

สมบัติทางกลของวัสดุ ๑ (Mechanical Properties-I)

สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์

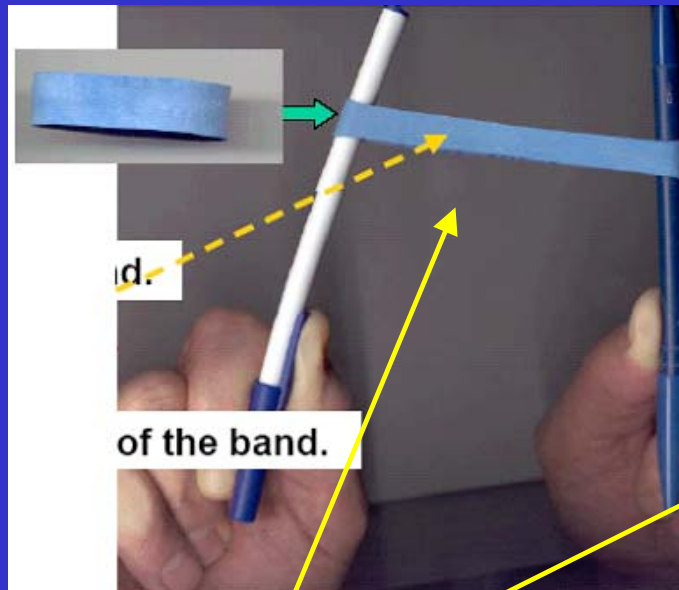
๑๔ มิถุนายน ๒๕๔๘



สมบัติทางกล (Mechanical Properties)

- เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุที่ถูกแรงภายนอกกระทำ
- การยืดตัว/หดตัวของวัสดุ การเปลี่ยนรูป (แปรรูป-Deformation) ของวัสดุภายใต้แรงกระทำ
- การตอบสนองต่อแรงกระทำ
- ความแข็งแรง ความแข็ง ความสามารถในการรับน้ำหนัก การทนต่อการสึกหรอ การทนต่อการขูดขีด ความเหนียว และการดูดซับพลังงาน (แรงกระแทก)

การตอบสนองต่อการกรรมทางกล



Sheet Metal Drawing



Fracture



Force

- Elastic deformation
- Plastic deformation
- Fracture

Mode of Deformations

ขนาดของแรง + Material Characteristic

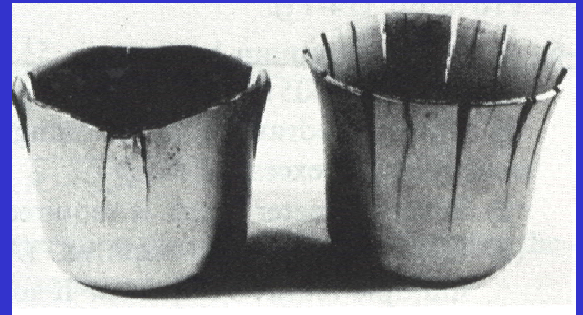
Elastic deformation



Plastic deformation



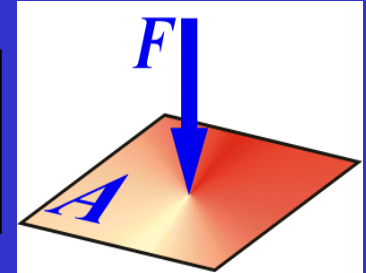
Fracture



นิยามสำคัญในการศึกษาเรื่องสมบัติทางกล (1)

- Stress (ความเค้น)
 - Engineering stress
(ความเค้นทางวิศวกรรม)
 - True stress (ความเค้นจริง)
 - Shear stress (ความเค้นเฉือน)

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



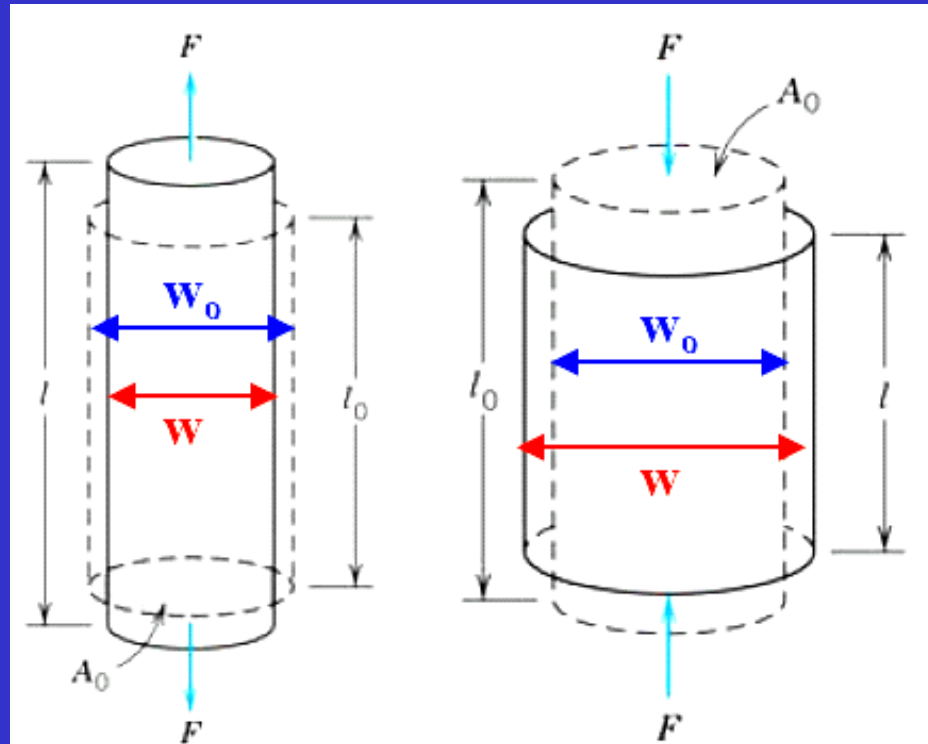
$$\sigma_T = \frac{F_n}{A}$$

$$\tau = \frac{F_{\text{shear}}}{A_0}$$

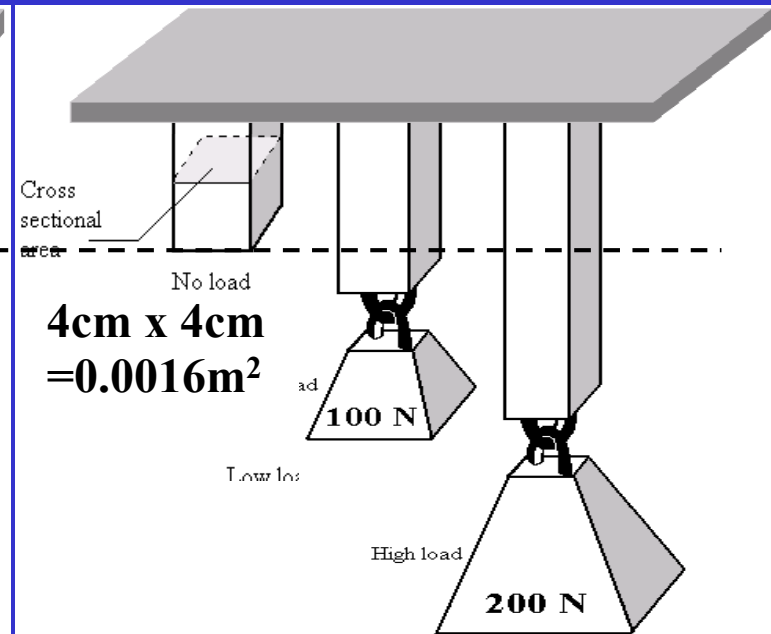
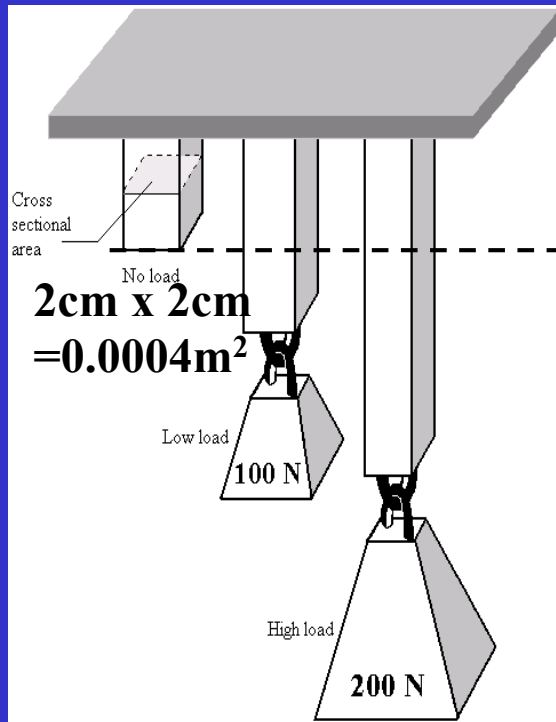
Engineering stress vs. True stress

$$\sigma_E = \frac{F_n}{A_0}$$

$$\sigma_T = \frac{F_n}{A}$$



ทำไมจึงต้องนิยาม stress?



$$\text{stress} = \frac{100}{0.0004}$$

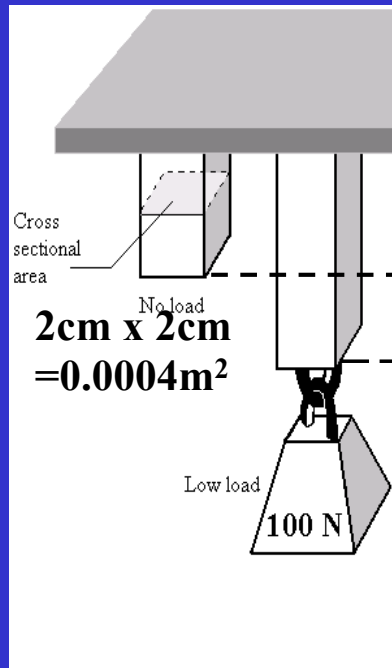
$$\text{stress} = \frac{\text{force}}{\text{cross sectional area}}$$

$$\text{stress} = \frac{100}{0.0016}$$

$$\text{stress} = 250000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.25\text{MPa}$$

$$\text{stress} = 62500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.0625\text{MPa}$$

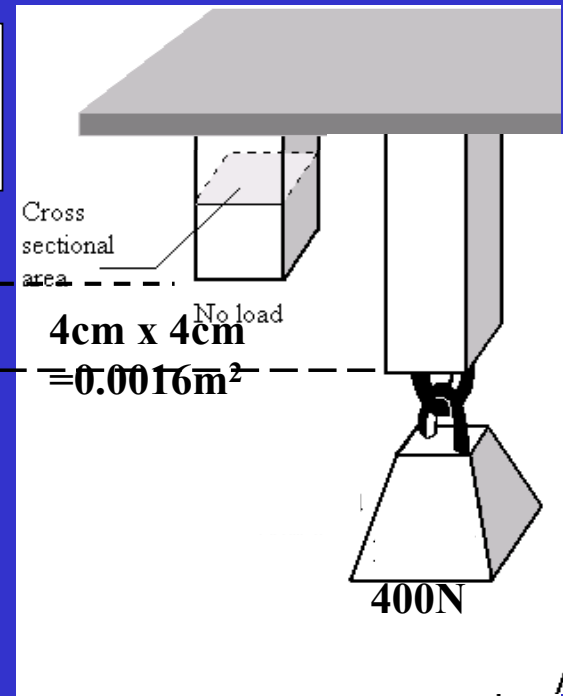
Stress เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบได้! (ไม่ใช่แรง)



$$\text{stress} = \frac{100}{0.0004}$$

$$\text{stress} = 250000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.25\text{MPa}$$

$$\text{stress} = \frac{\text{force}}{\text{cross sectional area}}$$



$$\text{stress} = \frac{400}{0.0016}$$

$$\text{stress} = 250000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.25\text{MPa}$$

หน่วยของ Stress ทุกชนิดคือ แรงต่อพื้นที่

$$\text{stress } (\sigma) = \frac{\text{force}}{\text{cross sectional area}}$$

$$\text{shear stress } (\tau) = \frac{\text{shearing force}}{\text{cross sectional area}}$$

Force

$$\begin{aligned} 1 \text{ N} &= 10^5 \text{ dynes} & 1 \text{ dyne} &= 10^{-5} \text{ N} \\ 1 \text{ N} &= 0.2248 \text{ lb}_f & 1 \text{ lb}_f &= 4.448 \text{ N} \end{aligned}$$

Area

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^2 &= 10^4 \text{ cm}^2 & 1 \text{ cm}^2 &= 10^{-4} \text{ m}^2 \\ 1 \text{ mm}^2 &= 10^{-2} \text{ cm}^2 & 1 \text{ cm}^2 &= 10^2 \text{ mm}^2 \\ 1 \text{ m}^2 &= 10.76 \text{ ft}^2 & 1 \text{ ft}^2 &= 0.093 \text{ m}^2 \\ 1 \text{ cm}^2 &= 0.1550 \text{ in.}^2 & 1 \text{ in.}^2 &= 6.452 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{N/m}^2 = \text{Pa}$$

Stress

$$\begin{aligned} 1 \text{ MPa} &= 145 \text{ psi} \\ 1 \text{ MPa} &= 0.102 \text{ kg/mm}^2 \\ 1 \text{ Pa} &= 10 \text{ dynes/cm}^2 \\ 1 \text{ kg/mm}^2 &= 1422 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ psi} &= 6.90 \times 10^{-3} \text{ MPa} \\ 1 \text{ kg/mm}^2 &= 9.806 \text{ MPa} \\ 1 \text{ dyne/cm}^2 &= 0.10 \text{ Pa} \\ 1 \text{ psi} &= 7.03 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

ชนิดของ Stress จำแนกตามลักษณะของแรงที่กระทำ

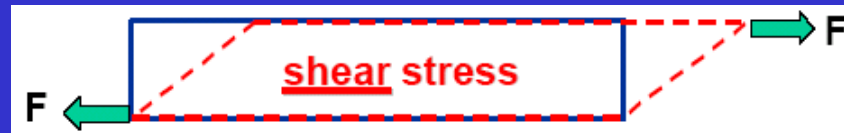
- Tensile Stress



- Compressive Stress (นิยามเหมือน Tensile แต่แรงกลับทิศกัน)

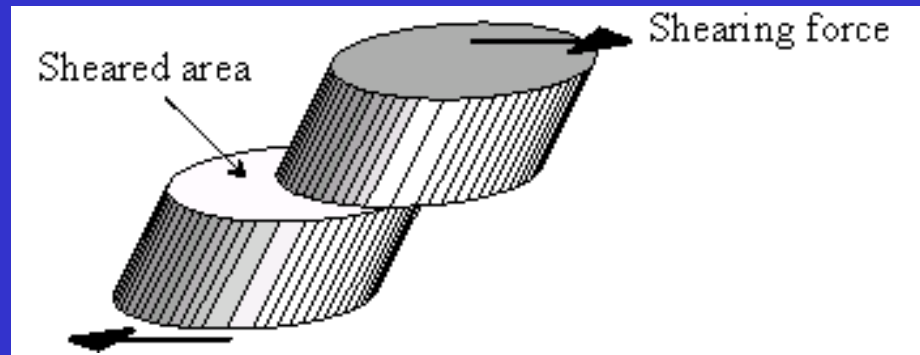


- Shear Stress



$$\text{stress} = \frac{\text{force}}{\text{cross sectional area}}$$

$$\text{shear stress} = \frac{\text{shearing force}}{\text{cross sectional area}}$$



นิยามสำคัญในการศึกษาเรื่องสมบัติทางกล (2)

- Strain (ความเครียด)

- Engineering strain
(ความเครียดทางวิศวกรรม)

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

- True strain (ความเครียดจริง)

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

- Shear strain (ความเครียดเฉือน)

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

Engineering Strain (ความเครียดทางวิศวกรรม)

- เป็นค่าที่คำนวณจากความยาวที่เปลี่ยนไปของวัสดุหารด้วยความยาวเดิม

$$\text{Strain} = \frac{\text{extension}}{\text{original length}} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

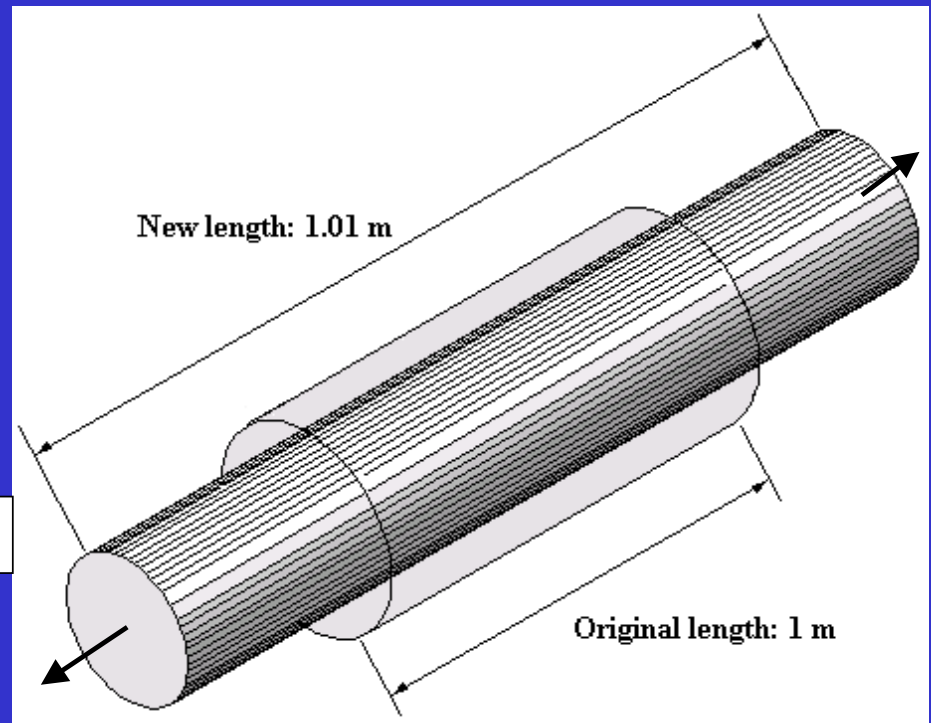
ตัวอย่าง

$L_0 = 1$ เมตร, $L = 1.01$ เมตร

$$e = \frac{1.01 - 1}{1} = 0.01 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

หน่วยของความเครียดคือ ?

$$\% \text{Strain} = \text{strain} \times 100\% = 1\%$$



True Strain (ความเครียดจริง)

- เป็นค่าที่คำนวณจาก $\ln$ ของความยาวใหม่ของวัสดุหารด้วยความยาวเดิม

$$\text{True strain} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

ตัวอย่าง

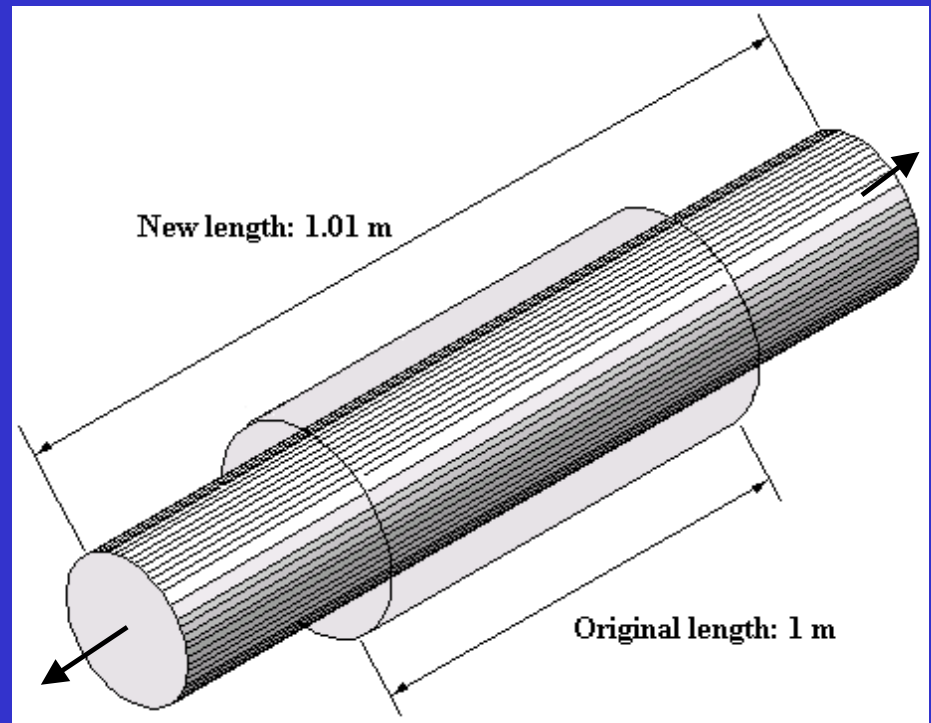
$L_0 = 1$ เมตร, $L = 1.01$ เมตร

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{1.01}{1}\right) = 0.0099 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

หน่วยของความเครียดคือ ?

%Strain =

$$\text{strain} \times 100\% = 0.99\%$$



When to use $\underline{e}$ and When to use $\underline{\varepsilon}$?

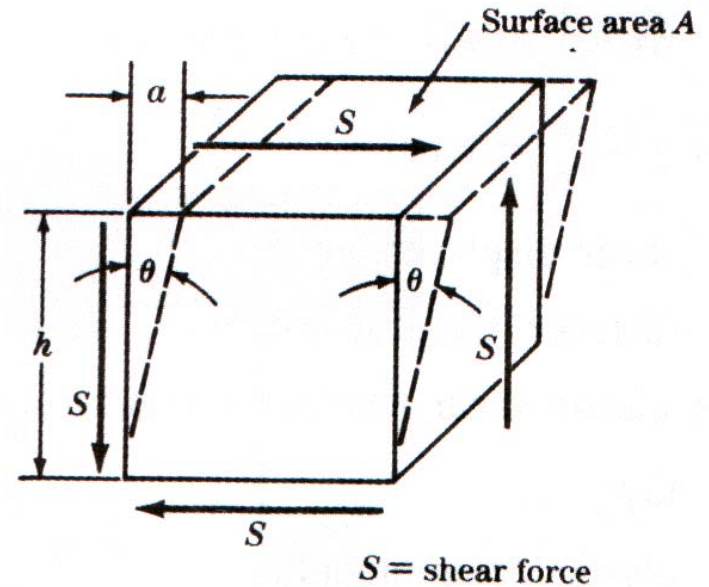
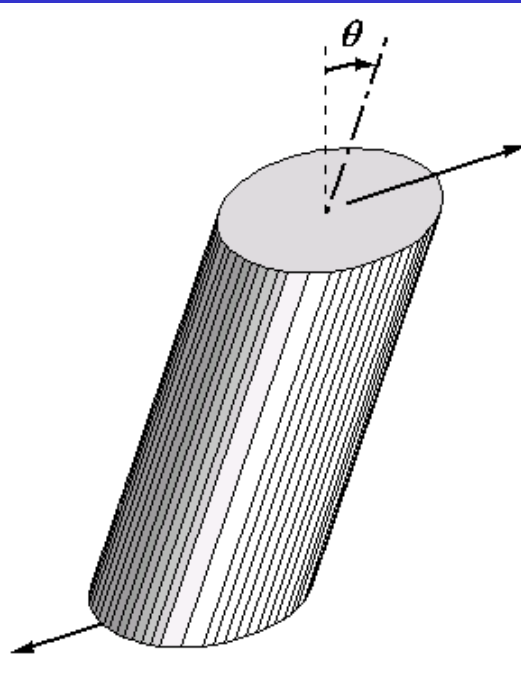
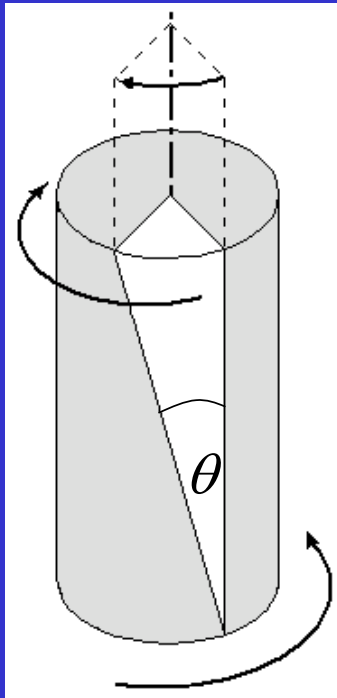
$$\underline{e} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\underline{\varepsilon} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

L_0	L	$\underline{e}$ (%)	$\underline{\varepsilon}$ (%)
1	1.01	1	0.99
1	1.02	2	1.98
1	1.03	3	2.95
1	1.04	4	3.92
1	1.05	5	4.87
1	1.06	6	5.82
1	1.07	7	6.76
1	1.08	8	7.69

ยิ่งมีความเครียดมาก ค่า $\underline{e}$ ยิ่งห่างไกลออกไปจากค่าจริง $\underline{\varepsilon}$

Shear Strain (ความเครียดเฉือน)



$$\text{Shear Strain} = \tan \theta = \frac{a}{h}$$

$$\tan \theta \approx \theta \quad \text{เมื่อมุมมีค่าน้อยๆ}$$

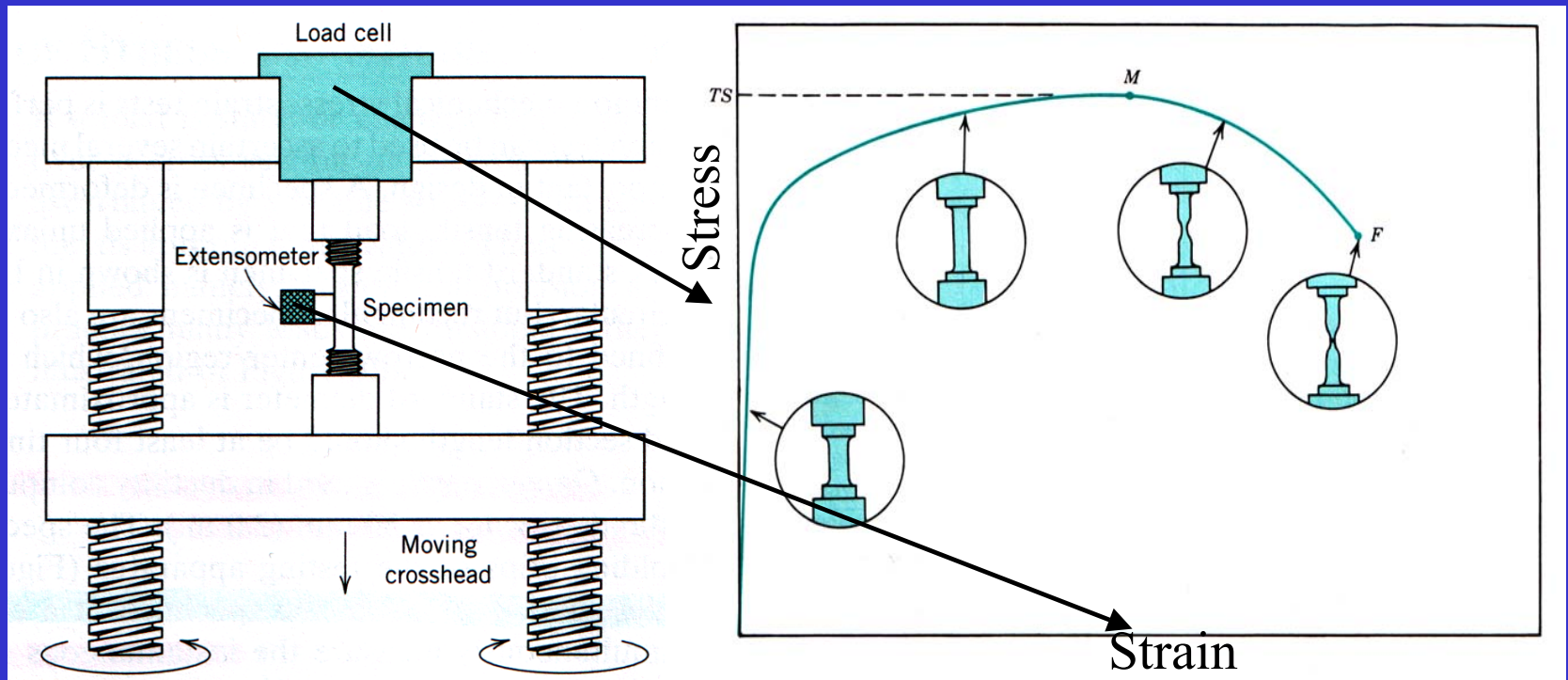
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด

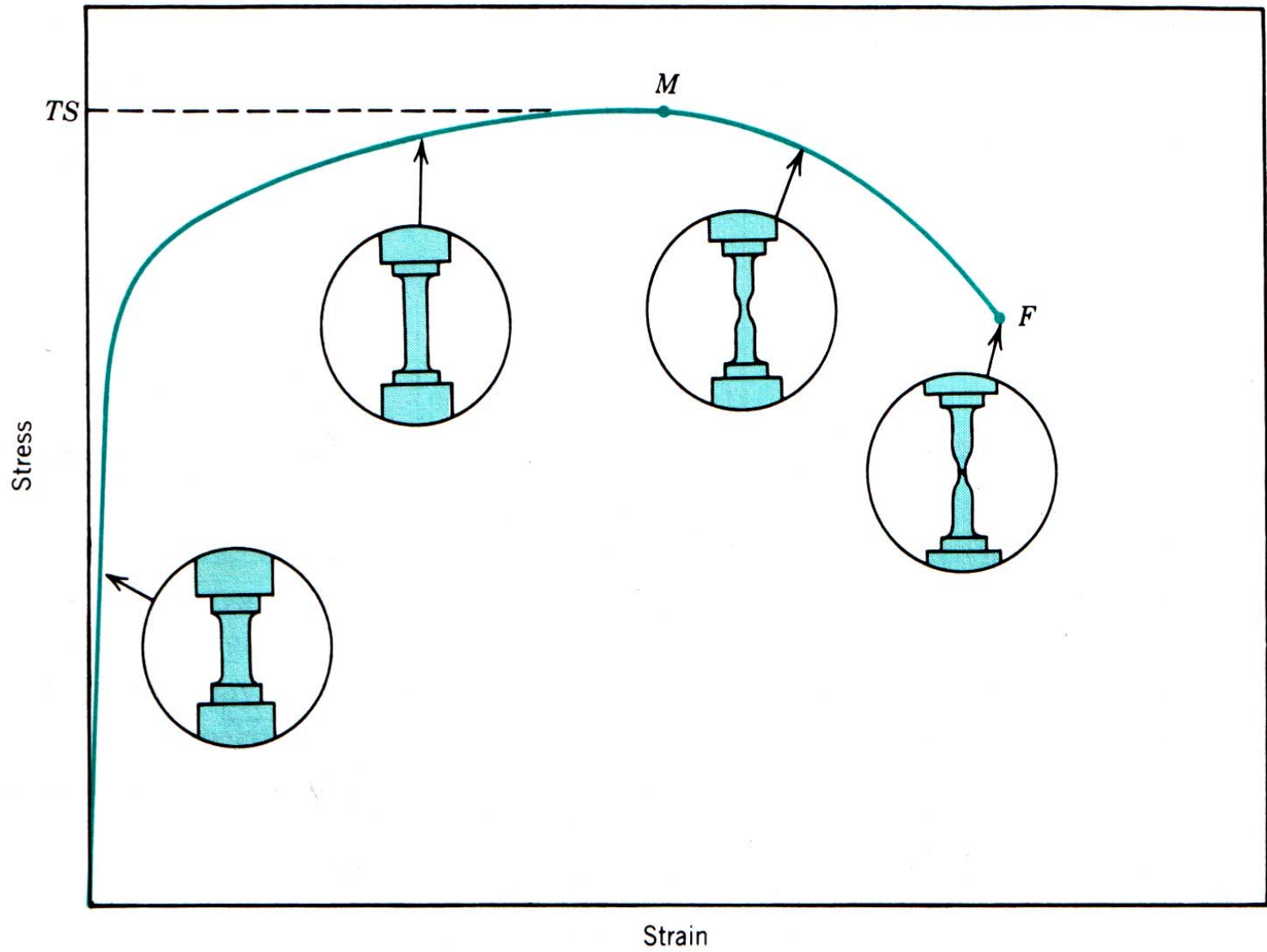
วัสดุตอบสนองต่อแรงกระทำในสามลักษณะคือ

1. Elastic deformation: การแปรรูปแบบยืดหยุ่น
 - เช่น สปริง เวลาถูกดึง
2. Plastic deformation: การแปรรูปถาวร
 - เช่น สปริงเวลาถูกดึงมากๆ
3. Fracture: การแตก หักพัง
 - เช่น สปริงเวลาถูกดึงมากๆๆ จนขาด

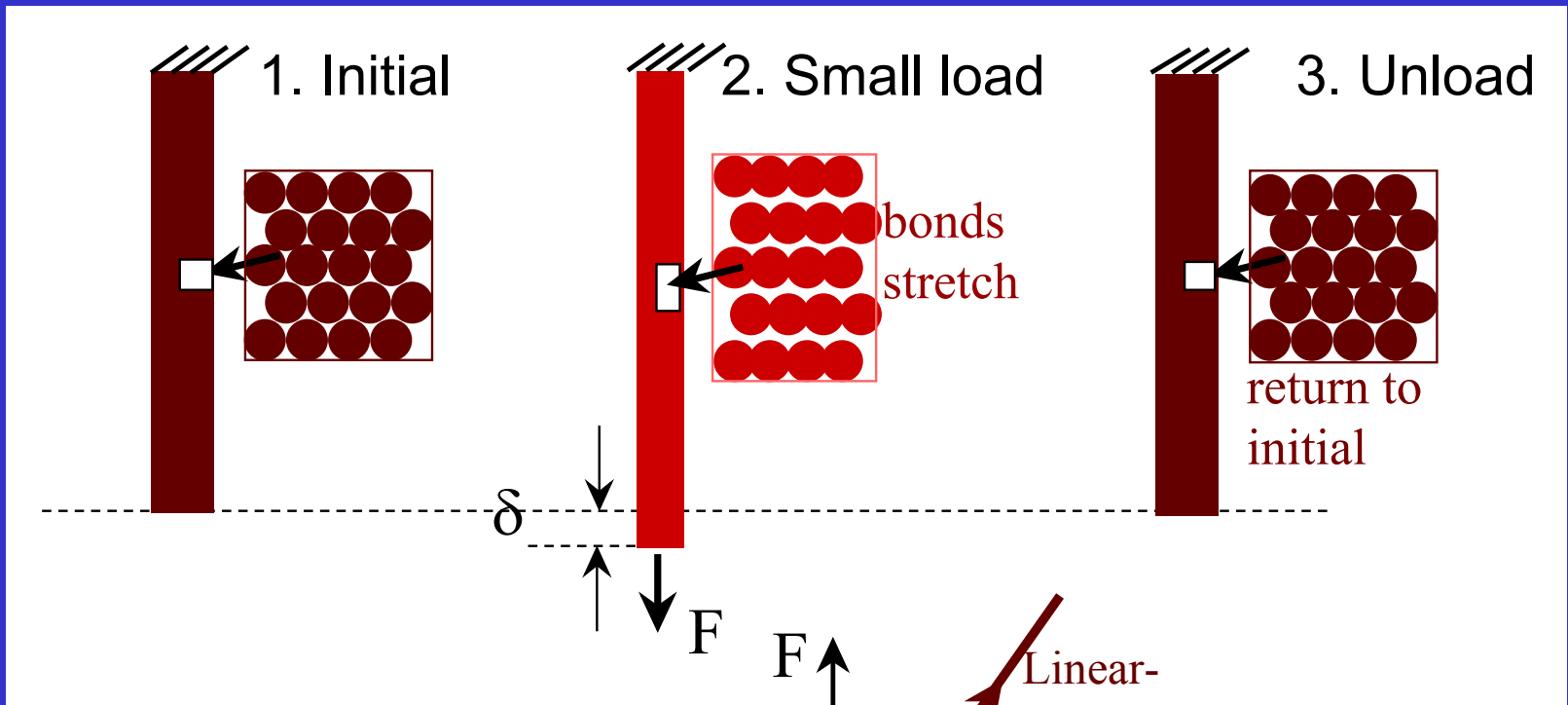
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดนั้น หาได้จากการทำ การทดลอง
ง่ายๆ ที่เรียกว่า Tensile test (การทดสอบแรงดึง)

วัดโหลด วัดระยะยืด → ความเค้น และ ความเครียด

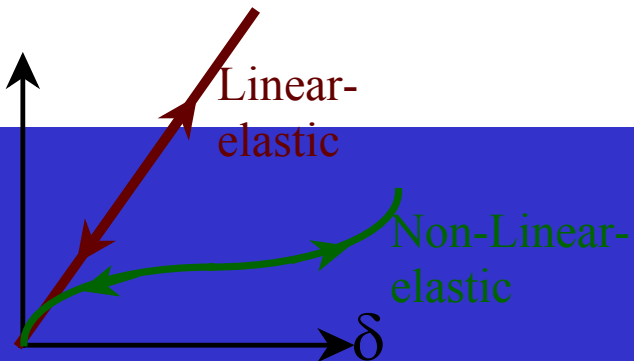




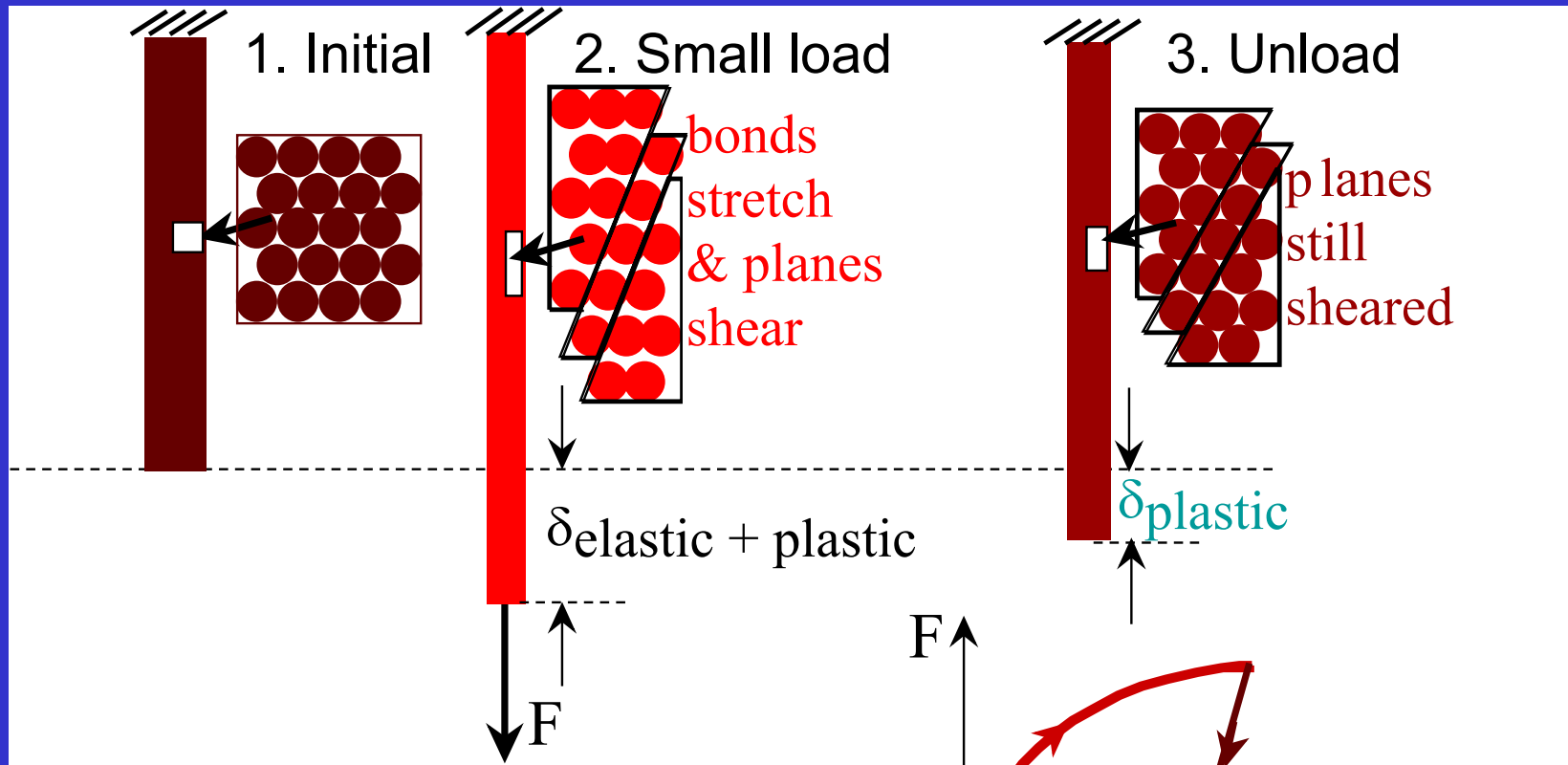
ELASTIC DEFORMATION



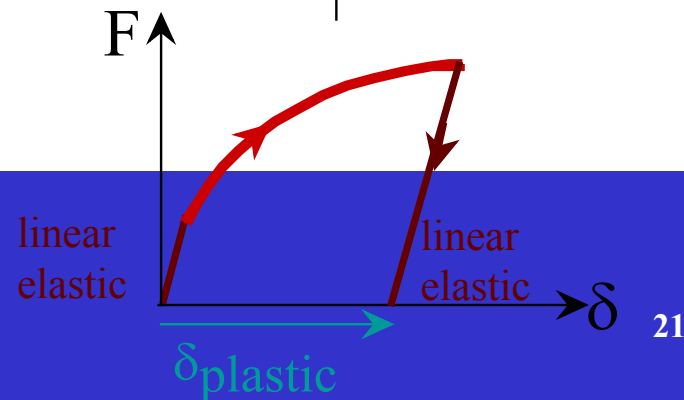
Elastic means **reversible**!

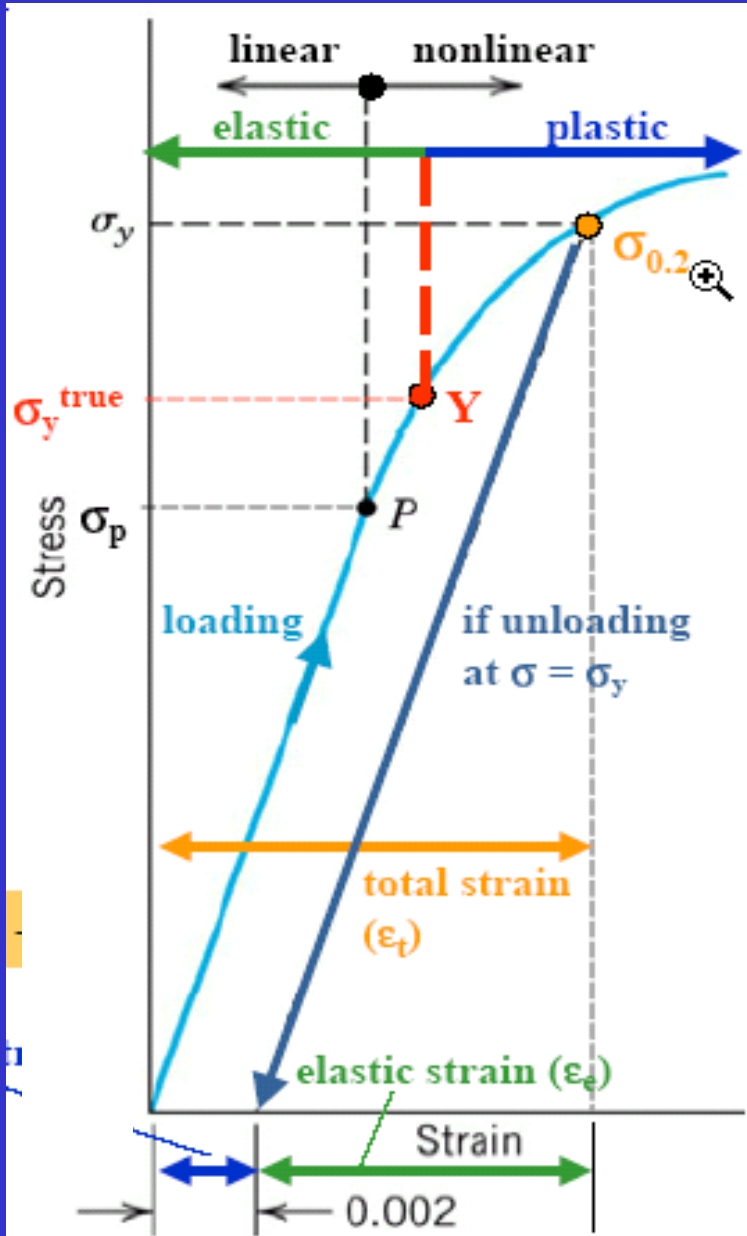


PLASTIC DEFORMATION (METALS)



Plastic means **permanent!**





ขีดจำกัดการแปรผันตรง
(Proportional Limit)

ขีดจำกัดความยืดหยุ่น
(Elastic Limit)

ความเค้นพิสูจน์ หรือ ความเค้นจุดคราก
(Proof Stress or Yield Stress)

มอดุลัสความยืดหยุ่น,
มอดุลัสของยังก์
(Elastic Modulus,
Young's Modulus)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (ทางวิศวกรรม)

Plotting the values for Stress and Strain gives:

$$\text{Stress, } \sigma = \frac{F}{A_0}$$

Ultimate tensile strength (UTS)

Yield stress (Y)

ความต้านแรงดึง
ความเค้นแรงดึงสูงสุด
กำลังวัสดุ

Linear, elastic part of curve

$\Delta \sigma$

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta e}$$

Young's Modulus

Dissimilar materials never have the same value of E

Offset

$$\text{Strain, } e = \frac{l - l_0}{l_0}$$

The offset strain is usually taken at 0.002 strain

การเปลี่ยนค่า ความเค้น และความเครียดทางวิศวกรรมให้เป็นค่าความเค้น
จริง และความเครียดจริง

$$\sigma_E = \frac{F_n}{A_0}$$

$$\sigma_T = \frac{F_n}{A}$$

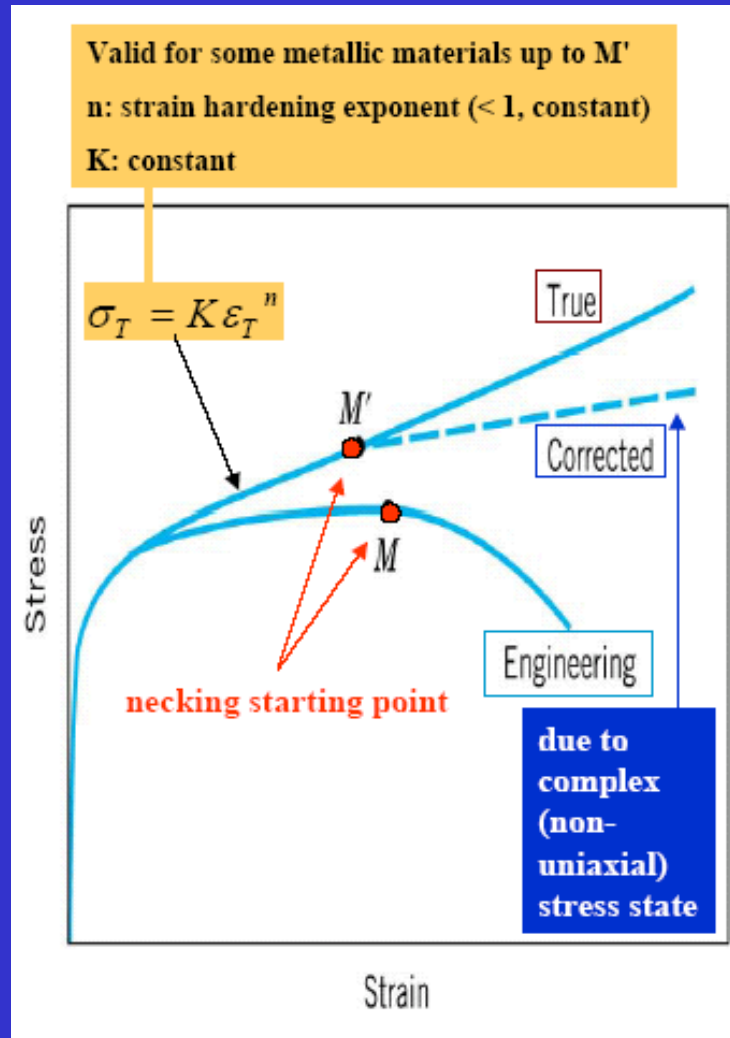
$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

$$\sigma_T = \sigma_E (1 + e)$$

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

(ก่อนเกิด necking)

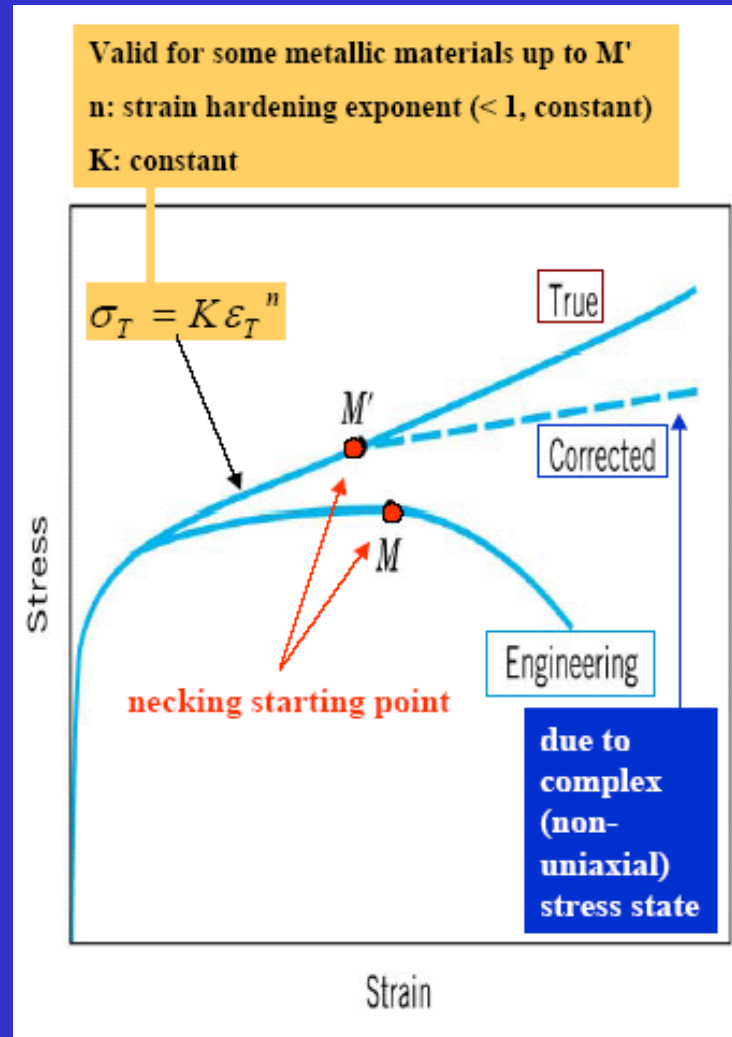


การเปลี่ยนค่า ความเค้น และความเครียดทางวิศวกรรมให้เป็นค่าความเค้นจริง และความเครียดจริง

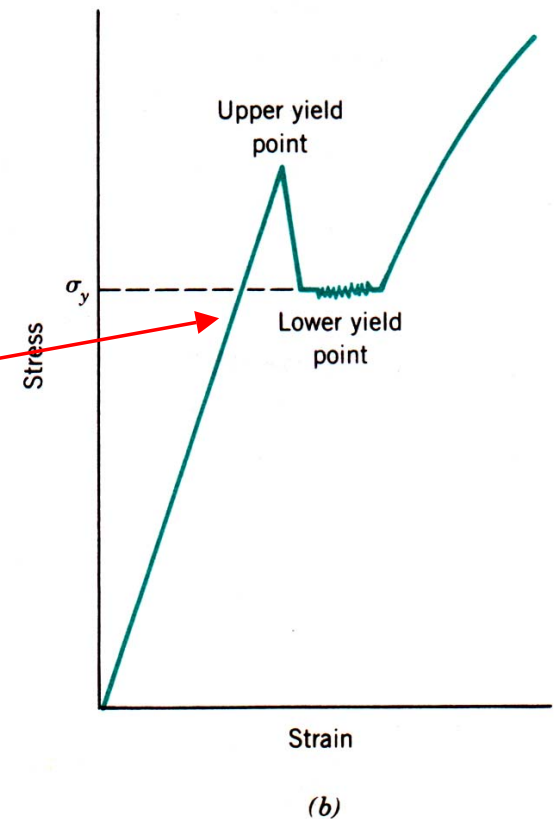
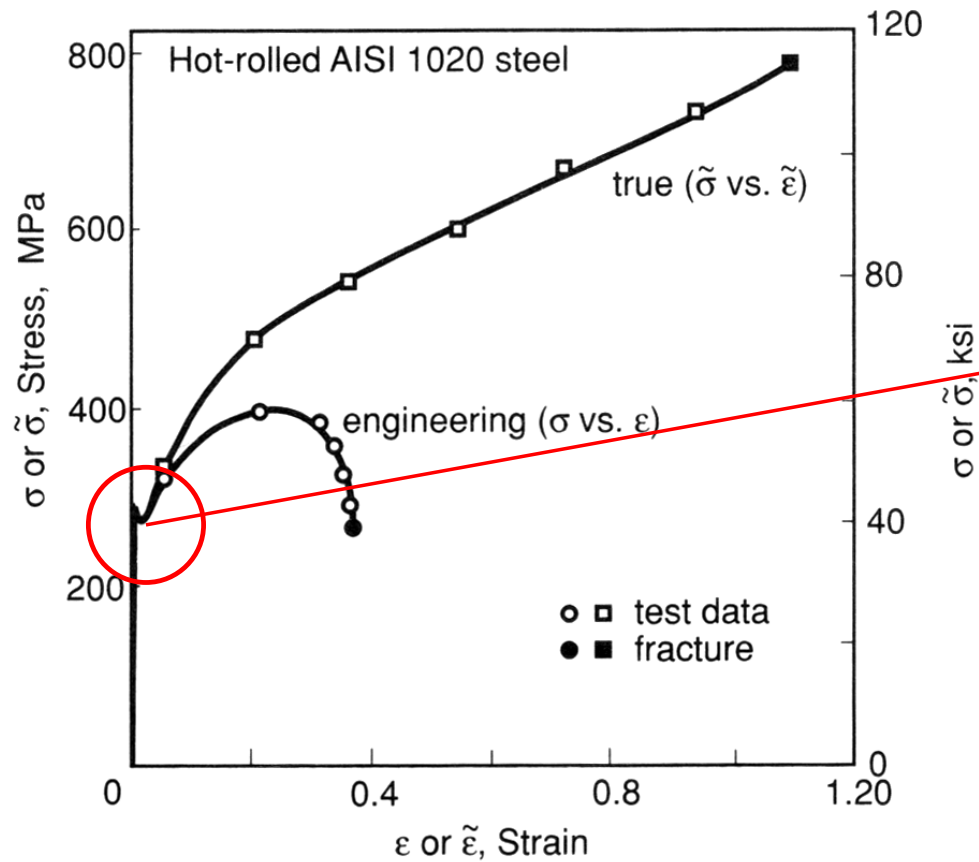
$$\sigma_T = \frac{F_n}{A}$$

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

(หลัง necking)
จะแปลงไม่ได้
ต้องวัด A เองจริง ๆ



stress-strain diagram ของโลหะประเภทเหล็ก

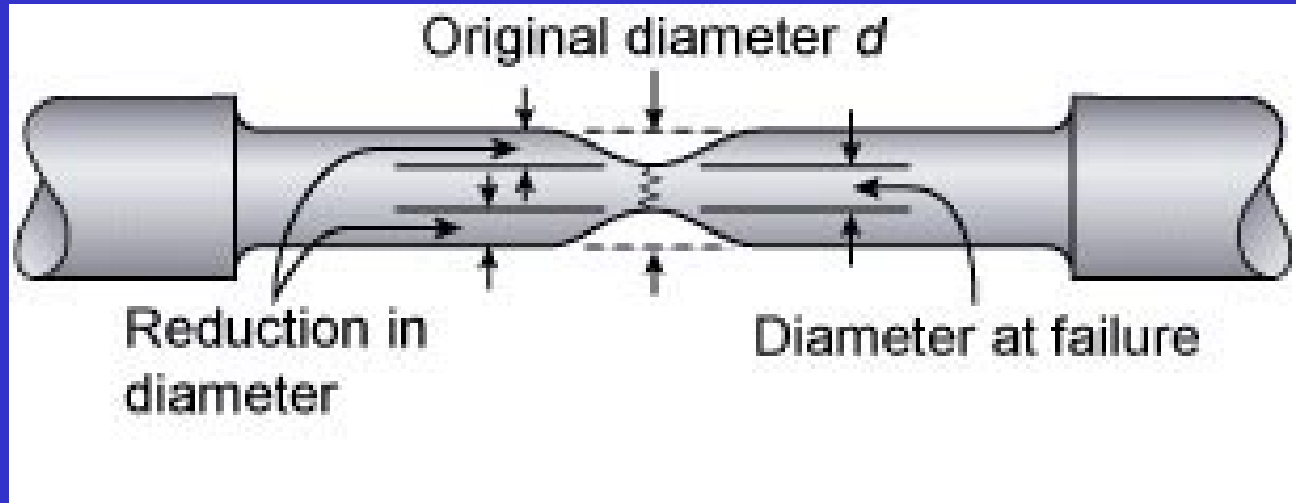


มีปรากฏการณ์จุดดรากร (Yield point phenomena)

ความเหนียว (Ductility) จากการทดสอบแรงดึง

1) เปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัด (% Reduction Area)

วัดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของชิ้นทดสอบภายหลังจากแตกหักจากการทดสอบ

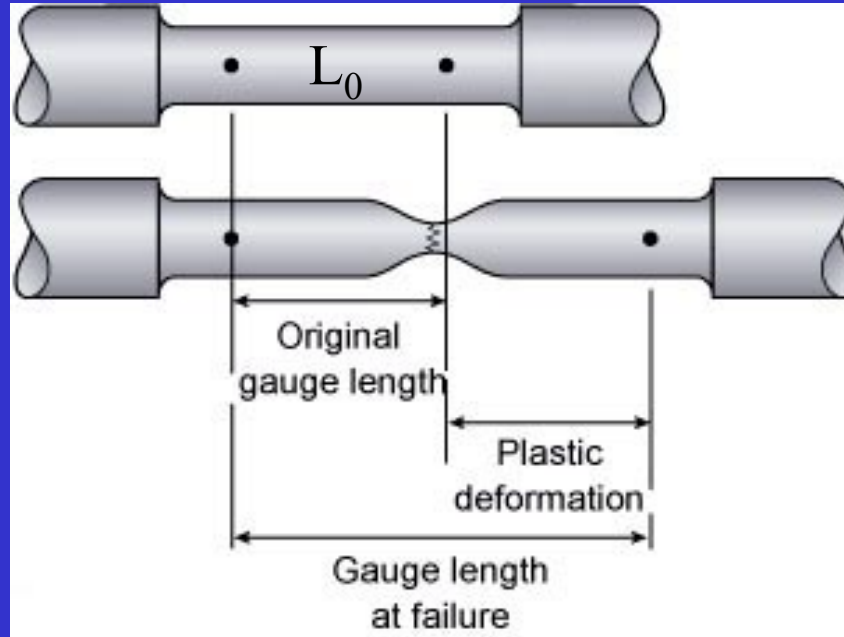


$$RA\% = (A_0 - A_f) / A_0 \times 100$$

A_f = พื้นที่หน้าตัดภายหลังการทดสอบ
 A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นก่อนดึง

2) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% elongation)

ขั้นตอนสอบยืดตัวได้สูงสุดเท่าไรจึงจะขาด



$$EI\% = (L_f - L_o) / L_o \times 100$$

where

L_f = gauge length at fracture, L_o = original gauge length

สมบัติทางกลอื่น ๆ

- อัตราส่วนปัวซอง, ν (Poisson's ratio)
 - อัตราส่วนระหว่างความเครียดแนวข้าง (Lateral Strain) กับความเครียดตามยาว
 - ของโลหะ มีค่าประมาณ 0.33 (0.25-0.35)
- มอดุลัสเฉือน, G (Shear Modulus/ Modulus of Rigidity)

$$\nu = -\frac{e_L}{e}$$

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

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

สมบัติทางกลอื่น ๆ

- **Resilience** : ความจุที่วัสดุสามารถเก็บพลังงานขณะแปรรูปแบบยืดหยุ่น

– Modulus of Resilience = พื้นที่ใต้กราฟความเค้น-ความเครียดเฉพาะส่วนที่ยังเป็นการแปรรูปแบบอิลาสติก

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

- **Toughness** (ความแกร่ง) : ความสามารถในการดูดซับพลังงานจนกว่าวัสดุนั้นจะแตกหัก
- ประเมินจากพื้นที่ใต้กราฟความเค้น-ความเครียดทั้งหมด

การทดสอบความแข็ง (Hardness test)

- นิยาม
 - ความต้านทานต่อการแปรรูปถาวร (Plastic deformation)
 - Indentation -----> Metallurgist
 - Wearing -----> Lubrication Engineer
 - Scratching -----> Mineralogist
 - Cutting -----> Machinist
 - Flow stress -----> Design Engineer

ชนิดของการทดสอบความแข็ง

- Static indentation test (Reproducible, Accurate)
 - Rockwell (ASTM E18), Brinell (ASTM E10), Knoop (ASTM E384), Vickers (ASTM E92)
- Dynamic hardness test
 - Scleroscope (ASTM Practice E 448 standard)
- Scratch test
 - Mohs, file hardness test

Brinell Hardness

- รอยกดจะลึกและกว้างกว่า
การทดสอบแบบอื่นๆ
 - หัวกด ขนาด 5-10 mm
 - Harden steel ball (up to 444 HB)
 - Tungsten carbide ball (444 to 627)
- กดครั้งเดียว แต่ค้างไว้ประมาณ 10-30 sec
- ต้องใช้กล้อง microscope ส่องในการวัด
- Load 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 kgf
 - 500 kgf: soft metal Cu, Al alloys
 - 3000 kgf: steel, hard metal

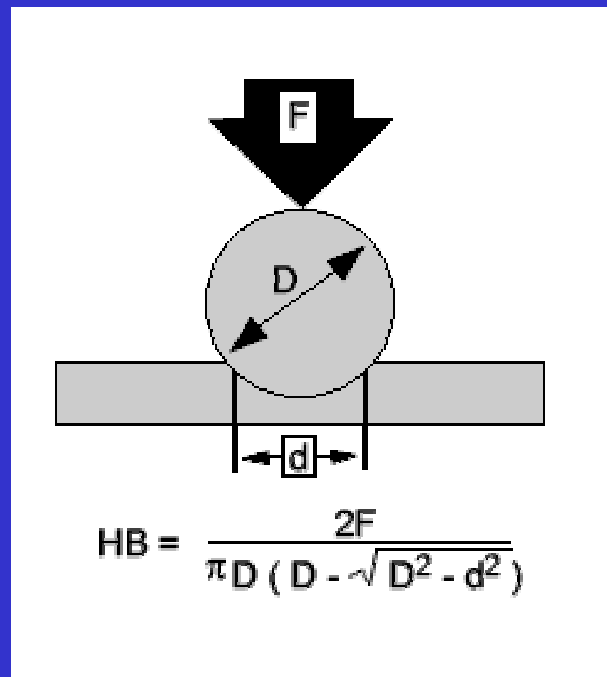
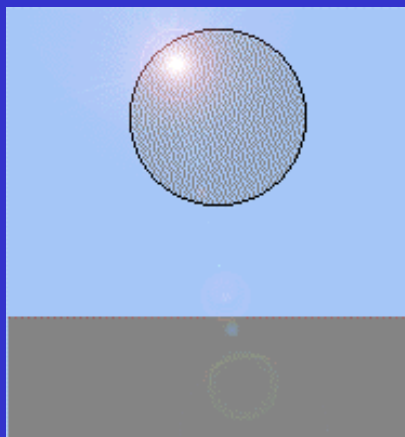
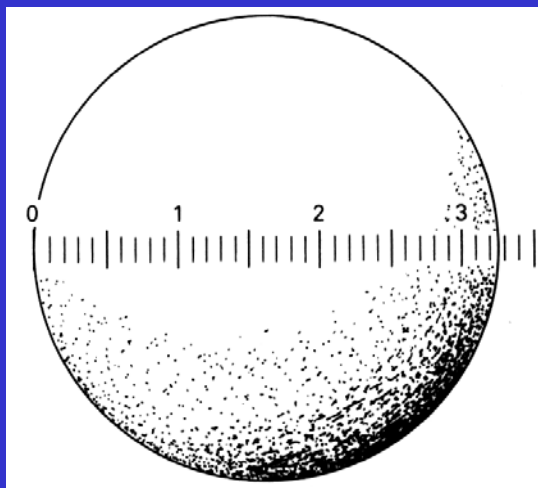


หลักการ (Brinell Principle)

การคำนวณค่าความแข็ง HB

วัดค่า d แล้วนำมาใส่สูตรคำนวณหาค่า HB หรือ

วัดค่า d แล้วเปิดตารางเทียบค่า HB



ตัวอย่าง

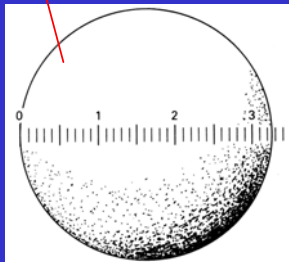
ค้างไว้ประมาณ 10-30 sec

$D=10 \text{ mm}$, $F=3000 \text{ kgf}$, วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 2.0 mm ----> $HB = 945$

Table 1 Brinell hardness numbers

Ball diameter 10 mm

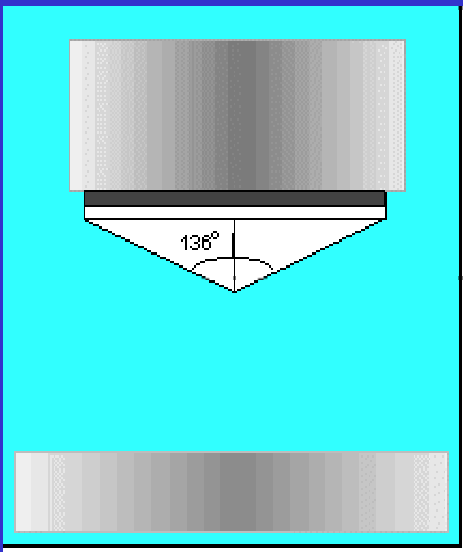
Ball impression, diam, mm	Brinell hardness number					
	Load, kgf					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
2.00	158	316	473	632	788	945
2.05	150	300	450	600	750	899
2.10	143	286	428	572	714	856
2.15	136	272	408	544	681	817
2.20	130	260	390	520	650	780
2.25	124	248	372	496	621	745
2.30	119	238	356	476	593	712
2.35	114	228	341	456	568	682
2.40	109	218	327	436	545	653
2.45	104	208	313	416	522	627



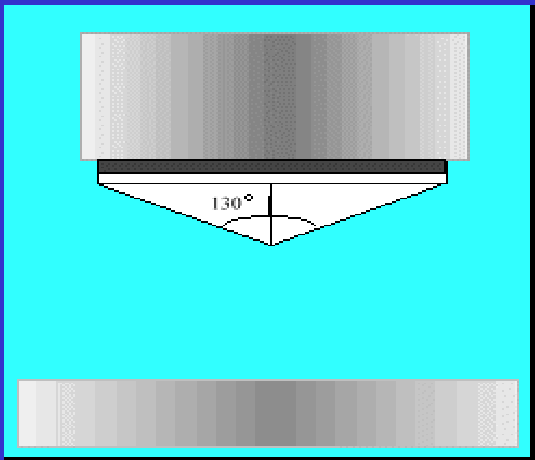
Vickers/Knoop Microhardness Testing

- Load < 1000 gf
- รอยกดมีขนาด 0.01-0.1 mm
- ความลึกรอยกด < 19 ไมครอน
ทดสอบความแข็งชิ้นงานบางได้ (foil, wire)
- ทดสอบความแข็งผิวเคลือบได้
- ต้องใช้กล้อง microscope ในการวัด
- เลือกทดสอบความแข็งเฉพาะจุด
ในชิ้นทดสอบได้
- สำหรับหัวกดแบบ Vickers สามารถ
ใช้แรงกดเกินจากช่วง microhardness
ได้ถึงประมาณ 120 kgf (ประมาณ Rockwell C)



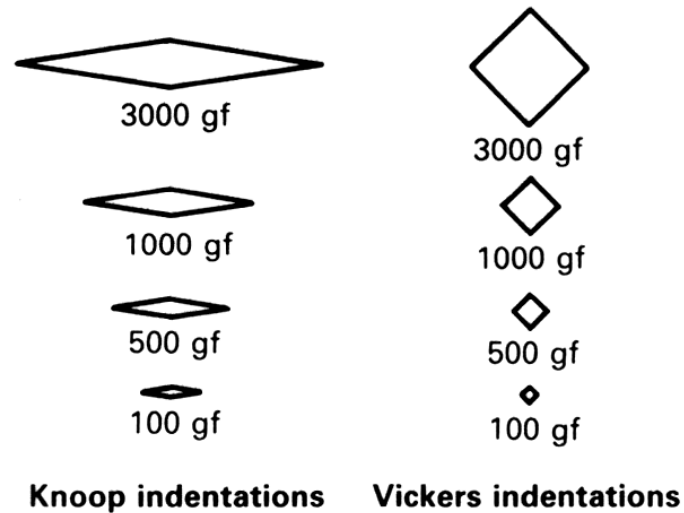


vickers



knoop

Fig. 1 Indentations made by Knoop and Vickers indenters in the same work metal at the same load



1:7

1:1

$$HK = \frac{P(kgf)}{A(mm^2)} = \frac{14.229P}{L^2}$$

Fig. 2 Pyramidal Knoop indenter and resulting indentation in the workpiece

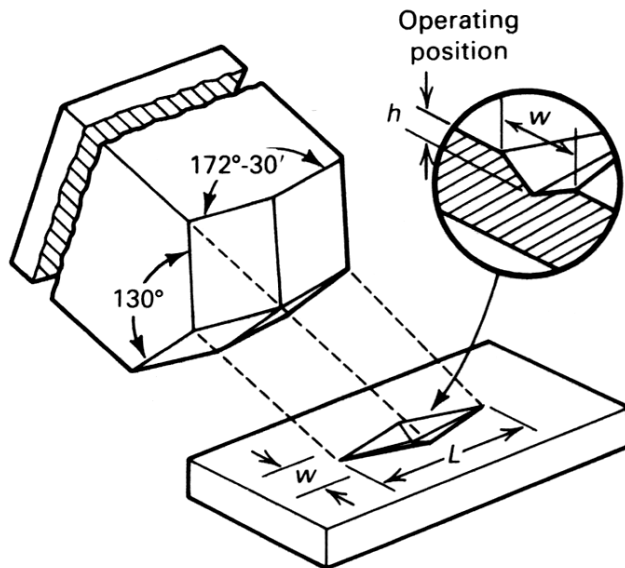
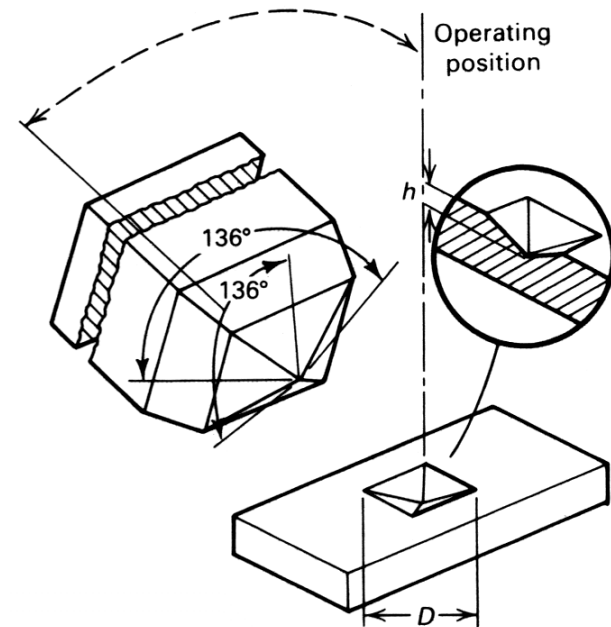


Fig. 3 Diamond pyramid indenter used for the Vickers test and resulting indentation in the workpiece

D is the mean diagonal of the indentation in millimeters.



$$HV = \frac{P(kgf)}{A(mm^2)} = 1.854 \frac{P}{d^2}$$

Settings

Source	Test 1
Objective	50x
Load	500gf
Indenter	Knoop
High Tolerance	900
Low Tolerance	600
Horiz $\mu\text{m}/\text{Pixel}$	0.33 μm
Vert $\mu\text{m}/\text{Pixel}$	0.38 μm
Diamond Cal	.234 μm

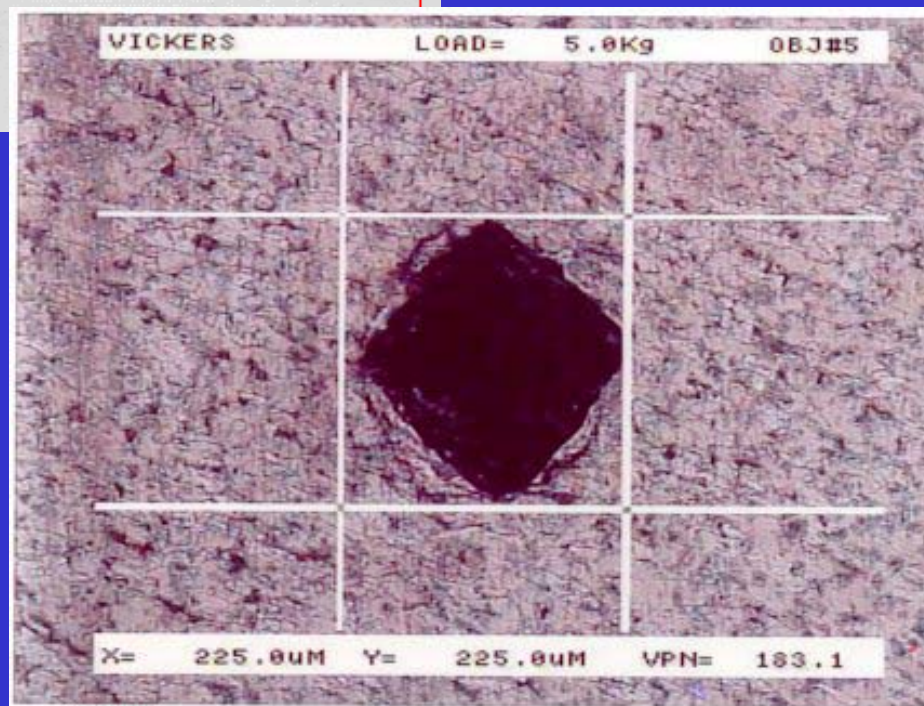
Statistics

Item	This Read	Avg
HV/HK	500	500
HRB/C	47.4	47.4
User Ref	471	471
	X	Y
Coords	100	100

Number:

D1: 110.98 μm
D2: 83.02 μm
HK: 157
HRC: 77.7
HV: 144

Click here when lines are in position.



Rockwell hardness testing

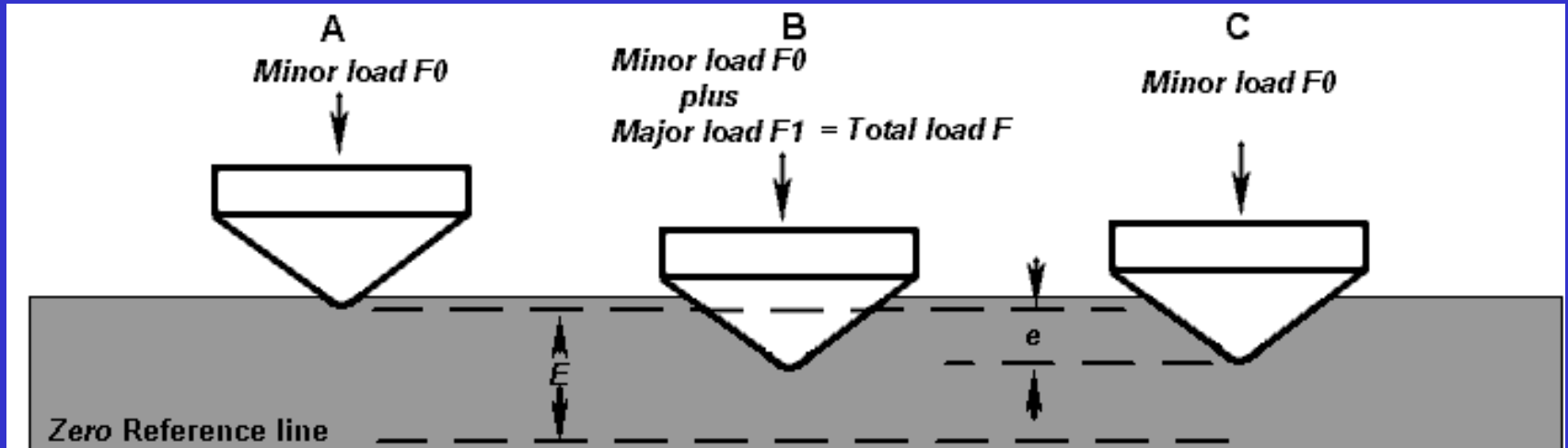
- ข้อดี
 - ใช้งานง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้แพร่หลาย
 - สามารถอ่านค่าความแข็ง โดยไม่ต้องใช้กล้องขยายช่วย
 - Soft metal to very hard steel
 - ทดสอบได้รวดเร็ว เสร็จใน 5 – 10 วินาที (manual, auto)
- ข้อควรระวัง
 - Sensitive to specimen support anvil



Standard Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials", ASTM E18-97a, pp116-129

หลักการ (Rockwell Principle)

***มีการกดสองขั้น (ต่างจากการทดสอบแบบอื่นที่มีการกดแค่ขั้นเดียว)



Diamond Steel Ball	Rockwell	→	Minor load = 10kgf Major load = 60, 100, 150 kgf
	Superficial Rockwell (ร็อกเวลล์พื้นผิว)	→	Minor load = 3kgf Major load = 15, 30, 45 kgf

ชนิดหัวกด + minor load + major load -----> Rockwell Scale (~30)

Table 1 Rockwell standard hardness

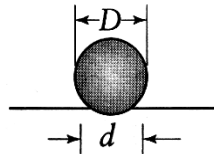
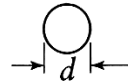
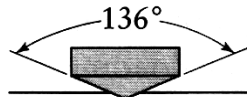
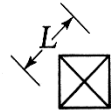
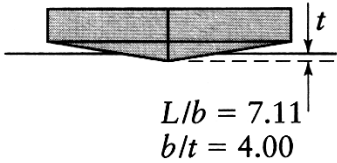
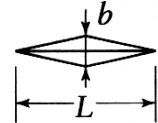
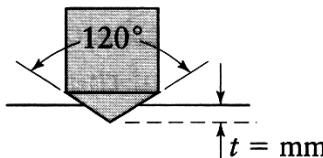
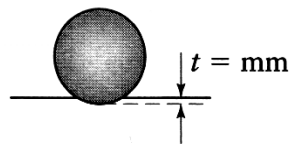
Scale symbol	Indenter	Major load, kgf	Typical applications
A	Diamond (two scales—carbide and steel)	60	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron
C	Diamond	150	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case-hardened steel, and other materials harder than HRB 100
D	Diamond	100	Thin steel and medium case-hardened steel and pearlitic malleable iron
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	Phosphor bronze, beryllium copper, malleable irons. Upper limit HRG 92 to avoid possible flattening of ball
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	Aluminum, zinc, lead
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.

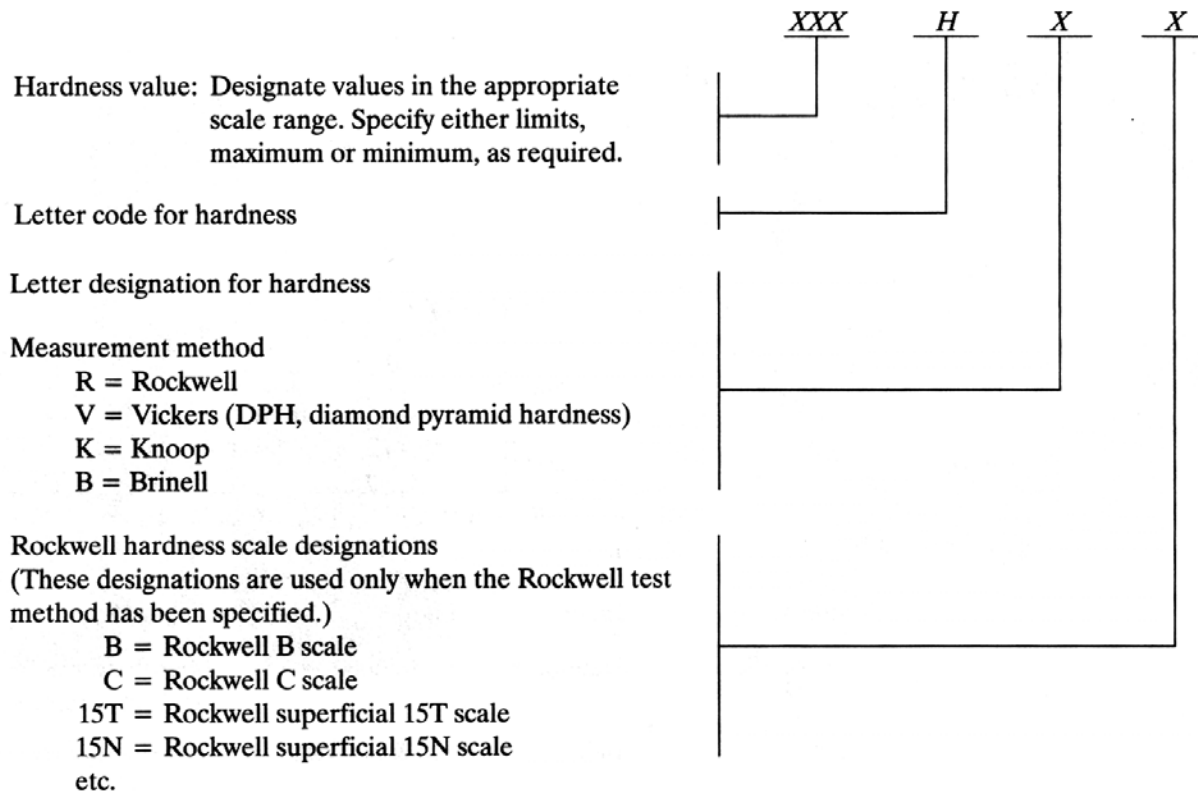
Source: ASTM Standard E 18

Table 2 Rockwell superficial hardness scales

Scale symbol	Indenter	Major load, kgf
15N	Diamond	15
30N	Diamond	30
45N	Diamond	45
15T	1/16-in. (1.588-mm) ball	15
30T	1/16-in. (1.588-mm) ball	30
45T	1/16-in. (1.588-mm) ball	45
15W	1/8-in. (3.175-mm) ball	15
30W	1/8-in. (3.175-mm) ball	30
45W	1/8-in. (3.175-mm) ball	45
15X	1/4-in. (6.350-mm) ball	15
30X	1/4-in. (6.350-mm) ball	30
45X	1/4-in. (6.350-mm) ball	45
15Y	1/2-in. (12.70-mm) ball	15
30Y	1/2-in. (12.70-mm) ball	30
45Y	1/2-in. (12.70-mm) ball	45

Note: The Rockwell N scales of a superficial hardness tester are used for materials similar to those tested on the Rockwell C, A, and D scales, but of thinner gage or case depth. The Rockwell T scales are used for materials similar to those tested on the Rockwell B, F, and G scales, but of thinner gage. When minute indentations are required, a superficial hardness tester should be used. The Rockwell W, X, and Y scales are used for very soft materials. The letter N designates the use of the diamond indenter; the letters T, W, X, and Y designate steel ball indenters. Superficial Rockwell hardness values are always expressed by the number suffixed by a number and a letter that show the load and indenter combination. For example, 80 HR30N indicates a reading of 80 on the superficial Rockwell scale using a diamond indenter and a major load of 30 kgf.

test	Indenter	Shape of indentation Side view	Top view	Load P	Hardness number
Brinell	10-mm steel or tungsten carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D) (D\sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1–120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25g–5kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell				kg	
A C D	Diamond cone			60 150 100	HRA HRC HRD } = 100–500t
B F G	$\frac{1}{16}$ -in-diameter steel ball			100 60 150	HRB HRF HRG } = 130–500t
E	$\frac{1}{8}$ -in-diameter steel ball			100	HRE }



Example

- 50–60 HRC means: a hardness value of 50 to 60 using the Rockwell C scale
- 85 HR15T max means: a maximum hardness value of 85 using the Rockwell Superficial 15T scale
- 185–240 HV₁₀₀ means: a hardness value of 185–240 using the Vickers hardness tester and a test load of 100 kilogram-force, use HK for Knoop
- 200 HB min means: a minimum hardness value of 200 using the Brinell hardness tester

Figure 2–18

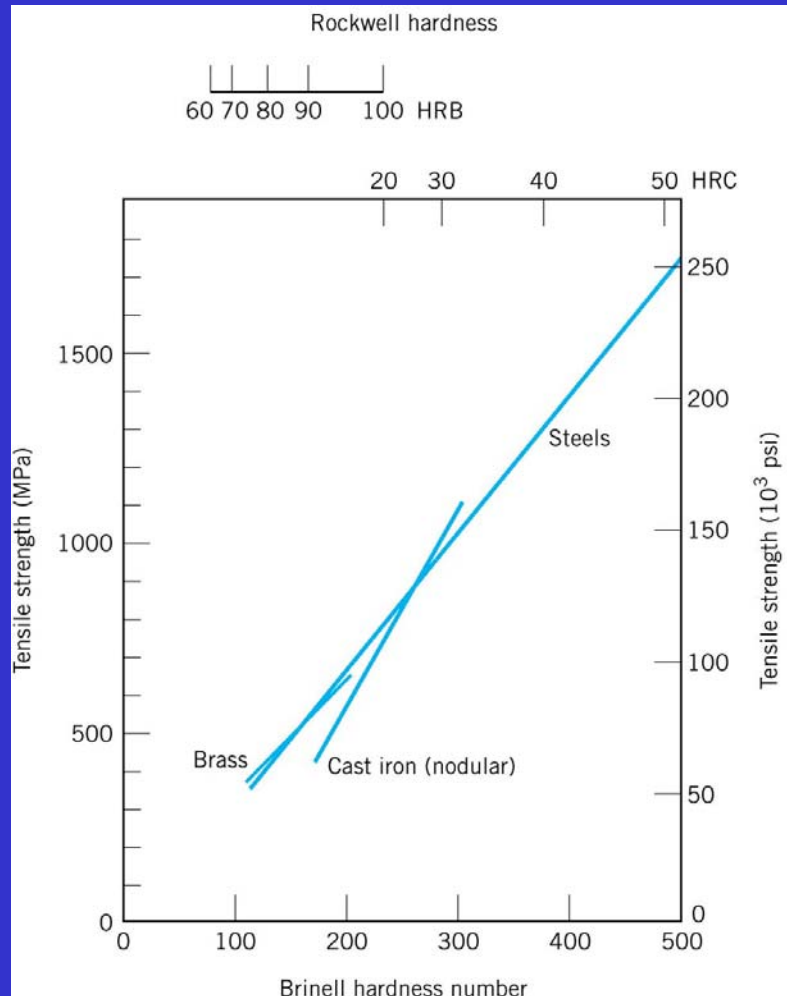
Specification of hardness numbers for metals (ASTM E 10, E 384, and E 18). See ASTM E 140 for scale conversions.

HARDNESS CONVERSION TABLE

Approximate Equivalents of Rockwell C Hardness Numbers
for Hard Materials

VICKERS DPH	ROCKWELL						BRINELL BHN	SCLERO- SCOPE	U.T.S.	
HV/10	A	C	D	15-N	30-N	45-N	3000kg		Kpsi	MPa
1076	87	70	79	94	86	78		101		
1004	86	69	78	94	85	77		99		
940	86	68	77	93	84	75		97		
900	85	67	76	93	84	74		95		
865	85	66	75	93	83	73		92		
832	84	65	75	92	82	72	739	91		
800	84	64	74	92	81	71	722	88		
772	83	63	73	91	80	70	705	87		
746	83	62	72	91	79	69	688	85		
720	82	61	72	91	79	68	670	83		
697	81	60	71	90	78	67	654	81	320	2206
674	81	59	70	90	77	66	634	80	310	2137
653	80	58	69	89	76	64	615	78	300	2068
633	80	57	69	89	75	63	595	76	290	1999
613	79	56	68	88	74	62	577	75	282	1944
595	79	55	67	88	73	61	560	74	274	1889

ความสัมพันธ์ระหว่าง Hardness:Strength

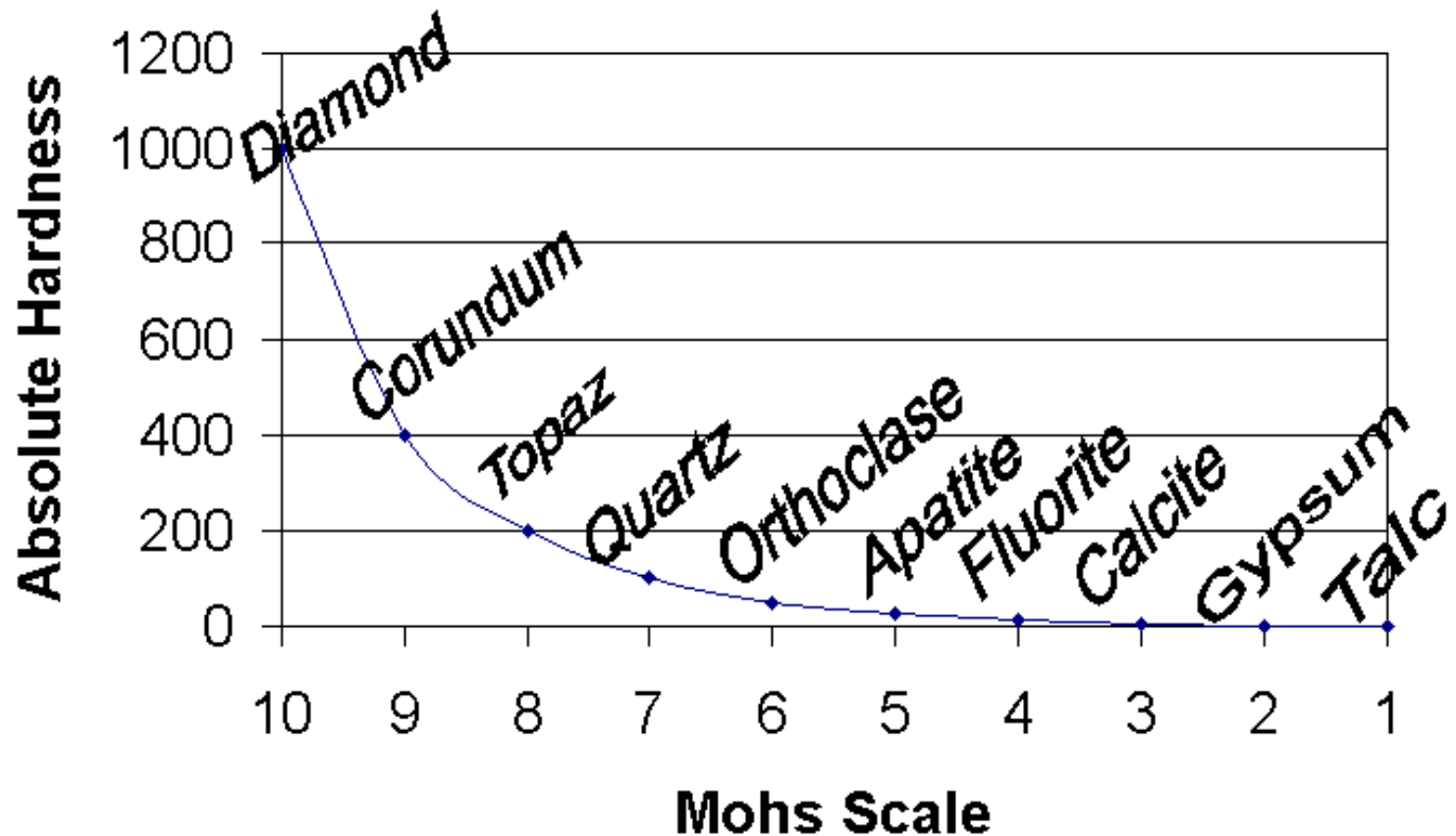


$$UTS(MPa) = 3.45(HB)$$

(สำหรับเหล็กกล้าโดยทั่วไป)

ระว่างกรณีที่โลหะผ่านการทำ
surface treatment!

Hardness Scale



หลักการเหมือนกับ File test ที่ใช้ทดสอบความแข็งของเหล็ก