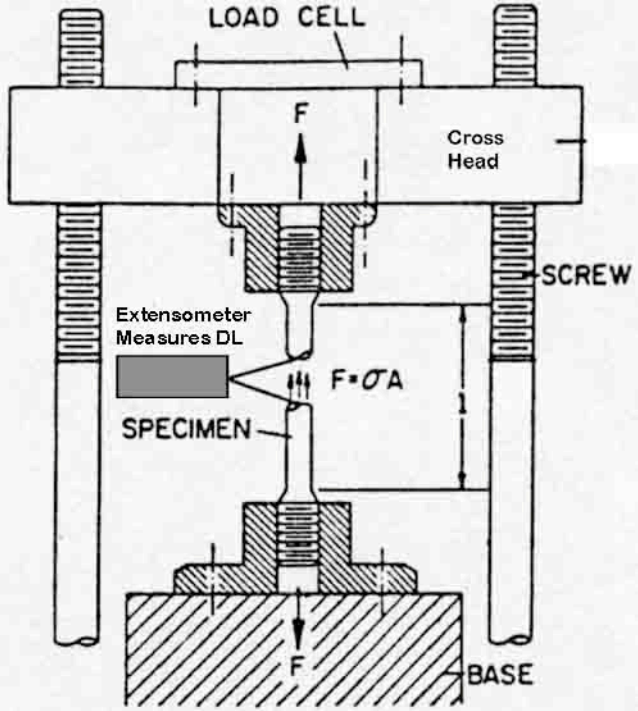
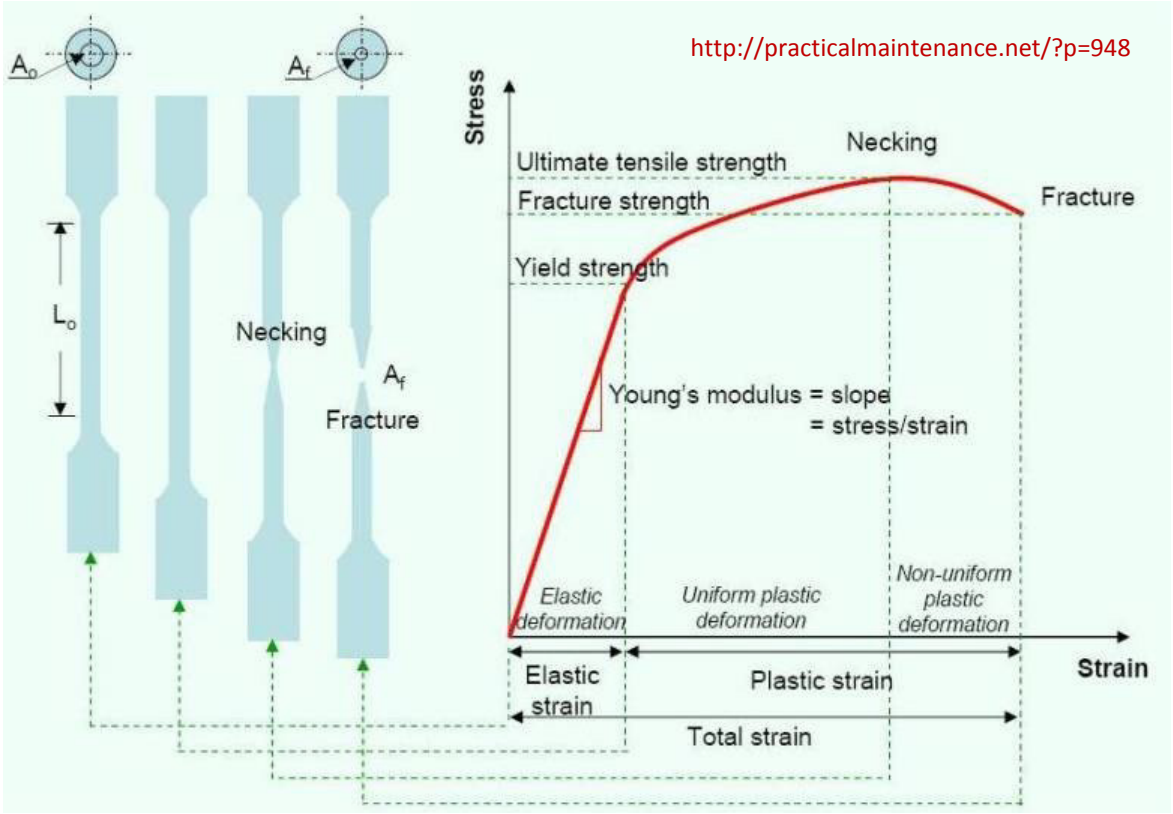
Material in Mechanical Design

2103320 Des Mach Elem
Mech. Eng. Department
Chulalongkorn University

Mechanical Properties – Tensile test



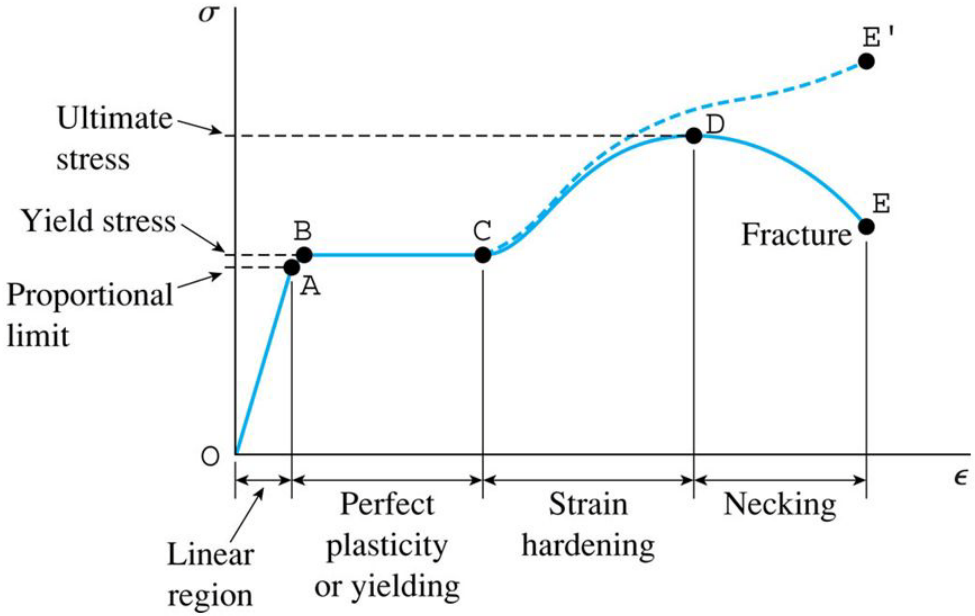
http://www.weldguru.com/mechanical-properties-of-metals.html

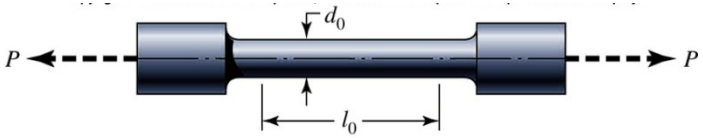


Note **Strength มักหมายถึงสมบัติของวัสดุ ดังนั้นค่าในกราฟของวัสดุใดวัสดุหนึ่ง จึงเขียน strength ส่วนปริมาณของสมบัตินี้ เป็นความเค้น stress**

Engineering and True stress-strain curve

Engineering stress-strain curve	True stress-strain curve
$\sigma = \frac{P}{A_0}$	$\sigma_T = \frac{P}{A} = \frac{\text{Instantaneous load}}{\text{Instantaneous area}}$
$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$	$\varepsilon_T = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_i}{l_0}$

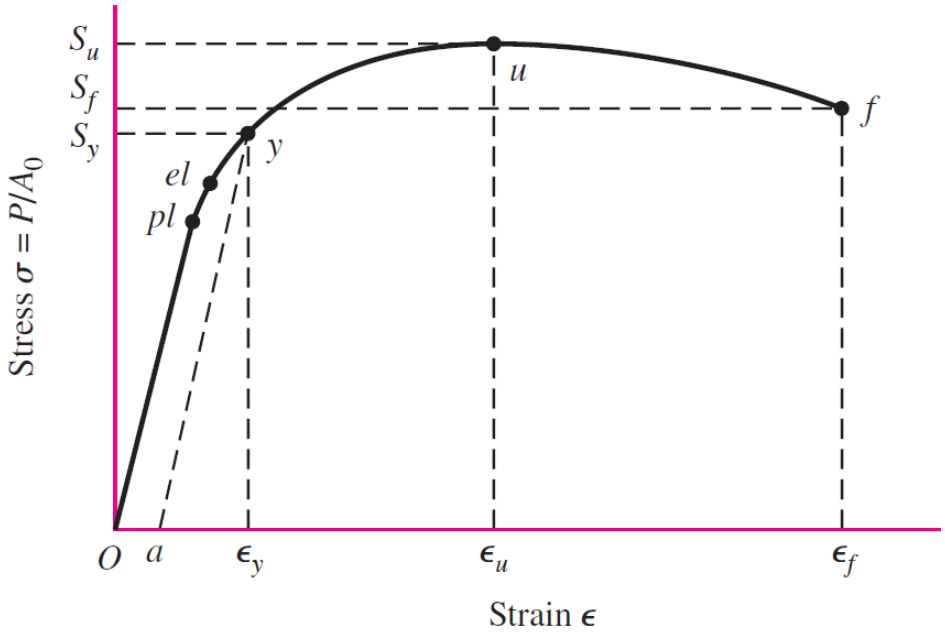




โดยปกติจะใช้ Engineering stress-strain curve

Stress-strain curve (1)

Ductile material



pl : Proportional limit

ความเค้น-ความเครียด ในช่วง ***O-pl*** จะมี ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

$$\text{Slope} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$ ⇒ **Young's Modulus, E (Modulus of Elasticity)**

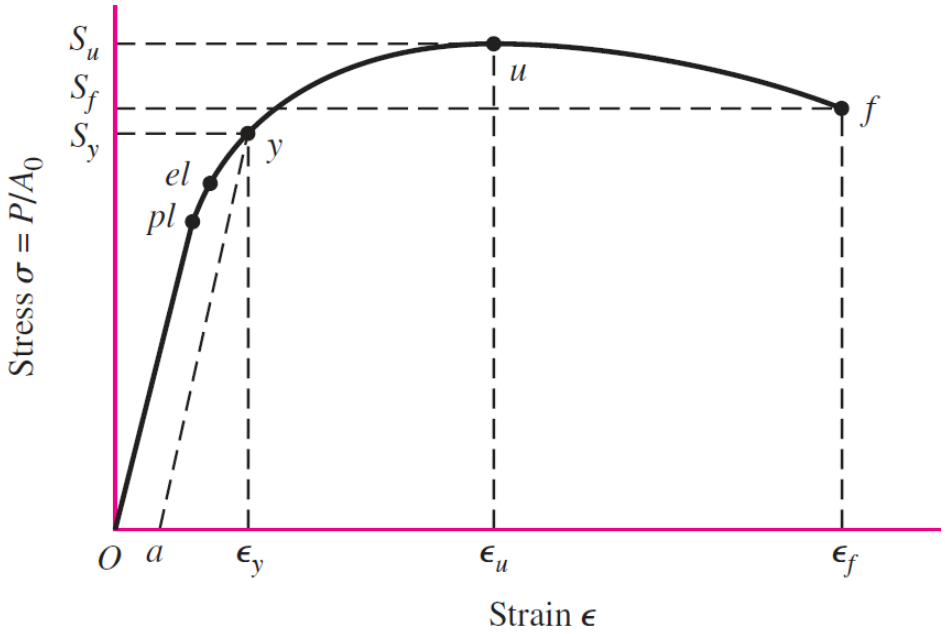
ถ้าเอาแรงกระทำออก วัสดุคืนตัวที่ขนาดเดิม

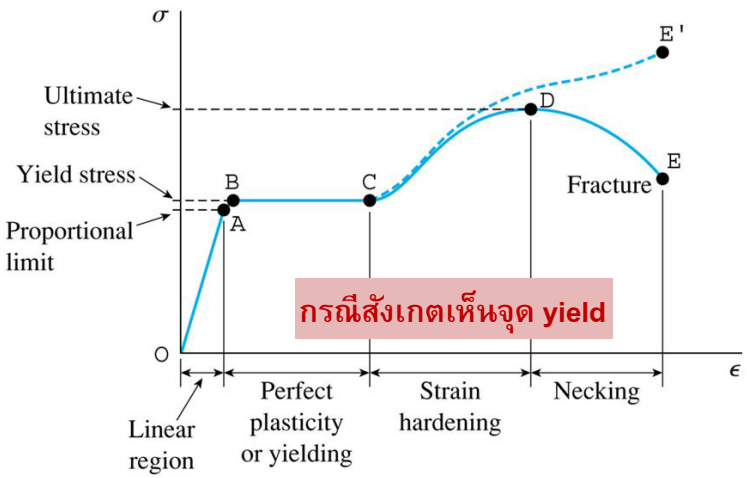
el : Elastic limit

- ความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียด ในช่วง ***pl-el*** จะไม่ได้เป็นเส้นตรงแล้ว
- ถ้าเอาแรงกระทำออก ยังกลับคืนตัวที่ขนาดเดิม

Stress-strain curve (2)

Ductile material





กรณีสังเกตเห็นจุด yield

y : Yield strength (offset-yield strength)

- ให้แรงกระทำเกิน y วัตถุจะยืดออกได้มากโดยเพิ่มแรงเพียงเล็กน้อย หรือไม่ได้เพิ่มแรง
- เรียกจุด y ว่าจุดคราก Yield point

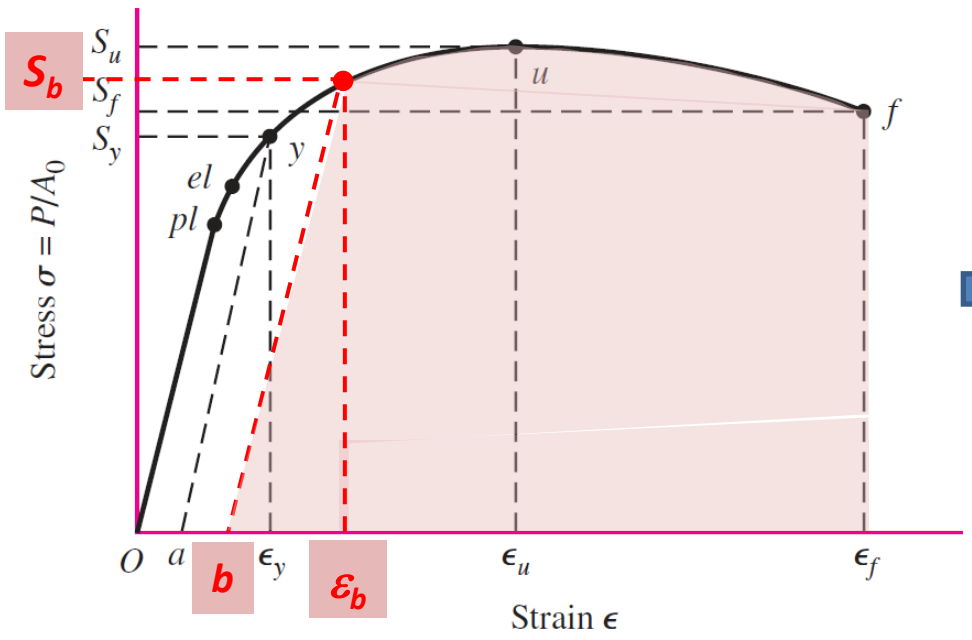
- กรณีที่สังเกตจุด y ไม่พบ จะใช้วิธีลากเส้น offset กับส่วนที่เป็นเส้นตรง ในรูปคือ strain a
- โดยทั่วไปจะใช้ strain 0.2% ($\varepsilon = 0.002$)
- ความเค้นที่ y เรียก proof stress, S_y , σ_y

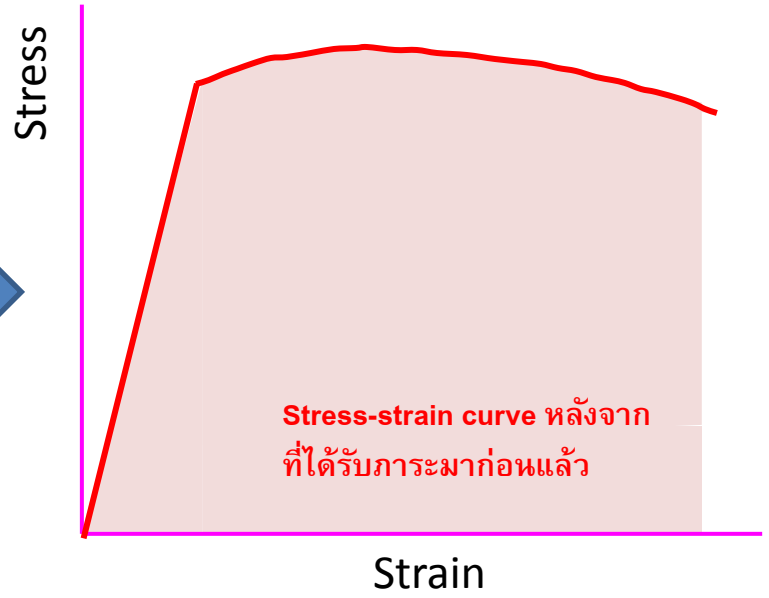
- ถ้าให้แรงช่วง ***el-y*** หรือมากกว่า y จะเสียรูปถาวร
- ถ้าเอาแรงกระทำออก วัตถุจะไม่คืนตัวเป็นขนาดเดิม

ในการออกแบบชิ้นส่วนกล มักจะออกแบบให้ความเค้น < yield strength ไม่พัง + เสียรูปน้อย

Stress-strain curve (3)

Ductile material





ให้แรงเกิดความเค้น S_y , σ_y เกิดความเครียด ε_y

ให้แรงเกิดความเค้น S_b เกิดความเครียด ε_b

เอาแรงออก

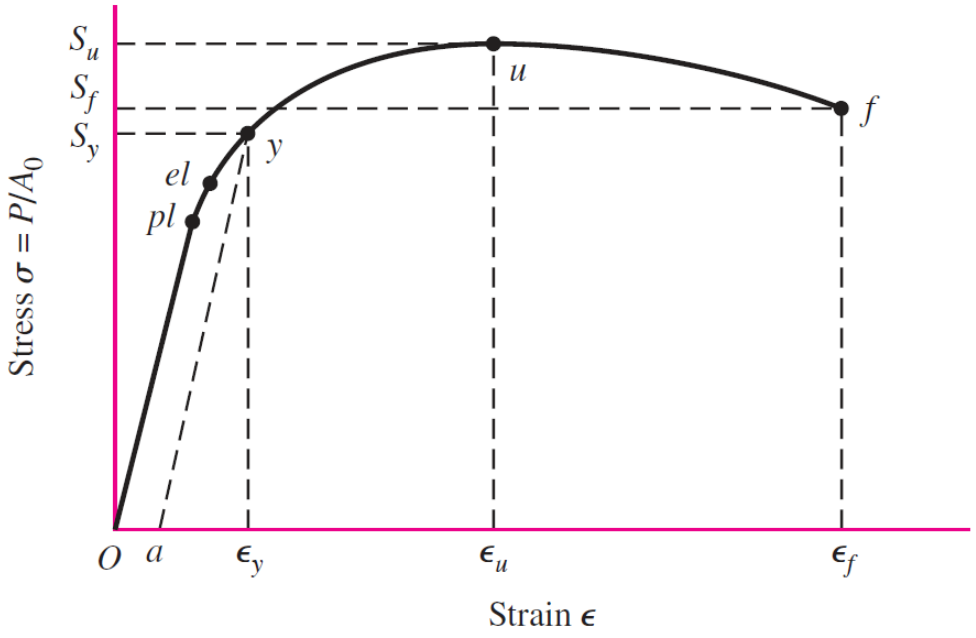
เสียรูปถาวร โดยมี $\varepsilon = a$ 1

เสียรูปถาวร โดยมี $\varepsilon = b$ 2

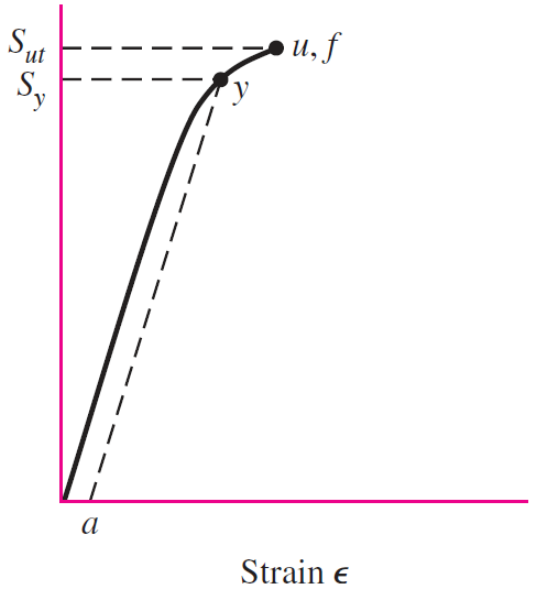
ถ้าออกแรงจาก 2 stress-strain curve จะเปลี่ยนเป็นรูปด้านขวามือ

Stress-strain curve (4)

Ductile material



Brittle material



u : Ultimate tensile strength, S_u , σ_u

- เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะรับได้
- บางครั้งเรียกว่า ความต้านแรงดึง Tensile strength

f : Fracture strength

- ความเค้นที่จุดแตกหัก

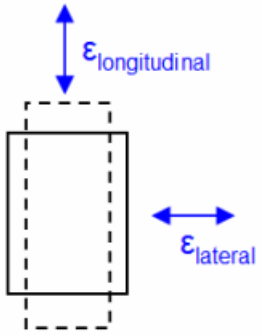
Other properties (1)

Young's Modulus, E

- ได้จากการทดสอบแรงดึง
- คือความชันของ stress-strain curve
- อาจเรียกว่า Modulus of Elasticity

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Poisson ratio, ν



$$\nu = -\frac{\text{Lateral strain}}{\text{Axial strain}} = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_a}$$

Shear Modulus, G

- เป็นอัตราส่วนของ Shear stress / Shear strain

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

Shear strength

- ทำนองเดียวกับค่าความเค้นคราก แต่เป็นความเค้นเฉือนคราก (Yield strength in Shear)
- ใช้ในการออกแบบ แต่มักไม่ได้มีในตารางวัสดุ
- ประมาณได้จาก

S_{ys} = 0.5S_y = Yield strength in shear

(บางเล่มใช้ 0.6)

S_{us} = 0.75S_u = Ultimate strength in shear

Other properties (2)

Ductility

- บ่งบอกว่าวัสดุยืดได้เท่าไหร่ก่อนจะแตกหัก
- คำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

$$\text{percent elongation} = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Coefficient of Thermal Expansion

- บ่งบอกถึงการยืดของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

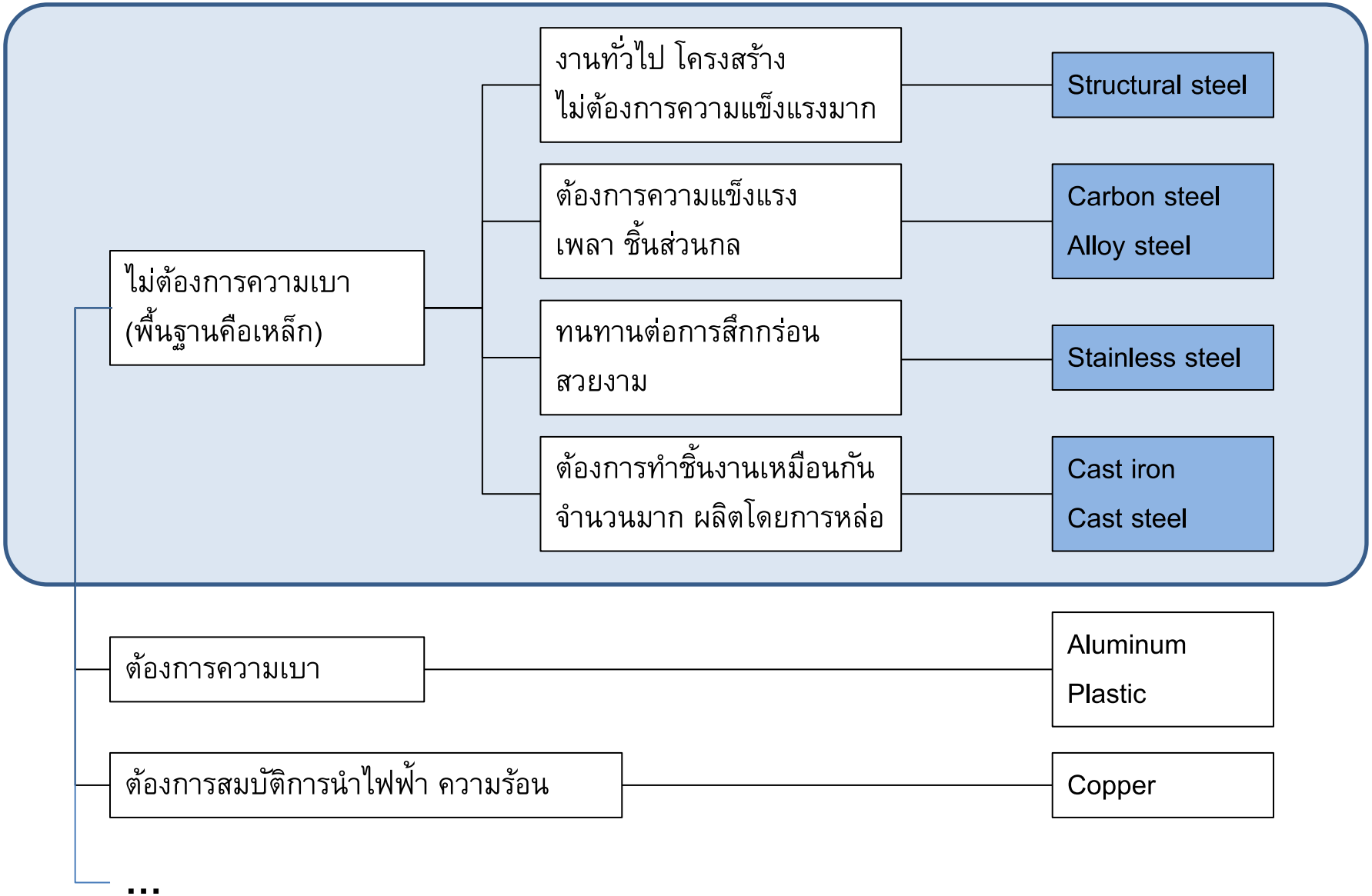
$$\alpha = \frac{\varepsilon}{\Delta T}$$

ตัวอย่างสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็ก

Physical property		Value
Density	ρ	7.85 kg/m^3
Young's Modulus	E	190-210 GPa
Shear Modulus	G	73-83 GPa
Poisson's ratio	ν	0.27-0.3
Coef. of therm. expansion	α	1.1*10^5 /K

- ค่าสมบัติทางฟิสิกส์จะเปลี่ยนไปไม่มาก ถึงแม้ว่าจะเป็นเหล็กที่ต่างชนิดกัน
- สมบัติทางกล เช่น Yield strength, Tensile strength จะแตกต่างไป

วัสดุที่ใช้ในเครื่องจักรกล



Structural steel (1)

- เป็นเหล็กที่นิยมใช้แพร่หลายที่สุด
- มีขายทุกรูปแบบ เช่น แผ่นกระดาน, แท่งกลม, H-beam, I-beam, เหล็กฉาก
- ปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ต่ำ ประมาณ 0.1%
- อ่อนเหนียว ยืดได้ดี
- ไม่สามารถชุบแข็งได้
- ตัดด้วยก๊าซ ปาดเนื้อ เชื่อมได้ง่าย

ตัวอย่าง

JIS SS400

SS: Structural Steel

400: Tensile strength > 400 Mpa

ASTM A36

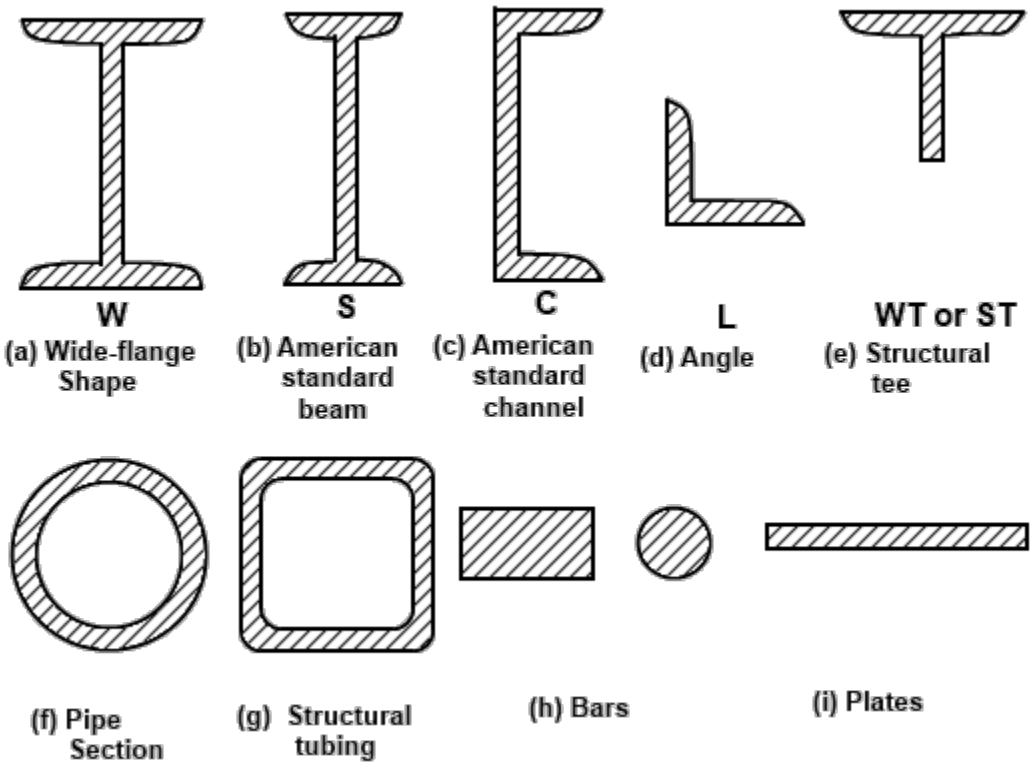
American Society for Testing and Materials

A36 Carbon structural steel

AISI 1018

- Carbon content: 18 – 0.18% Carbon
- Specific alloy in the group: 0 – No other major alloying element
- Alloy groups: 1 – Carbon steel
- American Iron and Steel Institute

Structural steel (2)



Carbon steel (1)

Low carbon steel

- ปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.05-0.30%
- ใกล้เคียงกับ structural steel จึงมักใช้ในงานโครงสร้าง

JIS S20C

S: Steel

xx: 0.xx% Carbon

C: Carbon

AISI 1020

เหล็กเพลาขาว

Medium carbon steel

- ปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.30-0.50%
- ชุบแข็งได้ ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนได้
- ใช้ในเครื่องจักรที่ต้องการความแข็งแรง ทนต่อการสึกหรอ
- ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เพลา แกน สลัก เฟือง

JIS S45C

AISI 1045

เหล็กหัวแดง

High carbon steel

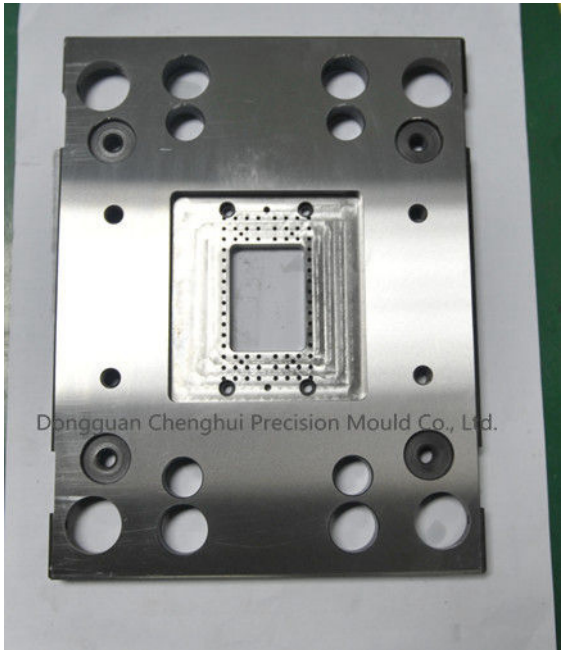
- ปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.50-0.95%
- ชุบแข็งได้ ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนได้
- ใช้ในเครื่องจักรที่ต้องการความแข็งแรง ทนต่อการสึกหรอ
- ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เพลา เฟือง เครื่องมือ ดอกสว่าน แม่พิมพ์

JIS S55C

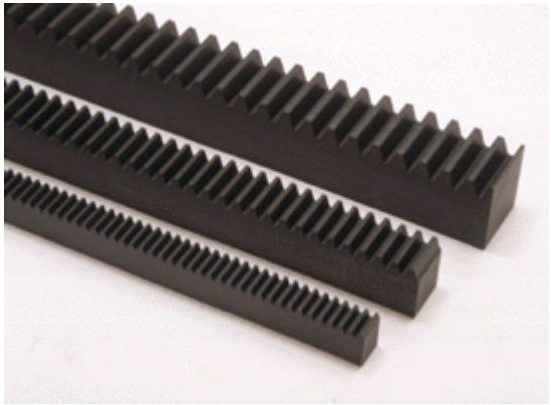
AISI 1055

เหล็กหัวน้ำเงิน

Carbon steel (2)

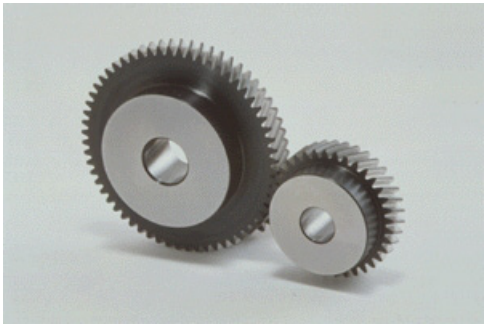


- S55C drop forged
- blade of head: high frequency hardening



Alloy steel

- เป็นเหล็กที่ผสมธาตุอย่างอื่น เช่น Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติ เช่น ความต้านแรง คุณสมบัติการชุบแข็ง คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำหรือสูง ต้านทานการกัดกร่อน ต้านทานการสึกหรอ

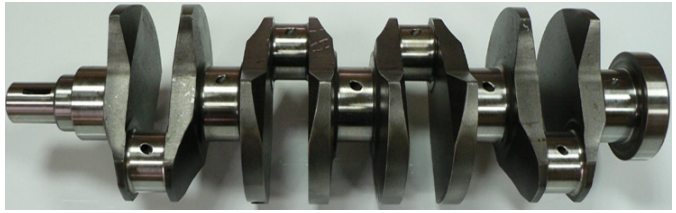


SCM435, SCM440, AISI 4140 (เหล็กหัวฟ้า)

- S-Steel, C-Chromium, M-Molybdenum
- เพิ่มความแข็งแรง ทนทานต่อการสึกหรอมากกว่า Carbon steel
- ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนได้
- ใช้ทำเฟือง เพลา ชิ้นส่วนเครื่องจักร (คล้าย Carbon steel)

SNCM439, AISI 4340 (เหล็กหัวเหลือง)

- S-Steel, N-Nickel, C-Chromium, M-Molybdenum
- เพิ่มสมบัติทางกล รับแรงกระแทก ทนการสึกหรอได้ดี
- ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนได้
- ใช้ทำ camshaft, connecting rod ชิ้นส่วนเครื่องยนต์



Stainless steel

- ไม่ขึ้นสนิม ทนทานต่อการกัดกร่อน
- ขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียวที่อุณหภูมิสูงและต่ำ
- ราคาแพงกว่าเหล็กโครงสร้างประมาณ 6 เท่า
- ความแข็งแรงใกล้เคียงกับเหล็กโครงสร้าง
- เชื่อมได้ยาก ตัดกลึงได้ยาก
- ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องใช้ในครัว ต้องการความสวยงาม

JIS SUS304

AISI 304

S: Steel
U: Use
S: Stainless

Cast iron (เหล็กหล่อ เหล็กหล่อเทา)

- มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 2%
- มีคุณสมบัติการไหลที่ดี เหมาะกับการหล่อ
- รับแรงกด ดูดซับการสั่นสะเทือนได้ดี
- ไม่สามารถชุบแข็งหรืออบนิ่มได้
- Machine ได้ แต่เชื่อมได้ยาก
- ราคาถูก มักใช้ทำโครงสร้างเครื่องจักรกล ห้องเฟือง จานเบรก
- ตัวอย่าง JIS FC100, 150, 200, 250, 300, 350

JIS FC250
ASTM A48

F: Ferrum
C: Casting
250: Tensile strength > 250 MPa

Cast steel

- มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกิน 1.7%
- คุณสมบัติทางกลดีกว่า cast iron แข็งแรงกว่า รับแรงกระแทกได้ดีกว่า
- คุณสมบัติเกี่ยวกับการหล่อ การ machine ด้อยกว่า cast iron

JIS SCPH 1, 2, 11, 21, 22