

Tentamen i Materialteknik för M2, 23/10 2012

Kursnr: MTT085

Tillåtna hjälpmedel: Typgodkänd räknare, Formelblad m.m. sitter sist i tentan

Anvisningar: **SVAR SKALL ALLTID ÅTFÖLJAS AV MOTIVERING.**

Frågor: Prof. Christer Persson, telefon 772 1251, Professor Antal Boldizar 772 1314

Resultatet: Anslås måndagen den 12/11

Granskning: tisdagen den 13/11 kl. 12:00-12:30 i MA
torsdagen den 15/11 kl. 12:00-12:30 i MA

Tentamen omfattar 6 sidor samt 5 bilagesidor.

Uppgift	Poäng
1 Val av polymert material	5
2 Materialval	6
3 Mekaniska egenskaper	6
4 Kristallografi	4
5 Fasdiagram	5
6 Stål	5
7 Brottsbegränsad design	4
8 Termiska egenskaper hos polymera material	5
9 Dimensionering av tvärsnitt hos plastprodukter	5
10 Tillverkningsteknik avseende termoplast	5
Summa	50

Mindre justeringar av uppgifternas poängvärde kan ske vid rättningen.

Betygsgränser

3 \geq 40%

4 \geq 60%

5 \geq 80%

Lycka till

1) Val av polymert material (5 p)

Föreslå ett lämpligt polymert material till respektive av nedan applikationer! Svara med ett fullständigt namn och vedertagen förkortning samt en kortfattad motivering till ditt materialval!

- a) En förpackning med god slagseghet i temperaturområdet -20 till $+40$ °C, god infärgbarhet, god vattenbeständighet, låg kostnad för material och kostnadseffektiva tillverkningsprocesser för mycket stora tillverkningsserier. Kraven på styvhet och styrka är måttliga (1 GPa respektive 20 MPa). (1 p)
- b) Ett optiskt fönster till ett titthål in i en apparat, där fönstret väntas utsättas för betydande slagpåkning, användning vid rumstemperatur och i sällsynta fall upp $+40$ °C och skall tåla vatten. Dimensionstabilitet och snäva toleranser krävs för avsedd infästning. (1 p)
- c) En hård och stark kåpa med hög halt glasfiberförstärkning för användning utomhus. Lågt pris är en förutsättning men seriestorleken är relativt låg (ca 100 stycken per år). Ytan behöver inte vara helt slät. (1 p)
- d) En produkt med hög styvhet, god slagseghet, relativt svåra toleranser, klarröd färg, blanka ytor och som skall elektropläteras (metalliseras). (1 p)
- e) Ett litet kuggjul, med krav på god krypresistens och utmattningsmotstånd inom ett brett temperaturområde (-20 till $+80$ °C), tåla smörjfett, dessutom god nötningsresistens och snäva toleranser även vid starkt varierande luftfuktighet. (1 p)

Svar

- a) En lämplig typ av plast är polyeten, exempelvis HDPE. Motiveras främst med kombinationen slagseghet vid -20 °C, låga kostnader och välutvecklad tillverkningsteknik. Ett alternativ till PE är PET, men till något högre kostnad.
- b) Lämpligen polykarbonat, PC, främst på grund av transparens och mycket god slagseghet. Ett alternativ är PMMA, men slagsegheten är lägre.
- c) Omättad polyester, UP, främst motiverad med kombinationen hårdhet, utomhusanvändning och hög halt glasfiberförstärkning.
- d) Lämpligen Akrylnitril-Butadien-Styren, ABS, motiverat främst med kombinationen slagseghet, blanka ytor och elektroplätning.
- e) Förslagsvis polyoximetylen, POM, motiverat med att det är det bättre av de vanligare kuggjulsmaterialen när det gäller snäva toleranser vid varierande luftfuktigheter.

2) Materialval (6p)

Du skall göra materialval för skaftet till en yxa.

- a) Skriv upp designkraven på komponenten och gör en översättning till krav på materialet: funktion, begränsningar, målfunktion, och fria variabler. (function, constraints, objective, free variables)

Svar: Funktionen hos skaftet är en balk i böjning.
Krav: sträckgräns, brottseghet, densitet, kunna formas till rätt form, korrosion
Målfunktion: Så billig som möjligt (eller så lätt som möjligt)
Fria variabler: material, tvärsnitt
(2p)

b) Välj ett materialindex för produkten (motivera) och välj ett material med hjälp av egenskapsdiagrammen.

Svar: Materialindex = $E^{1/2} / \rho * c$ (Materialindex = $E^{1/2} / \rho * c$)
(2p)

c) Vad mer än det du kom fram till i b) behöver du tänka på för att kunna göra ett bra materialval?

Industridesign, vill kunden ha materialet? Tillgänglighet av materialet, miljövänligt och återvinningsbart, tillverkningsprocess.
(2p)

Tabell över egenskapsindex och egenskapsdiagram finns bifogade längst bak.

3) Mekaniska egenskaper (5p)

En av de vanligare orsakerna till brott i metalliska material är utmattning.

a) Beskriv fenomenet utmattning och mekanismerna på mikronivå som orsakar utmattning. Vilka olika typer av utmattning finns

Svar: Utmattning fås vid växlande mekanisk belastning. Fås även när lasten är under sträckgränsen. Små sprickor initieras och tillväxer på grund av plastisk deformation vid sprickspetsen.

Typer: lågcykelutmattning = få cykler, global plasticering i varje cykel.

Högcykelutmattning = många cykler, endast lokal plasticering

(3p)

b) Varför är det svårare att dimensionera mot utmattning än andra typer av belastning?

Svar: Lasten är oftast svår att veta. Utmattning initieras vid defekter, som man inte vet hur stora de är.

(1p)

c) Vad kan man göra för att öka en komponents motstånd mot utmattning?

Svar: Öka sträckgränsen utan att minska brottsegheten för mycket. Minska förekomsten av defekter. Initiera tryckspänningar i ytan. Ytfinhet.

(1P)

4) Kristallografi (4p)

- a) Vilka olika defekter finns det i metalliska kristaller? Nämn de olika kristalldetekterna och beskriv dem.

Svar: vakanser = atomer saknas.

inlösta atomer = andra atomer ersätter atomer i gittret, små atomer sätter sig i mellanrum i kristallen.

korngränser = gräns mellan kristaller med olika orientering

dislokationer = extra halva atomplan i kristallen.

(2P)

- b) En av defektyperna har stor betydelse för plastisk deformation. Beskriv hur plastisk deformation av metaller går till på kristallnivå. Vad menas med glidsystem?

Svar: Plastisk deformation fås när dislokationer rör sig under inverkan av skjuvspänningar.

Glidsystem = glidplan + glidriktning

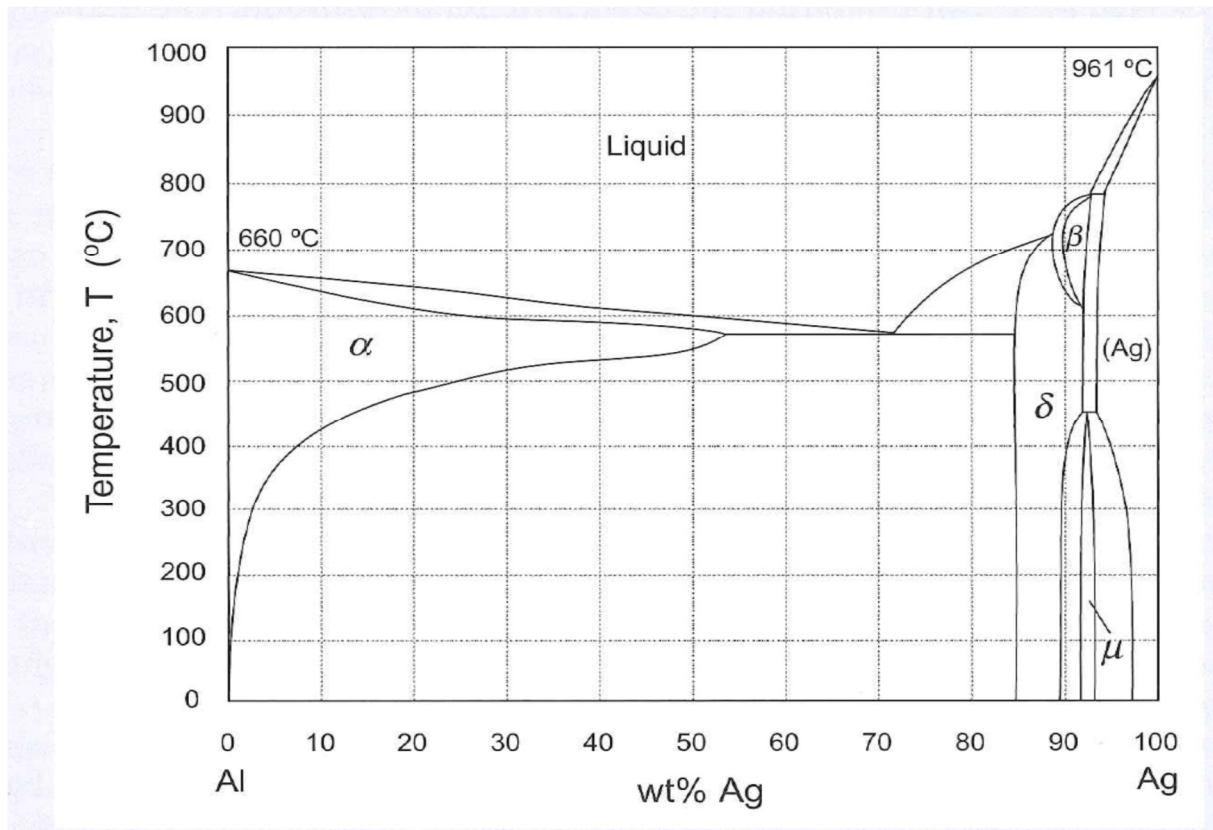
(2p)

5) Fasdiagram (5p)

En legering med 60 % aluminium (Al) och 40 % silver (Ag) gjuts, och stelns från 700°C till rumstemperatur. Ange för temperaturerna

- a) 700°C
- b) 600°C
- c) 550°C
- d) 500°C
- e) 20°C

vilka faser/strukturbeståndsdelar som finns, samt deras sammansättning och relativa andel.



Svar:

- a) 700°C (1p) smälta med 40 % Ag, andel smälta = 100 %
- b) 600°C (1p) smälta med 50 % Ag
 α -fas med 26 % Ag
 andel α -fas = $50 - 40 / 50 - 26 = 42\%$
- c) 550°C (1p) α -fas med 40 % Ag, andel α -fas = 100 %
- d) 500°C (1p) En del av α -fasen har utskiljts som β -fas med 85 % Ag
 α -fasen har 25 % Ag
 Andel β -fas = $40 - 25 / 85 - 25 = 25\%$
- e) 20°C (1p) Mer av α -fasen har ombildats till β -fas
 α -fasen har 0 % Ag
 β -fasen har 85 % Ag
 Andel β -fas = $40 / 85 = 47\%$

6) Stål (5p)

- a) Kol är det viktigaste legeringsämnet i stål. Vad har kol för inverkan på stålets mikrostruktur och mekaniska egenskaper? Hur förändras mikrostrukturen när kolhalten ändras?

Svar: C bildar tillsammans med Fe cementit, Fe_3C , en hård intermediär fas. När C-halten ökar, ökar också mängden cementit vilket ger ett hårdare stål med högre sträckgräns och brottgräns.

Vid 0 % C har vi ren ferritisk fas. När C-halten ökar upp till 0.8 % bildas allt mer perlit = blandning av ferrit och cementit. Vid 0.8 % har vi 100 % perlit. Vid högre kolhalter har vi perlit + cementit.

(3p)

- b) Stål legeras med en mängd andra legeringsämnen för att förändra stålets egenskaper. Nämn fyra anledningar till att man legerar stål.

Svar: Lösningshårdning av ferrit, ökad hårdbarhet, bilda stabilare karbider (än Fe_3C), ge rostfritt.

(2p)

7) Brottbegränsad design (4p)

När man skall välja material för tryckkärl så finns det två olika strategier man kan välja för att undvika katastrofalt brott. Beskriv de två strategierna.

Svar: 1) Läck före brott. Materialegenskaperna väljs så att vi får en given godstjocklek för en genomgående stabil spricka innan vi får ett instabilt brott.

(2p)

- 2) Plasticering före brott. Materialegenskaperna väljs så att vi får plasticering innan vi får ett instabilt brott.

(2p)

8) Termiska egenskaper hos polymera material (5 p)

- a) Vilka två typer av termiska transitioner förekommer hos polymera material och vad händer med molekylerna vid respektive transition? (1 p)
- b) Vilken av transitionerna förekommer hos alla typer av polymera material? (1 p)
- c) Du skall välja en plast till en balk som skall belastas i böjning. Viktigt är att få så låg utböjning av balken i temperaturintervallet 20 – 90 °C. Din kollega föreslår PP som det bästa av alternativen PP, PS och PBT, baserat på en jämförelse av Vicat-temperaturer. Du inser genast att PP kan vara helt fel för avsedd applikation! Förklara vad som är fel med din kollegas förslag? (3 p)

Svar

- a) Glasomvandlingstemperatur, T_g , där amorfa molekyler övergår från fast fas till vätska, dvs molekylerna blir rörliga till sin form vid T_g . (0,5 p) (Kristallin) Smältpunkt, T_m , där solida kristaller upplöses och övergår i vätska (0,5 p)

- b) T_g (1 p)

- c) Vicattemperatur avser inträngning av ett stift vid ökande temperatur, vilket inte överensstämmer med belastningsfallet böjning. (1 p)

Bättre är att jämföra Formbeständighetstemperaturer (T_{HDT}), (1 p)

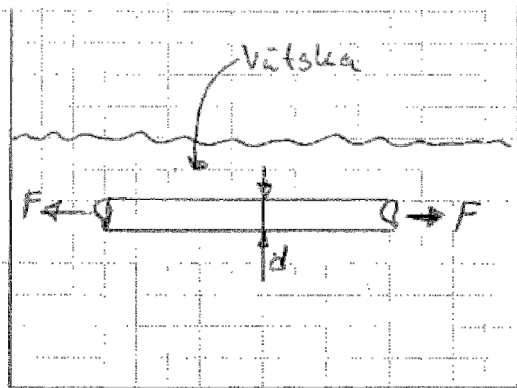
som avser utböjning vid ökande temperatur vid trepunkts böjning. (1 p)

[En stjärna i kanten till den som svarar att PS är bästa alternativet avseende T_{HDT} !]

9) Dimensionering av tvärsnitt hos plastprodukter(5 p)

Du skall dimensionera en stång av polykarbonat med cirkulärt tvärsnitt så att bestående skador inte uppstår under dess användning. En försvårande omständighet är att stången kommer att vara i kontakt med en vätska som har kompositionen 45 % koltetraklorid och 55 % isopropanol. Stången skall användas inomhus vid 23 °C och belastas med kraften F som är 28 N, se figur nedan. Avsedd belastningstid är 10^4 timmar.

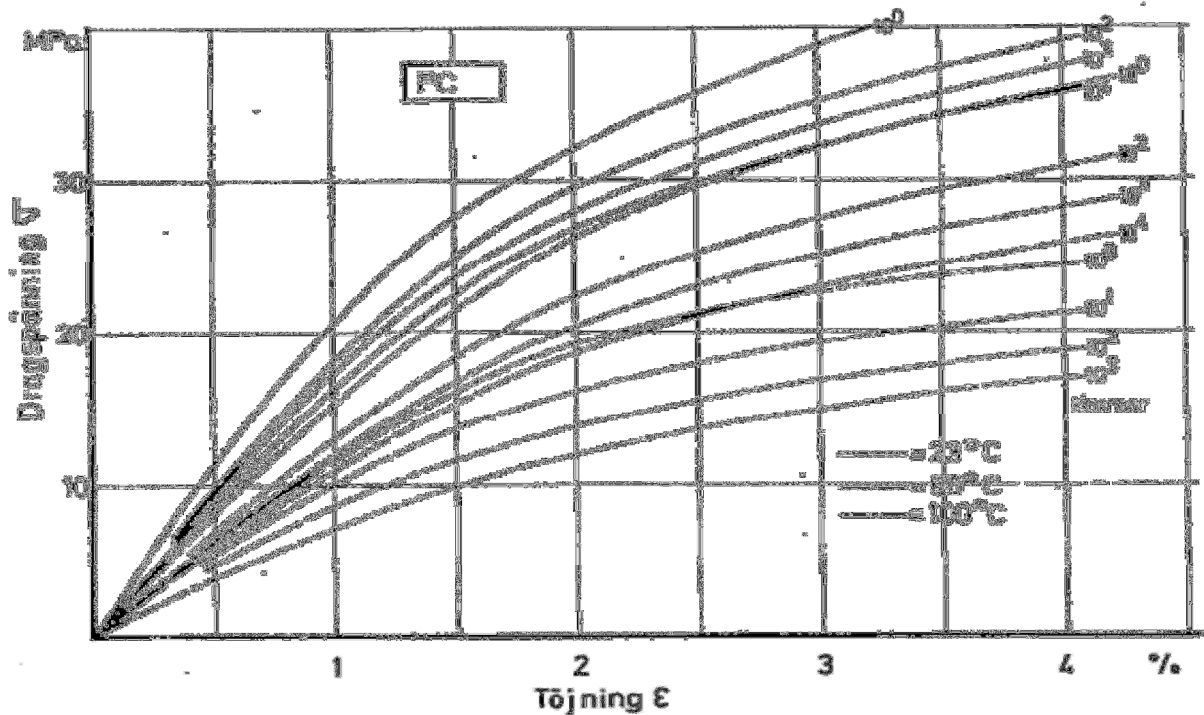
- Beräkna lämplig diameter d hos stången! Använda nedan tabell och diagram! (4 p)
- Varför kan du inte använda den spänning som ges i tabell 4.1 nedan? (1 p)



Tabell 4.1 Kritisk töjning och spänning hos PC vid kontakt med kalibreringsvätskor.
Källa: PGI-rapport nr 26.

Vätska	ϵ_{kr} (%)	σ_{kr} (MPa)*
A Koltetraklorid	0,11	2,7
B Bensylalkohol	0,18	4,5
C Koltetraklorid 85 %/ isopropanol 15 %	0,26	6,5
D Koltetraklorid 60 %/ isopropanol 40 %	0,38	9,4
E Koltetraklorid 45 %/ isopropanol 55 %	0,50	12,5

*Beräknad med en antagen elasticitetsmodul av 2 480 MPa.



Svar

- a) Vid töjningar upp till ϵ_{kr} fås inga bestående skador (mikrosprickor) i materialet. (1 p)
 Ur tabellen 4.1 fås att ϵ_{kr} hos PC i kontakt med aktuell vätska är 0,5 %. (1 p)
 Ur bifogade isokrona σ - ϵ -diagram avläses att spänningen vid 0,5 % töjning, 23 °C och 10^4 timmar är 9 MPa. (1 p)

$$\sigma = 4F/(\pi d^2) \text{ ger att } d = [4F/(\pi\sigma)]^{0,5} = [4 \cdot 28/(\pi \cdot 9)]^{0,5} = [3,961]^{0,5} = 1,99 \approx 2 \text{ mm (1 p)}$$

- b) Spänningen i tabell 4.1 kan inte användas på grund av oklarhet om vilken krypmodul som använts vid beräkningen av σ_{kr} , närmare bestämt vilken belastningstid som avses med antagen krypmodul. (1 p)

10) Tillverkningsteknik avseende termoplaster (5 p)

- a) Beskriv med en schematisk figur viskositetens beroende av skjuvhastigheten hos en typisk termoplastsmälta! Rita en tydlig figur och ange axelbeteckningar! (1 p)
- b) Beskriv en enkelskruvsextruder med en principiell figur! (1 p)
- c) Vilka är de två främsta styrparametrar vid extrudering? (1 p)
- d) Vilka är de konventionella svetsningsmetoderna för termoplaster? (2 p)

Svar

- a)

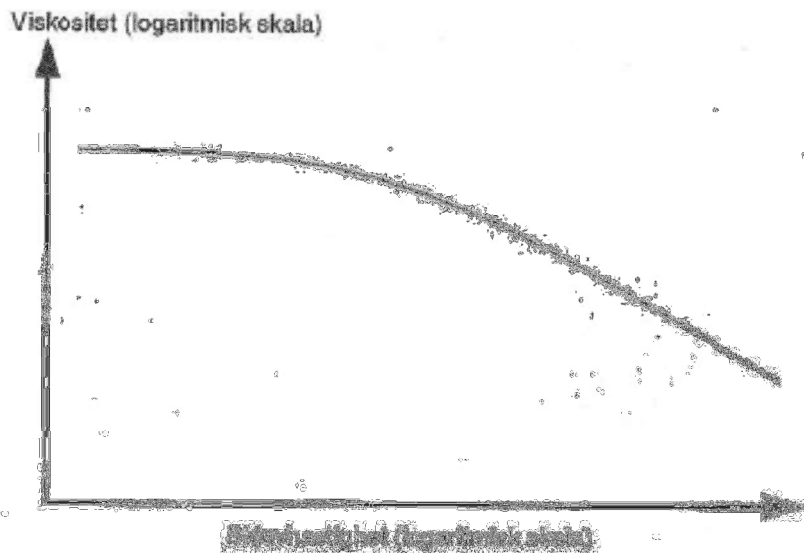


Bild 8.2 Schematiskt bild av viskositets- och skjuvspänningsförhållande. (1 p)

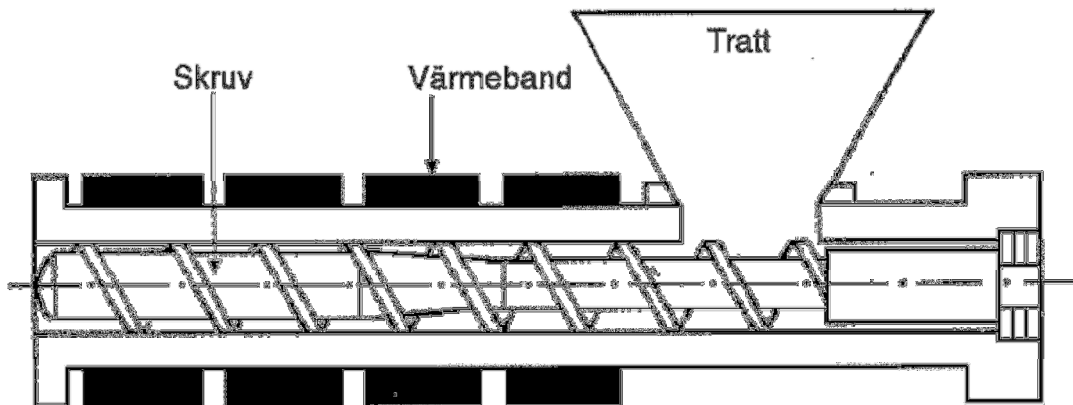


Bild 8.3 Enkelskrvsextruderns principiella utseende. (1 p)

- b) De främsta styrparametrarna är skruvarvantal och temperatur. (1 p)
- c) De konventionella svetsningsmetoderna är
 Varmluftsvetsning, Ultraljudsvetning, Friktionsvetning och Svetsning med varma verktyg
 (1/2 p per del)

[Kommentar : Högfrekvenssvetsning ger inte poäng, det är egentligen är en värmningsmetod!]

Stiffness-limited design at minimum mass (cost, energy, environmental impact)

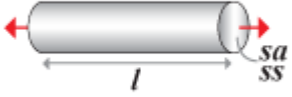
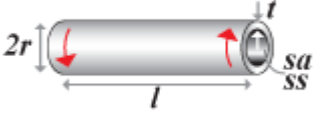
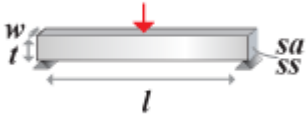
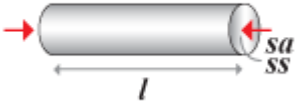
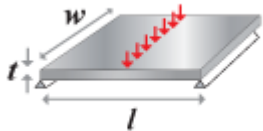
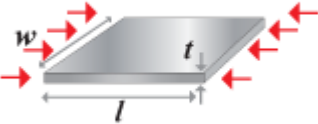
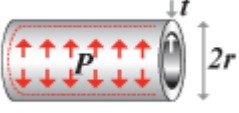
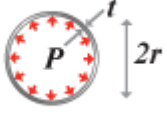
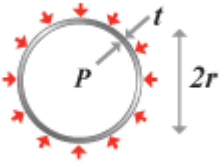
FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²	
TIE (tensile strut)		stiffness, length specified; section area free	E / ρ	ρ / E
SHAFT (loaded in torsion)		stiffness, length, shape specified, section area free	$G^{1/2} / \rho$	$\rho / G^{1/2}$
		stiffness, length, outer radius specified; wall thickness free	G / ρ	ρ / G
		stiffness, length, wall-thickness specified; outer radius free	$G^{1/3} / \rho$	$\rho / G^{1/3}$
BEAM (loaded in bending)		stiffness, length, shape specified; section area free	$E^{1/2} / \rho$	$\rho / E^{1/2}$
		stiffness, length, height specified; width free	E / ρ	ρ / E
		stiffness, length, width specified; height free	$E^{1/3} / \rho$	$\rho / E^{1/3}$
COLUMN (compression strut, failure by elastic buckling)		buckling load, length, shape specified; section area free	$E^{1/2} / \rho$	$\rho / E^{1/2}$
PANEL (flat plate, loaded in bending)		stiffness, length, width specified, thickness free	$E^{1/3} / \rho$	$\rho / E^{1/3}$

PLATE (flat plate, compressed in-plane, buckling failure)		collapse load, length and width specified, thickness free	$E^{1/3} / \rho$	$\rho / E^{1/3}$
CYLINDER WITH INTERNAL PRESSURE		elastic distortion, pressure and radius specified; wall thickness free	E / ρ	ρ / E
SPHERICAL SHELL WITH INTERNAL PRESSURE		elastic distortion, pressure and radius specified, wall thickness free	$E / (1-\nu) \rho$	$(1-\nu) \rho / E$
SPHERICAL SHELL WITH EXTERNAL PRESSURE		buckling stiffness, pressure and radius specified, wall thickness free	$E^{1/2} / \rho$	$\rho / E^{1/2}$
		buoyancy, pressure and radius specified, wall thickness free	E / ρ	ρ / E

- To minimize *cost*, use the above criteria for minimum mass, replacing density ρ by $C_m \rho$, where C_m is the material cost per kg.

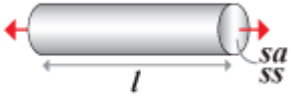
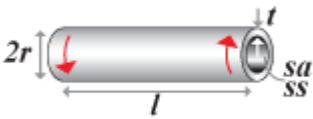
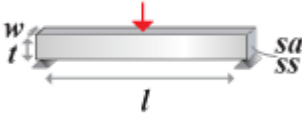
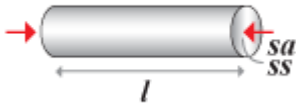
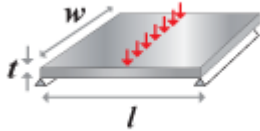
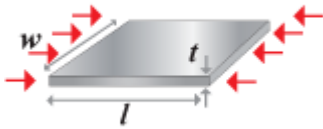
To minimize *embodied energy content* or *CO₂ burden*, use the above criteria for minimum mass, replacing density ρ by $H_m \rho$ or $CO_2 \rho$, where H_m is the embodied energy content per kg and CO_2 is the CO₂ burden per kg.

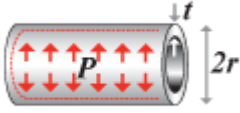
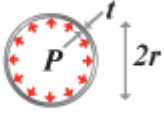
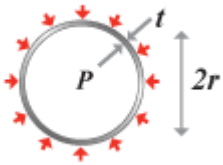
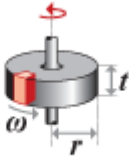
To minimize *environmental impact*, replace density ρ by $I_e \rho$ instead, where I_e is the eco-indicator value for the material.

To minimize *volume*, replace density ρ by 1 (one).

(References [\[1\]](#), [\[2\]](#) and [\[3\]](#).)
- E = Young's modulus for tension, the flexural modulus for bending or buckling;
 G = shear modulus;
 ρ = density.

Strength-limited design at minimum mass (cost, energy, environmental impact)

FUNCTION AND CONSTRAINTS ^{1, 3}		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²	
TIE (tensile strut)		stiffness, length specified; section area free	σ_y / ρ	ρ / σ_y
SHAFT (loaded in torsion)		load, length, shape specified; section area free	$\sigma_y^{2/3} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{2/3}$
		load, length, outer radius specified; wall thickness free	σ_y / ρ	σ_y / ρ
		load, length, wall-thickness specified; outer radius free	$\sigma_y^{1/2} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{1/2}$
BEAM (loaded in bending)		load, length, shape specified; section area free	$\sigma_y^{2/3} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{2/3}$
		load length, height specified; width free	σ_y / ρ	ρ / σ_y
		load, length, width specified; height free	$\sigma_y^{1/2} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{1/2}$
COLUMN (compression strut)		load, length, shape specified; section area free	σ_y / ρ	ρ / σ_y
PANEL (flat plate, loaded in bending)		stiffness, length, width specified, thickness free	$\sigma_y^{1/2} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{1/2}$
PLATE (flat plate, compressed in-plane, buckling failure)		collapse load, length and width specified, thickness free	$\sigma_y^{1/2} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{1/2}$

CYLINDER WITH INTERNAL PRESSURE		elastic distortion, pressure and radius specified, wall thickness free	σ_y / ρ	ρ / σ_y
SPHERICAL SHELL WITH INTERNAL PRESSURE		elastic distortion, pressure and radius specified, wall thickness free	σ_y / ρ	ρ / σ_y
SPHERICAL SHELL WITH EXTERNAL PRESSURE		strength, pressure and radius specified, wall thickness free	σ_c / ρ	ρ / σ_c
		buckling strength, pressure and radius specified, wall thickness free	$\sigma_y^{2/3} / \rho$	$\rho / \sigma_y^{2/3}$
FLYWHEELS, ROTATING DISKS		maximum energy storage per unit volume; given velocity	ρ	ρ
		maximum energy storage per unit mass; no failure	σ_y / ρ	ρ / σ_y

1. To minimize *cost*, use the above criteria for minimum mass, replacing density ρ by $C_m \rho$, where C_m is the material cost per kg.

To minimize *embodied energy content* or *CO₂ burden*, use the above criteria for minimum mass, replacing density ρ by $H_m \rho$ or $CO_2 \rho$, where H_m is the embodied energy content per kg and CO_2 is the CO₂ burden per kg.

To minimize *environmental impact*, replace density ρ by $I_e \rho$ instead, where I_e is the eco-indicator value for the material.

To minimize *volume*, replace density ρ by 1 (one).

