2109101 วัสดุในงานวิศวกรรม

สมบัติเชิงกลของวัสดุ (2)

เนื้อหา

- การแตกหักของโลหะ (Fracture)
- ความล้า (Fatigue)
- ความคืบ (Creep)

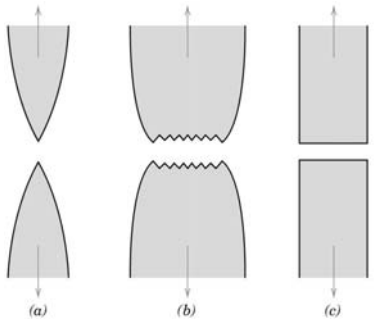
การตอบสนองต่อภารกรรมทางกล

- เกิดการแปรรูปแบบอิลาสติก (ยืดหยุ่น) (Elastic deformation)
- เกิดการแปรรูปแบบพลาสติก (ถาวร) (Plastic deformation)
- เกิดการแตกหัก (Fracture)

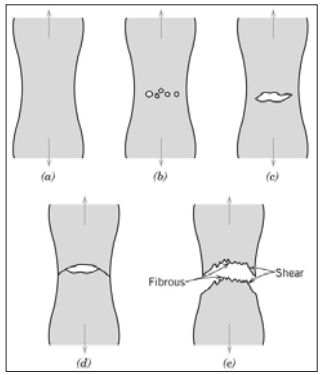
การแตกหัก (Fracture)

สิ่งสำคัญ Temperature, material, strain rate!

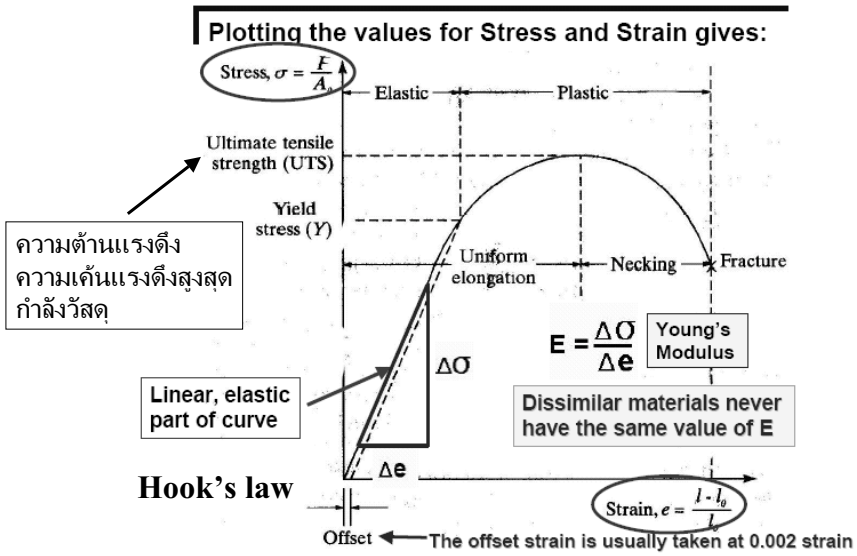
- การแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture)
- การแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture)



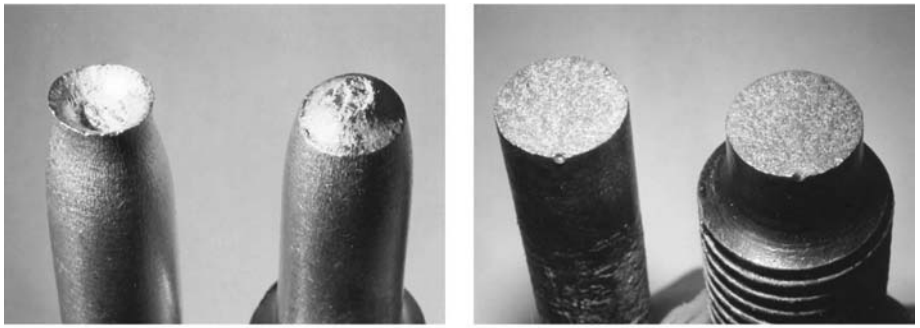
a) Pure gold, lead at room T,
Other metal, Polymer, glass at quite high T



จากการทดสอบแรงดึง



การแตกหัก (Fracture)



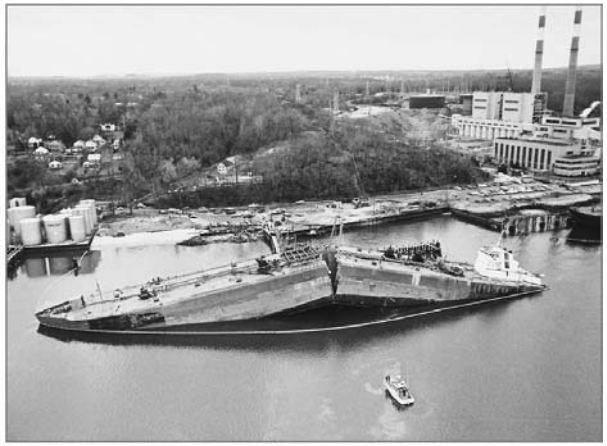
(a) (b)

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

การแตกหักแบบเหนียว

- เกิดการแปรรูปถาวรก่อนในระดับหนึ่ง (ถ้าเป็นการทดสอบแรงดึง สังเกตจากการคอด)
- เกิดช่องว่าง (Void) ในเนื้อโลหะ
- ช่องว่างเชื่อมต่อกันเป็นแนวตั้งฉากทิศแรงดึง
- การขาดสุดท้ายทำมุม 45°
- รอยแตกแบบเหนียวมักเป็น Cup and Cone

การแตกหักแบบเปราะ



An oil tanker that fractured in a brittle manner by crack propagation around its girth. (Photography by Neal Boenzi. Reprinted with permission from *The New York Times*.)

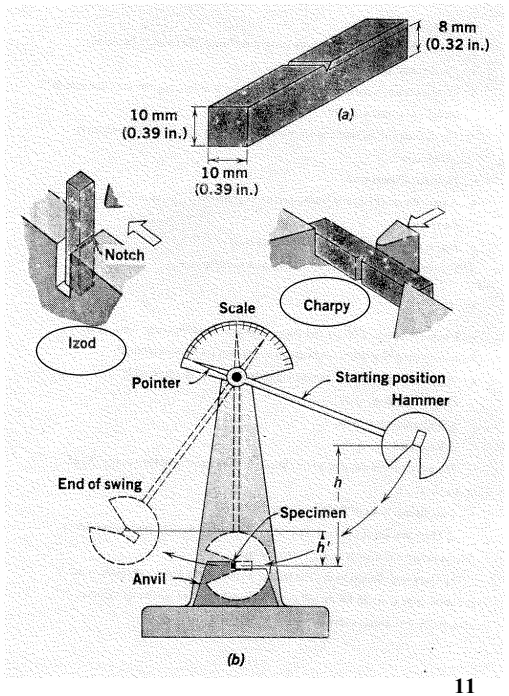
การแตกหักแบบเปราะ

- ไม่มีหรือมีการแปรรูปถาวรน้อยมาก
- แตกหักด้วยแรงดึงในลักษณะเนื้อโลหะแยกจากกันด้วยแรงดึงตามระนาบเฉพาะที่เรียกว่า Cleavage Plane – เป็นการแตกหักผ่านเกรน (Transgranular Fracture)
- ในโลหะบางชนิดมีจุดอ่อนในขอบเกรนทำให้เกิดการแตกหักแบบเปราะระหว่างเกรน (Intergranular Fracture)

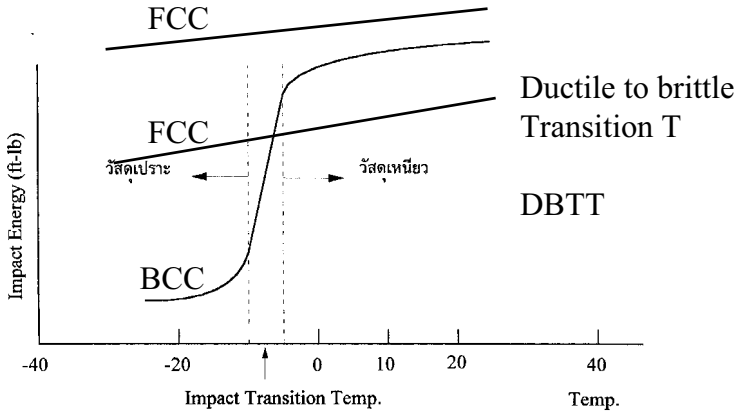
การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)

- ประเมินความเป็นวัสดุเปราะ/เหนียว อันนำไปสู่ความปลอดภัยในการใช้งาน
- เพื่อประเมินความแกร่ง Toughness ของวัสดุ
  - ประเมินจากพื้นที่ใต้กราฟ stress-strain ก็ได้แต่วิธีทดสอบแรงกระแทกจะสะดวกกว่า

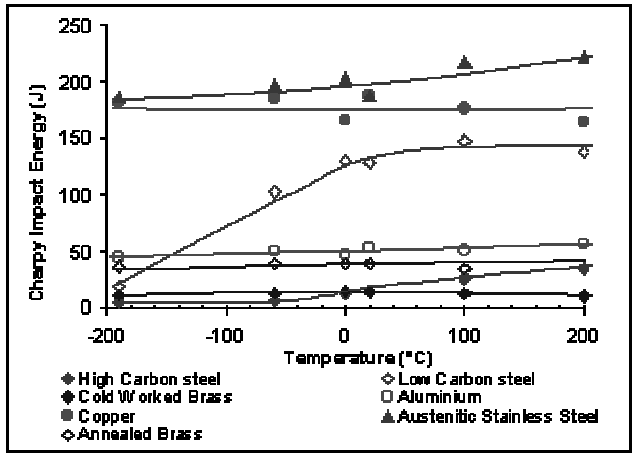
การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)



การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)



ตัวอย่างของผลการทดสอบแรงกระแทก



การทดสอบแรงกระแทก
(Impact Test)

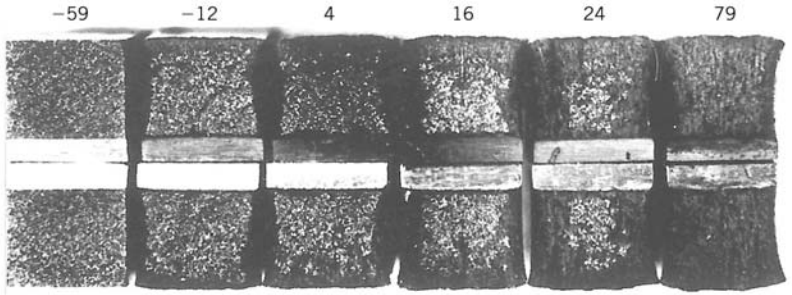
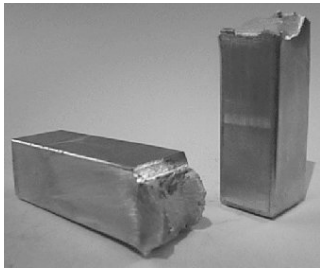
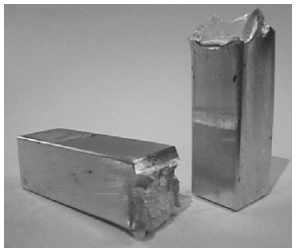
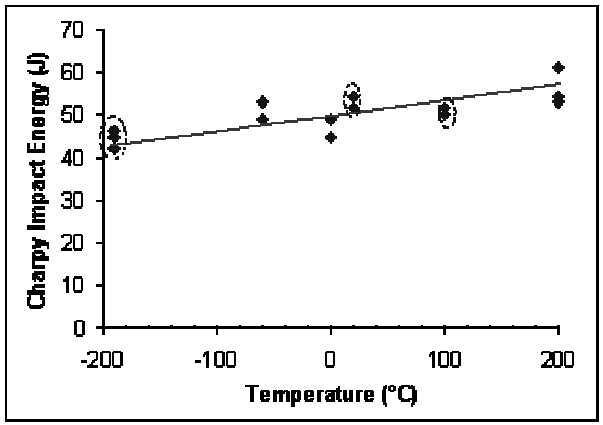


FIGURE 8.13 Photograph of fracture surfaces of A36 steel Charpy V-notch specimens tested at indicated temperatures (in °C). (From R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition, Fig. 9.6, p. 329. Copyright © 1989 by John Wiley & Sons, Inc., New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



Aluminium (FCC)





ผลของโครงสร้างของโลหะต่อสมบัติเชิงกล

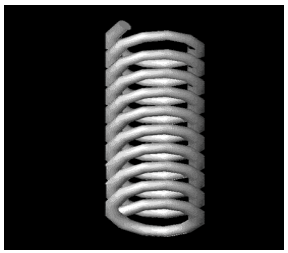
- ปัจจัยของโครงสร้างผลึกต่อความเหนียว
  - โลหะ FCC เหนียวที่ทุกอุณหภูมิ
  - โลหะ BCC เหนียวที่อุณหภูมิสูง เปราะที่อุณหภูมิต่ำ
  - โลหะ HCP เปราะที่ทุกอุณหภูมิ
- ตัวอย่าง: เหล็ก ที่อุณหภูมิห้องเป็น BCC การแปรรูปไม่ดีนัก
- ที่อุณหภูมิสูงเป็น FCC การแปรรูปง่ายกว่า แปรรูปได้มากกว่า

สิ่งสำคัญ Temperature, material, strain rate!

- Vdo Impact Test
  - Charpy

ความล้า (Fatigue)

- ความเสียหายเนื่องจากการรับแรงกระทำซ้ำ ๆ เป็นรอบ (Cyclic Load) ทั้งที่แรง (ความเค้น) ในแต่ละรอบ ไม่ได้เกินกำลังวัสดุ (UTS; หรือในการออกแบบใช้ YS) แต่เมื่อเวลา (จำนวนรอบ) ผ่านไป ก็เกิดความเสียหายได้



ความล้า (Fatigue)

- กลไกของความล้า

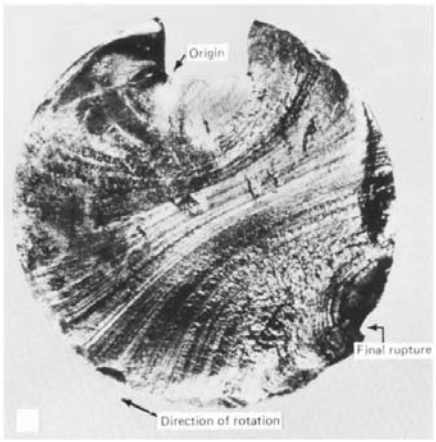
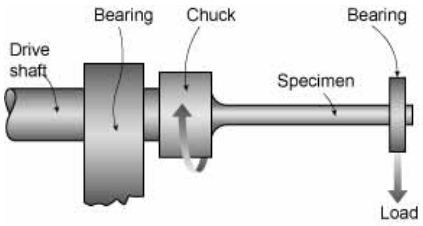


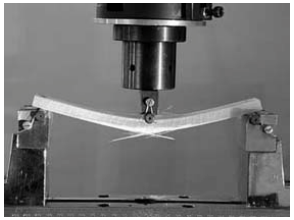
FIGURE 8.19 Fracture surface of a rotating steel shaft that experienced fatigue failure. Beachmark ridges are visible in the photograph. (Reproduced with permission from D. J. Wulpi, *Understanding How Components Fail*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

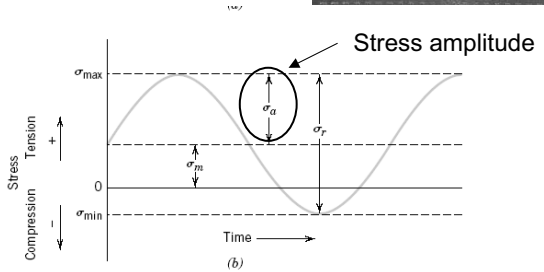
ความล้า (Fatigue)

- กลไกของความล้า
  - การเริ่มต้นเกิดรอยแตก (Crack Initiation) เกิดบริเวณจุดอ่อนโดยเฉพาะรอยตำหนิ รอยขูดขีด รอยบาก ร่องต่าง ๆ ที่บริเวณผิว
  - การขยายตัวของรอยแตก (Crack Propagation) ภายใต้แรงดึงในแต่ละรอบ
  - การแตกหักในขั้นสุดท้าย (Fracture)

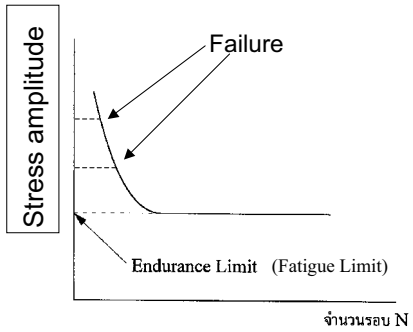
การทดสอบความล้า



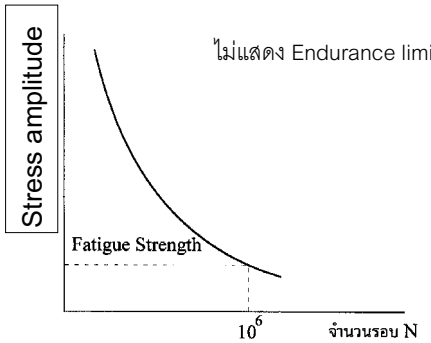




S-N Curve จาก การทดสอบความล้า



โลหะประเภทเหล็ก, ทองแดง



โลหะนอกกลุ่มเหล็กทั่วไป

ความล้า (Fatigue)

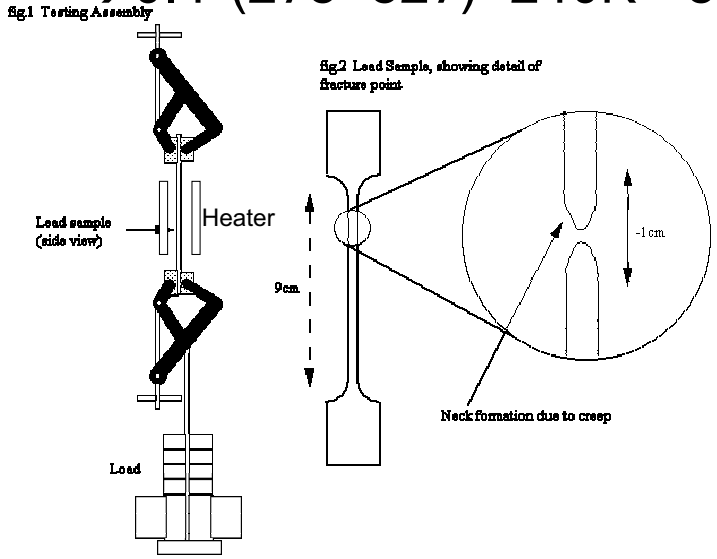
- การออกแบบชิ้นงานที่รับแรงกระทำซ้ำ ๆ เป็นรอบ
  - ออกแบบให้ความเค้นไม่เกิน Fatigue Limit หรือ Fatigue Strength แล้วแต่กรณี
  - เสริมสร้างความแข็งให้ผิวชิ้นงาน เช่น ทำการชุบแข็งผิว (ป้องกัน crack initiation)
  - ทำให้เกิดความเค้นตกค้างที่เป็นแรงอัดบนผิวชิ้นงาน (ป้องกัน crack initiation)
  - หลีกเลี่ยงจุดที่เกิดความเค้นสูง เช่น ร่อง รอยบาก รู บนผิวชิ้นงาน (ป้องกัน crack initiation)

ความคืบ (Creep)

- ปรากฏการณ์ที่วัสดุยืดออกเองได้ (เกิดการแปรรูปถาวร) ภายใต้แรงหรือความเค้นคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ
- เกิดที่อุณหภูมิสูง ($>0.4T_m$ โดยประมาณ)
- เป็นปัญหาที่เกิดกับเครื่องยนต์ เครื่องจักรที่ใช้งานที่ อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานานๆ

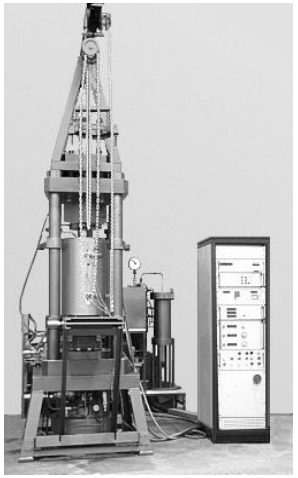
ใช้หน่วย K!

Lead Tm=327°C
→0.4*(273+327)=240K=-33°C!

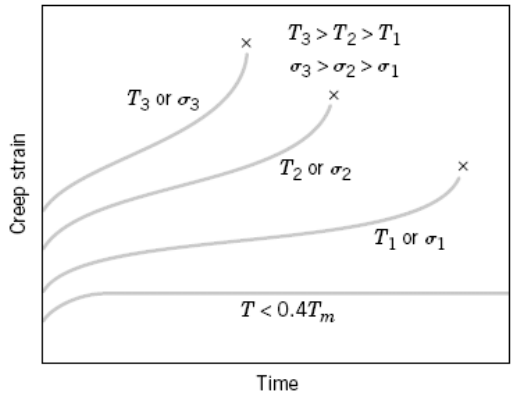


การทดสอบความคืบ

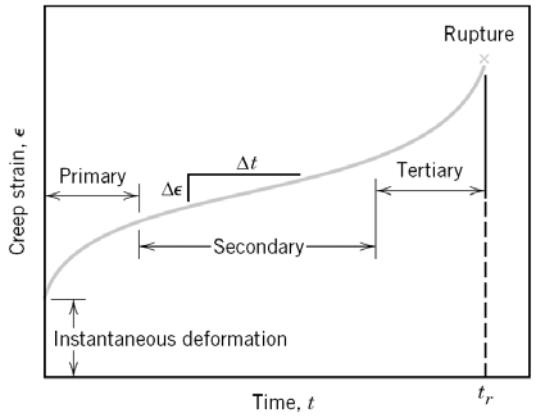
- Creep Test สนใจค่าอัตราการคืบตัวต่ำสุด (Minimum Creep Rate)
- Stress-rupture Test สนใจเวลาสุดท้าย



เส้นโค้งความคืบ (Creep Curve)

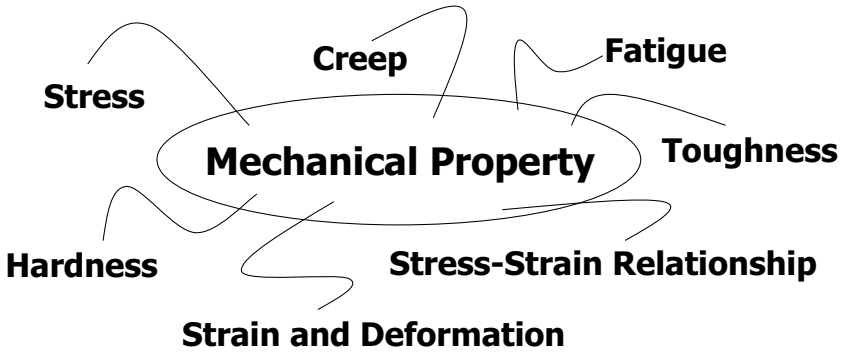


เส้นโค้งความคืบ (Creep Curve)



สมบัติเชิงกล

(Mechanical Properties)



กรณีศึกษา- สมบัติเชิงกลและการออกแบบ

กรณีรับแรงสถิตย์

กรณีรับแรงสลับซ้ำ ๆ กัน

ชิ้นส่วนรับแรงดึงสถิตย์

$D = 10\ \text{mm}$

$A = \pi(5)^2 = 78.5\text{mm}^2$

$F = 20\ \text{kN}$

$$\sigma = \frac{20\ \text{kN}}{78.5\text{mm}^2} = 254.6\ \text{MPa}$$

ชิ้นส่วนรับแรงดึงสถิตย์

$\text{S235}; \sigma_y = 240\ \text{MPa}$

$\sigma > \sigma_y;\ \times$

$$A = \frac{20\ \text{kN}}{240\ \text{MPa}} = 80.33\ \text{mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4(80.33)}{\pi}} = 10.3\ \text{mm}$$

ชิ้นส่วนรับแรงดึงสถิตย์

$$D = 11\,\text{mm}$$

$$\sigma = 210.5\,\text{MPa}$$

- อย่างไรก็ตาม สมการที่ใช้ออกแบบจริงคือ

$$N'\sigma < \frac{\sigma_y}{N} \qquad \boxed{\frac{\sigma_y}{N} = \frac{240}{1.5} = 160 > \sigma\ !!!}$$

เมื่อ N' = Design Factor, N = Safety Factor
ในที่นี้ ให้ N' = 1, N = 1.5 (static load)

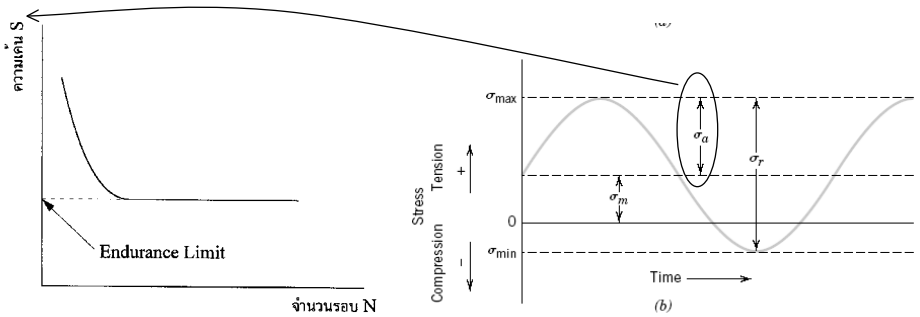
ชิ้นส่วนรับแรงดึงสถิตย์

$$A = \frac{20\,\text{kN}}{160\,\text{MPa}} = 125\,\text{mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4(125)}{\pi}} = 12.6\,\text{mm}$$

- สรุปว่า ออกแบบ ใช้ D = 13 mm

ชิ้นส่วนรับแรงสลับ (ดึง-อัด)



- กรณี S235 ภายใต้เงื่อนไข mean stress = 0 MPa, Endurance Limit = 144 MPa ใช้ safety factor = 2

ชิ้นส่วนรับแรงสลับ (ดึง-อัด)

$$F_a = 20\,\text{kN} = 20{,}000\,\text{N}$$

$$A = \frac{20{,}000}{144/2} = 277.8\,\text{mm}^2$$

$$D = 18.8\,\text{mm}$$

- จะเห็นว่ากรณีภารกรรมทางกลเชิงไดนามิก ต้องใช้ชิ้นส่วนใหญ่กว่า (หรือใช้วัสดุที่ดีกว่า) ภารกรรมสถิตย์