

## Tentamen i Materialteknik för M2, 2011-01-13

Kursnr: MTT085

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

Anvisningar: **Tesen skall lämnas in tillsammans med lösningarna.**

**SVAR SKALL ALLTID ÅTFÖLJAS AV MOTIVERING.**

Frågor: Prof. Christer Persson, telefon 772 1251 Prof. Antal Boldizar 772 1314 Univ. lektor Mats Norell, telefon 0730 34 6373

Resultatet: Anslås fredagen den 3/2

Granskning: Tisdagen den 7/2 kl. 12:00-12:15 i MA  
Tisdagen den 14/2 kl. 12:00-12:15 i MA

Tentamen omfattar 7 sidor samt 5 bilagesidor.

Uppgift	Poäng
1 Förloppet vid produktutveckling	3
2 Materialval	6
3 Utmattning	5
4 Kristallografi	4
5 Fasdiagram	5
6 Stål	5
7 Korrosion av järn	4
8 Viskoelasticitet och termiska egenskaper	7
9 Dimensionering av plastprodukter	3
10 Miljöanpassning av plastprodukter	2
<b>Summa</b>	<b>50</b>

Betygsgränser

3  $\geq$  40%

4  $\geq$  60%

5  $\geq$  80%

*Lycka till*

## 1. Förloppet vid produktutveckling (3 p)

Vid vidareutveckling (Redesign) av befintlig produkt, exempelvis vid förbättring av prestanda, görs normalt en serie detaljerade ingenjörsmässiga val i 10 steg. Dessa steg kan indelas i tre faser.

I en första fas görs en översyn och definition av nya förbättrade önskemål på produkten, sedan en omformulering av önskemålen till en teknisk kravspecifikation, därefter används kravspecifikationen till att till att grovsålla fram ett flertal möjliga material till produkten och slutligen en närmare granskning av valbara materialalternativ (både för- och nackdelar).

**Frågan här är:** Vad som görs i den andra fasen? Svara kortfattat med att beskriva de tre ingående stegen i turordning och med huvudsakligt arbetsinnehåll!

**Ledning:** I den avslutande tredje fasen tas produktionsverktyg fram, produktionsberedning, tillverkning av provserier och slutjustering av produktionsutrustning.

**Svar**

### Konstruktiv detaljutformning, hänsyn till återvinning (1 p)

Här skall produkten utformas geometriskt. Hänsyn tas till såväl mekaniska egenskaper (exempelvis hållfasthet, styvhet och slagseghet) som formgivning. Eventuellt omprövas materialvalet.

### Val av bearbetningsmetod (1 p)

Beaktande av lämpliga tillverkningsmetoder (bearbetningsmetod), produktionsverktyg och monteringsmetoder för materialalternativen. Målet är här att få fram driftsäkra produktionsprocesser för avsedda kvalitetskrav.

### Val av material (1 p)

Här sker val av material med tillhörande konstruktion och tillverkningsmetod. Valet baseras tydligt på föregående 6 steg, vanligen också undersökning av prototyper och uppskattningar av kostnader.

## 2) Materialval (6p)

Du skall välja material till en karbinhake som bland annat används vid sportklättring. Karbinhaken används för att sammanbinda två eller flera slingor eller rep, eller för att sätta fast ett rep i utrustning, säkringar eller bultar. (Du skall välja material till haken, inte till grinden)



Karbinhake



Karbinhake använd för att sammanbinda tre rep

a) Skriv upp designkraven på produkten: funktion, begränsningar, målfunktion, och fria variabler.  
(function, constraints, objective, free variables)

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

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

Tabell över egenskapsindex och egenskapsdiagram finns bifogade längst bak.

### Svar

a)

Funktion: Överföra kraft från rep till karbin utan att plasticera => balk i böjning

Krav: Viss styvhet, sträckgräns, hög brottseghet, korrosionsmotstånd, densitet, kunna formas

Målfunktion: så lätt som möjligt

Fria variabler: tvärsnitt, material

b)

Lätt balk i böjning, ingen plasticering =>  $\sigma_y^{2/3}/\rho$

Härdbar aluminium är ett bra val.

c) Möjliga tillverkningsmetoder, miljöhänsyn, pris

### 3) Utmattning (5p)

Utmattning är en av de vanligaste haveriorsakerna för till exempel bilar, flygplan, maskiner och järnvägsräls.

- a) Beskriv fenomenet utmattning.
- b) Vilka mekanismer i materialet är det som gör att vi får utmattning?
- c) Rita en principskiss på hur data från utmattningsprovning ser ut. Vad menas med lågcykelutmattning, högcykelutmattning och utmattningsgräns?

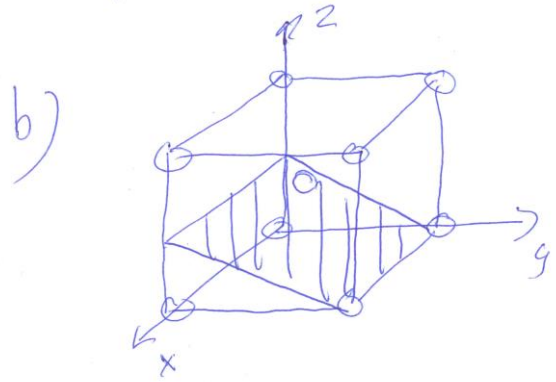
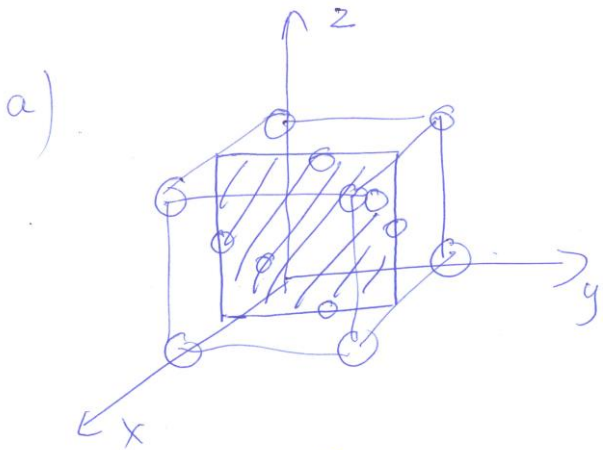
#### Svar

- a) Utmattning uppkommer vid upprepad cyklisk belastning. Belastningen kan vara under sträckgränsen, men måste vara över utmattningsgränsen. En spricka initieras, vanligen vid någon defekt i materialet. Sprickan tillväxer i varje lastcykel på grund av plasticering vid sprickspetsen. När komponenten har mist sin lastbärande förmåga fås slutligen restbrott.
- b) Upprepad plastisk deformation vid sprickspetsen.
- c) Högcykelutmattning: utmattning under sträckgränsen, ingen global plasticering utan endast plasticering vid lokalt vid sprickspetsen, många cykler  
Lågcykelutmattning: utmattning över sträckgränsen, mer utbredd plasticering, få cykler  
Utmattningsgräns = den spänning under vilken ingen utmattning sker (praktiskt ofta den spänning som ger en livslängd på  $10^7$  cykler)

### 4) Kristallografi (4p)

- a) Rita en FCC-enhetscell. Rita ut ett (2 0 0)-plan i enhetscellen.
- b) Rita en BCC-enhetscell. Rita ut ett (0 1 2)-plan i enhetscellen.

#### Svar



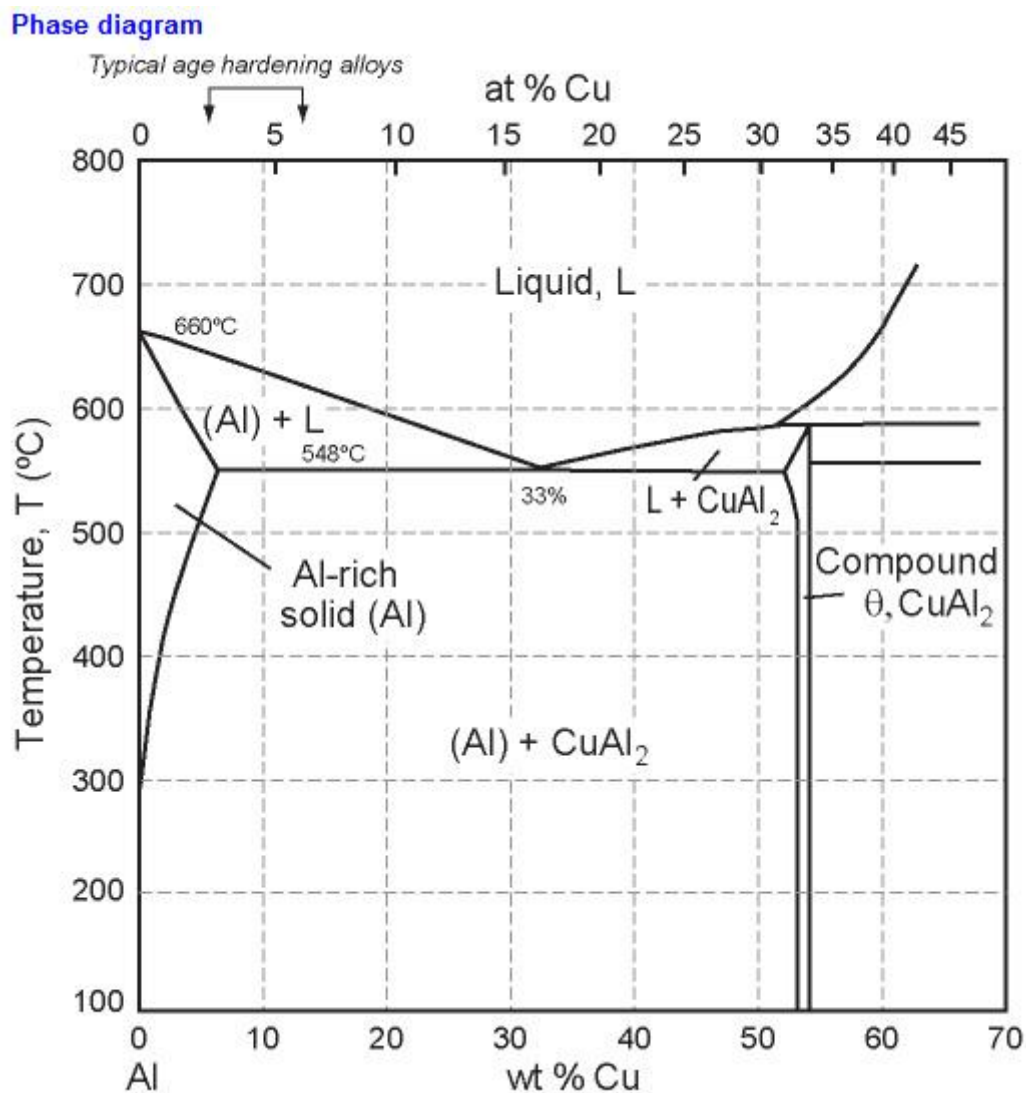
## 5) Härdning av aluminium(5p)

Aluminium är en mycket mjuk metal, men kan med hjälp av olika härdningsmekanismer fås betydligt hårdare.

a) Beskriv utskiljningshärdning, med avseende på mekanismer och process.

b) Vilka andra härdningsmekanismer kan användas för att få hårdare aluminium? Beskriv.

c) Vad är för och nackdelar med de olika metoderna?



### Svar

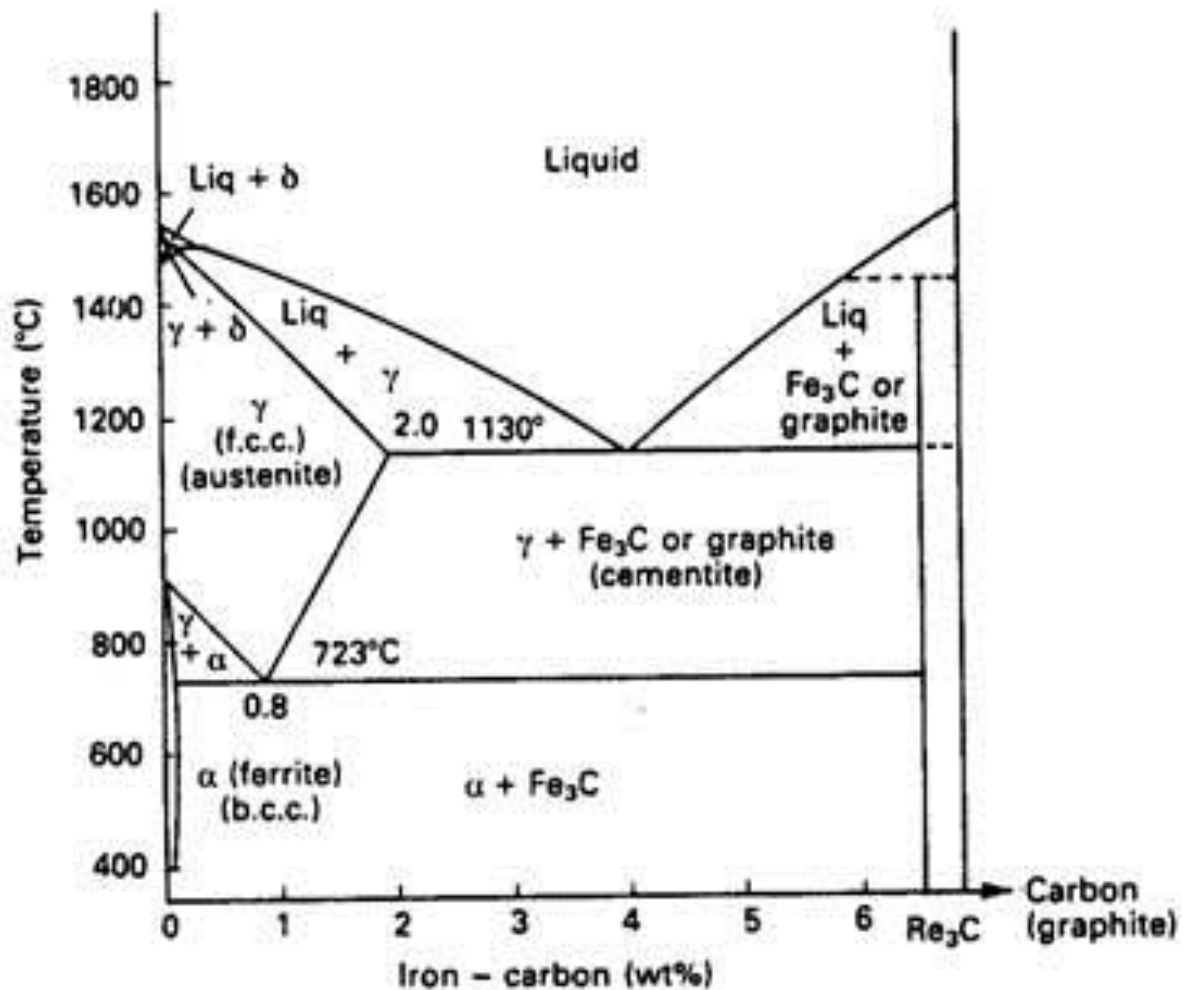
a) För att åstadkomma utskiljningshärdning så måste Al legeras med något annat ämne som kan bilda utskiljningar vid avsvälning. Härdningen sker sedan i tre steg:

1. Upplösningsbehandling = värmning till enfasområde.
2. Snabbkylning. Eftersom materialet snabbkyls förhindras diffusion och inga utskiljningar kan bildas => övermättad fast fas.

3. Åldring = värmning till en temperatur inom tvåfasområdet. Ökad temperatur ger diffusion, och små utskiljningar bildas.
- b) Lösningshårdning: Inlösta atomer hindrar dislokationsrörelse. Atomer med lämplig storlek tillsäts smältan och bildar fast lösning vid avsvälning.  
Deformationshärdning: Vid plastisk bearbetning, t.ex. valsning, smidning, pressning, bildas en stor mängd dislokationer som hindrar dislokationsrörelse.
- c) Lösningshårdning: enkel och billig, ingen värmebehandling, okänslig för värme  
Deformationshärdning: sker under formningsprocessen, uppvärmning kan ge rekristallisation så att härdeffekten försvinner  
Utskiljningshärdning: Kräver värmebehandling, stor härdningseffekt

## 6) Stål (5p)

- a) Ett stål med 1.1 % kolhalt värms till 900°C, och får därefter luftsvälva till rumstemperatur. Ange vid
- 1) 900°C
  - 2) 750°C
  - 3) 400°C
- vilka strukturbeståndsdelar som finns, deras respektive kolhalt, och deras viktsandel i materialet.
- b) Vad händer om man i stället för luftsvälning
- 1) snabbkyler
  - 2) kyler mycket långsamt



**Svar**

a)

1) 900°C: 100% austenit med 1.1% C.

2) 750°C: cementi med % 6.7C  
austenit med 0.9%C

$$\text{viktsandel austenit} = (6.7 - 1.1) / (6.7 - 0.9) = 0.97$$

3) 400°C: Vid 723°C omvandlas austeniten till perlit. Vid avsvälning till 400°C förändras inte materialet. Vi har därför:

cementi med % 6.7C

perlit med 0.8%C

$$\text{viktsandel perlit} = (6.7 - 1.1) / (6.7 - 0.8) = 0.95$$

b)

1) För att bilda perlit krävs det att kolatomerna kan diffundera. Om man snabbkyler kan därför inte perlit bildas, utan det bildas martensit.

2) Om man kyler mycket långsamt kommer man att få en grövre perlitstruktur, vilket ger ett mjukare material.



## 8. Viskoelasticitet och termiska egenskaper (7 p)

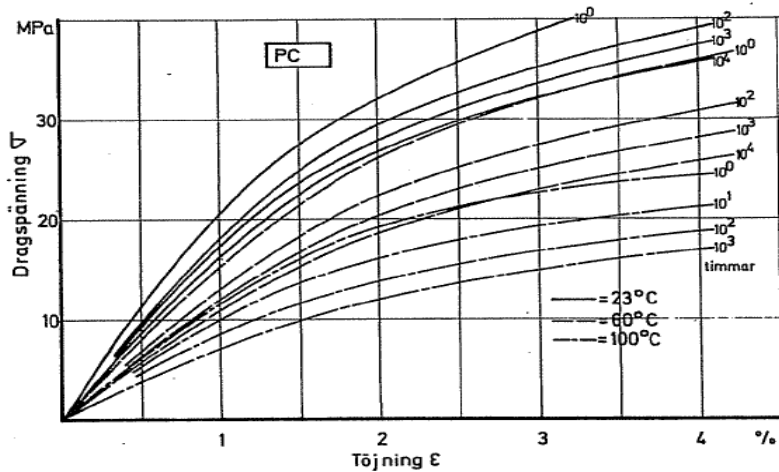
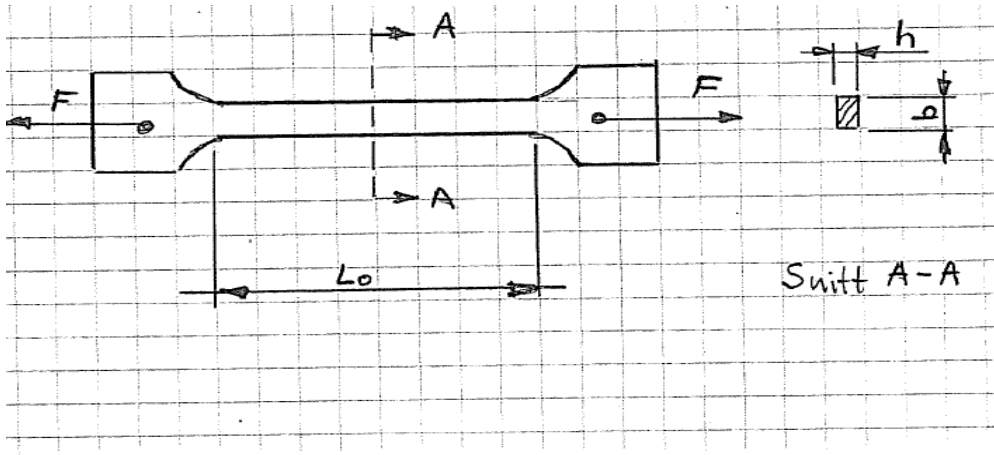
- a) Då man belastar en polymer enaxligt med en konstant spänning kommer deformationen att öka med tiden, materialet kryper. Ge en kvalitativ förklaring utgående från polymerens kedjestruktur (eller molekylstruktur)? (1 p)
- b) Rita i ett enkelt diagram upp hur elasticitetsmodulen beror av temperaturen hos en delkristallin termoplast. Beskriv även karaktären hos materialet i lämpliga temperaturområden och i vilket temperaturområde som materialet normalt används! (4 p)
- c) Inom normalt termiskt användningsområde kan man tycka att amorfa termoplaster har ett mer fördelaktigt beroende av temperaturen, jämfört med styvheten hos delkristallina termoplaster inom normalt användningsområde. På vilket sätt kan man tycka att styvheten hos amorfa termoplaster utvecklas snällare med temperaturen? (1 p)
- d) Rita motsvarande kurva som i uppgift b) men för ett gummimaterial! (1 p)

### Svar

- a) Då materialet belastas ändras polymerkedjornas konformation (form), små förändringar av konformationen går snabbt och ger ett litet bidrag till deformationen. Varje konformationsändring svarar ju mot en liten "makroskopisk" töjning. Större konformationsändringar kräver längre belastningstid, men ger å andra sidan ett större bidrag till deformationen. Deformationen blir alltså tidsberoende. (1 p)
- b) Med ökande temperatur ses först en huvudsakligen konstant styvhet, kring  $T_g$  avtar styvheten i ett steg, mellan  $T_g$  och  $T_m$  sjunkande styvhet i ökande grad, vid passage genom  $T_m$  starkt sjunkande i princip upphör styvhet hos vätska då vätskor inte har en egentlig elasticitetsmodul. (1,5 p)  
Karaktären under  $T_g$  är spröd solid fas, mellan  $T_g$  och  $T_m$  seg solid och över  $T_m$  vätska (1,5 p)  
Delkristallina termoplaster används vanligen i temperaturer mellan  $T_g$  och  $T_m$  (1 p)
- c) Inom normalt användningsområde för amorfa termoplaster är styvheten i princip konstant (1 p)
- d) Med ökande temperatur ses två styvhetsnivåer, som skiljs av glasomvandlingstemperaturen ( $T_g$ ). Vid temperaturer över  $T_g$  är styvheten relativt hög (ca 3 GPa), medan över  $T_g$  är styvheten betydligt lägre. (1 p)

### 9. Dimensionering av plastprodukter (3 p)

Beräkna tjockleken  $h$  hos provstav av polykarbonat (PC) enligt nedan figur om förlängningen av  $L_0$  skall vara 0,5 % vid rumstemperatur efter 1.000 timmar vid dragbelastningen  $F$  i pilarnas riktning på 180 N och om bredden  $b$  är 10 mm!



#### Svar

Ur isokrona  $\sigma$ - $\epsilon$ -diagram fås att spänningen är 9 MPa vid RT, 0,5 % töjning och  $10^3$  h (1 p).

Beräkningen av tjockleken utgår från sambandet  $\sigma = F/(bh)$ , därmed är  $h = F/(\sigma b)$  (1 p)

Insatta värden ger att  $h = 180 / (9 \times 10) = 2$  mm (1 p)

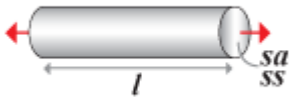
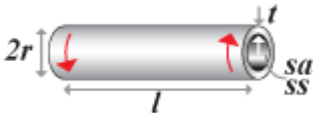
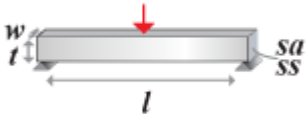

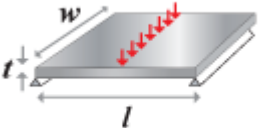
### **10. Miljöanpassning av plastprodukter (2 p)**

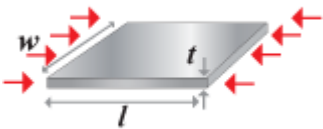
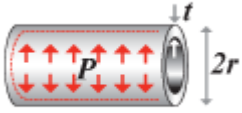
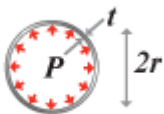
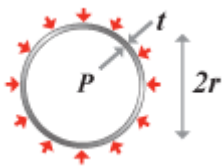
Inför materialåtervinning indelas vanligen insamlade plaster i tre grupper, där grupperna skiljer vad gäller lämplighet för materialåtervinning. Vilka tre grupper avses? Förklara varför det är lämpligt med en sådan indelning! (2 p)

#### **Svar**

Indelningen är Sorterat produktionsspill, Sorterade uttjänta produkter och Osorterade uttjänta produkter. Indelningen är lämplig på grund av ökande behov av rening och ökande svårigheter vid efterföljande tillverkningsprocesser samt därmed sammanhängande ökande kostnader. (2 p)

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

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

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

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

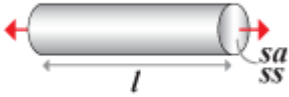
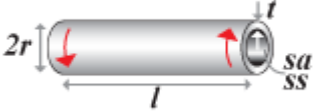
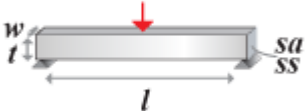
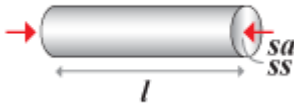
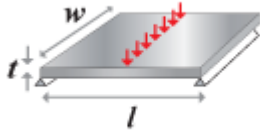
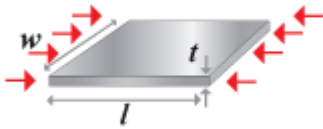
To minimize *embodied energy content* or *CO<sub>2</sub> burden*, use the above criteria for minimum mass, replacing density  $\rho$  by  $H_m \rho$  or  $CO_2 \rho$ , where  $H_m$  is the embodied energy content per kg and  $CO_2$  is the CO<sub>2</sub> burden per kg.

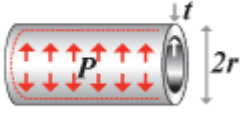
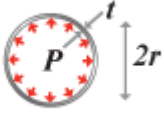
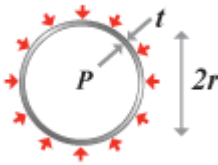
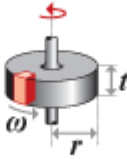
To minimize *environmental impact*, replace density  $\rho$  by  $I_e \rho$  instead, where  $I_e$  is the eco-indicator value for the material.

To minimize *volume*, replace density  $\rho$  by 1 (one).

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

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

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

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

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

To minimize *embodied energy content* or *CO<sub>2</sub> burden*, use the above criteria for minimum mass, replacing density  $\rho$  by  $H_m\rho$  or  $CO_2\rho$ , where  $H_m$  is the embodied energy content per kg and  $CO_2$  is the CO<sub>2</sub> burden per kg.

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

To minimize *volume*, replace density  $\rho$  by 1 (one).

