



TRƯỜNG ĐẠI HỌC
VĂN LANG
Đạo đức - Ý chí - Sáng tạo



Tuần 14: Lựa Chọn Vật Liệu

Ngành: Kỹ Thuật Cơ Điện Tử

Th.S Tăng Hà Minh Quân

Email: quan.thm@vlu.edu.vn

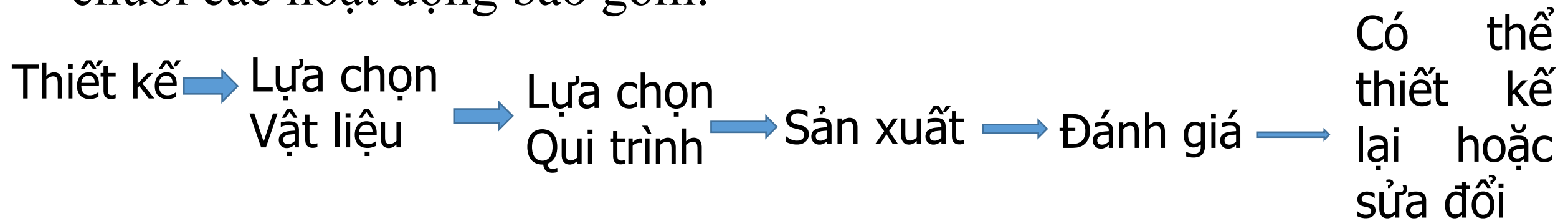
NỘI DUNG

1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM
2. CÁC CHỈ TIÊU CẦN CÂN NHẮC CỦA VẬT LIỆU
3. QUY TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU
4. VÍ DỤ ÁP DỤNG

1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM

1.1. Tầm quan trọng của việc lựa chọn vật liệu

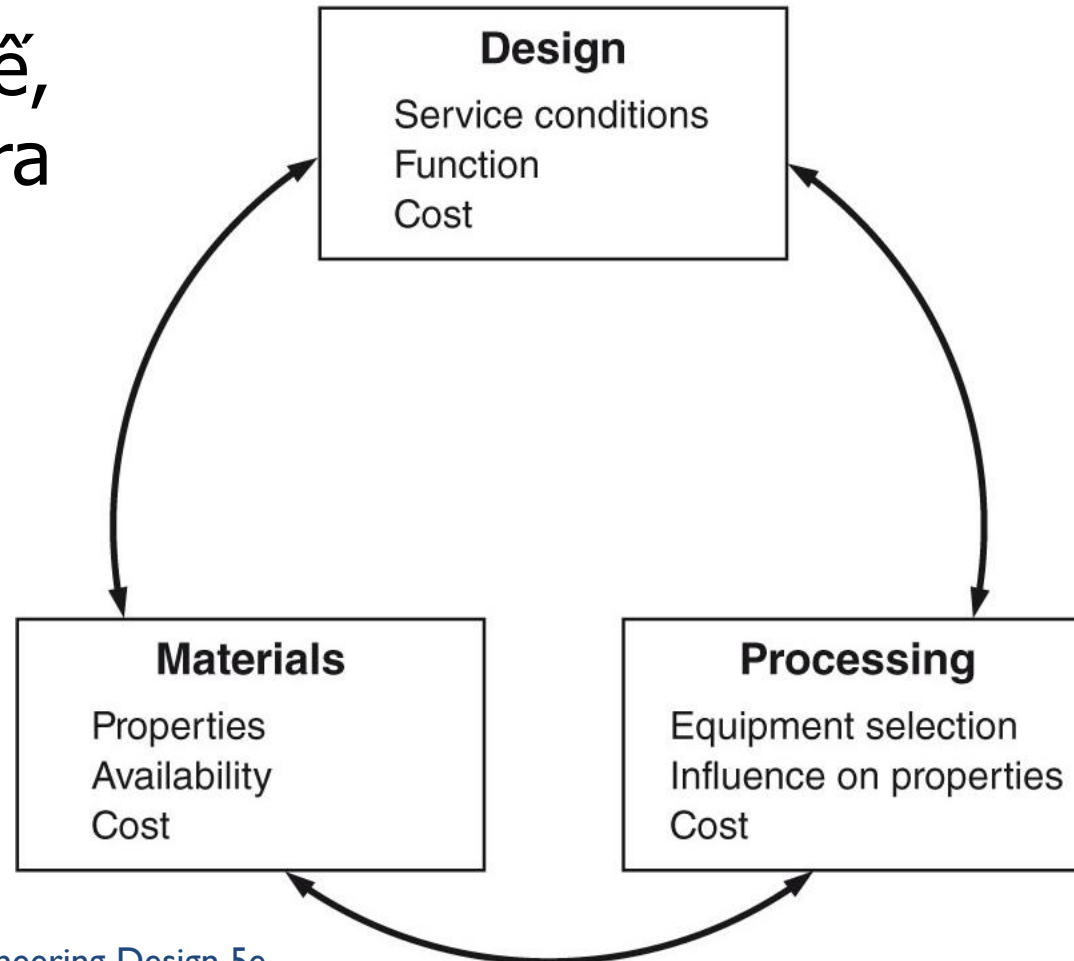
Việc lựa chọn một vật liệu thích hợp và sau đó chuyển đổi thành một sản phẩm hữu ích với hình dạng và đặc tính mong muốn có thể là một quá trình khá phức tạp. Gần như mọi thiết kế đều trải qua một chuỗi các hoạt động bao gồm:



1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM

1.1. Tầm quan trọng của việc lựa chọn vật liệu

Mối quan hệ giữa thiết kế, vật liệu và qui trình để tạo ra sản phẩm



1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM

1.1. Tầm quan trọng của việc lựa chọn vật liệu

- Một vật liệu được chọn không đúng có thể không chỉ dẫn đến hỏng hóc một phần mà còn dẫn đến chi phí vòng đời quá cao.
- Ở cấp độ khái niệm của thiết kế, về cơ bản tất cả các vật liệu và quy trình đều được xem xét một cách chi tiết.
- Biểu đồ lựa chọn vật liệu và phương pháp luận do Ashby phát triển rất thích hợp ở giai đoạn này.
- Tùy thuộc vào tầm quan trọng của bộ phận, các đặc tính của vật liệu có thể cần được biết đến ở mức độ chính xác cao.
- Lựa chọn vật liệu và quy trình là một quá trình dần dần thu hẹp từ một vũ trụ rộng lớn các khả năng thành một vật liệu và quá trình cụ thể.

1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM

1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn vật liệu

- Hình dạng các bộ phận
- Dung sai kích thước
- Đặc tính cơ khí
- Yêu cầu về chế tạo (Sản xuất)
- Yêu cầu về sử dụng
- Chi phí: chi phí của vật liệu và chi phí qui trình sản xuất
- Khả năng sẵn sàng của vật liệu

1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM

1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn vật liệu

Các yếu tố ảnh hưởng đến sự lựa chọn vật liệu

<i>(i)</i> <i>Manufacturing processes</i>	<i>(ii)</i> <i>Functional requirements</i>	<i>(iii)</i> <i>Cost considerations</i>	<i>(iv)</i> <i>Operating parameters</i>
<ul style="list-style-type: none">• Plasticity• Malleability• Ductility• Machinability• Casting properties• Weldability• Heat• Tooling• Surface finish	<ul style="list-style-type: none">• Strength• Hardness• Rigidity• Toughness• Thermal conductivity• Fatigue• Electrical treatment• Creep• Aesthetic look	<ul style="list-style-type: none">• Raw material• Processing• Storage• Manpower• Special treatment• Inspection• Packaging properties• Inventory• Taxes and custom duty	<ul style="list-style-type: none">• Pressure• Temperature• Flow• Type of material• Corrosion requirements• Environment• Protection from fire• Weathering• Biological effects

1. VAI TRÒ CỦA VIỆC LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN SẢN PHẨM

1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn vật liệu

- Đặc tính vật liệu: mức độ hiệu suất dự kiến từ vật liệu
- Chi phí vật liệu và tính sẵn có:
 - + Vật liệu phải được định giá phù hợp (không rẻ mà đúng)
 - + Vật liệu phải có sẵn (tốt hơn nên có nhiều nguồn)
- Quy trình: Phải xem xét cách làm một bộ phận, ví dụ: Vật đúc, Gia công, Hàn
- Môi trường:
 - + Ảnh hưởng của dịch vụ môi trường đối với chi tiết
 - + Ảnh hưởng của bộ phận này đối với môi trường
 - + Ảnh hưởng của quá trình xử lý đối với môi trường

2. CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

Các chỉ tiêu chính cần cân nhắc khi lựa chọn vật liệu

- **Loại vật liệu**/Material
- **Chức năng làm việc**/Function
- **Quá trình chế tạo**/Process
- **Hình dạng sản phẩm**/Shape

2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

Hai chỉ tiêu chính cần cân nhắc ban đầu khi lựa chọn vật liệu

2.1. Loại vật liệu/Material

2.2. Chức năng làm việc/Function

2. CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

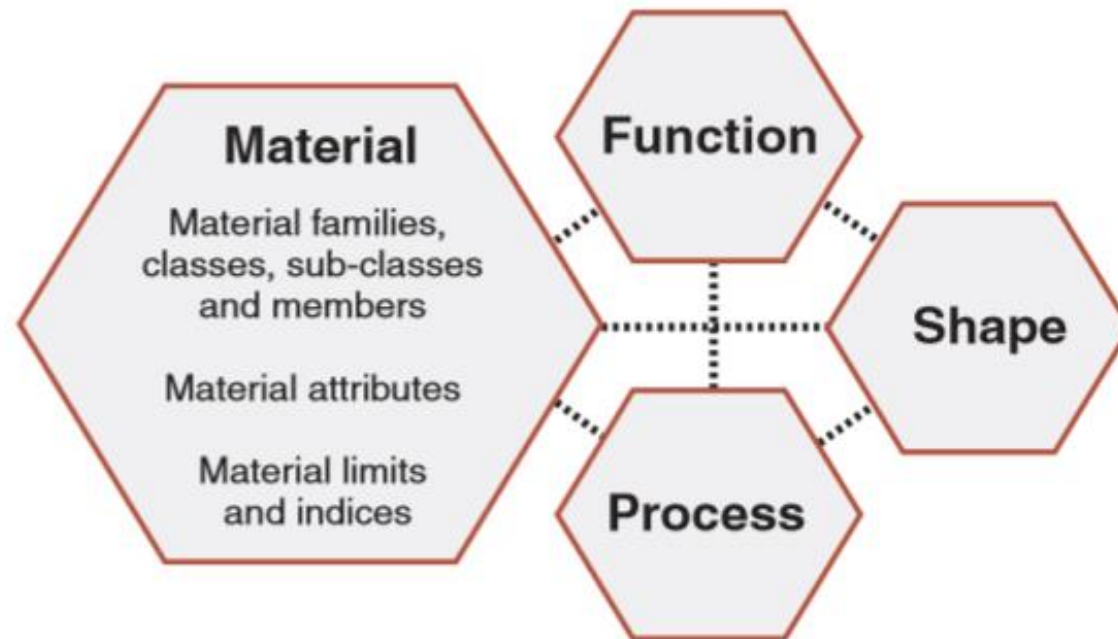
2.1. Chức năng của sản phẩm

- Nhìn trong mối quan hệ giữa vật liệu và chức năng của sản phẩm
- Đánh giá dựa trên các chức năng của sản phẩm đưa ra yêu cầu kỹ thuật cần đảm bảo
 - Tỷ trọng /Density
 - Sức bền/Strength
 - Cost/Giá cả
 - Chống ăn mòn /Resistant to corrosion
 - Khả năng chống nước biển/ Resistance to sea water

2. CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.1. Chức năng của sản phẩm

- Mối quan hệ giữa vật liệu và chức năng



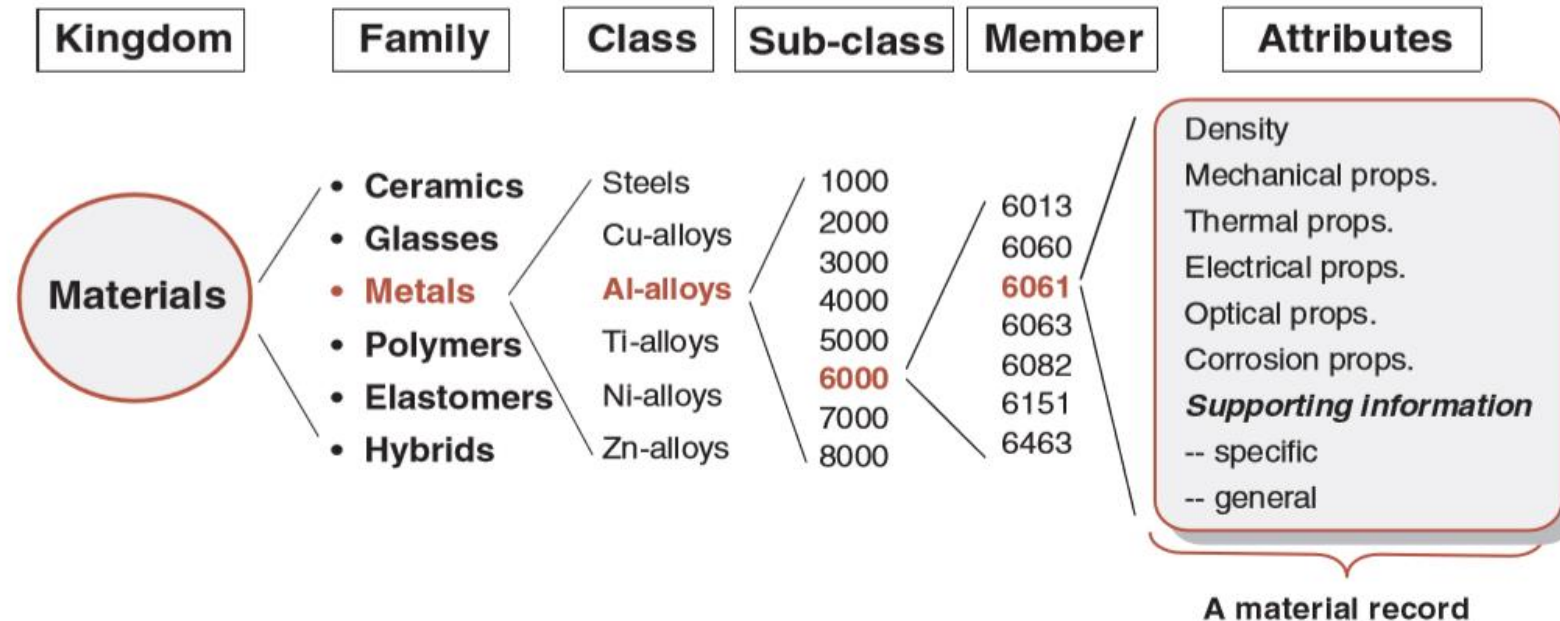
Material selection is determined by function. Shape sometimes influences the selection. This chapter and the next deal with materials selection when this is independent of shape.

2. CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.1. Chức năng của sản phẩm

Chiến lược lựa chọn

Thuộc tính vật liệu được chia thành nhóm, lớp, lớp con và thành viên



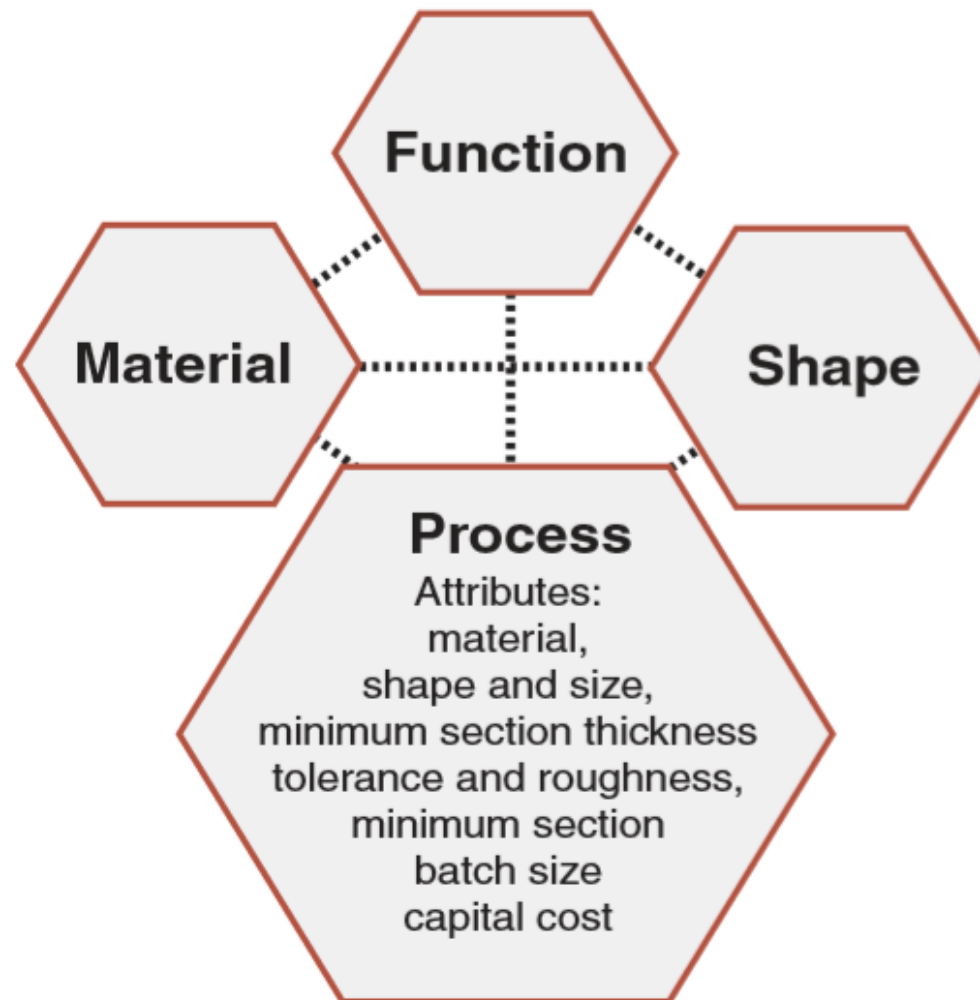
2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

Chỉ tiêu chính cần cân nhắc khi lựa chọn vật liệu TT

2.2. Quá trình chế tạo/Process

2. CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.2. Quá trình chế tạo/Process



2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.2. Quá trình chế tạo/Process

❖ Quá trình chế tạo là gì?

- Phương pháp tạo hình, nới hoặc hoàn thiện vật liệu
- Ví dụ: Đúc cát, ép phun, hàn nung chảy, đánh bóng điện và v.v.
- Phụ thuộc vào yêu cầu thiết kế

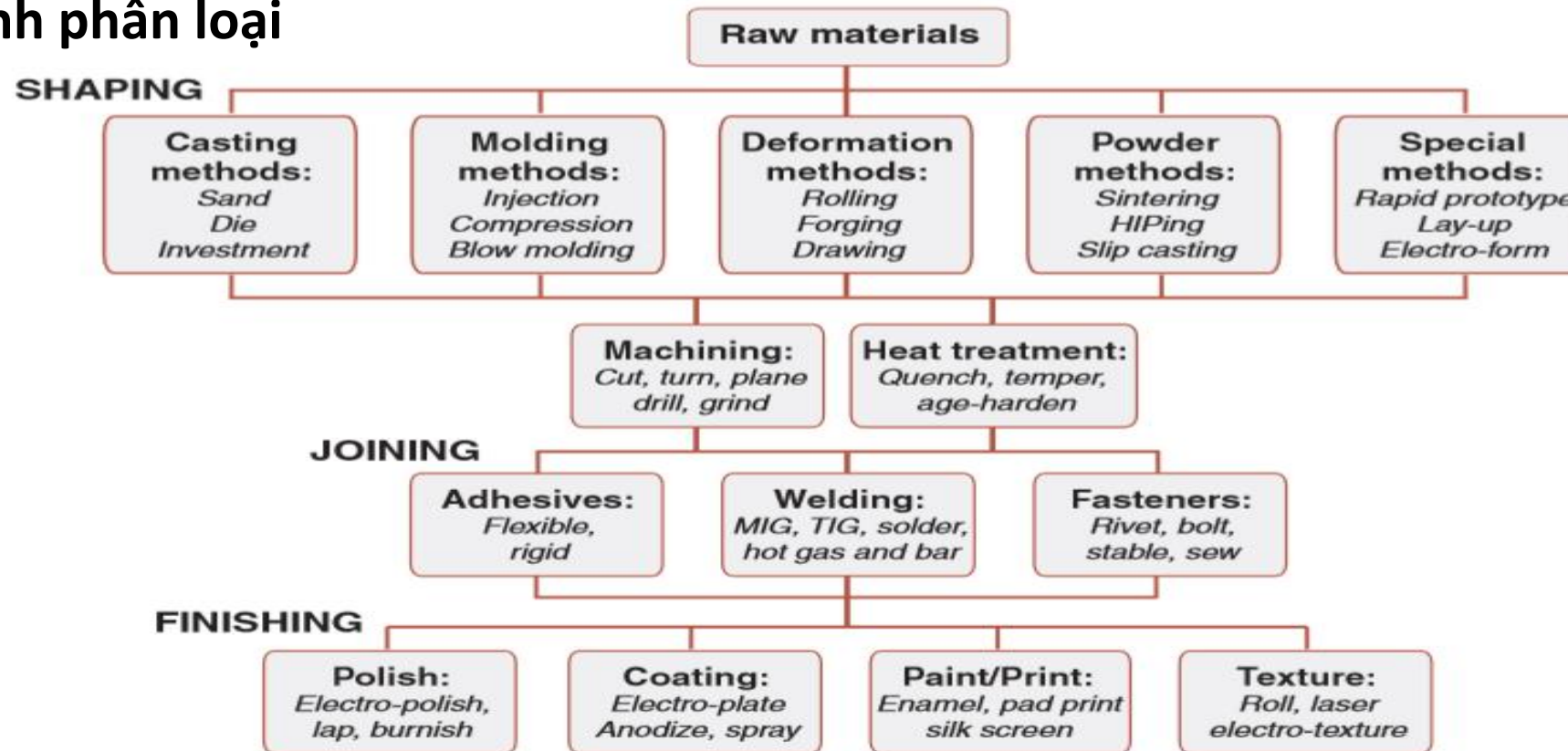
❖ Các đặc tính của sản phẩm

- Vật liệu có thể xử lý
- Hình dạng nó có thể tạo ra
- Độ chính xác của chúng
- Phức tạp Kích thước

2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.2. Quá trình chế tạo/Process

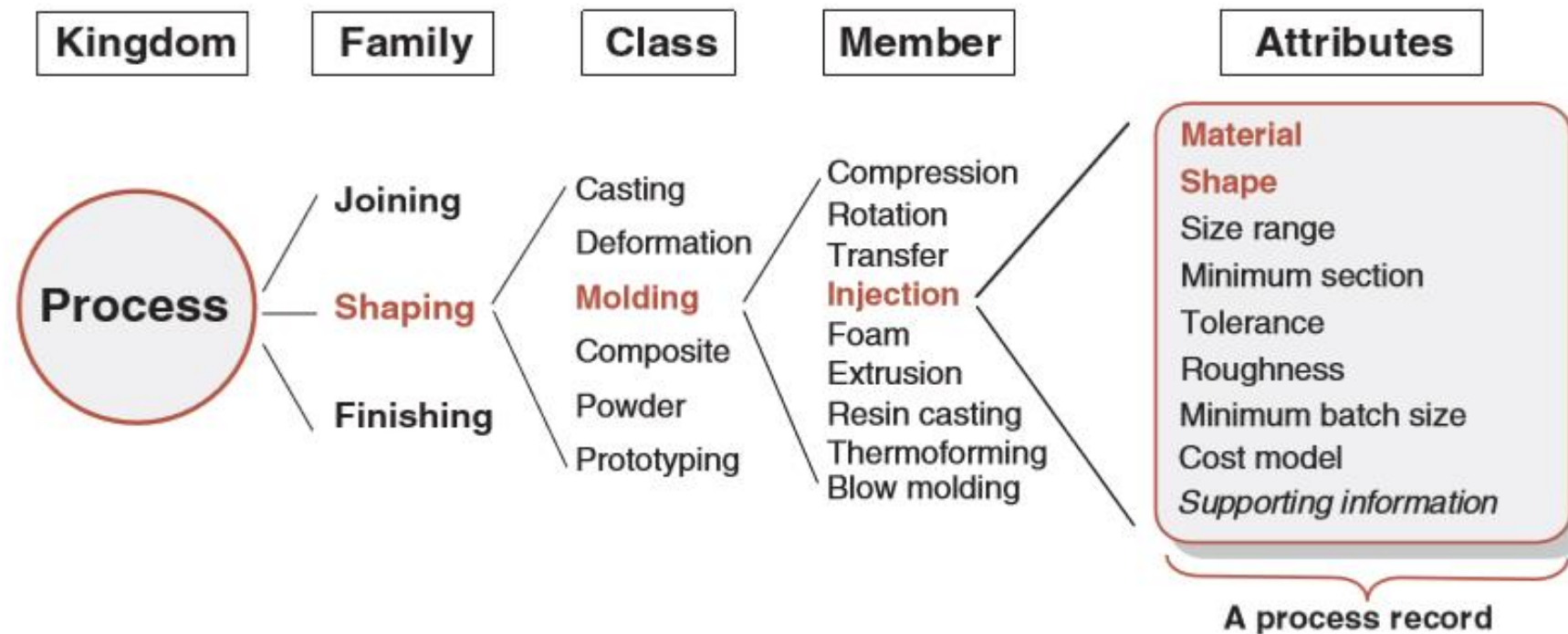
Quy trình phân loại



The classes of process. The first row contains the primary shaping processes; below lie the secondary processes of machining and heat treatment, followed by the families of joining and finishing processes.

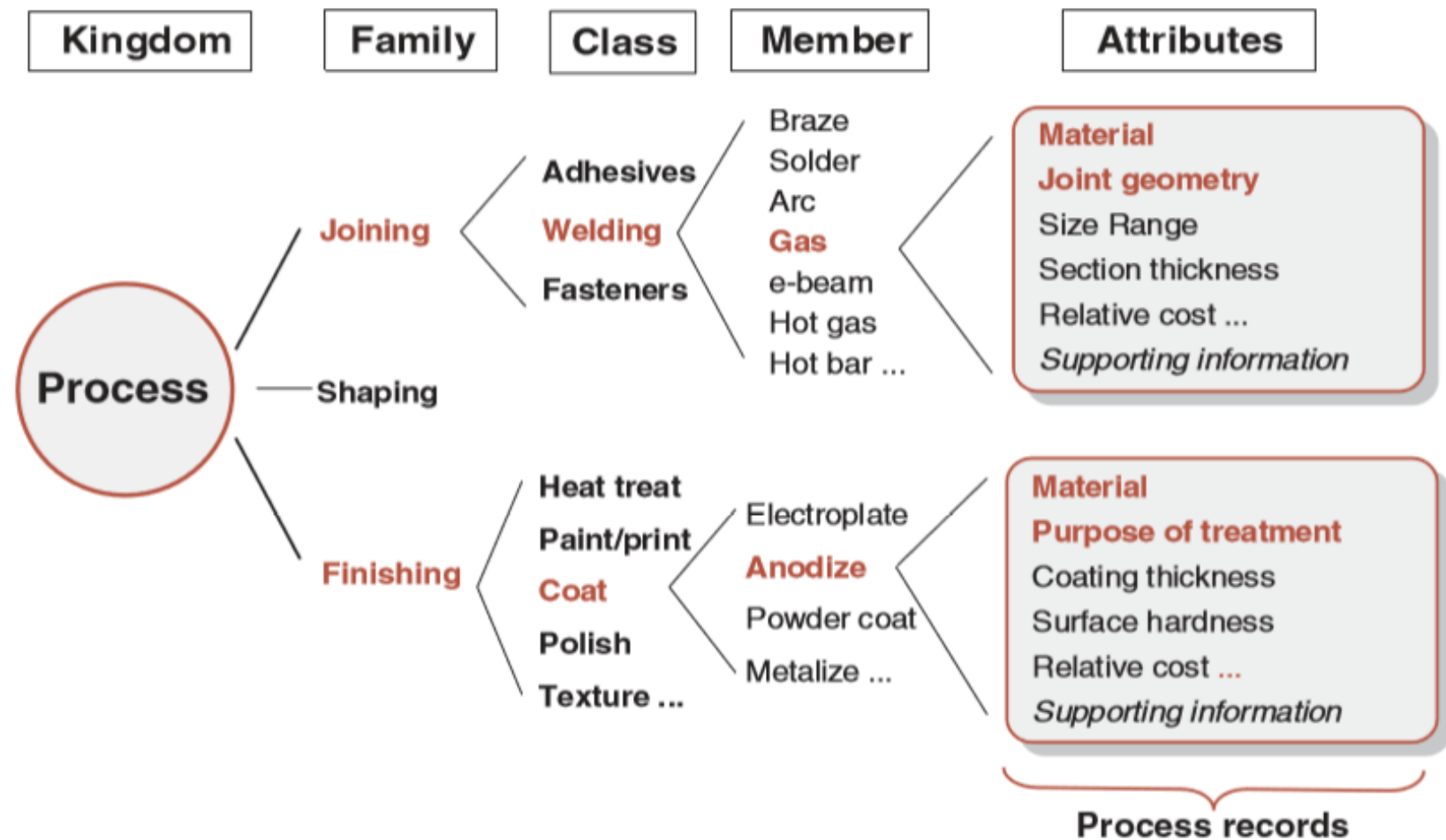
2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.2. Quá trình chế tạo/Process Quy trình phân loại



2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.2. Quá trình chế tạo/Process Quy trình phân loại

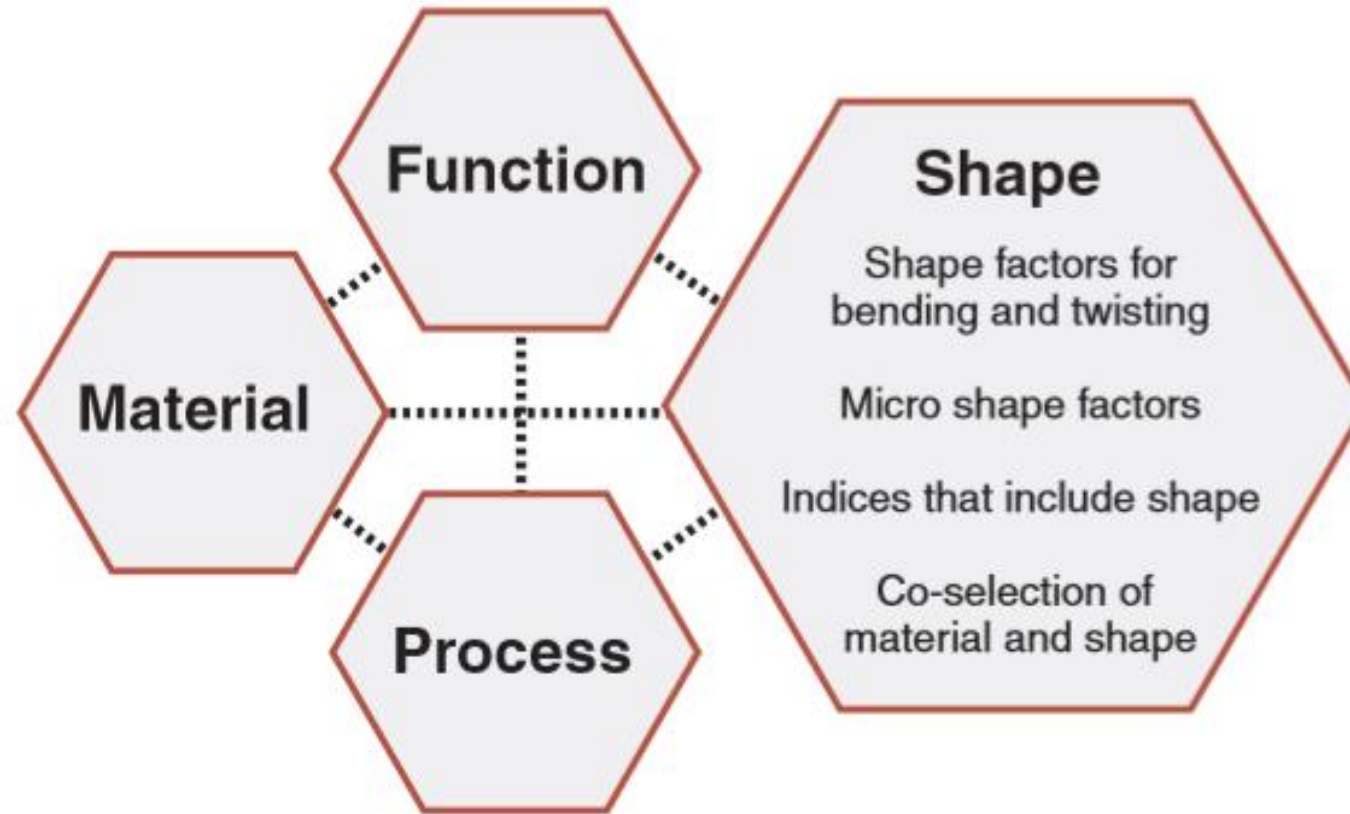


2.CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

Chỉ tiêu chính cần cân nhắc khi lựa chọn vật liệu TT

➤ **Hình dạng sản phẩm/Shape**

2.3. Hình dạng sản phẩm/Shape



2.3. Hình dạng sản phẩm/Shape

❖ Tầm quan trọng của hình dạng?

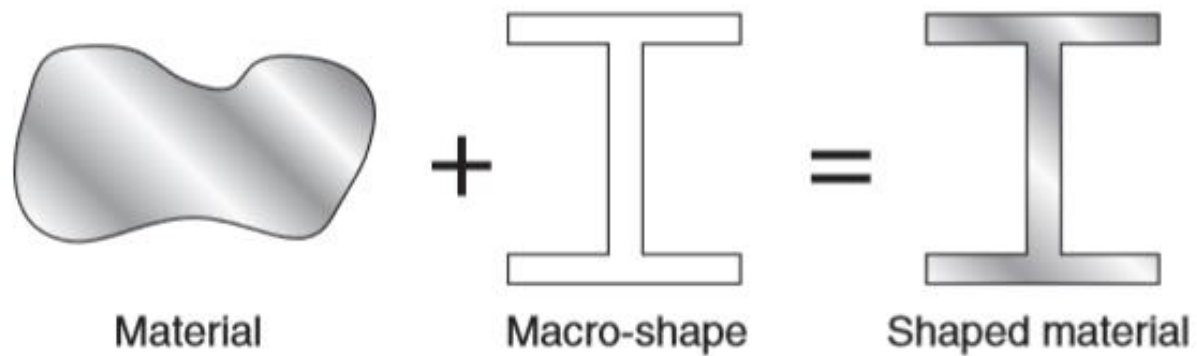
- Có thể được sử dụng để tăng hiệu quả cơ học.
- Hình dạng mang tải trọng uốn, xoắn và nén dọc trục hiệu quả hơn so với vật rắn.

❖ Yếu tố hình dạng

- Đo lường hiệu quả sử dụng vật liệu (mặt cắt ngang).
- Khi nào cần thiết kể lại hình dạng, hệ số hình dạng xuất hiện trong biểu thức cho các chỉ số.

2.3. Hình dạng sản phẩm/Shape

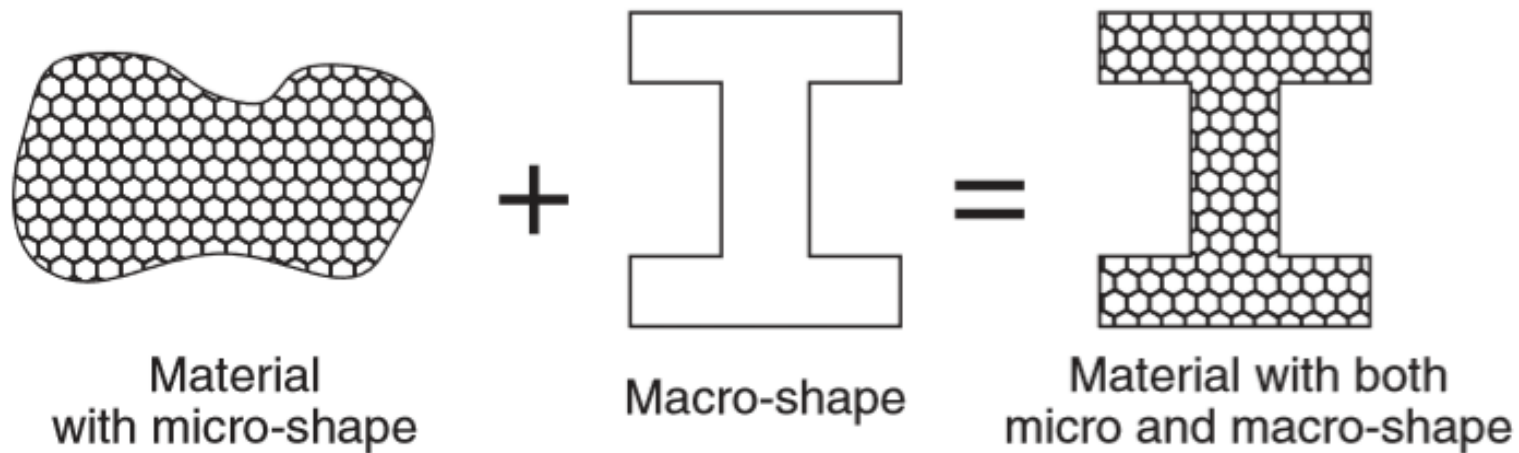
Yếu tố hình dạng



Mechanical efficiency is obtained by combining material with macroscopic shape. The shape is characterized by a dimensionless shape factor, ϕ . The schematic is suggested by Parkhouse (1984).

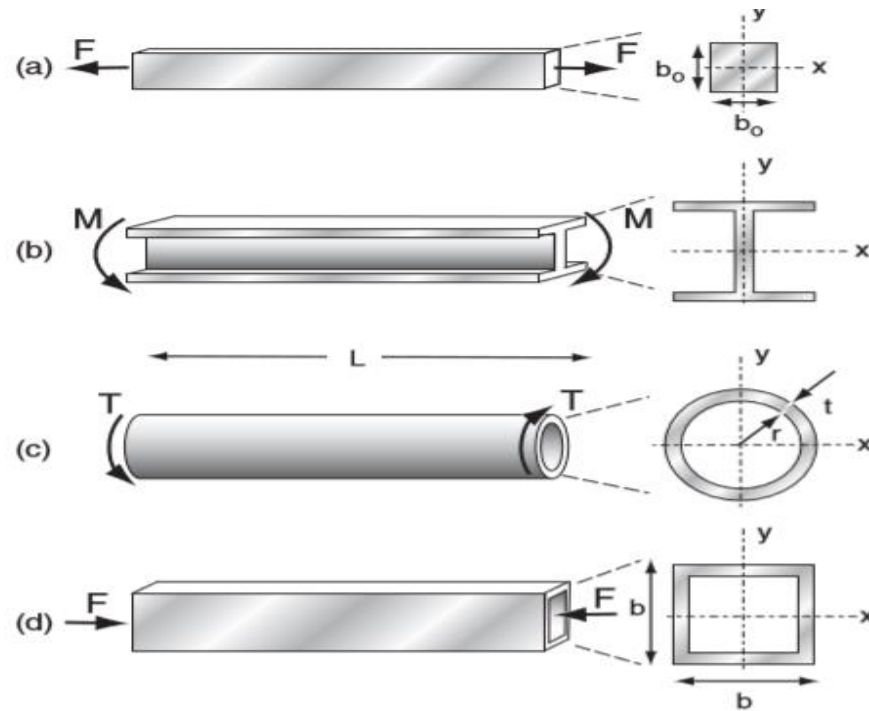
2.3. Hình dạng sản phẩm/Shape

Yếu tố hình dạng



2.3. Hình dạng sản phẩm/Shape

Yếu tố hình dạng



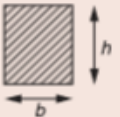


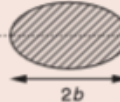

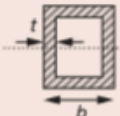
Common modes of loading and the section-shapes that are chosen to support them: (a) axial tension (b) bending (c) torsion and (d) axial compression, which can lead to buckling.

2. CÁC CHỈ TIÊU CHÍNH

2.3. Hình dạng sản phẩm/Shape

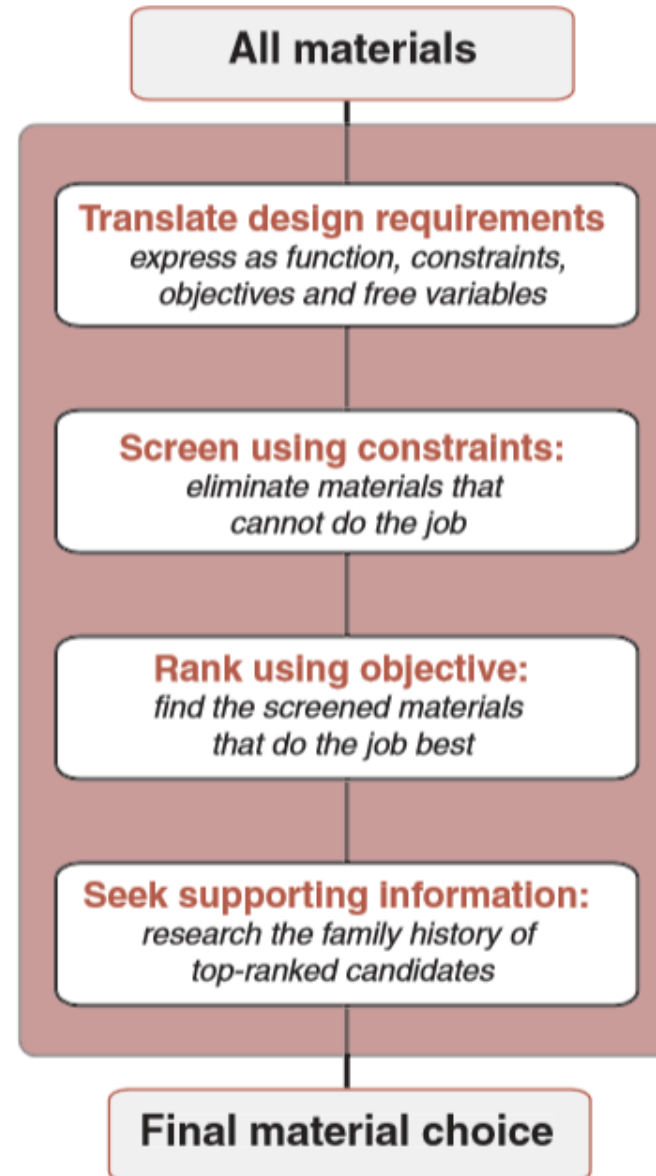
Yếu tố hình dạng

Moments of sections, and units

Section shape	Area A (m)	Moment I (m ⁴)	Moment K (m ⁴)	Moment Z (m ⁴)	Moment Q (m ⁴)	Moment Z _p (m ⁴)
	bh	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{3} \left(1 - 0.58 \frac{b}{h}\right)$ ($h > b$)	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{b^2h^2}{(3h + 1.8b)}$ ($h > b$)	$\frac{bh^2}{4}$
	$\frac{\sqrt{3}}{4} a^2$	$\frac{a^4}{32\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3} a^4}{80}$	$\frac{a^3}{32}$	$\frac{a^3}{20}$	$\frac{3a^3}{64}$
	πr^2	$\frac{\pi}{4} r^4$	$\frac{\pi}{2} r^4$	$\frac{\pi}{4} r^3$	$\frac{\pi}{2} r^3$	$\frac{\pi}{3} r^3$
	πab	$\frac{\pi}{4} a^3 b$	$\frac{\pi a^3 b^3}{(a^2 + b^2)}$	$\frac{\pi}{4} a^2 b$	$\frac{\pi}{2} a^2 b$ ($a < b$)	$\frac{\pi}{3} a^2 b$
	$\pi(r_o^2 - r_i^2)$ $\approx 2\pi r t$	$\frac{\pi}{4}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx \pi r^3 t$	$\frac{\pi}{2}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx 2\pi r^3 t$	$\frac{\pi}{4r_o}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx \pi r^2 t$	$\frac{\pi}{2r_o}(r_o^4 - r_i^4)$ $\approx 2\pi r^2 t$	$\frac{\pi}{3}(r_o^3 - r_i^3)$ $\approx \pi r^2 t$
	$2t(h + b)$ ($h, b \gg t$)	$\frac{1}{6} h^3 t \left(1 + 3 \frac{b}{h}\right)$	$\frac{2tb^2h^2}{(h + b)} \left(1 - \frac{t}{h}\right)^4$	$\frac{1}{3} h^2 t \left(1 + 3 \frac{b}{h}\right)$	$2tbh \left(1 - \frac{t}{h}\right)^2$	$bht \left(1 + \frac{h}{2b}\right)$

2. Basic Criteria need to considered


Chiến lược lựa chọn



Chiến lược lựa chọn

Đây được gọi là Phương pháp Ashby (Michael F. Ashby)

Function, constraints, objectives and free variables



Function	What does component do?
Constraints*	What non-negotiable conditions must be met? What negotiable but desirable conditions . . . ?
Objective	What is to be maximized or minimized?
Free variables	What parameters of the problem is the designer free to change?

*It is sometimes useful to distinguish between “hard” and “soft” constraints. Stiffness and strength might be absolute requirements (hard constraints); cost might be negotiable (a soft constraint).

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Lựa chọn vật liệu cho một sản phẩm mới hoặc thiết kế mới

- Xác định các chức năng mà thiết kế phải thực hiện và chuyển chúng thành các thuộc tính vật liệu cần thiết.
- Xác định các thông số sản xuất.
- So sánh các thuộc tính và thông số cần thiết với cơ sở dữ liệu thuộc tính vật liệu lớn.
- Điều tra các vật liệu ứng viên một cách chi tiết hơn, đặc biệt là về sự cân bằng trong hiệu suất sản xuất, chi phí, độ bền và tính sẵn có trong các loại và kích cỡ.
- Phát triển dữ liệu thiết kế và / hoặc đặc tả thiết kế

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Thay thế vật liệu trong một thiết kế hiện có

- Đặc điểm của vật liệu hiện đang được sử dụng về hiệu suất, yêu cầu sản xuất và chi phí.
- Xác định đặc tính nào cần được cải thiện để nâng cao chức năng của sản phẩm.
- Tìm kiếm vật liệu thay thế và / hoặc lộ trình sản xuất.
- Biên soạn một danh sách ngắn các vật liệu và lộ trình sản xuất, và sử dụng chúng để ước tính chi phí của các bộ phận được sản xuất.
- Đánh giá kết quả của bước 4 và đề xuất vật liệu thay thế.

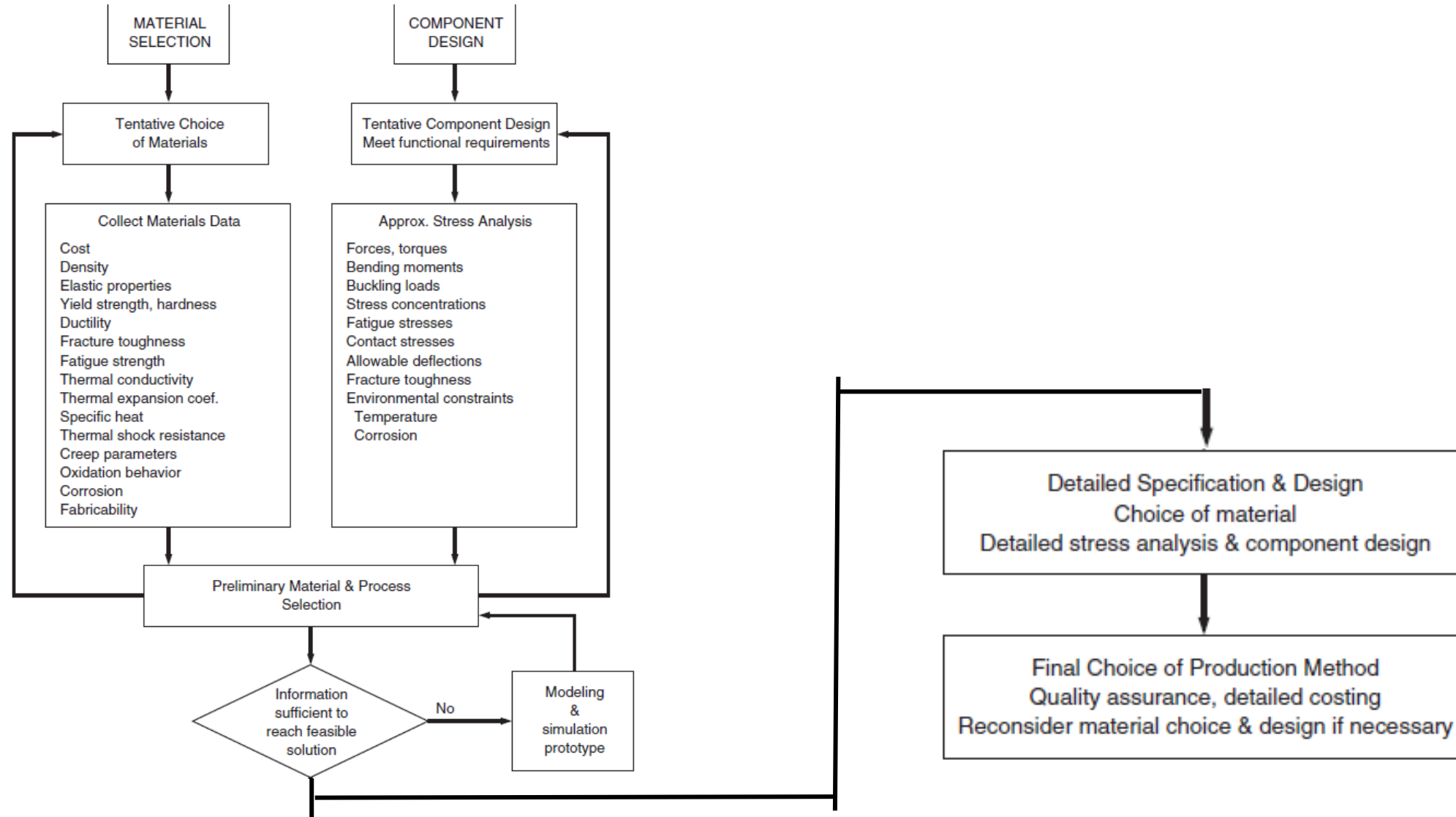
3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Hai cách tiếp cận khác nhau để lựa chọn vật liệu

- Có hai cách tiếp cận để giải quyết sự kết hợp vật liệu-quá trình cho một chi tiết:
 - + Phương pháp tiếp cận nguyên liệu đầu tiên
 - + Phương pháp tiếp cận quy trình đầu tiên
- Trong cách tiếp cận vật liệu đầu tiên, nhà thiết kế bắt đầu bằng cách chọn một lớp vật liệu và thu hẹp xuống nó như đã mô tả trước.
- Với cách tiếp cận quy trình đầu tiên, nhà thiết kế bắt đầu bằng cách chọn quy trình sản xuất, được hướng dẫn bởi các yếu tố giống nhau.

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Lựa chọn vật liệu trong thiết kế cấu trúc



3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Các phương pháp lựa chọn vật liệu

(Material Selection with Decision Matrices)

Làm cách nào chúng ta có thể chọn vật liệu với ma trận quyết định

(How can we select materials with decision matrices?)

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Lựa chọn vật liệu với ma trận quyết định

Chúng tôi có thể tách các yêu cầu thành ba nhóm:

- Tham số go / no-go:

Yêu cầu phải đáp ứng một giá trị tối thiểu cố định nhất định.

- các tham số không phân biệt:

Phải được đáp ứng nếu vật liệu được sử dụng.

- Các thông số phân biệt:

Giá trị định lượng có thể được chỉ định.

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Phương pháp lựa chọn Pugh

- Phương pháp lựa chọn khái niệm Pugh là phương pháp quyết định đơn giản nhất.
- Phương pháp này bao gồm việc so sánh định tính từng phương án với phương án tham chiếu hoặc phương án số liệu, tiêu chí theo tiêu chí.
- Không có tham số go / no go nên được sử dụng làm tiêu chí quyết định.

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Trọng số chỉ số đặc tính

- Trong phương pháp này, mỗi thuộc tính vật liệu được ấn định một trọng lượng nhất định tùy thuộc vào tầm quan trọng của nó đối với việc thực hiện dịch vụ cần thiết.
- Vì các thuộc tính khác nhau có các giá trị số rất khác nhau, mỗi thuộc tính phải được chia tỷ lệ sao cho giá trị lớn nhất không vượt quá 100.

$$\beta_i = \text{scaled property } i \\ = \frac{(\text{numerical value of property } i)}{\text{largest value of } i \text{ under consideration}} \times 100$$

Với các thuộc tính mong muốn có giá trị thấp hơn, thuộc tính được chia tỷ lệ là:

$$\beta_i = \text{scaled property } i \\ = \frac{(\text{lowest value of } i \text{ under consideration})}{\text{numerical value of property } i} \times 100$$

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Trọng số chỉ số đặc tính (tt)

- Đối với các thuộc tính không được thể hiện dễ dàng bằng các giá trị số, cần phải có một số loại đánh giá chủ quan.
- Phương pháp phổ biến là sử dụng thang điểm 5, trong đó khách sạn được xếp hạng:
 - Xuất sắc (5)
 - Rất tốt (4)
 - Tốt (3)
 - Trung bình (2)
 - Xấu (1)

Trọng số chỉ số đặc tính γ được tính bởi công thức:

$$\gamma = \sum \beta_i w_i$$

3. QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN VẬT LIỆU

Biểu đồ chỉ số đặc tính có trọng số để lựa chọn vật liệu để lưu trữ

Material	Go/No-Go Screening												Weighted Property Index	
	Corrosion	Weldability	Available in Thick Plate	Toughness (0.4)		Fatigue Strength (0.1)		Stiffness (0.1)		Thermal Expansion (0.1)		Cost (0.3)		
				Rel. Scale	β	ksi	β	10^6 psi	β	$\mu\text{in/in } ^\circ\text{F}$	β	\$/lb		β
304 stainless	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	5	100	30	60	28.0	93	9.6	80	3.00	50	78.3
9% Ni steel	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	5	100	50	100	29.1	97	7.7	100	1.80	83	94.6
3% Ni steel	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	4	80	35	70	30.0	100	8.2	94	1.50	100	88.4
Aluminum alloy	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>U</i>											

S = satisfactory

U = unsatisfactory

Relative Scale: 5 = excellent, 4 = very good

4. CÁC VÍ DỤ ÁP DỤNG

4.1 Ví dụ 1: Table Leg

4.2 Ví dụ 2: Materials for a Light, Strong Tie

4.3 Ví dụ 3: Heat-Storing Wall

4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg



- Want to redesign table with thin un-braced cylindrical legs
- Want to minimize cross-section and mass without buckling
- Toughness and cost are factors

4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg

Function	Support compressive loads
Objective	<ul style="list-style-type: none">• Minimize mass• Maximize slenderness
Constraints	<ul style="list-style-type: none">• Length specified• Must not buckle• Must not fracture
Free variables	<ul style="list-style-type: none">• Cross-section area, r• Material

Performance Equation

$$m = \pi r^2 l \rho$$

$$P_{crit} = \frac{\pi^2}{l^2} EI = \frac{\pi^3}{4l^2} Er^4$$

4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg

Use constraints to eliminate free variable, r

$$m \geq \left(\frac{4P}{\pi}\right)^{1/2} (l)^2 \left[\frac{\rho}{E^{1/2}}\right]$$

Geometric Parameters Material Properties

Minimize mass by maximizing M_1

$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

For slenderness, Calculate r at max load

$$r \geq \left(\frac{4P}{\pi^3}\right)^{1/4} (l)^{1/2} \left[\frac{1}{E}\right]^{1/4}$$

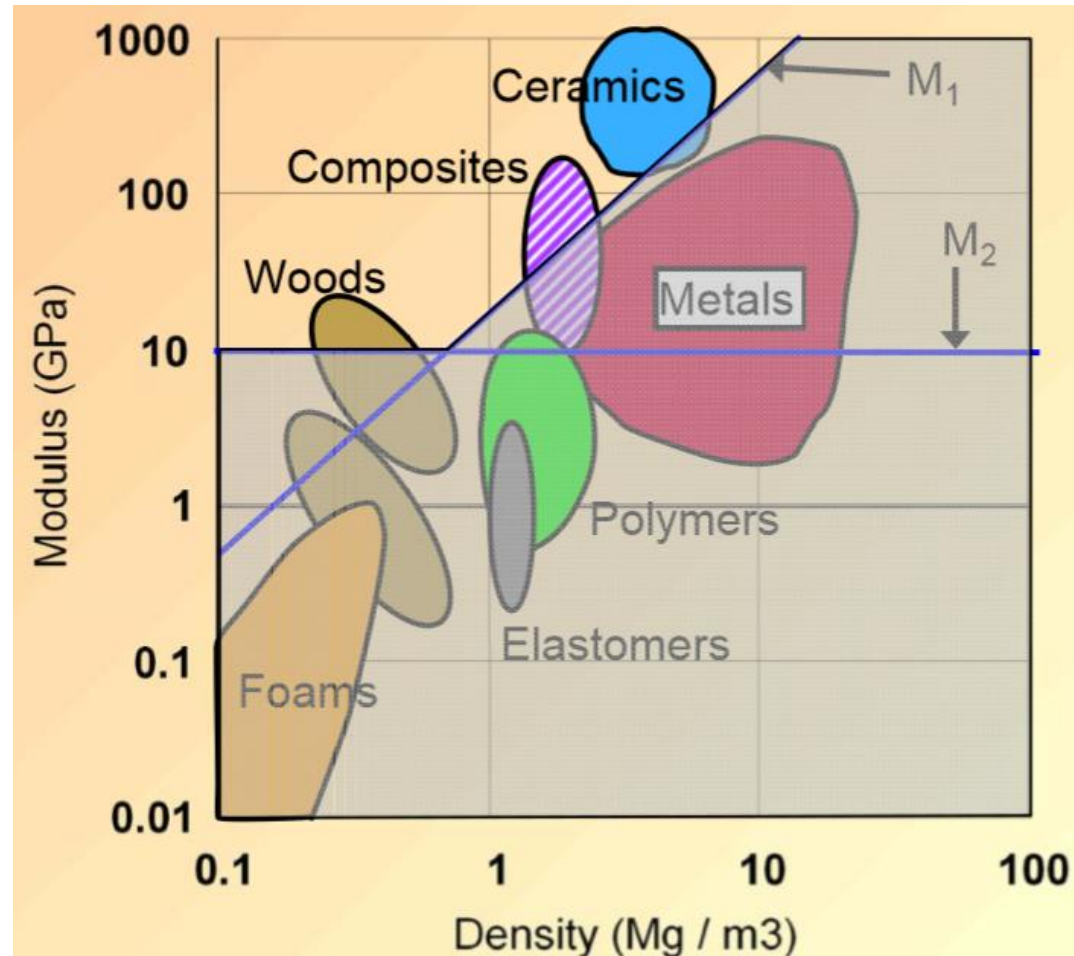
Functional Requirements Geometric Parameters Material Properties

Maximize slenderness by maximizing M_2

$$M_2 = E$$

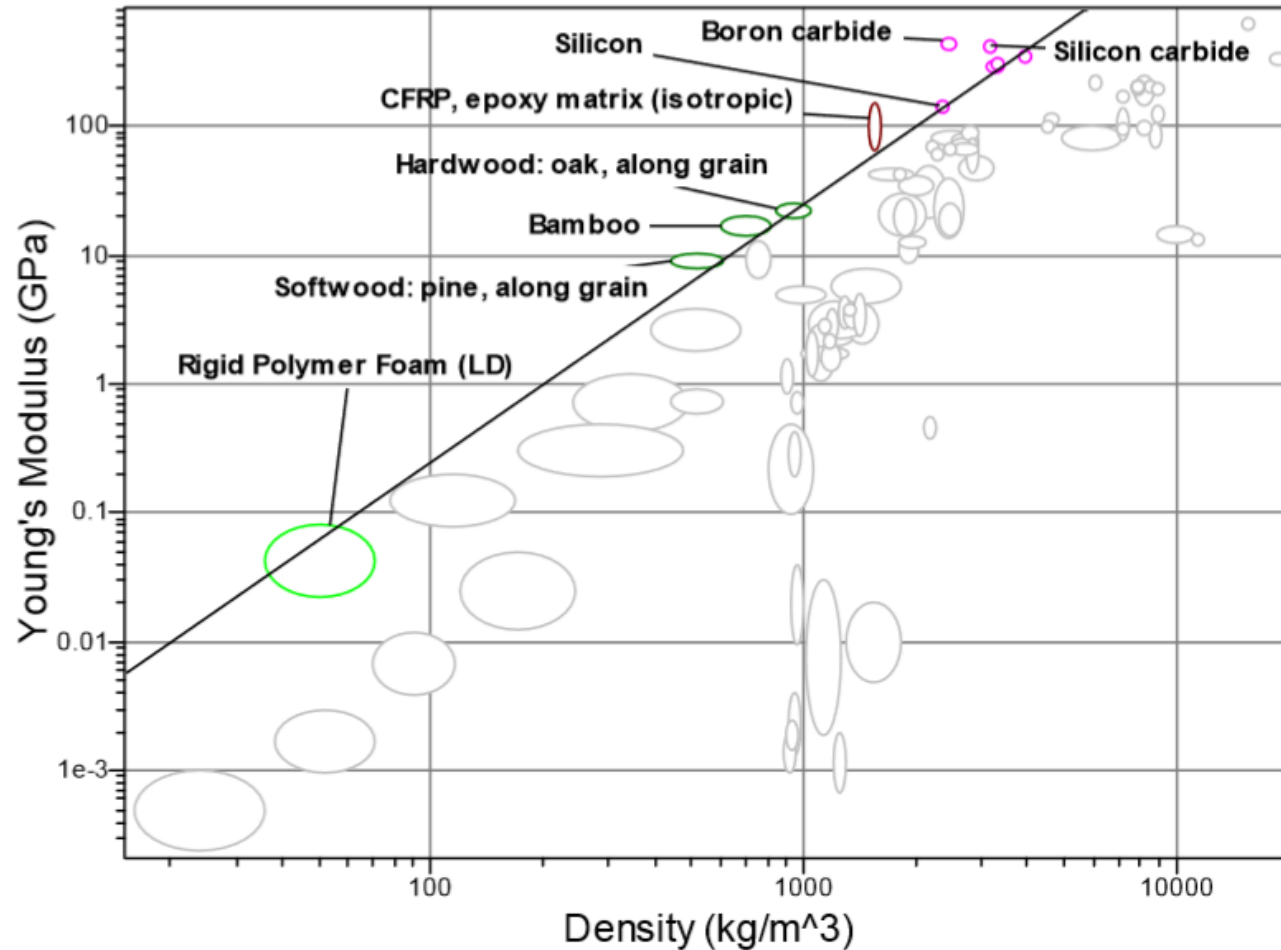
4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg

- Eliminated
 - Metal (too heavy)
 - Polymers (not stiff enough)
- Possibilities
 - Ceramics
 - Wood
 - composites
- Final choice
 - WOOD
 - Ceramic (too brittle)
 - Composites (too expensive)
- Note
 - Higher constraint on modulus eliminate wood



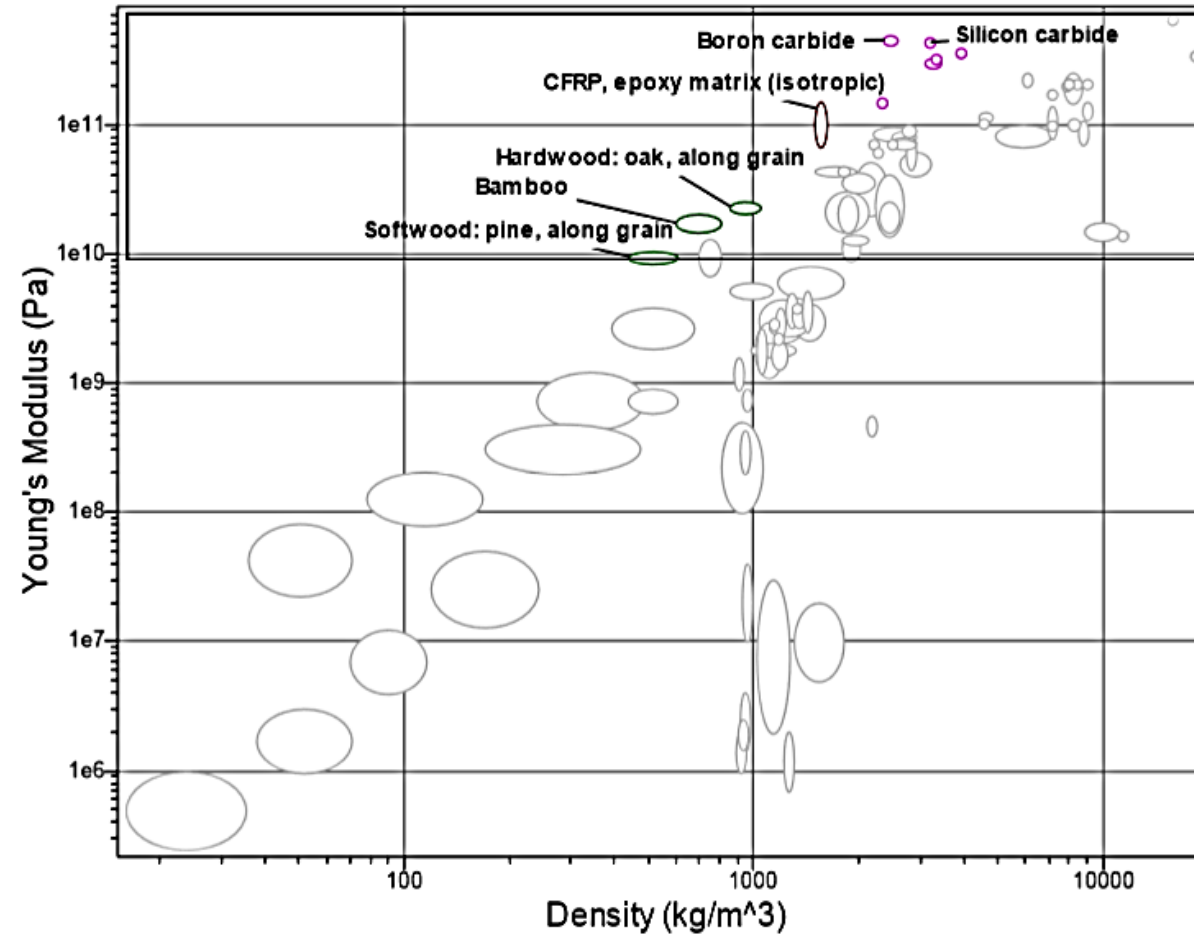
4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg

Material Index 1



4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg

Material Index 2



4.1 VÍ DỤ 1: Table Leg

Fill the table below based on the your group project task.

Tên tiêu chí	Mô tả
Chức năng	
Mục tiêu	
Ràng buộc	
Các biến khác	

4.2 VÍ DỤ 2: Materials for a Light, Strong Tie

- **Function:**
 - Support a tension load
- **Objective:**
 - Minimize mass
- **Constraints:**
 - Length specified
 - Carry load F , w/o failure
- **Free variables:**
 - Cross-section area
 - Material



- **Objective:**
 - $m = AL\rho$
- **Constraint:**
 - $F/A < \sigma_y$

4.2 VÍ DỤ 2: Materials for a Light, Strong Tie

- **Objective:**

- $m = AL\rho$

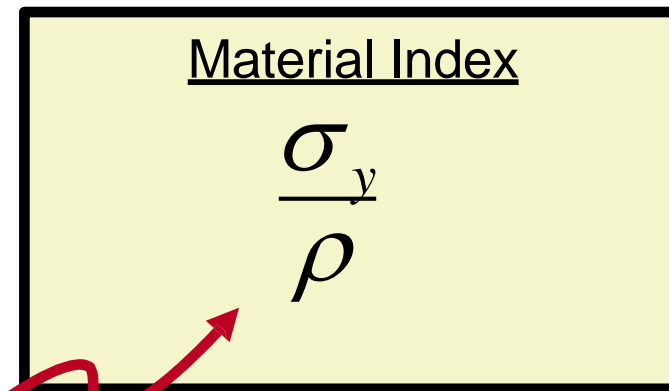
- **Constraint:**

- $F/A < \sigma_y$

- **Rearrange to eliminate free variable**

$$m \geq (F)(L) \frac{\rho}{\sigma_y}$$

- **Minimize weight by minimizing** $\frac{\rho}{\sigma_y}$



or maximize

4.2 VÍ DỤ 2: Materials for a Light, Strong Tie

- Minimize mass, m , of a solid cylindrical tie rod of length L , which carries a tensile force F with safety factor S_f . The mass is given by :

$$m = AL\rho$$

where A is the area of the cross section and ρ is the density.

This is called the Objective Function

- The length L and force F are specified; radius r is free
- The section must, however, be sufficient to carry the tensile load F , requiring that :

$$\frac{F}{A} = \frac{\sigma_f}{S_f}$$

where σ_f is the failure strength

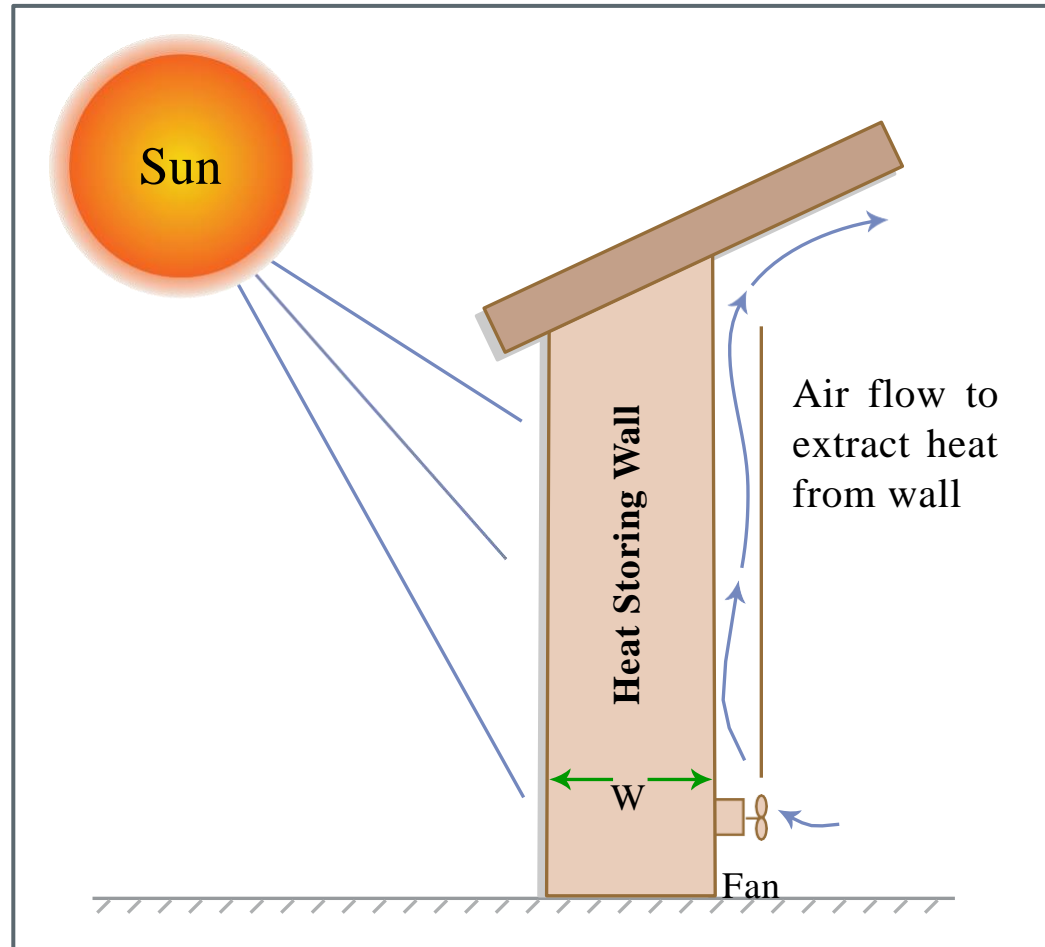
4.2 VÍ DỤ 2: Materials for a Light, Strong Tie

Fill the table below based on the your group project task.

Tên tiêu chí	Mô tả
Chức năng	
Mục tiêu	
Ràng buộc	
Các biến khác	

4.3 VÍ DỤ 3: Heat-Storing Wall

- ❑ **Outer surface heated by day**
- ❑ **Air blown over inner surface to extract heat at night**
- ❑ **Inner wall must heat up ~12h after outer wall**



4.3 VÍ DỤ 3: Heat-Storing Wall

- **Function:**
 - **Heat storing medium**
- **Objective:**
 - **Maximize thermal energy stored per unit cost**
- **Constraints:**
 - **Heat diffusion time ~12h**
 - **Wall thickness ≤ 0.5 m**
 - **Working temp $T_{max} > 100$ C**
- **Free variables:**
 - **Wall thickness, w**
 - **Material**

Heat content: $Q = w\rho C_p \Delta T$

Heat diffusion distance:

$$w = \sqrt{2at}$$

$C_p =$ **Specific Heat**

$a =$ **Thermal Diffusivity** $= \frac{\lambda}{\rho C_p}$

$\lambda =$ **Thermal Conductivity**

4.3 VÍ DỤ 3: Heat-Storing Wall

Eliminate free variable:

$$Q = \sqrt{2t\Delta T} a^{1/2} \rho C_p$$

Insert λ to obtain

Performance Eqn:

$$Q = \sqrt{2t\Delta T} \frac{\lambda}{a^{1/2}}$$

Maximize: $M_1 = \frac{\lambda}{a^{1/2}}$

Thickness restriction:

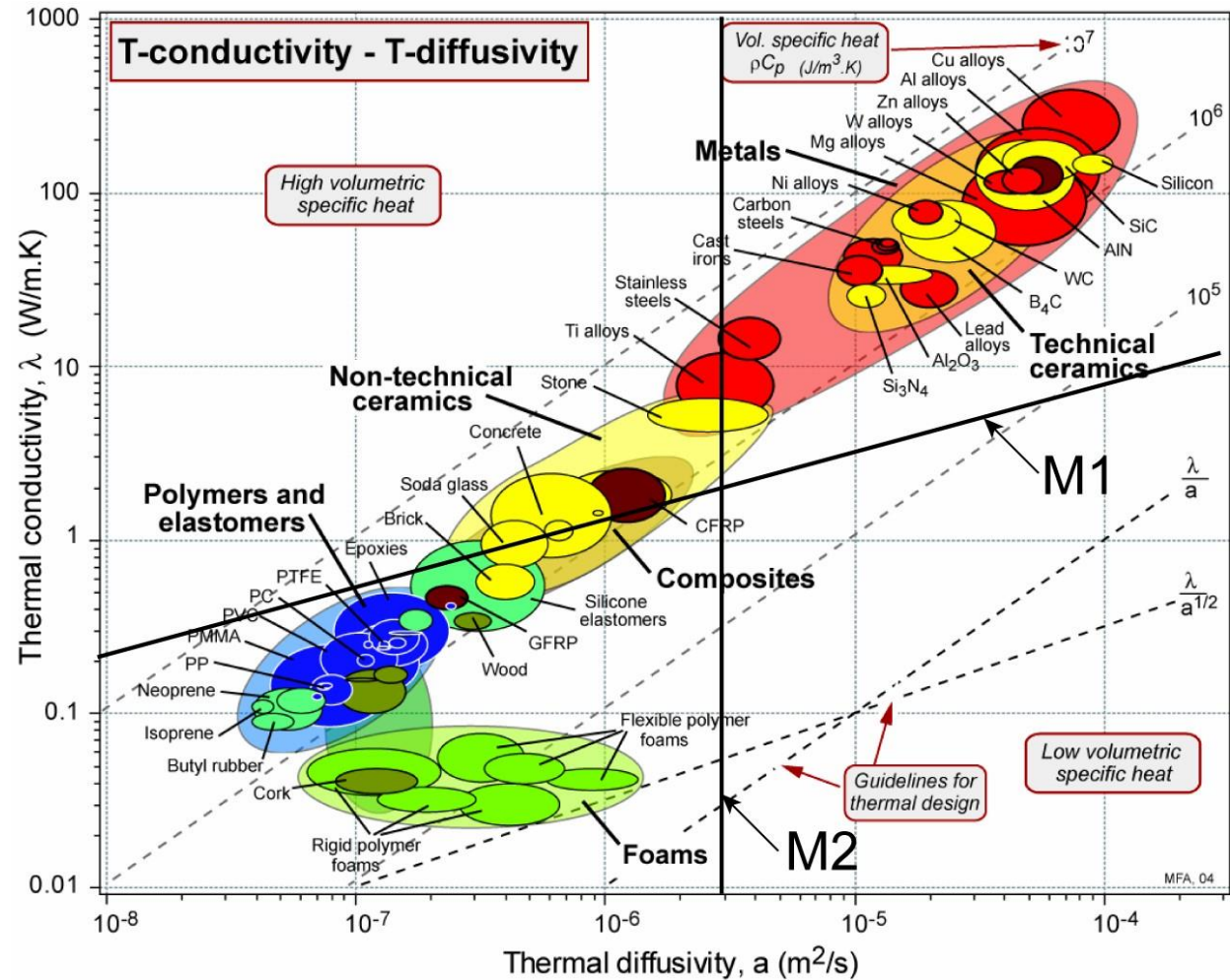
$$a \leq \frac{w^2}{2t}$$

For $w \leq 0.5$ m and $t = 12$ h:

$$M_2 = a \leq 3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

4.3 VÍ DỤ 3: Heat-Storing Wall

- ❑ **Eliminated**
 - Foams: Too porous
 - Metals: Diffusivity too high
- ❑ **Possibilities:** Concrete, stone, brick, glass, titanium(!)
- ❑ **Final Choices**
 - Concrete is cheapest
 - Stone is best performer at reasonable price



4.3 VÍ DỤ 3: Heat-Storing Wall

Fill the table below based on the your group project task.

Tên tiêu chí	Mô tả
Chức năng	
Mục tiêu	
Ràng buộc	
Các biến khác	