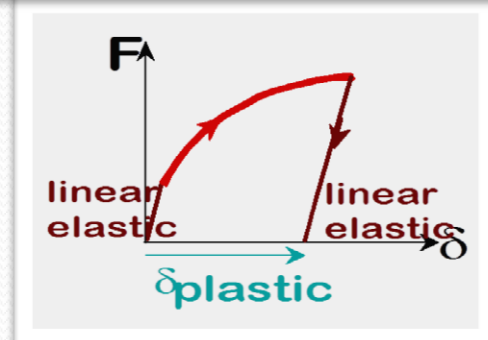
1. Initial

2. Small load

3. Unload



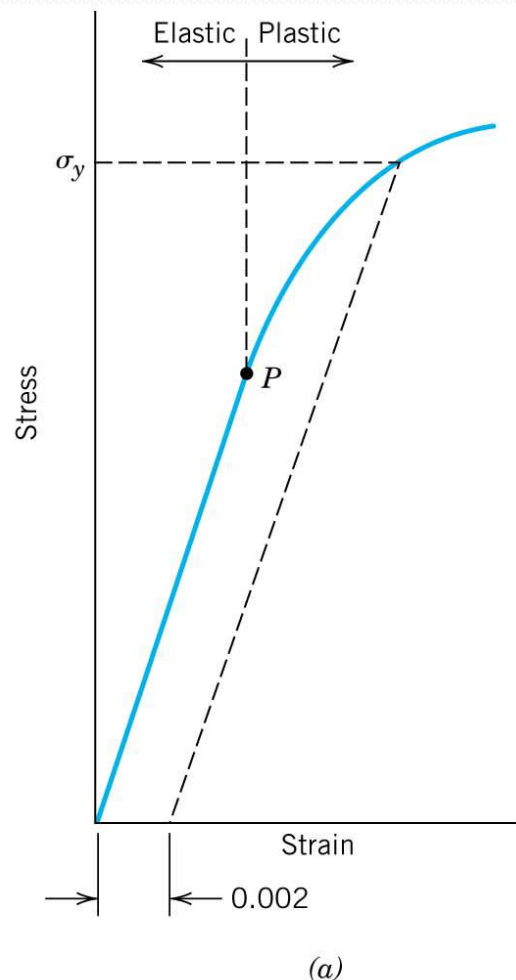
Plastic means permanent!



Plastic deformation

Tensile Properties

- Yielding and Yield Strength



กราฟความเค้น-ความเครียดของ
วัสดุโลหะในช่วง
การเปลี่ยนรูปแบบ elastic
และ plastic

Yield Strength

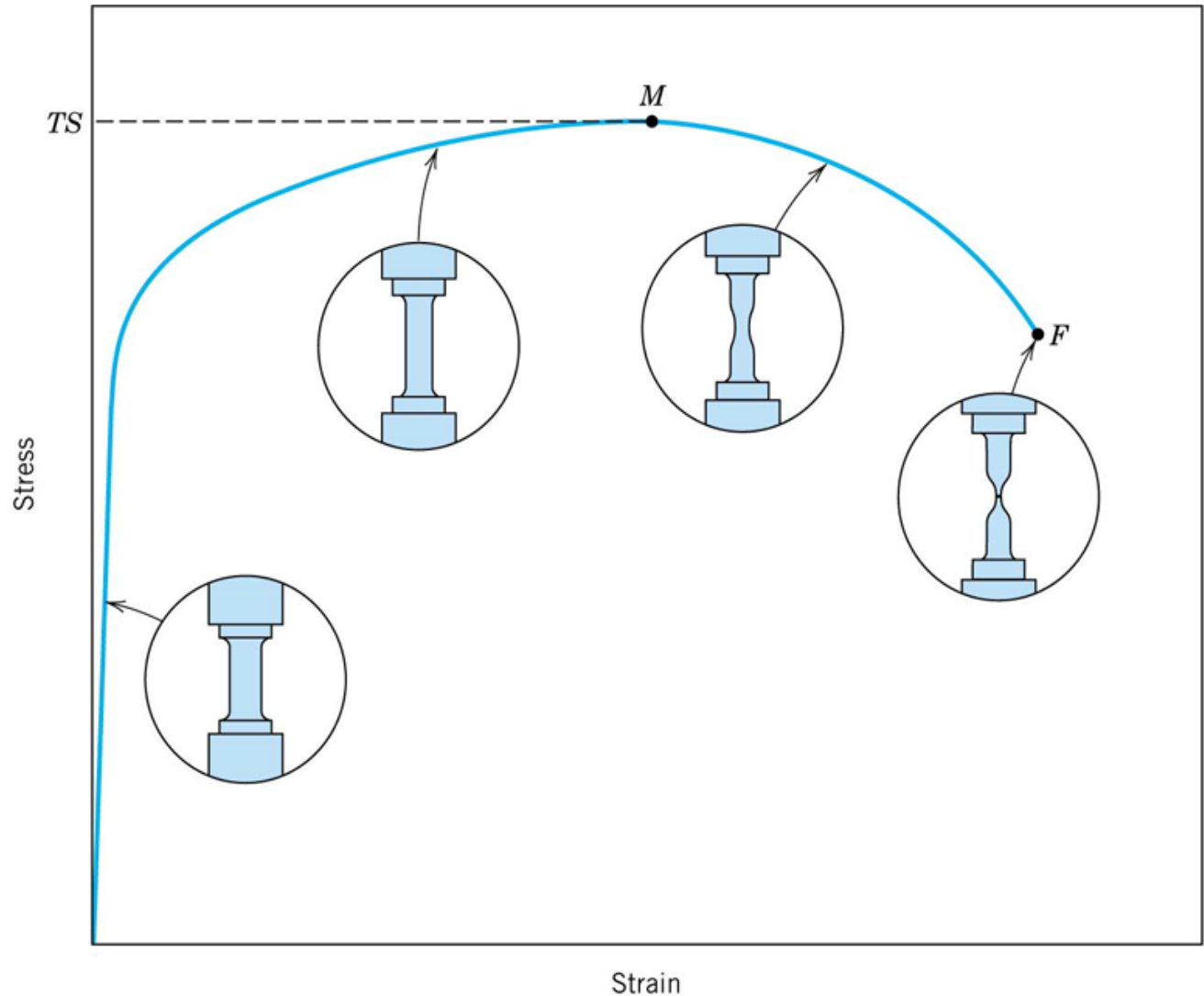
- เป็นค่าความแข็งแรงของโลหะ หรือโลหะผสมที่สำคัญต่อการเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นอย่างถาวรจาก stress-strain curve ไม่มีจุดที่แน่นอน สำหรับการออกแบบโครงสร้างของวิศวกรได้กำหนดให้ **0.002** ของ **ค่า strain เป็นค่า yield strength**
- Proportional limit เป็นค่าที่แบ่งระหว่างช่วง elastic กับ plastic deformation

Tensile Strength

FIGURE 6.11

Typical engineering stress-strain behavior to fracture, point F . The tensile strength TS is indicated at point M .

The circular insets represent the geometry of the deformed specimen at various points along the curve.



Stress-Strain Diagrams and Hooke's Law

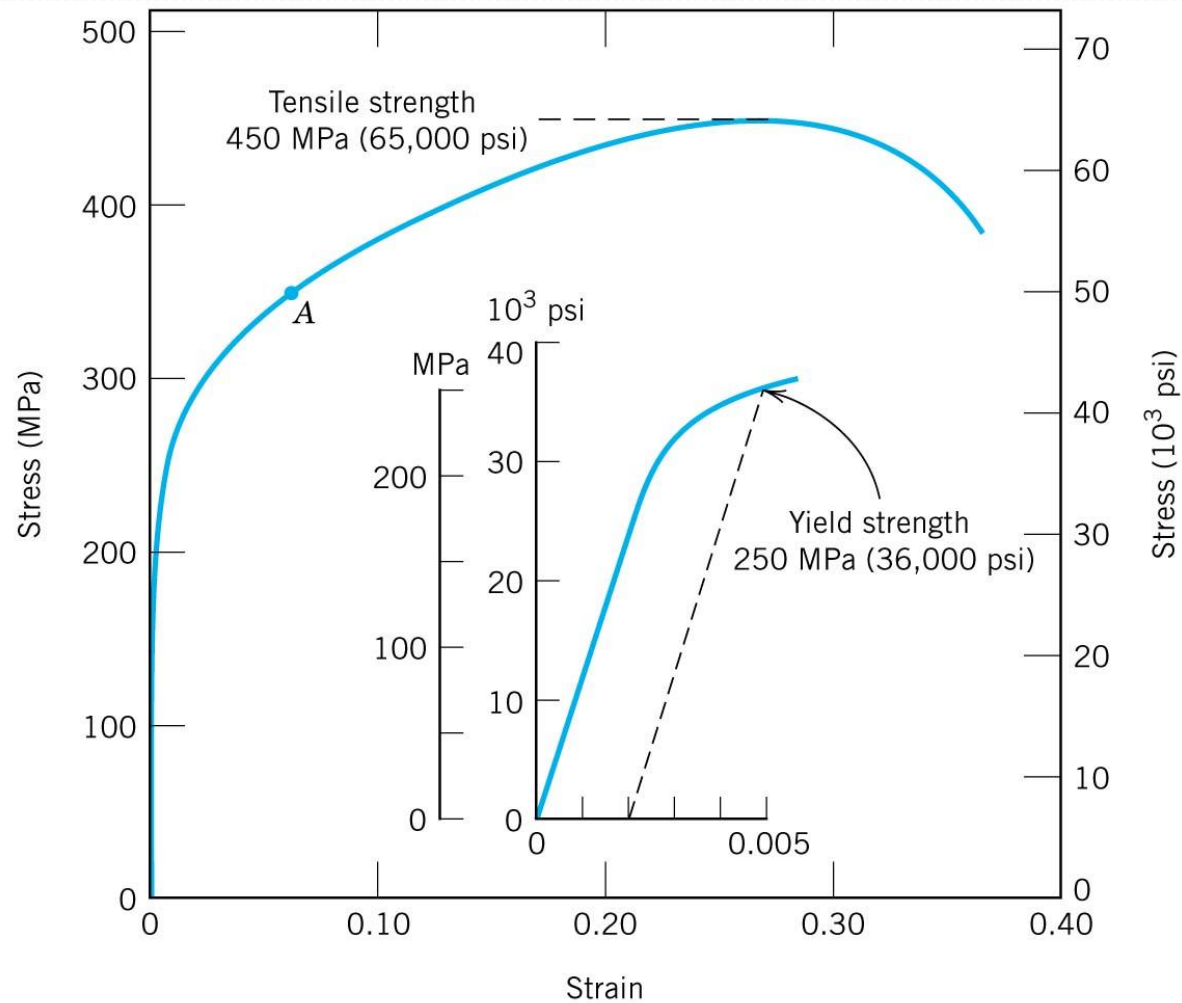


FIGURE 6.12 The stress-strain behavior for the brass specimen discussed in Example Problem 6.3.

COMPARISON CHART

Est. Min Mechanical Properties – Based on ¾” – 1 ¼” RD. Bars

Analysis or Trade Name	Tensile Strength psi	Yield Strength psi	Elong. in 2”	Red. of Area	Brinell Hardness	Machin- -ability Rating†
ASTM A36	58,000	 36,000	 23	... 21	 -	 -
M1010	47,000	26,000	28	50	95	-
M1044	80,000	44,000	16	40	163	65
1080, 1020	58,000	 32,000	 25	... 50	... 116	52
1035	72,000	39,500	18	40	143	65
1040	76,000	42,000	18	40	149	63
1045	82,000	45,000	16	40	163	56
Rycase (1117)	62,000	345,000	 23	... 47	 121	 90
Leaded Rycase (11L17)	62,000	34,000	23	47	121	100
Rytense (1141)	94,000	51,500	15	35	187	65
Leaded Rytense (11L41)	94,000	51,500	15	35	187	95
Rytense 44 (1144).....	97,000	53,000	 15	... 35	 197	 64

ความเหนียว (Ductility)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ โดยเป็นการวัดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือปริมาณของการเปลี่ยนรูปถาวรก่อนการแตกหักของวัสดุ

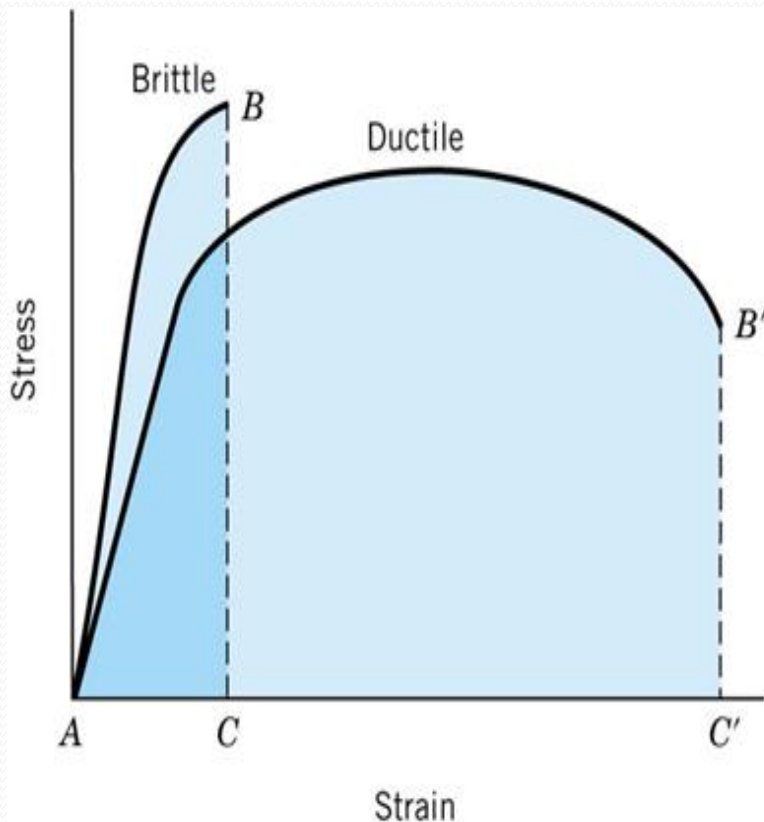


FIGURE 6.13 Schematic representations of tensile stress-strain behavior for brittle and ductile materials loaded to fracture.

Ductile Fracture

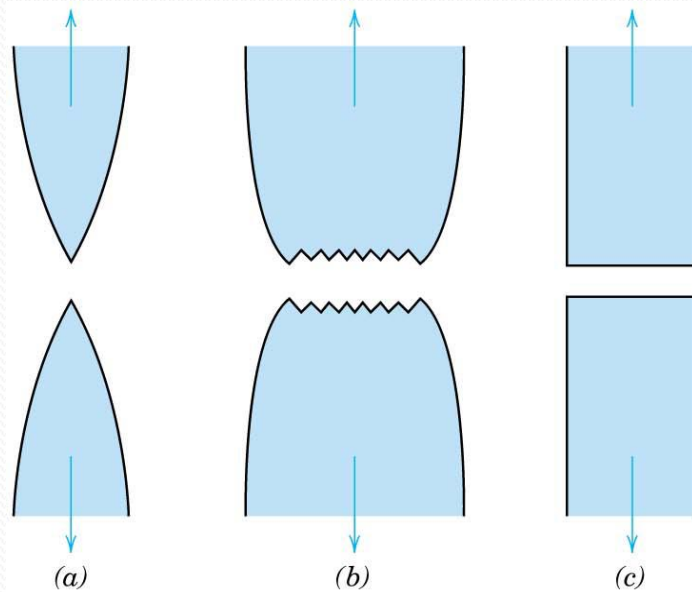


FIGURE 8.1 (a) Highly ductile fracture in which the specimen necks down to a point. (b) Moderately ductile fracture after some necking. (c) Brittle fracture without any plastic deformation.



(a)



(b)

FIGURE 8.3 (a) Cup-and-cone fracture in aluminum. (b) Brittle fracture in a mild steel.

Percent elongation

- ปริมาณเหนียว (ductile) ของโลหะ ซึ่งโดยทั่วไปจะบอกด้วย **ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด (% elongation : %EL)** การยืดที่เกิดจากการนำตัวอย่างไปดึง เป็นค่าที่ใช้บอกถึงความ

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

l_f : ความยาวที่จุดแตกหัก
 l_0 : ความยาวเกจ (gauge) เริ่มต้น 50 mm (2 in.)

Percent reduction in area

- หรืออาจบอกด้วยค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่(หน้าตัด)

$$\%RA = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

ความทนทาน (Toughness)

- เป็นความสามารถของวัสดุที่สามารถรับพลังงานได้จนถึงจุดแตกหัก
- สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างความเค้น-ความเครียดจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดแตกหัก
- วิธีวัดความทนทานของวัสดุที่ง่ายที่สุดสามารถใช้**เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact testing machine)**

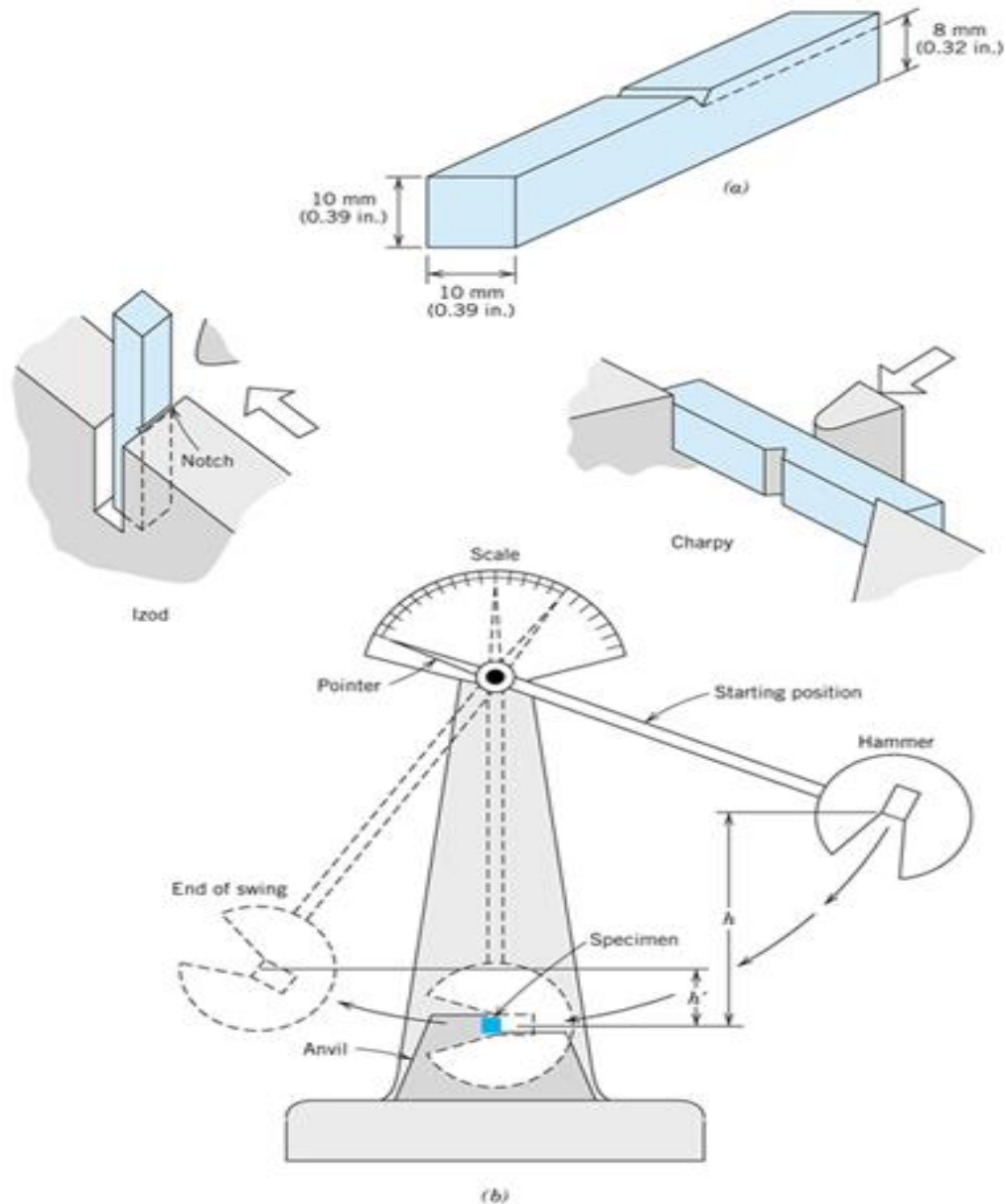
Impact testing machine



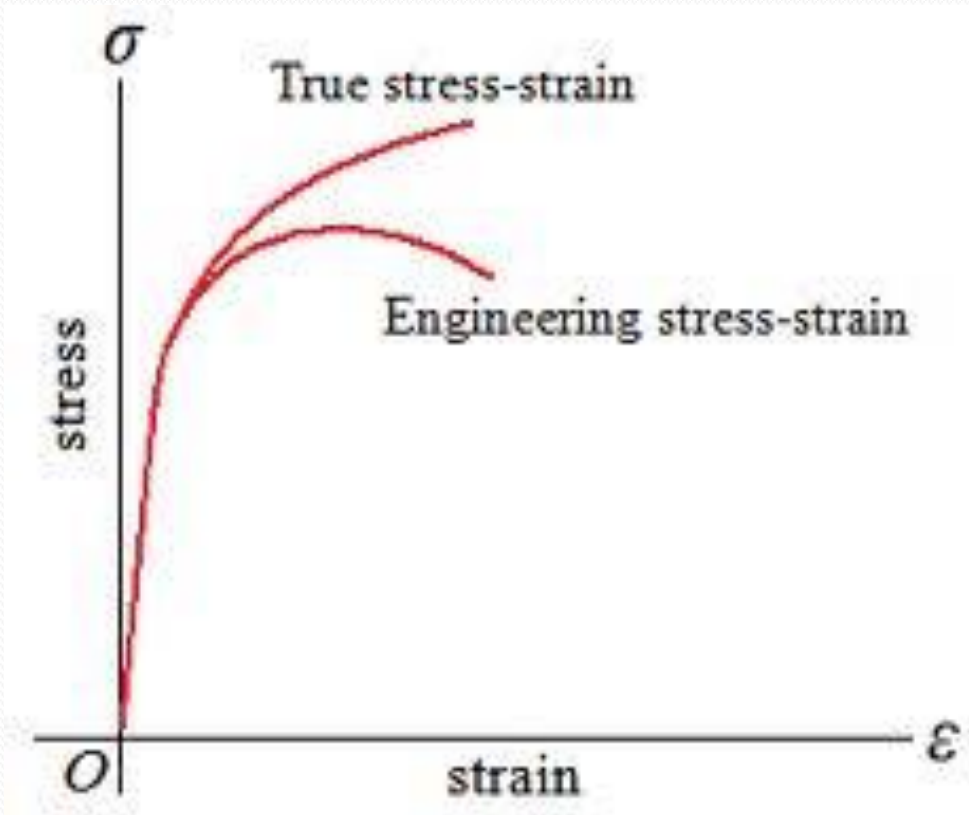
Impact testing machine

FIGURE 8.11

(a) Specimen used for Charpy and Izod impact tests. (b) A schematic drawing of an impact testing apparatus. The hammer is released from fixed height h and strikes the specimen; the energy expended in fracture is reflected in the difference between h and the swing height h' . Specimen placements for both Charpy and Izod tests are also shown. (Figure b adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*, p. 13. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



ความเค้นจริง และความเครียดจริง (True Stress and True Strain)



True stress :

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

True Strain :

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

Example

A cylindrical specimen of steel having an original diameter of 12.8 mm (0.505 in.) is tensile tested to fracture and found to have an engineering fracture strength σ_f of 460 MPa (67,000 psi). If its cross-sectional diameter at fracture is 10.7 mm (0.422 in.), determine:

1. The ductility in terms of percent reduction in area
2. The true stress at fracture

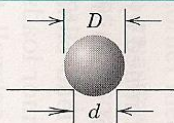
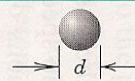
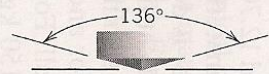
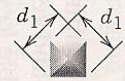
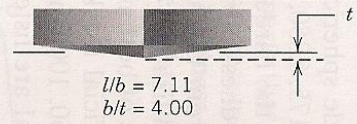
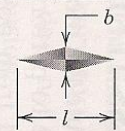
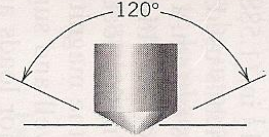
ความแข็ง และการทดสอบความแข็ง

(Hardness and Hardness Testing)

- ความแข็ง เป็นการวัดความต้านทาน (resistance) ต่อการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (plastic deformation) ของโลหะ
- การทดสอบความแข็งของวัสดุนั้นจะใช้วิธีกดด้วยวัสดุที่แข็งกว่า เช่น เหล็กแข็ง ทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ เพชร โดยมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น รูปกลม พีระมิด โค่น หรือกรวย
- ในการทดสอบความแข็งของวัสดุที่ใช้กันมี 4 แบบคือ Brinell, Rockwell, Vickers microhardness และ Knoop microhardness

Hardness Test

Table 6.4 Hardness-Testing Techniques

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	{ Diamond cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres	 	 	$\left. \begin{array}{l} 60 \text{ kg} \\ 100 \text{ kg} \\ 150 \text{ kg} \end{array} \right\} \text{Rockwell}$ $\left. \begin{array}{l} 15 \text{ kg} \\ 30 \text{ kg} \\ 45 \text{ kg} \end{array} \right\} \text{Superficial Rockwell}$	

^a For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D , d , d_1 , and l are all in mm.

Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Rockwell Hardness Tester



Brinell Hardness tester

Table 6.5a Rockwell Hardness Scales

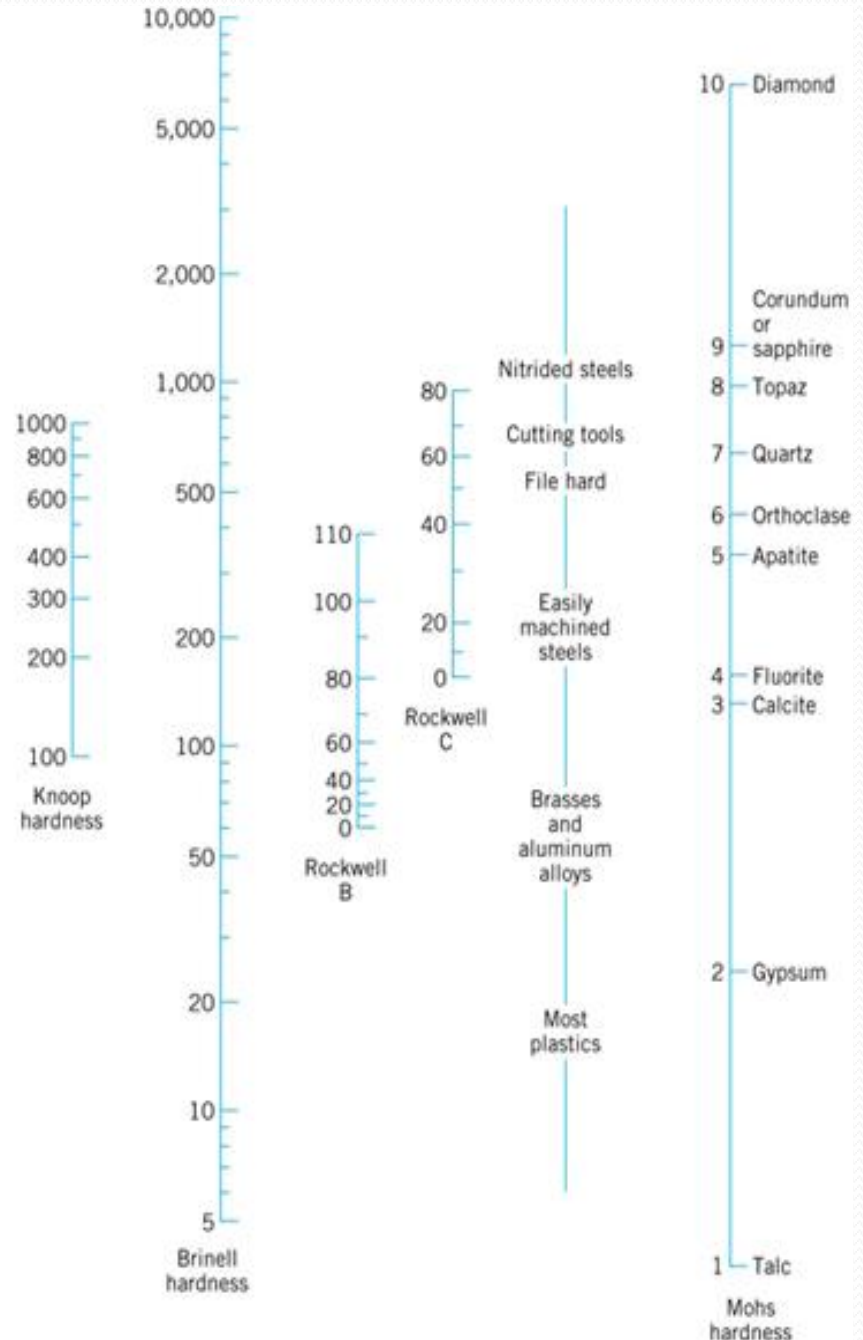
<i>Scale Symbol</i>	<i>Indenter</i>	<i>Major Load (kg)</i>
A	Diamond	60
B	$\frac{1}{16}$ -in. ball	100
C	Diamond	150
D	Diamond	100
E	$\frac{1}{8}$ -in. ball	100
F	$\frac{1}{16}$ -in. ball	60
G	$\frac{1}{16}$ -in. ball	150
H	$\frac{1}{8}$ -in. ball	60
K	$\frac{1}{8}$ -in. ball	150

Table 6.5b Superficial Rockwell Hardness Scales

<i>Scale Symbol</i>	<i>Indenter</i>	<i>Major Load (kg)</i>
15N	Diamond	15
30N	Diamond	30
45N	Diamond	45
15T	$\frac{1}{16}$ -in. ball	15
30T	$\frac{1}{16}$ -in. ball	30
45T	$\frac{1}{16}$ -in. ball	45
15W	$\frac{1}{8}$ -in. ball	15
30W	$\frac{1}{8}$ -in. ball	30
45W	$\frac{1}{8}$ -in. ball	45

Hardness Conversion

FIGURE 6.18
Comparison of several hardness scales.
(Adapted from G. F. Kinney, *Engineering Properties and Applications of Plastics*, p. 202. Copyright © 1957 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



ความล้า (Fatigue) ของโลหะ

เมื่อนำโลหะไปใช้ทำอุปกรณ์ หรือ
ชิ้นส่วนของเครื่องจักรหรือเครื่องมือกล
ต่างๆ ที่ต้องใช้งานที่เกิดความเค้นอย่าง
ต่อเนื่อง หรือเกิด cyclic stresses จะ
ทำให้โลหะนั้นเกิดการแตกหักได้ แม้จะ
ใช้งานที่มีความเค้นต่ำๆ เช่น เพลา
เกียร์ เป็นต้น

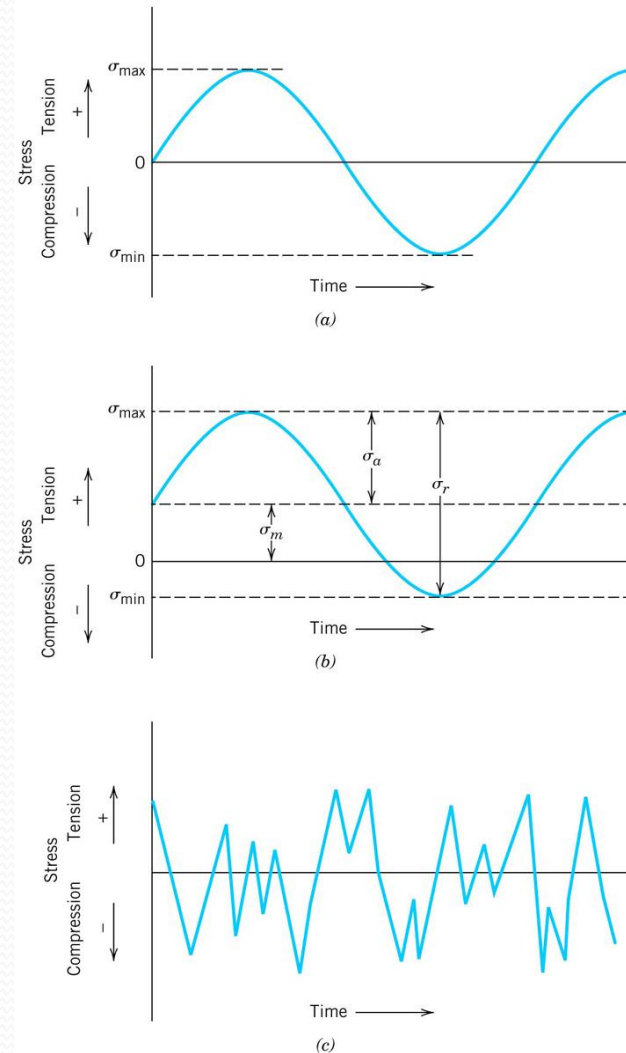


FIGURE 8.15 Variation of stress with time that accounts for fatigue failures. (a) Reversed stress cycle, in which the stress alternates from a maximum tensile stress (+) to a maximum compressive stress (-) of equal magnitude. (b) Repeated stress cycle, in which maximum and minimum stresses are asymmetrical relative to the zero-stress level; mean stress σ_m , range of stress σ_r , and stress amplitude σ_a are indicated. (c) Random stress cycle.

เครื่องทดสอบความล้า

(FATIGUE-TESTING APPARATUS)

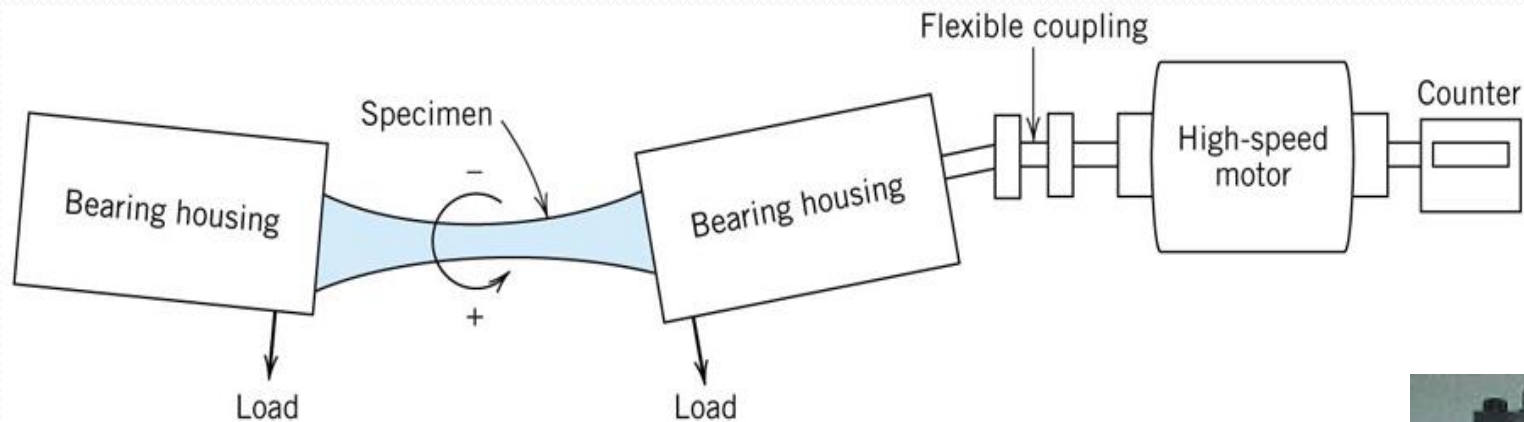


FIGURE 8.16 Schematic diagram of fatigue-testing apparatus for making rotating-bending tests. (From *Materials Science in Engineering*, 4/E by Keyser, Carl A., © Reprinted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.)



ความคืบ (Creep)

โลหะหรือโลหะผสมเมื่อถ่วงหรือใส่ น้ำหนักเข้าไป หรือทำให้เกิดความเค้นสม่ำเสมอ โลหะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (plastic deformation) ตลอดช่วงเวลานั้น ความเครียดที่เกิดในโลหะและขึ้นอยู่กับเวลาด้วย เรียกว่า ความคืบ (creep)

