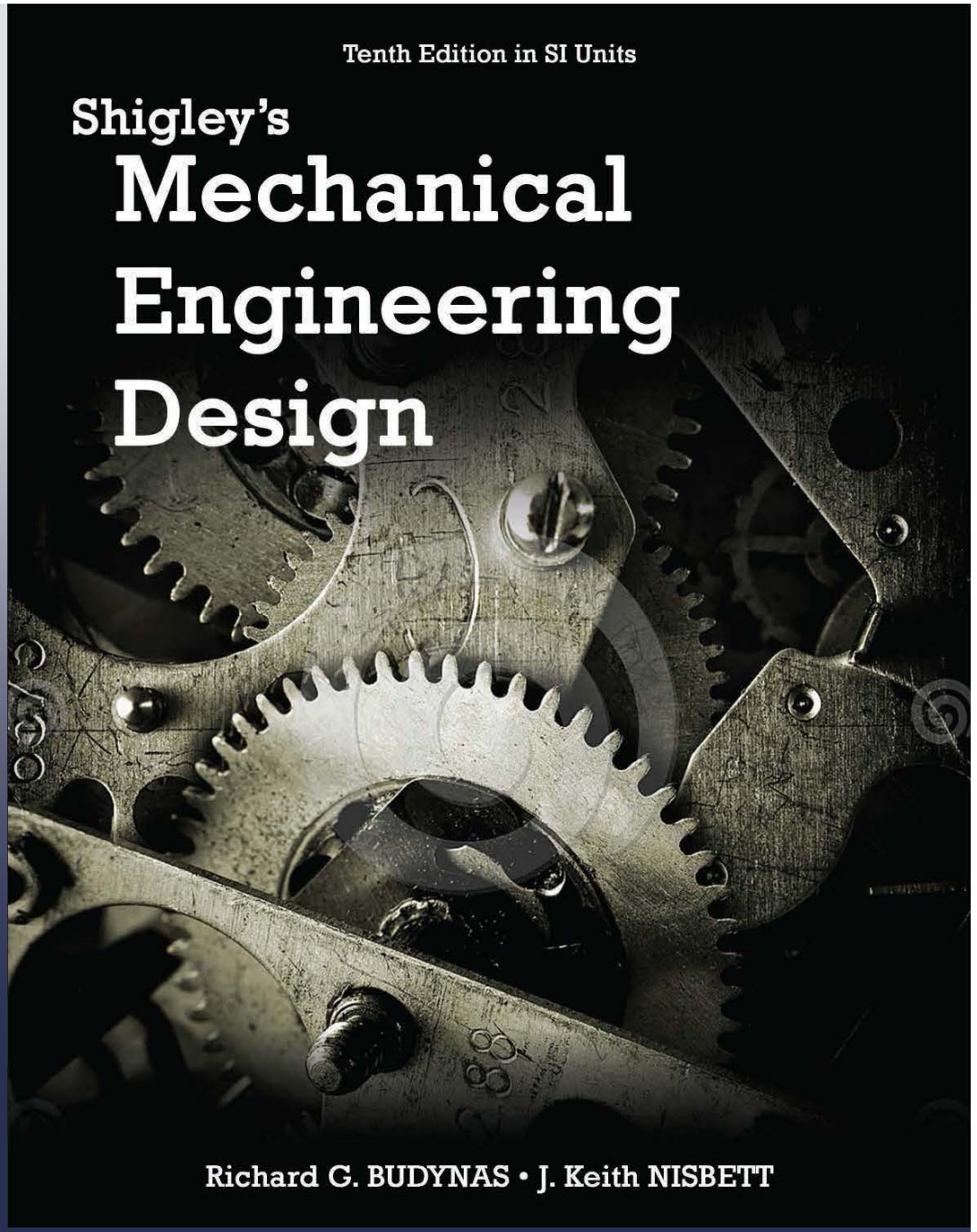
Mc Graw Hill Education

Lecture Slides



Chapter 1

Introduction to Mechanical Engineering Design

© 2015 by McGraw-Hill Education. This is proprietary material solely for authorized instructor use. Not authorized for sale or distribution in any manner. This document may not be copied, scanned, duplicated, forwarded, distributed, or posted on a website, in whole or part.

หัวข้อ

- การออกแบบ
- การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล
- กระบวนการในการออกแบบ (ข้อควรพิจารณา)
- เครื่องมือช่วยและแหล่งข้อมูล
- มาตรฐานและรหัส
- ความปลอดภัย
- ความไม่แน่นอน
- ตัวประกอบในการออกแบบ และค่าความปลอดภัย
- ความน่าเชื่อถือ
- ขนาดและพิกัดค่าความเผื่อ
- ระบบหน่วย

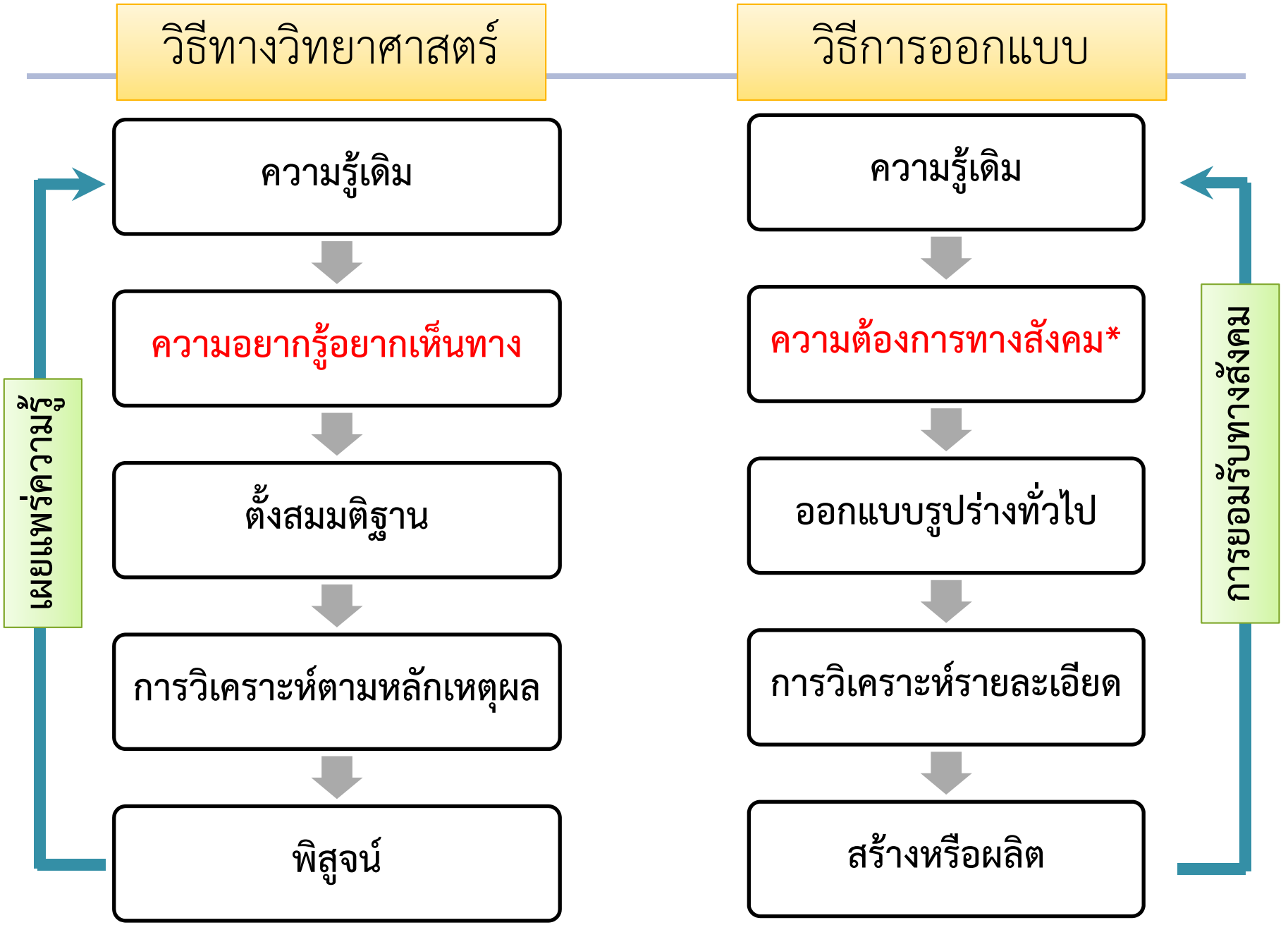
บทนำ

นักวิทยาศาสตร์ ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ศึกษาหาความรู้ถึงความเป็นจริงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของปรากฏการณ์หรือสิ่งของต่างๆ

ความอยากรู้ อยากเห็น และชื่อเสียง

วิศวกร นำเอาความรู้ที่มีอยู่ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งของขึ้น

ความต้องการของสังคม


วิธีทางวิทยาศาสตร์
วิธีการออกแบบ
ความรู้เดิม
ความอยากรู้อยากเห็นทาง
ตั้งสมมติฐาน
การวิเคราะห์ตามหลักเหตุผล
พิสูจน์
เผยแพร่ความรู้
ความรู้เดิม
ความต้องการทางสังคม*
ออกแบบรูปร่างทั่วไป
การวิเคราะห์รายละเอียด
สร้างหรือผลิต
การยอมรับทางสังคม

การออกแบบ (Design)

- การออกแบบเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์
- มีขั้นตอนที่ต้องทำซ้ำจนกว่าจะได้สิ่งที่ต้องการ
- เป็นกระบวนการที่ต้องการให้มีการตกลง (ตัดสินใจ)

****** วิศวกรต้องทักษะในการออกแบบ ******

- ทักษะการสื่อสารที่มีความละเอียดอ่อน
- ทักษะในการเขียนและการใช้คำอธิบาย
- ทักษะในการทำงานร่วมกัน
- ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์
- ความรอบรู้ทางด้านเทคโนโลยี
- etc.

การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล เป็นวิศวกรรมศาสตร์ในสาขาที่มีความเกี่ยวข้อง...

- การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
- กระบวนการทางด้านพลังงาน
- การจัดการให้เกิดการผลิต
- เครื่องมือในการขนส่ง
- เทคโนโลยีทางด้านระบบอัตโนมัติ
- etc.

(ตัวอย่าง)

องค์ความรู้ที่ต้องเรียน

กลศาสตร์วัสดุ, กลศาสตร์ไหล, กลศาสตร์เครื่องจักรกล

วัสดุทางวิศวกรรมและกรรมวิธีการผลิต

การเขียนแบบทางวิศวกรรม

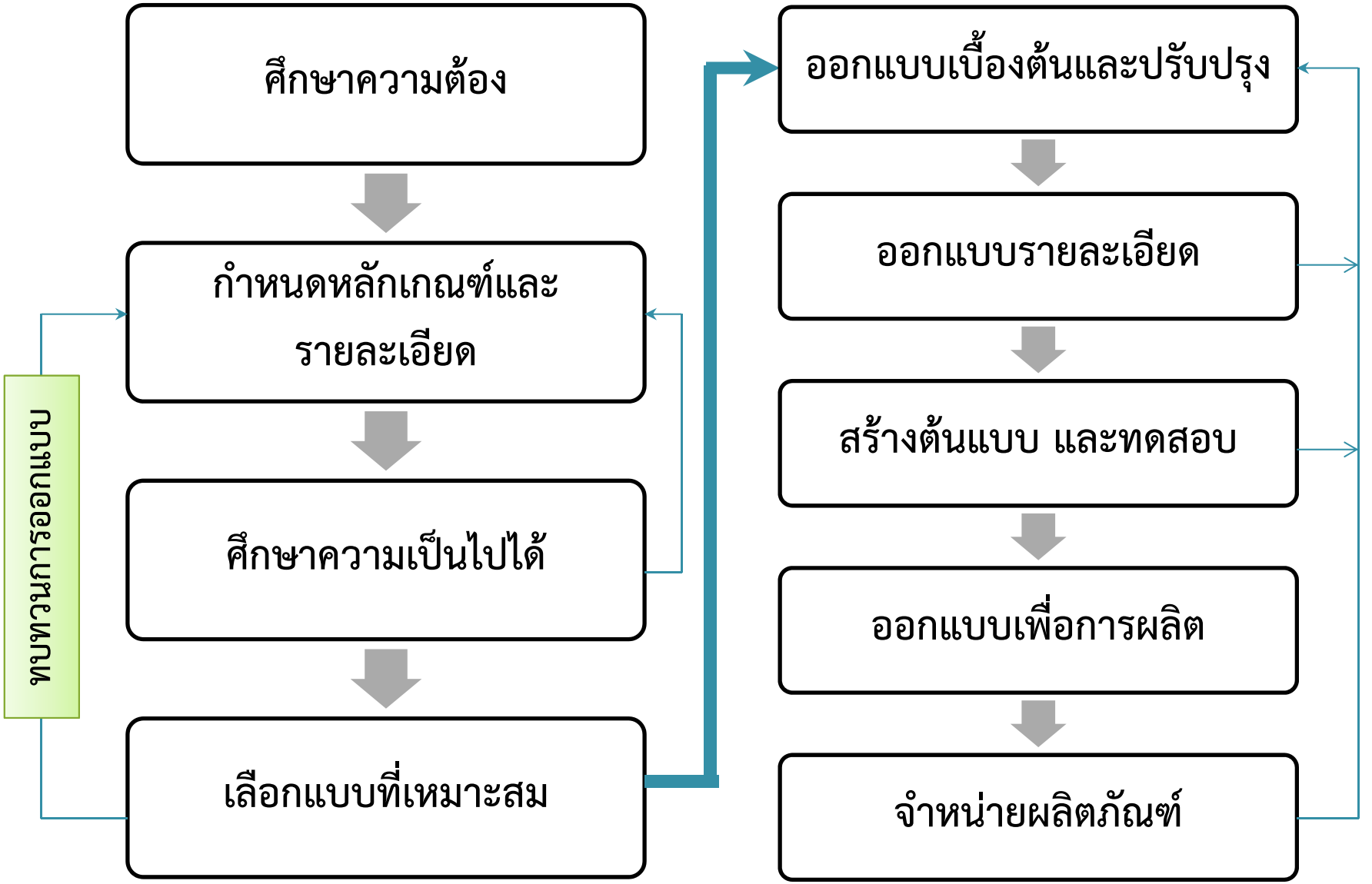
อุณหพลศาสตร์, ระบบทำความเย็น, การถ่ายเทความร้อน

ระบบควบคุมอัตโนมัติ

การสั่นทางกล

etc.,

กระบวนการในการออกแบบ



ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบเครื่องมือ, อุปกรณ์, ระบบ หรือกรรมวิธีต่างๆ มีจุดมุ่งหมาย

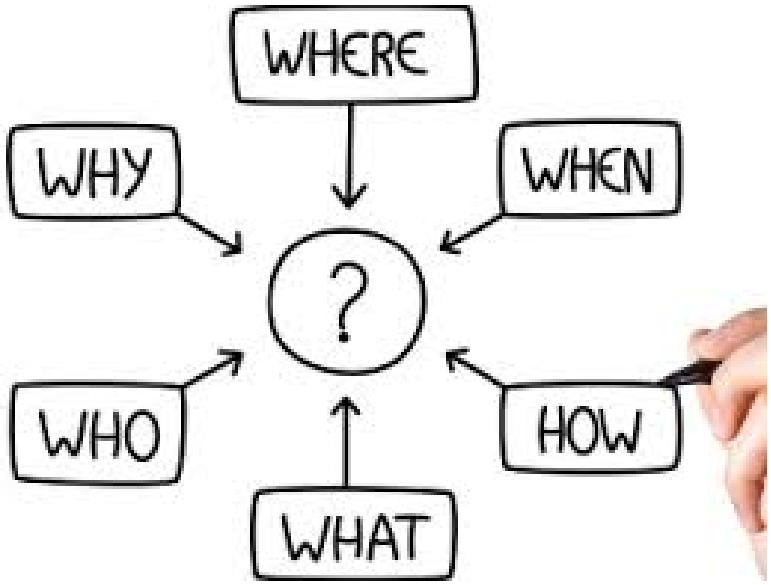
- ราคา
- เวลา
- หลักเกณฑ์ในการคัดเลือก
- ความเป็นไปได้
- สมรรถภาพ
- การผลิต
- ความสวยงาม
- การเป็นที่ยอมรับของตลาด

ทำให้ต้องมีวิธีการที่แน่นอนที่จะใช้ในการออกแบบ เพื่อให้ได้ผลที่ดีและเป็นที่นิยม

"วิธีในการออกแบบมิใช่สูตรสำเร็จตายตัว" ที่จะรับประกันได้ว่าสามารถออกแบบของต่างๆ ตามความต้องการที่มีได้

การออกแบบ (Design) ในโลกปัจจุบัน

- เป็นการวางแผนเพื่อให้สอดคล้องกับที่ต้องการ
- เป็นขบวนการที่ต้องการนวัตกรรมใหม่ๆ, มีการปรับปรุงหรือทำซ้ำ, และเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ
- ต้องมีการทำงานแบบบูรณการอย่างหลากหลาย
- เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่...
  - สามารถตอบสนองทำงานใช้งานได้
  - ปลอดภัย
  - มีความน่าเชื่อถือ
  - สามารถแข่งขันได้ (ทางการค้า)
  - สามารถใช้งานได้จริง
  - ผลิตหรือสร้างได้จริง
  - ทำการตลาดได้ (ได้รับความนิยม)



ตัวอย่างการออกแบบ (Design) ในโลกปัจจุบัน

เครื่องมือช่วยในการคำนวณ (Computational Tools)

- **คอมพิวเตอร์ช่วยในทางวิศวกรรม** (Computer-Aided Engineering -CAE)
  - การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ที่จะช่วยในกระบวนการทางวิศวกรรม
    - **คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ** Computer-Aided Design (CAD)
      - Drafting, 3-D solid modeling, etc.
    - **คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต** Computer-Aided Manufacturing (CAM)
      - CNC tool path, rapid prototyping, etc.
    - **การวิเคราะห์และการจำลองในทางวิศวกรรม** Engineering analysis & simulation
      - Finite element, fluid flow, dynamic analysis, motion, etc.
    - **การแก้สมการทางคณิตศาสตร์** Math solvers
      - Spreadsheet, procedural programming language, equation solver, etc.

แหล่งข้อมูลทางเทคนิค (Acquiring Technical Information)

- **ห้องสมุด**
  - Engineering handbooks, textbooks, journals, patents, etc.
- **ข้อมูลจากแหล่งสิทธิบัตร**
  - Government agencies, U.S. Patent and Trademark, National Institute for Standards and Technology, etc.
- **สมาคมวิชาชีพ (conferences, publications, etc.)**
  - American Society of Mechanical Engineers, Society of Manufacturing Engineers, Society of Automotive Engineers, etc.
- **ผู้ค้าพาณิชย์ Commercial vendors**
  - Catalogs, technical literature, test data, etc.
- **อินเตอร์เน็ท**

  Access to much of the above information

ความรับผิดชอบทางวิชาชีพวิศวกรออกแบบ

- ตอบสนองความต้องการของลูกค้า ความรับผิดชอบ มีจริยธรรม และมีความเป็นมืออาชีพ
- **คำแนะนำสำหรับวิศวกรมืออาชีพ**
  - ประสบการณ์และความชำนาญต่องานนั้นๆ
  - มีทักษะในทางปฏิบัติที่ดีและทันสมัย
  - มีการจัดเก็บเอกสารอย่างดี เช่น การจัดการข้อมูล
  - มีตรวจสอบที่แน่นอน การสื่อสารที่ดี และทันเวลา
  - ทำหน้าที่อย่างมืออาชีพและมีจริยธรรม

มาตรฐาน (Standard) และรหัส (Code)

Standard คือ **คุณลักษณะเฉพาะสำหรับชิ้นส่วน วัสดุ หรือกระบวนการ** ที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อให้มีลักษณะที่สอดคล้องกัน, ให้มีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมคุณภาพ (เพื่อจำกัดความลากหลายและควบคุมรายละเอียดเฉพาะต่างๆ เช่น เครื่องมือ ขนาด รูปร่าง ลักษณะประเภท)

Code คือ **คุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์ การออกแบบ การผลิต** และ**การสร้าง** เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับความปลอดภัย ความมีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมคุณภาพได้

หน่วยงานและองค์ที่กำหนดมาตรฐานและรหัสความปลอดภัย

Aluminum Association (AA)
American Gear Manufacturers Association (AGMA)
American Institute of Steel Construction (AISC)
American Iron and Steel Institute (AISI)
American National Standards Institute (ANSI)[5]
ASM International[6]
American Society of Mechanical Engineers (ASME)
American Society of Testing and Materials (ASTM)
American Welding Society (AWS)
American Bearing Manufacturers Association (ABMA)[7]
British Standards Institution (BSI)
Industrial Fasteners Institute (IFI)
Institution of Mechanical Engineers (I. Mech. E.)
International Bureau of Weights and Measures (BIPM)
International Standards Organization (ISO)
National Institute for Standards and Technology (NIST)[8]
Society of Automotive Engineers (SAE)

เศรษฐศาสตร์ (Economics)

- ค่าใช้จ่ายเป็นมักจะเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบทางวิศวกรรม
- ใช้ขนาดมาตรฐานสำหรับการลดค่าใช้จ่าย
- ตาราง A-17 แสดงตัวอย่างขนาดของบางรายการ
- ส่วนประกอบพื้นฐานบางอย่างอาจจะมีราคาแพงน้อยกว่าในขนาดที่สต็อก

พิกัดค่าเผื่อ (Tolerances)

- Close tolerances generally increase cost
  - Require additional processing steps
  - Require additional inspection
  - Require machines with lower production rates

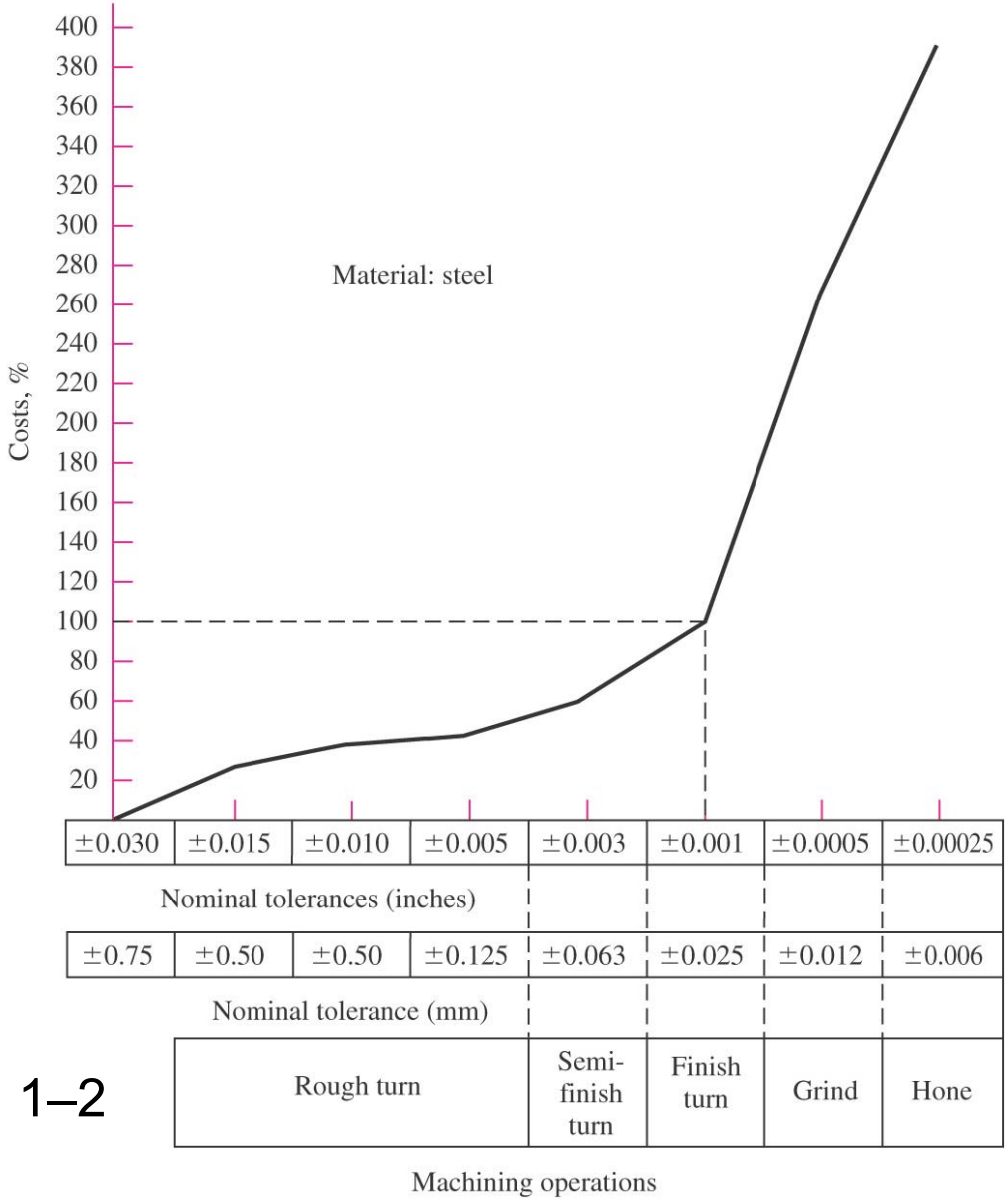


Fig. 1–2

จุดคุ้มทุน (Breakeven Points)

- A cost comparison between two possible production methods
- Often there is a breakeven point on quantity of production

EXAMPLE

- Automatic screw machine
  - 25 parts/hr
  - 3 hr setup
  - $20/hr labor cost
- Hand screw machine
  - 10 parts/hr
  - Minimal setup
  - $20/hr labor cost
- Breakeven at 50 units

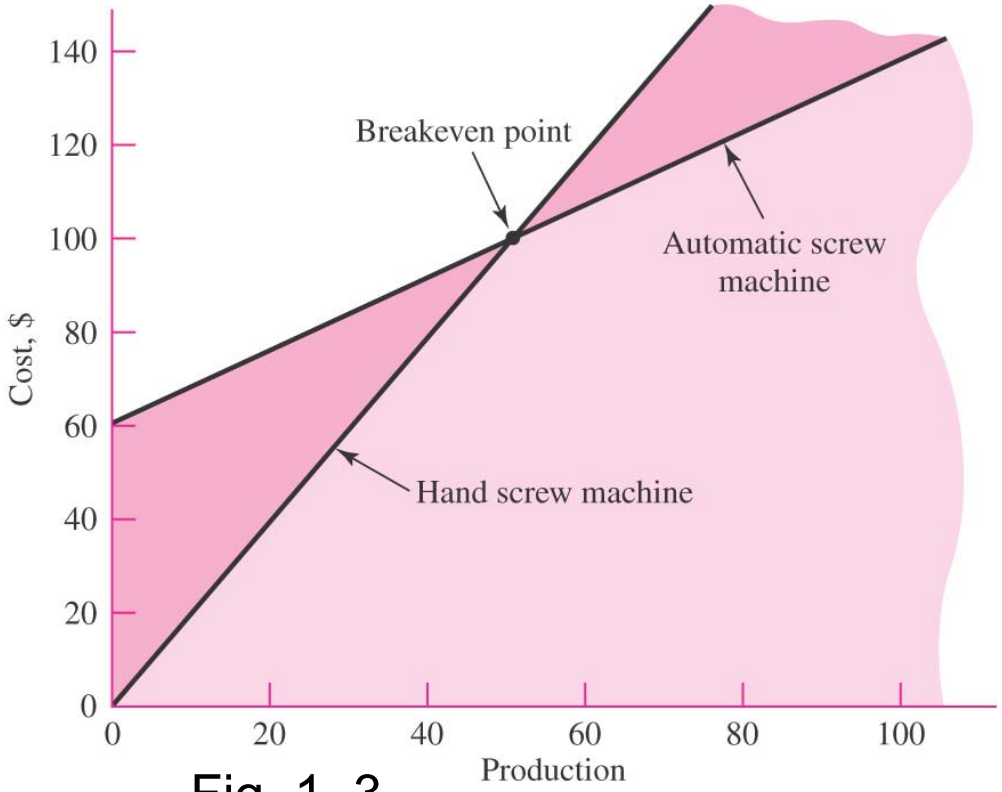


Fig. 1–3

Stress and Strength

- **Strength**
  - An inherent property of a material or of a mechanical element
  - Depends on treatment and processing
  - May or may not be uniform throughout the part
  - Examples: Ultimate strength, yield strength
- **Stress**
  - A state property at a specific point within a body
  - Primarily a function of load and geometry
  - Sometimes also a function of temperature and processing

ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและเป็นสิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องคำนึงถึง

(ตัวอย่าง)

- ส่วนประกอบของวัสดุและผลกระทบของสมบัติวัสดุที่เกิดจากการสั้นสะเทือน
- การเปลี่ยนแปลงของสมบัติวัสดุจากกระบวนการขนส่ง
- ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิต
- ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการทางความร้อน
- ความหนาแน่นและการกระจายของภาระใช้งาน
- อิทธิพลของความเค้นหนาแน่น
- อิทธิพลของระยะเวลาในการใช้งาน
- ผลกระทบจากการกัดกร่อน
- ผลกระทบจากการสึกหรอ
- etc.,

ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

เทคนิคขั้นพื้นฐานในการจำลองทางด้านการวิเคราะห์คำนวณ

(ปัจจัยความไม่แน่นอน)

1) วิธีกำหนดแฟกเตอร์ในการออกแบบ (Deterministic)

$$(\text{Design Factor}), n_d = \frac{\text{ปัจจัยในการสูญเสียการทำงาน}}{\text{ภาระสูงสุดที่ยอมรับได้}}$$

2) วิธีทางสถิติ (Stochastic)

- ตัวแปรสุ่ม
- ค่าเฉลี่ย, ความแปรปรวน, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าความเชื่อมั่น
- ความน่าจะเป็น
- etc.,

Example 1–1

Consider that the maximum load on a structure is known with an uncertainty of ±20 percent, and the load causing failure is known within ±15 percent. If the load causing failure is *nominally* 10 kN, determine the design factor and the maximum allowable load that will offset the absolute uncertainties.

Solution

To account for its uncertainty, the loss-of-function load must increase to 1/0.85, whereas the maximum allowable load must decrease to 1/1.2. Thus to offset the absolute uncertainties the design factor, from Eq. (1–1), should be

$$n_d = \frac{1/0.85}{1/1.2} = 1.4$$ **Answer**

From Eq. (1–2), the maximum allowable load is found to be

$$\text{Maximum allowable load} = \frac{10}{1.4} = 7.1 \text{ kN}$$ **Answer**

Design Factor Method

- Often used when statistical data is not available
- Since stress may not vary linearly with load, it is more common to express the design factor in terms of strength and stress.

$$n_d = \frac{\textit{Loss-of-function strength}}{\textit{Allowable stress}} = \frac{S}{\sigma \,(\text{or } \tau)}$$

- All loss-of-function modes must be analyzed, and the mode with the smallest design factor governs.
- Stress and strength terms must be of the same type and units.
- Stress and strength must apply to the same critical location in the part.
- The ***factor of safety*** is the realized design factor of the final design, including rounding up to standard size or available components.

Example 1–2

A solid circular rod of diameter d undergoes a bending moment $M = 100\ \text{N} \cdot \text{m}$ inducing a stress $\sigma = 16M/(\pi d^3)$. Using a material strength of 170 MPa and a *design factor* of 2.5, determine the minimum diameter of the rod. Using Table A–17, select a preferred fractional diameter and determine the resulting *factor of safety*.

Solution

From Eq. (1–3), $\sigma = S/n_d$, then

$$\sigma = \frac{16M}{\pi d^3} = \frac{S}{n_d}$$

Solving for d yields

$$d = \left(\frac{16Mn_d}{S\pi}\right)^{1/3} = \left(\frac{16(100)2.5}{170(10)^6 2.5}\right)^{1/3} = 0.02111\ \text{m} = 21.11\ \text{mm}$$ **Answer**

From Table A–17, the next higher preferred size is 22 mm. Thus, when n_d is replaced with n in the equation developed above, the factor of safety n is

$$n = \frac{\pi S d^3}{16M} = \frac{\pi(170)(10^6)\,0.022^3}{16(100)} = 3.55$$ **Answer**

Example 1–3

A vertical round rod is to be used to support a hanging weight. A person will place the weight on the end without dropping it. The diameter of the rod can be manufactured within ±1 percent of its nominal dimension. The support ends can be centered within ±1.5 percent of the nominal diameter dimension. The weight is known within ±2 percent of the nominal weight. The strength of the material is known within ±3.5 percent of the nominal strength value. If the designer is using nominal values and the nominal stress equation, $\sigma_{\text{nom}} = P/A$ (as in the previous example), determine what design factor should be used so that the stress does not exceed the strength.

Solution

There are two hidden factors to consider here. The first, due to the possibility of eccentric loading, the maximum stress *is not* $\sigma = P/A$ (review Chap. 3). Second, the person may not be placing the weight onto the rod support end *gradually,* and the load application would then be considered dynamic.

Consider the eccentricity first. With eccentricity, a bending moment will exist giving an additional stress of $\sigma = 32\,M/(\pi d^3)$ (see Sec. 3–10). The bending moment is given by $M = Pe$, where e is the eccentricity. Thus, the maximum stress in the rod is given by

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{32Pe}{\pi d^3} = \frac{P}{\pi d^2/4} + \frac{32Pe}{\pi d^3} \qquad (1)$$

Example 1–3 (continued)

Since the eccentricity tolerance is expressed as a function of the diameter, we will write the eccentricity as a percentage of d. Let $e = k_e d$, where k_e is a constant. Thus, Eq. (1) is rewritten as

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} + \frac{32Pk_e d}{\pi d^3} = \frac{4P}{\pi d^2}(1 + 8k_e) \tag{2}$$

Applying the tolerances to achieve the maximum the stress can reach gives

±2% normal weight ±1.5% eccentricity

$$\sigma_{\max} = \frac{4P(1 + 0.02)}{\pi[d(1 - 0.01)]^2}[1 + 8(0.015)] = 1.166\left(\frac{4P}{\pi d^2}\right) \tag{3}$$
$$= 1.166\sigma_{\text{nom}}$$

±1% nominal diameter

Suddenly applied loading is covered in Sec. 4–17. If a weight is dropped from a height, h, from the support end, the maximum load in the rod is given by Eq. (4–59) which is

$$F = W + W\left(1 + \frac{hk}{W}\right)^{1/2}$$ (Suddenly impact load)

where F is the force in the rod, W is the weight, and k is the rod's spring constant. Since the person is not dropping the weight, $h = 0$, and with $W = P$, then $F = 2P$. This assumes the person is *not* gradually placing the weight on, and there is no

Example 1–3 (continued)

damping in the rod. Thus Eq. (3) is modified by substituting $2P$ for P and the maximum stress is

$$\sigma_{max} = 2(1.166)\,\sigma_{nom} = 2.332\,\sigma_{nom}$$

The minimum strength is

± 3.5% normal strength

$$S_{min} = (1 - 0.035)\,S_{nom} = 0.965\,S_{nom}$$

Equating the maximum stress to the minimum strength gives

$$2.332\,\sigma_{nom} = 0.965\,S_{nom}$$

From Eq. (1–3), the design factor using nominal values should be

$$n_d = \frac{S_{nom}}{\sigma_{nom}} = \frac{2.332}{0.965} = 2.42$$ **Answer**

Example 1–3 (continued)

Obviously, if the designer takes into account all of the uncertainties in this example and accounts for all of the tolerances in the stress and strength in the calculations, a design factor of one would suffice. However, in practice, the designer would probably use the nominal geometric and strength values with the simple $\sigma = P/A$ calculation. The designer would probably not go through the calculations given in the example and would assign a design factor. This is where the experience factor comes in. The designer should make a list of the loss-of-function modes and estimate

Loss-of-function	**Estimated accuracy**	n_i
Geometry dimensions	Good tolerances	1.05
Stress calculation		
Dynamic load	Not gradual loading	2.0*
Bending	Slight possibility	1.1
Strength data	Well known	1.05

*Minimum

Each term directly affects the results. Therefore, for an estimate, we evaluate the product of each term

$$n_d = \prod n_i = 1.05(2.0)(1.1)(1.05) = 2.43$$

ความน่าเชื่อถือ (Reliability: R)

การวัดค่าทางสถิติสำหรับสมบัติวัสดุ เพื่อให้ทราบความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดความเสียหาย โดยที่ $0 \le R \le 1$

(ตัวอย่าง) : ความน่าเชื่อถือ $R = 0.90$ หมายความว่า ชิ้นงานที่ได้ออกแบบมีโอกาสที่จะทำงานตามฟังก์ชันที่ต้องการได้อย่างถูกต้องโดยไม่เกิดความเสียหาย 90%

(ในการผลิต 1,000 ชิ้น จะต้องมีความเสียหายได้ไม่เกิน 10 ชิ้น)

(ตัวอย่าง) : ความน่าเชื่อถือของระบบเพลาที่มีแบริ่ง 2 ชิ้น โดยที่ความน่าเชื่อถือของแบริ่งทั้งสองมีค่าเท่ากับ 95% และ 98% ตามลำดับ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i = R_1 R_2 = 0.95(0.98) = 0.93$$

ขนาดและพิกัดค่าความเผื่อ (Dimension & Tolerances)

ในงานออกแบบทางวิศวกรรม การให้ขนาดและพิกัดค่าความเผื่อเป็นเรื่องที่สำคัญและจำเป็นอย่างมาก

ยกตัวอย่าง :

(Nominal size) : ขนาดในทางทฤษฎีแตกต่างจากขนาดที่วัดได้จริง เช่น หากพิจารณาขนาดจริงปกติของท่อขนาด 40-mm หรือโบล์ทขนาด 12-mm จะหมายความถึงท่อขนาด 47.5-mm หรือโบล์ทขนาด 11.8-mm

(Limits) : บ่งบอกถึงขนาดของค่าสูงสุดและต่ำสุด

(Tolerance) : ค่าความแตกต่างระหว่างสองขอบเขต

(Bilateral tolerance) : ขนาดพิกัดเผื่อในแบบขอบเขต 2 ด้าน เช่น $25 \pm 0.05\ mm$

(Unilateral tolerance) : ขนาดพิกัดเผื่อในแบบขอบเขต 1 ด้าน เช่น $25^{+0.05}_{-0.000}\ mm$

(Clearance) : ขนาดอ้างอิงความพอดีของชิ้นส่วนทรงกระบอก เช่น โบล์ทและนัท

(Interference) : ขนาดอ้างอิงความไม่พอดีของชิ้นส่วนทรงกระบอก เช่น ชิ้นงานส่วมอัด

(Allowance) : ขนาดอ้างอิงที่ยอมรับได้

Choice of Dimensions

- Dimensioning a part is the designer's responsibility.
- Include just enough dimensions
- Avoid extraneous information that can lead to confusion or multiple interpretations.
- Example of over-specified dimensions. With +/– 1 tolerances, two dimensions are incompatible.

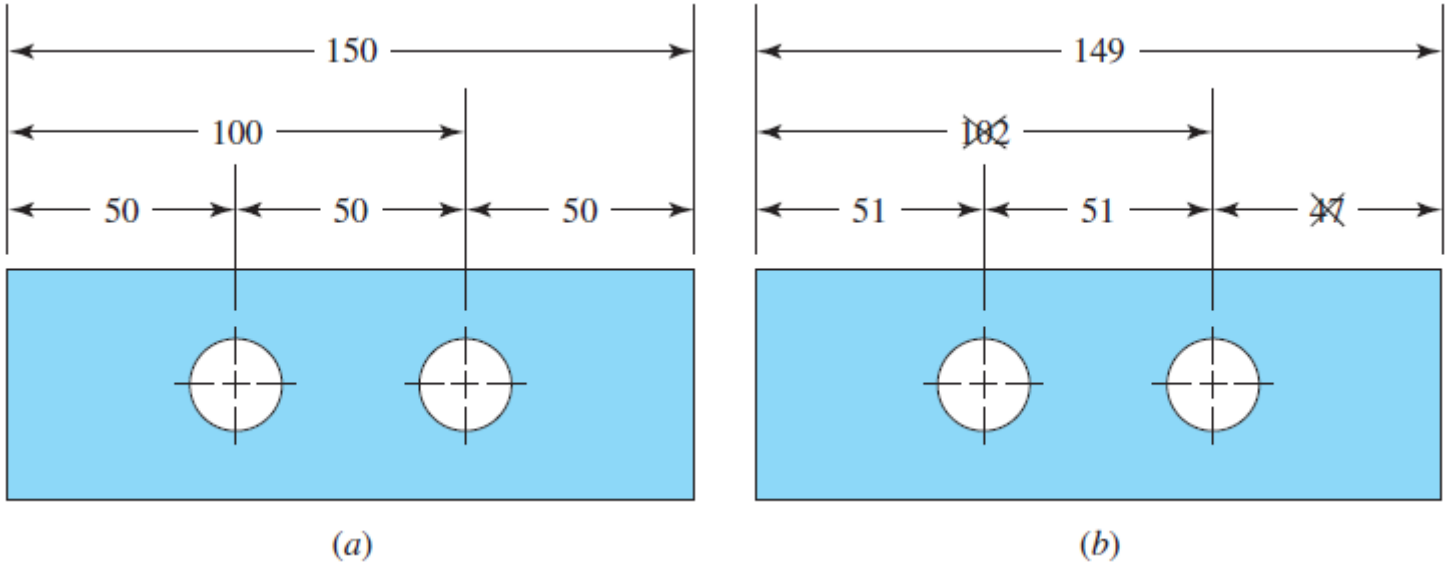


Fig. 1–8

Choice of Dimensions

- Four examples of which dimensions to specify

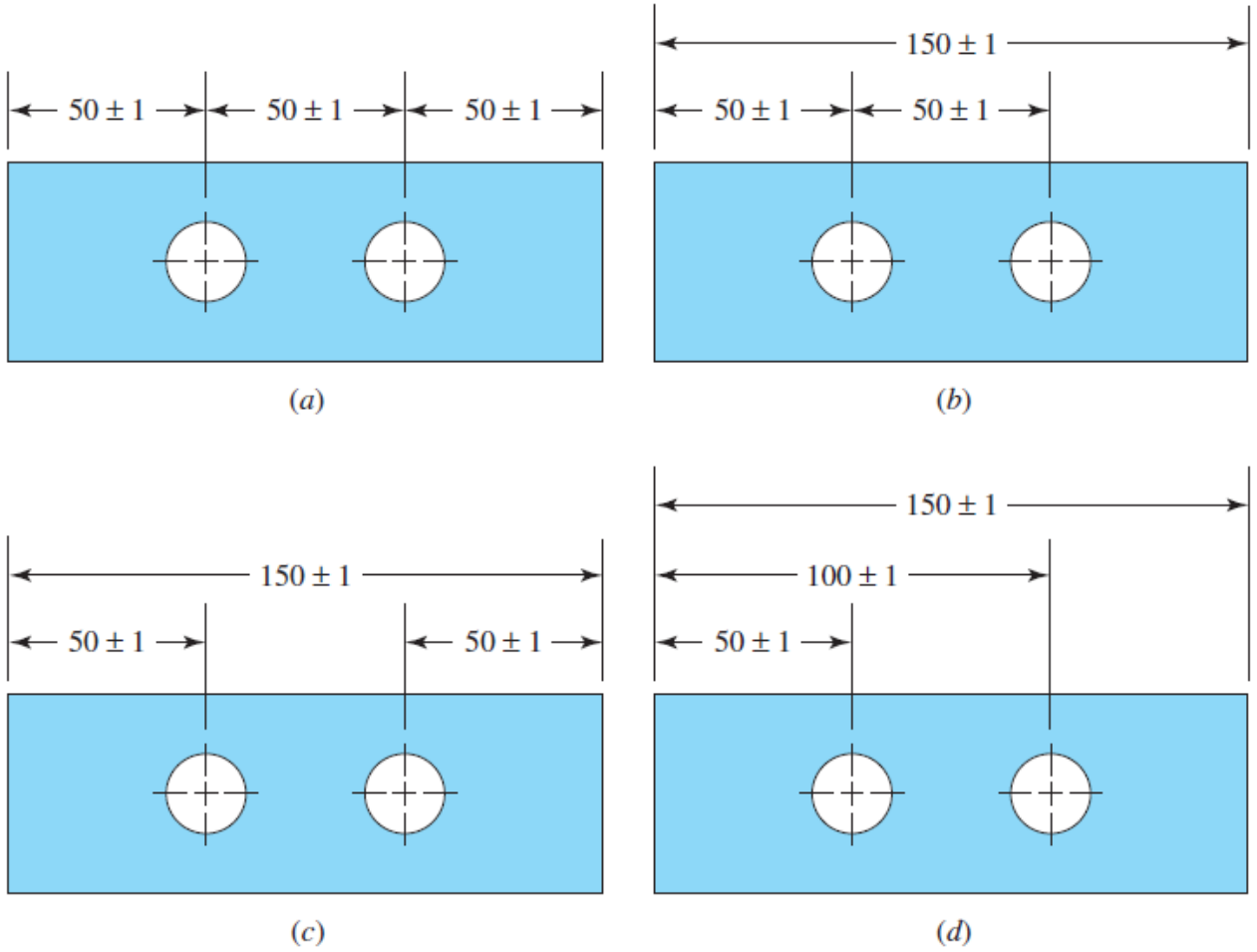


Fig. 1–9

Example 1–7

A shouldered screw contains three hollow right circular cylindrical parts on the screw before a nut is tightened against the shoulder. To sustain the function, the gap w must equal or exceed 0.08 mm. The parts in the assembly depicted in Fig. 1–10 have dimensions and tolerances as follows:

$$a = 44.50 \pm 0.08 \text{ mm} \qquad b = 19.05 \pm 0.02 \text{ mm}$$

$$c = 3.05 \pm 0.13 \text{ mm} \qquad d = 22.23 \pm 0.02 \text{ mm}$$

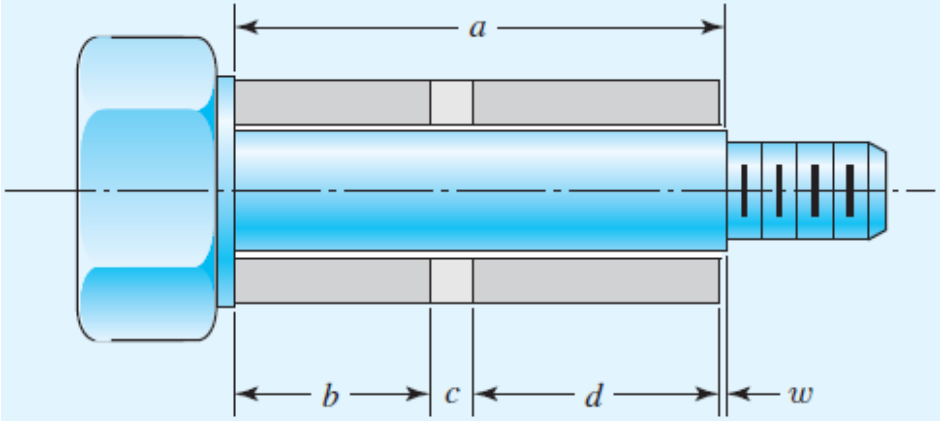


Fig. 1–10

All parts except the part with the dimension d are supplied by vendors. The part containing the dimension d is made in-house.

(a) Estimate the mean and tolerance on the gap w.

(b) What basic value of d will assure that $w \geq 0.08$ mm?

Example 1–7 (Continued)

Solution

(a) The mean value of w is given by

$$\overline{w} = \overline{a} - \overline{b} - \overline{c} - \overline{d} = 44.50 - 19.05 - 3.05 - 22.23 = 0.17 \text{ mm}$$ **Answer**

For equal bilateral tolerances, the tolerance of the gap is

$$t_w = \sum_{\text{all}} t = 0.08 + 0.02 + 0.13 + 0.02 = 0.25 \text{ mm}$$ **Answer**

Then, $w = 0.17 \pm 0.25$, and

$$w_{\max} = \overline{w} + t_w = 0.17 + 0.25 = 0.42 \text{ mm}$$

$$w_{\min} = \overline{w} - t_w = 0.17 - 0.25 = -0.08 \text{ mm}$$

Thus, both clearance and interference are possible.

(b) If $w_{\min}$ is to be 0.08 mm, then, $\overline{w} = w_{\min} + t_w = 0.08 + 0.25 = 0.33$ mm. Thus,

$$\overline{d} = \overline{a} - \overline{b} - \overline{c} - \overline{w} = 44.50 - 19.05 - 3.05 - 0.33 = 22.07 \text{ mm}$$ **Answer**

ระบบหน่วย

หน่วยที่ใช้กันในทางวิศวกรรมมีอยู่ 2 ระบบ

- หน่วยอังกฤษ (นิยมใช้กันมากในอังกฤษและอเมริกา)
- หน่วยเอสไอ (เป็นหน่วยสากลระหว่างประเทศ)

หน่วยมูลฐาน (หรือหน่วยพื้นฐาน) คือ หน่วยวัดค่าปริมาณต่างๆ ที่เป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน

ตัวอย่าง : สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงแทนหน่วยของสมการกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$F = ma \rightarrow F = MLT^{-2}$$ (แรง) = (มวล) (ความยาว) (เวลา)

ปริมาณ	SI Unit		U.S. Unit	
	ชื่อ	สัญลักษณ์	ชื่อ	สัญลักษณ์
ความยาว	เมตร	m	ฟุต	ft
แรง	นิวตัน	N	ปอนด์	lb
เวลา	วินาที	s	วินาที	s
มวล	กิโลกรัม	kg	สลัก	$lb \cdot s^2 / ft$
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	$^\circ C$	องศาฟาเรนไฮต์	$^\circ F$

TABLE B.1 Principal SI Units Used in Mechanics

Quantity	Unit	Symbol	Formula
Acceleration	Meter per second squared	...	m/s^2
Angular acceleration	Radian per second squared	...	rad/s^2
Angular velocity	Radian per second	...	rad/s
Area	Square meter	...	m^2
Density	Kilogram per cubic meter	...	kg/m^3
Energy	Joule	J	N·m
Force	Newton	N	$kg·m/s^2$
Frequency	Hertz	Hz	s^{-1}
Impulse, linear	Newton-second	...	N·s
Length	Meter	m	(base unit)
Mass	Kilogram	kg	(base unit)
Moment of a force	Newton-meter	...	N·m
Power	Watt	W	J/s
Pressure	Pascal	Pa	N/m^2
Specific weight	Newton per cubic meter	...	N/m^3
Stress	Pascal	Pa	N/m^2
Time	Second	s	(base unit)
Velocity	Meter per second	...	m/s
Volume, solids	Cubic meter	...	m^3
Liquids	Liter	L	10^{-3} m^3
Work	Joule	J	N·m

การแปลงหน่วย

TABLE B.3 Conversion Factors between U.S. Customary and SI Units

Quantity	U.S. Customary Units	SI Equivalent
Acceleration	ft/s^2	$0.3048\ m/s^2$
	$in./s^2$	$0.0254\ m/s^2$
Area	ft^2	$0.0929\ m^2$
	$in.^2$	$645.2\ mm^2$
Energy	ft·lb	1.356 J
Force	kip	4.448 kN
	lb	4.448 N
	oz	0.2780 N
Impulse, linear	lb·s	4.448 N·s
Intensity of distributed force	lb/ft	14.5939 N/m
Length	ft	0.3048 m
	in.	25.40 mm
	mi	1.609 km
Mass	oz mass	28.35 g
	lb mass	0.4536 kg
	slug	14.59 kg
	ton	907.2 kg

การแปลงหน่วย

Moment of a force; torque	lb·ft	1.356 N·m
	lb·in.	0.1130 N·m
Moment of inertia		
Of an area	$in.^4$	0.4162×10^6 mm^4
Of a mass	$lb·ft·s^2$	1.356 $kg·m^2$
Power	ft·lb/s	1.356 W
	hp	745.7 W
Pressure; stress	lb/ft^2	47.88 Pa
	$lb/in.^2$ (psi)	6.895 kPa
Specific weight	lb/ft^3	157.087 N/m^3
Velocity	ft/s	0.3048 m/s
	in./s	0.0254 m/s
	mi/h (mph)	0.4470 m/s
	mi/h (mph)	1.609 km/h
Volume, solids	ft^3	0.02832 m^3
	$in.^3$	16.39 cm^3
Liquids	gal	3.785 L
	qt	0.9464 L
Work	ft·lb	1.356 J

SI Prefixes

TABLE B.2 SI Prefixes

Prefix	Symbol	Factor
tera	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga	G	$10^{9} = 1\ 000\ 000\ 000$
mega	M	$10^{6} = 1\ 000\ 000$
kilo	k	$10^{3} = 1\ 000$
hecto	h	$10^{2} = 100$
deka	da	$10^{1} = 10$
deci	d	$10^{-1} = 0.1$
centi	c	$10^{-2} = 0.01$
milli	m	$10^{-3} = 0.001$
micro	μ	$10^{-6} = 0.000\ 001$
nano	n	$10^{-9} = 0.000\ 000\ 001$
pico	p	$10^{-12} = 0.000\ 000\ 000\ 001$

สมบัติเชิงกลของวัสดุ

ในการออกแบบชิ้นส่วนทางกล จำเป็นต้องใช้ความรู้จากกลศาสตร์วัสดุและค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุต่างๆ เช่น

- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น
- ค่าความเค้นคราก
- ค่าความเค้นดึงสูงสุด
- ค่าโมดูลัสความแข็งแกร่ง
- อัตราส่วนปัวซอง
- เปอร์เซ็นต์การยืดตัว/หดตัว ของหน้าตัด

TABLE B.4 Properties of Selected Engineering Materials* (U.S. Customary Units)

Material	Specific Weight, lb/in.^{3}	Ultimate Strength, ksi			Yield Strength,‡ ksi		Modulus of Elasticity, 10^6 psi	Modulus of Rigidity, 10^6 psi	Coef. of Thermal Expans., 10^{-6}/°F	Ductility, Percent Elongation in 2 in.
		Tens.	Comp.†	Shear	Tens.	Shear				
Steel										
Structural, ASTM-A36	0.284	58	...	...	36	21	29	11.5	6.5	30
High strength, ASTM-A242	0.284	70	...	...	50	30	29	11.5	6.5	21
Stainless (302), cold-rolled	0.286	125	...	...	75	...	28	10.6	9.6	12
Cast iron										
Gray, ASTM A-48	0.260	25	95	35	...	...	10	4.1	6.7	0.5
Malleable, ASTM A-47	0.264	50	90	48	33	...	24	9.3	6.7	10
Aluminum										
Alloy 2014-T6	0.101	70	...	42	60	32	10.6	4.1	12.8	13
Alloy 6061-T6	0.098	43	...	27	38	20	10.0	3.8	13.1	17
Alloy 7075-T6	0.101	83	...	48	73	...	10.4	4	13.1	11
Brass, yellow										
Cold-rolled	0.306	78	...	43	63	36	15	5.6	11.3	8
Annealed	0.306	48	...	32	15	9	15	5.6	11.3	60
Copper										
Annealed	0.322	32	...	22	10	...	17	6.4	9.4	4.5
Hard-drawn	0.322	57	...	29	53	...	17	6.4	9.4	4
Bronze, cold-rolled (510)	0.320	81	...	...	75	40	16	5.9	9.9	10
Magnesium	0.065	20–49	...	24	11–40	...	6.5	2.4	15	2–20
Alloy AZ80	0.065	50	...	23	36	...	6.5	2.4	14	6
Alloy AZ31	0.064	37	...	19	29	...	6.5	2.4	14	12
Concrete										
Medium strength	0.084	...	4	...	...	...	3.5	...	5.5	...
High strength	0.084	...	6	...	...	...	4.3	...	5.5	...
Timber§ (air dry)										
Douglas fir	0.020	...	7.9	1.1	...	...	1.7	...	2.2	...
Southern pine	0.021	...	8.6	1.4	...	...	1.6	...	2.2	...
Glass, 98% silica	0.079	...	7	...	...	...	9.6	4.1	44	...
Nylon, molded	0.040	8	...	...	...	...	0.3	...	45	50
Rubber	0.033	2	...	...	...	...	...	...	90	600
Vinyl, rigid PVC	0.052	6	10	...	6.5	...	0.45	...	75	40

TABLE B.4 Properties of Selected Engineering Materials* (SI Units)

Material	Density, Mg/m^3	Ultimate Strength, MPa			Yield Strength,‡ MPa		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa	Coef. of Thermal Expans., $10^{-6}/°C$	Ductility, Percent Elongation in 50 mm
		Tens.	Comp.†	Shear	Tens.	Shear				
Steel										
Structural, ASTM-A36	7.86	400	...	...	250	145	200	79	11.7	30
High strength, ASTM-A242	7.86	480	...	...	345	210	200	79	11.7	21
Stainless (302), cold-rolled	7.92	860	...	...	520	...	190	73	17.3	12
Cast iron										
Gray, ASTM A-48	7.2	170	650	240	...	...	70	28	12.1	0.5
Malleable, ASTM A-47	7.3	340	620	330	230	...	165	64	12.1	10
Aluminum										
Alloy 2014-T6	2.8	480	...	290	410	220	72	28	23	13
Alloy 6061-T6	2.71	300	...	185	260	140	70	26	23.6	17
Alloy 7075-T6	2.80	570	...	330	500	...	72	28	23.6	11
Brass, yellow										
Cold-rolled	8.47	540	...	300	435	250	105	39	20	8
Annealed	8.47	330	...	220	105	65	105	39	20	60
Copper										
Annealed	8.91	220	...	150	70	...	120	44	16.9	4.5
Hard-drawn	8.91	390	...	200	265	...	120	44	16.9	4
Bronze, cold-rolled (510)	8.86	560	...	...	520	275	110	41	17.8	10
Magnesium	1.8	140–340	...	165	80–280	...	45	17	27	2–20
Alloy AZ80	1.8	345	...	160	250	...	45	16	25.2	6
Alloy AZ31	1.77	255	...	130	200	...	45	16	25.2	12
Concrete										
Medium strength	2.32	...	28	...	...	...	24	...	10	...
High strength	2.32	...	40	...	...	...	30	...	10	...
Timber§ (air dry)										
Douglas fir	0.54	...	55	7.6	...	...	12	...	4	...
Southern pine	0.58	...	60	10	...	...	11	...	4	...
Glass, 98% silica	2.19	...	50	...	...	...	65	28	80	...
Nylon, molded	1.1	55	...	...	...	...	2	...	81	50
Rubber	0.91	14	...	...	...	...	...	...	162	600
Vinyl, rigid PVC	1.44	40	70	...	45	...	3.1	...	135	40

TABLE B.5 Materials and Selected Members of Each Class

Class	Members	Abbreviation
Engineering alloys (the metals and alloys of engineering)	Aluminum alloys	Al alloys
	Copper alloys	Cu alloys
	Lead alloys	Lead alloys
	Magnesium alloys	Mg alloys
	Molybdenum alloys	Mo alloys
	Nickel alloys	Ni alloys
	Steels	Steels
	Tin alloys	Tin alloys
	Titanium alloys	Ti alloys
	Tungsten alloys	W alloys
	Zinc alloys	Zn alloys
Engineering polymers (the thermoplastics and thermosets of engineering)	Epoxies	EP
	Melamines	MEL
	Polycarbonate	PC
	Polyesters	PEST
	Polyethylene, high-density	HDPE
	Polyethylene, low-density	LDPE
	Polyformaldehyde	PF
	Polymethylmethacrylate	PMMA
	Polypropylene	PP
	Polytetrafluoroethylene	PTFE
	Polyvinyl chloride	PVC

Engineering ceramics (fine ceramics capable of load-bearing applications)	Alumina Diamond Sialons Silicon carbide Silicon nitride Zirconia	$A1_2O_3$ C Sialons SiC Si_3N_4 ZrO_2
Engineering composites (the composites of engineering practice) A distinction is drawn between the properties of a ply (uniply) and of a laminate (laminates).	Carbon-fiber-reinforced polymer Glass-fiber-reinforced polymer Kevlar-fiber-reinforced polymer	CFRP GFRP KFRP
Porous ceramics (traditional ceramics, cements, rocks, and minerals)	Brick Cement Common rocks Concrete Porcelain Pottery	Brick Cement Rocks Concrete Pcln Pot
Glasses (ordinary silicate glass)	Borosilicate glass Soda glass Silica	B-glass Na-glass SiO_2

TABLE B.5 Materials and Selected Members of Each Class (*Continued*)

Class	Members	Abbreviation
Woods Separate envelopes* describe properties: parallel to the grain, normal to it, and wood products.	Ash Balsa Fir Oak Pine Wood products (ply, etc.)	Ash Balsa Fir Oak Pine Wood products
Elastomers (natural and artificial rubbers)	Natural rubber Hard butyl rubber Polyurethanes Silicone rubber Soft butyl rubber	Rubber Hard butyl PU Silicone Soft butyl
Polymer foams (foamed polymers of engineering)	Cork Polyester Polystyrene Polyurethane	Cork PEST PS PU