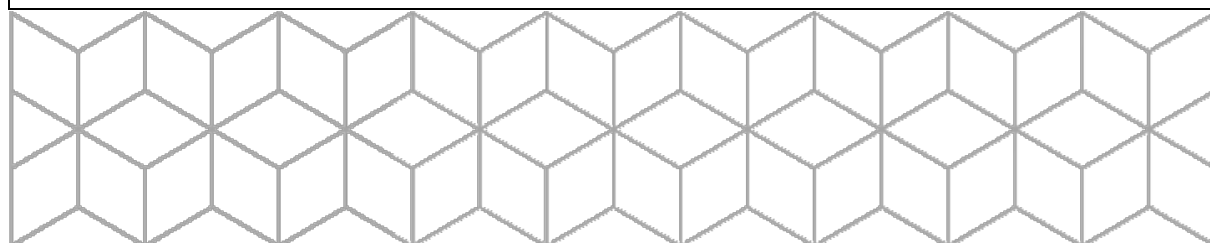


# SENSORVEILEDNING

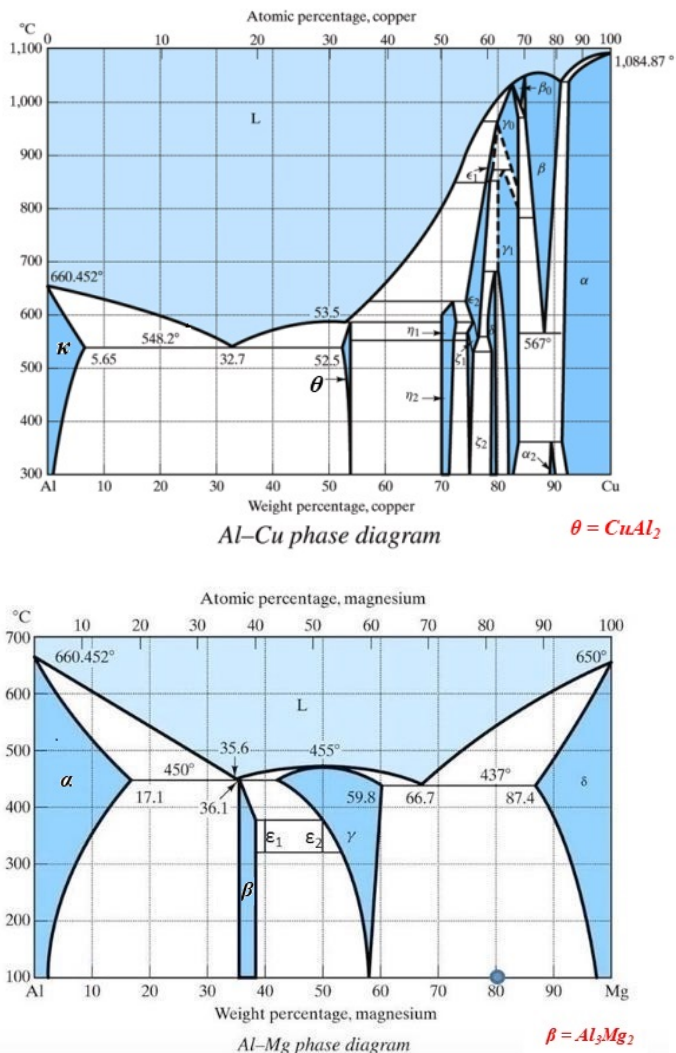
<b>Emnekode:</b> IRM34513	<b>Emnenavn:</b> Avanserte materialer
<b>Dato:</b> 28.11.2017 <b>Sensurfrist:</b> 19.12.2017	<b>Eksamenstid:</b> KL 0900-1300
<b>Antall oppgavesider:</b> 9 <b>Antall vedleggsider:</b> 2	<b>Faglærer:</b> Litian Wang 472 88 765 Anna-Lena Kjøniksen 919 91 942 <b>Oppgaven er kontrollert:</b> Ja
<b>Hjelpemidler:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Kalkulator, skrivesaker.</li><li>- All trykne og skrevne</li></ul>	
<b>Om eksamensoppgaven:</b> <p style="text-align: center;"><b>Delene veier likt.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Alle besvarelser må begrunnes</b></p>	
<b>Kandidaten må selv kontrollere at oppgavesettet er fullstendig</b>	



## Del 1 Metalliske materialer og materialvalg

### Oppgave 1:

Figuren nedenfor viser fasediagrammet til legeringene Al-Cu og Al-Mg, henholdsvis.



Figur 1: Likevekt fasediagram til Al-Cu og Al-Mg legeringer.  $\theta$  og  $\beta$  er to intermetalliske faser.

- a) (50%) Forklar hvordan ser mikrostruktur til følgende to legeringer ut
- AL-32,7%Cu og
  - Al-35,6%Mg.

Kan du si noe om mekaniske egenskaper til legeringene ovenfor?

Dette dreier seg om to eutektikum:

Eutektikumet i AL-32,7%Cu: Utregning  $\rightarrow (W_{\kappa} = 42,3\%, W_{\theta} = 57,7\%)$

Mikrostruktur: Lamell struktur med vektforhold  $\kappa: \theta = 2:3$

+Tegning

Eutektikumet i AL-35,6%Mg: Utregning  $\rightarrow (W_{\alpha} = 2,6\%, W_{\beta} = 97,4\%)$

Mikrostruktur: Lamell struktur med vektforhold  $\alpha: \beta = 1:40$

+Tegning

Mekaniske egenskaper: Siden  $\theta$  og  $\beta$  faser er intermetalliske forbindelser, altså ikke-metaller, er de derfor harde og sprøe. Eutektikumer vil være også harde og sprøe. Legeringen AL-35,6%Mg dermed det verste.

- b) (25%) I kommersielle Al-Cu og Al-Mg legering, er Cu-innhold og Mg-innhold lave. Forklar hvorfor må innhold på Cu og Mg være under 5,65%-Cu og 17,1%-Mg, henholdsvis?

Når  $Cu > 5,65\%$  og  $Mg > 17,1\%$ , vil eutektikum bli dannet. Her vil man hindre dannelse av eutektikum i det hele tatt.

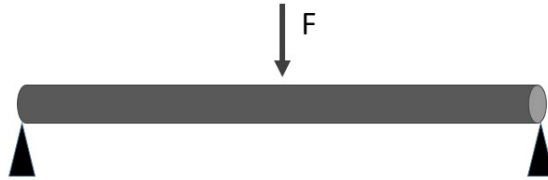
Når  $Cu < 5,65\%$  og  $Mg < 17,1\%$ , vil det være mulig å få  $\theta$  og  $\beta$  fasene i form av partikler utfelles (precipitation) fra  $\kappa$  og  $\alpha$  matrisen slik at matrisen kan forsterkes/herdes.

- c) (25%) Forslå én Al-Cu eller Al-Mg legering, samt varmebehandlings prosedyre og herdingsmekanisme knyttet til prosedyren.

Det handling om utfellingsherding: Etter legering blir relativt hurtig nedkjølt, kan den varmes opp (under den nedre venstre kurven), og oppholdes over lengre tid (f. eks. 4 timer – ett døgn) slik at  $\theta$  og  $\beta$  partikler felles ut. Dette er en diffusjons prosess, og det trenger tid!

## Oppgave 2

En sylindrisk bjelke med lengden  $l$  og radius  $r$  blir utsatt en belastning  $F$  på midten. Se figuren nedenfor.



Figur 2: Sylindrisk bjelke med belastning F.

- a) (20%) Hvordan definerer man stivheten til bjelken?

$$S = \frac{\text{belastning}}{\text{nedbøying}} = \frac{F}{\delta_{max}}$$

- b) (30%) Hvordan påvirker lengden og tykkelsen bjelkens stivheten?

$$\delta_{max} = K * \left(\frac{F}{EI}\right) * L^3$$

$$S = \frac{F}{\delta_{max}} = K^{-1} * \left(\frac{EI}{L^3}\right), \text{ hvor } K = 48 \text{ og } I = \frac{\pi}{2} r^4$$

$$S = \frac{F}{\delta_{max}} = \left(\frac{E}{K}\right) \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{r^4}{L^3}\right)$$

$$\text{Dermed } S \sim \left(\frac{r^4}{L^3}\right)$$

- c) (50%) Definer material indeks for stiv og lett bjelke  $M_{lett, stiv}$ .

$$\text{Fra } S = \left(\frac{E}{K}\right) \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{r^4}{L^3}\right) \rightarrow \rightarrow r^4 = S * L^3 * \left(\frac{2}{\pi}\right) \left(\frac{K}{E}\right)$$

Vekten skal bli

$$m = \rho V = \rho * L * (\pi r^2) = \rho \pi L \left(S * L^3 * \left(\frac{2}{\pi}\right) \left(\frac{K}{E}\right)\right)^{\frac{1}{2}}$$

Letthet = 1/ masse

$$\rho^{-1} \pi^{-1} L^{-1} \left(S * L^3 * \left(\frac{2}{\pi}\right) \left(\frac{K}{E}\right)\right)^{-\frac{1}{2}} = \left(\frac{\pi^3}{2KSL^5}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{E^2}{\rho}\right) = \text{konst.} \left(\frac{E^2}{\rho}\right)$$

Dvs. Material indeksen:  $\mathbf{M} = \mathbf{E}^{1/2} / \rho$

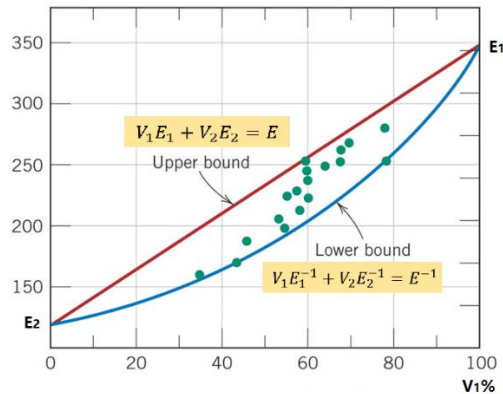
--- Slutt av del 1 ---

## Del 2 Komposittmaterialer

### Oppgave 3: «Rule of Mixture»

Likningene nedenfor dreier seg om «rule of mixture»:

$$\begin{cases} E = V_1 * E_1 + V_2 * E_2 \\ E^{-1} = V_1 * E_1^{-1} + V_2 * E_2^{-1} \end{cases}$$



Figur 3: Illustrasjon på Rule of Mixture.

(a) (10%) Hvordan tolker man likningene?

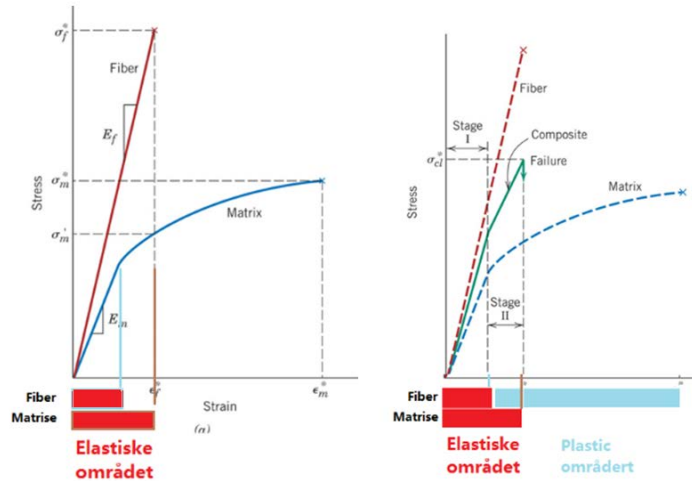
Øverste og nederste grenseverdi for E-modul for blanding av to materialer.

(b) (20%) Forklar hvordan blir likningene anvendt i vurdering av mekanisk egenskap til kompositt materialer.

Øverste grensen er tilknyttet til «iso-strain» blanding  $\leftrightarrow$  «parallell kobling» av plast og fiber (full lengde)  $\rightarrow$  Longtudinal E-modul

Nederste grensen er tilknyttet til «iso-stress» blanding  $\leftrightarrow$  «serie kobling» av plast og fiber (full lengde).  $\rightarrow$  Transversal E-modul

(c) (30%) I strekkprøving til kompositt materialer, oppstår det to stadium i arbeidsdiagram ( $\sigma \sim \epsilon$ ). Hva er mekanismer til disse to stadium?



Stadium 1: Både fiberen og matrisen oppfører elastisk

Stadium 2: Matrisen oppfører plastisk.

I kompositt materialer, blir total belastning ( $F_{total} = F_f + F_m$ ) fordelt på fiberfasen ( $F_f$ ) og matrisefasen ( $F_m$ ).

(d) (40%) Vis at forholdet mellom  $F_f$  og  $F_m$  er gitt ved

$$\left(\frac{F_f}{F_m}\right) = \left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{V_m}\right)$$

og andel kraft belastet på fiberfasen vil bli da

$$\left(\frac{F_f}{F_{total}}\right) = \left[\frac{V_f}{1 - V_f + \left(\frac{E_f}{E_m}\right)V_f}\right]$$

Basert på ise-strain modell:  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_0$

$$\begin{cases} F_1 = E_1 A_1 \epsilon_1 = E_1 A_1 \epsilon_0 \\ F_2 = E_2 A_2 \epsilon_2 = E_2 A_2 \epsilon_0 \end{cases}$$

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f A_f}{E_m A_m} = \frac{E_f V_f}{E_m V_m}$$

Og fra

$$F_f = \left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{V_m}\right) F_m$$

$$\left(\frac{F_f}{F_{total}}\right) = \frac{F_f}{F_f + F_m} = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{V_m}\right) F_m}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{V_m}\right) F_m + F_m} = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{1-V_f}\right)}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{1-V_f}\right) + 1}$$

$$\rightarrow \left(\frac{E_f}{E_m}\right) \frac{\left(\frac{V_f}{1-V_f}\right)}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) \left(\frac{V_f}{1-V_f}\right) + 1} = \left(\frac{E_f}{E_m}\right) \frac{V_f}{(1-V_f) + \left(\frac{E_f}{E_m}\right) V_f}$$

$$\rightarrow \text{Eller} = \frac{\left(\frac{V_f}{1-V_f}\right)}{\left(\frac{V_f}{1-V_f}\right) + \left(\frac{E_m}{E_f}\right)} = \frac{V_f}{V_f + (1-V_f) \left(\frac{E_m}{E_f}\right)}$$

#### Oppgave 4: Plast og kompositter

Et karbonfiber kompositt (CFRP) tilvirket ved bruk av vakuuminjeksjon metode, består av kontinuerlige og ensrettede karbon og Epoxy matrise. Se figur under.

Følgende materialparameter er oppgitt:

Fiber	Plast
$V_f = 0.60$	$V_m = 0.40$
Høy-E karbonfiber	Epoxy
$E = 350 \text{ GPa}$	$E = 7 \text{ GPa}$

(a) (20%): Bestem E-modulen til kompositt parallelt med fiberretningen,  $E_K$ .

$$E_{Kompositt} = V_f * E_f + V_m * E_m = 0,6 * 350 + 0,4 * 7 = 212.8 \text{ GPa}$$

(b) (20%) Finn relative belastning på fiberfasen i kompositten.

$$\left(\frac{F_f}{F_{total}}\right) = \left(\frac{E_f}{E_m}\right) \frac{V_f}{(1-V_f) + \left(\frac{E_f}{E_m}\right) V_f} = 98,68\%$$

Et CFRP laminat (DBLT) skal tilvirkes. Laminatet består av seks lag kompositt med bruk av kompositt nevnte i (a). Fiberretninger i de seks lagene er henholdsvis  $(-45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, +45^\circ)$

(c) (30%) Bestem laminatets longitudinal E-modul  $E_{Laminat}$ .

$$g = \cos^4 \alpha$$

$$\cos(0^\circ) = 1, \cos(90^\circ) = 0, \cos(\pm 45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2}, \cos^4(\pm 45^\circ) = \frac{1}{4}$$

$$E_{laminat} = \sum_i V_i (g_i E_i)$$

$$= \left(\frac{1}{4}\right) 1.0 E_K + \left(\frac{1}{4}\right) 0 E_K + \left(\frac{1}{4}\right) 0,25 E_K + \left(\frac{1}{4}\right) 0,25 E_K$$

$$= 0,375 E_K = 0,375 * 212.8 = 79,8 \text{ GPa}$$

Håndopplegg og vakuuminfusjon er to mest vanlige prosedyrer for tilvirkning av kompositt laminater. Vi har gjennomført/observert tilvirkningsprosessene.

(d) (30%) Beskriv tilvirkningsprosessene konsist, og diskutere det meste krevende steg i prosessene.

Tegning + Prosedyren.

Meste krevende: Oppretthold vakuum.

--- Slutt av del 2 ---



## Del 3 Plast og Nanomaterialer

### Oppgave 5:

(a) (20 %)

Du ønsker å teste ut 5 forskjellige polymerer for å se hvilken av dem som virker best for å dispergere carbon-nanorør (CNT). Du tester ut systemene ved å blande CNT og polymer i et løsningsmiddel, og bruker ultralyd (sonication) for å fremme dispergeringen. Når du skal måle hvilket system som virker best har imidlertid måleinstrumentet ditt for å karakterisere størrelser sluttet å virke, og det vil ta lang tid før dert kan repareres.

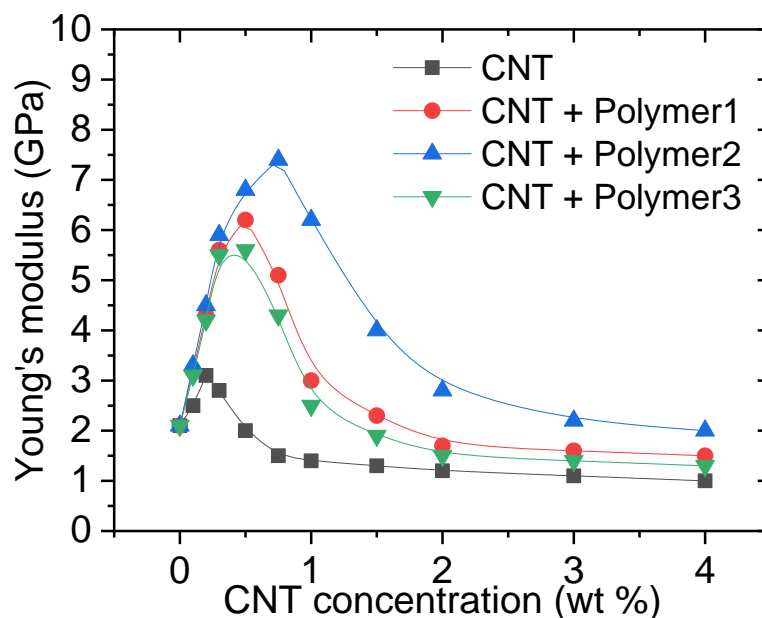
Hvordan kan du enkelt og uten dyr instrumentering se hvilke av de 5 polymerene som gir en god dispergering av CNT?

La prøvene stå en stund (f.eks et par dager). Rene CNT og polymersystemer som virker dårlig vil aggregere og derfor sedimentere, mens polymersystemene som virker bra vil holde seg i suspensjon. Sedimentasjon kan lett sees med øyet, og man trenger ingen instrumentering.

For full score (20p) skal både (1) aggregering (eller et tilsvarende uttrykk som f.eks. agglomerering) og (2) sedimentasjon, samt (3) tidsaspektet nevnes. Trekker 5p for hver av disse som ikke er med i en ellers ok forklaring.

(b) (20%)

Forsøket i oppgave a) viser at 3 av polymerene er lovende for dispergering av CNT. Du lager derfor nanokompositter av en plast og CNT med hver av disse polymerene (og med rent CNT).



Figuren viser E-modulen (Youngs modul) målt for nanokompositter med CNT, og effekten av å bruke de 3 polymerene for å dispergere CNT bedre.

Hvorfor har kurvene et maksimum?

CNT har høy styrke, og tilsats av disse vil derfor øke styrken til materialet. Ved for høy konsentrasjon av CNT vil de begynne å agglomerere. De store agglomeratene gjør at man mister effekten av å ha nanorør i prøven (store klumper istedenfor lange, tynne rør), og styrken til materialet går ned.

For full score (20p) skal man ha med: (1) styrke øker pga av tilsats av CNT, (2) CNT agglomererer (eller aggregerer eller andre synonymer) når konsentrasjonen økes, (3) styrken går ned når CNT er i store agglomerater istedenfor enkeltrør. Trekker 5p for hver av disse som ikke er med i en ellers ok forklaring.

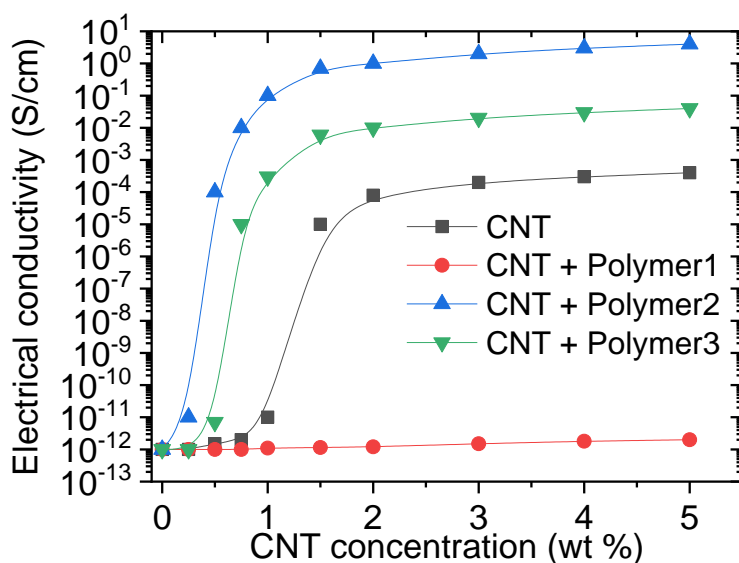
(c) (20 %)

Fra figuren i oppgave b), hvilken polymer virker best for å dispergere CNT i nanokompositten? Begrunn svaret.

Polymer2 dispergerer CNT best. Dette kan ses ved at man kan tilsette en høyere konsentrasjon av CNT før CNT begynner og agglomerere (og E-modulen går nedover). (godtar også at det er denne polymeren som resulterer i høyest E-modul ved maksimumet)

(d) (20%)

Du måler også den elektriske ledningsevnen til nanokomposittene fra oppgave b)



Forklar forskjellen i elektrisk ledningsevne mellom prøvene der man har brukt Polymer1 og Polymer3 i figuren over i lyset av E-modulene (Youngs modul) for disse i oppgave b).

E-modulene til materialene med Polymer1 og Polymer3 er nesten like, så de dispergerer CNT omtrent like godt. Nanokompositten med Polymer1 leder ikke strøm. Dette tyder på at Polymer1 ikke leder strøm, og når man coater CNT med denne polymeren så får man et isolerende polymerbelegg på CNT som gjør at strømmen ikke går fra en CNT til neste CNT. Polymer3 hindrer ikke den elektriske ledningsevnen, selv om det coater CNT godt nok til god dispergering. Tyder på at Polymer3 sannsynligvis leder strøm.

For full score (20p) skal man ha med (1) Polymer1 leder ikke strøm, og (2) coating med denne vil derfor hindre at strømmen kan bevege seg, (3) Polymer3 hindrer ikke elektrisk ledningsevne/leder ikke strøm. Trekker 5p for hver av disse som ikke er med i en ellers ok forklaring.

(e) (20%)

Nanokomposittene over er lagd av en termoplast. Vil glasstransisjonstemperaturen til nanokomposittene være høyere eller lavere enn for et tilsvarende plastmateriale uten CNT? Begrunn svaret.

$T_g$  vil sannsynligvis bli høyere siden CNT vil redusere polymerkjedenes evne til å bevege seg fritt. (Godtar også at CNT kan virke som en kryssbinder og derved øke  $T_g$ )

### Oppgave 6:

Du har to plastmaterialer (Plast1 og Plast2) med forskjellige overflate/grenseflate-spenninger.

Plast1 har en ru overflate og Plast2 har en glatt overflate.

Den ujevne overflaten til Plast1 har et overflateareal som er 18,5 ganger større enn en tilsvarende glatt overflate.

En dråpe som ligger på toppen av ujevnheten til Plast1 vil være i kontakt med 1/8 av underlaget.

Overflatespenningen mellom vann og luft er 72,7 mN/m.

Overflatespenningen mellom Plast2 og luft er 454,1 mN/m.

Anta at kontaktvinklene er i likevektstilstand i utregningene.

a) (20%)

Det ligger en vanddråpe med kontaktvinkel  $173,2^\circ$  på Plast1.

Du vet ikke om dråpen ligger på toppen av ujevnheten, eller væter ned i ujevnheten.

Hva hadde kontaktvinkelen til dråpen på en tilsvarende glatt overflate vært i hvert av disse to tilfellene?

$$f = 18,5$$

$$\phi = 1/8 = 0.125$$

Ligger på toppen:

$$\cos\theta_{\text{rough}} = -1 + \phi[\cos\theta_{\text{smooth}} + 1]$$

$$\cos 173,2 = -1 + 0,125[\cos\theta_{\text{smooth}} + 1]$$

$$\theta_{\text{smooth}} = 160,7^\circ$$

Væter ned:

$$\cos\theta_{\text{rough}} = f \cos\theta_{\text{smooth}}$$

$$\cos 173,2 = 18,5 \cos\theta_{\text{smooth}}$$

$$\theta_{\text{smooth}} = 93,1^\circ$$

Alt riktig: 20p

10p for hvert av de 2 delsvarene

Trekker 1p fra hvert del svar om den eneste grunnen til feil verdier er at kalkulator står på radianer.

Feil svar, men riktig ligning med riktige innsatte verdier gir 2p for hvert del svar.

b) (10 %)

En vandrdåpe som ligger på Plast2 har en kontaktvinkel på  $160,7^\circ$ .

Hva er grenseflatespenningen mellom vann og Plast2?

Løsning:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

$$\cos 160,7 = \frac{454,1 - \gamma_{SL}}{72,7}$$

$$\gamma_{SL} = 522,7 \text{ mN/m}$$

Alt riktig: 10p

Trekker 1p om den eneste grunnen til feil verdier er at kalkulator står på radianer.

Feil svar, men riktig ligning med riktige innsatte verdier gir 2p.

c) (20 %)

Du støper Plast2 ned i ujevnhetene til Plast1, slik at en vandrdåpe på det nye underlaget har en kontaktflate mot underlaget som består av 1/8 av Plast1 og 7/8 av Plast2.

Kontaktvinkelen til dråpen på dette blandingsunderlaget er  $146,4^\circ$ .

Sett opp ligningen for hvordan kontaktvinkelen til dråpen på blandingsunderlaget er avhengig av overflate/grenseflate-spenninger og fraksjonen av Plast1 i underlaget.

$\phi_{P1} + \phi_{P2} = 1$  (fraksjonen av Plast1 i underlaget + fraksjonen av Plast2 i underlaget = 1)

$$\gamma_{LG}\cos\theta_{\text{mix}} = \phi_{P1}(\gamma_{P1,SG} - \gamma_{P1,SL}) + (1 - \phi_{P1})(\gamma_{P2,SG} - \gamma_{P2,SL})$$

(annen notasjon er OK, men ligning må være riktig for å få full uttelling - ligning som er direkte feil gir 0p)

d) (20 %)

Bruk ligningen fra oppgave c) (og opplysninger fra tidligere oppgaver) til å regne ut kontaktvinkelen til en vandråpe på et glatt underlag av Plast1.

$$\gamma_{LG}\cos\theta_{\text{mix}} = \phi_{P1}(\gamma_{P1,SG} - \gamma_{P1,SL}) + (1 - \phi_{P1})(\gamma_{P2,SG} - \gamma_{P2,SL})$$

$$72,7\cos 146,4 = 0,125(\gamma_{P1,SG} - \gamma_{P1,SL}) + (1 - 0,125)(454,1 - 522,7)$$

$$-60,553 = 0,125(\gamma_{P1,SG} - \gamma_{P1,SL}) - 60,025$$

$$\gamma_{P1,SG} - \gamma_{P1,SL} = -4,224 \text{ mN/m}$$

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

$$\cos \theta = \frac{-4,224}{72,7}$$

$$\theta = 93,3^\circ$$

e) (10%)

Sammenlign svarene fra oppgave a) og oppgave d).

Ligger dråpen i oppgave a) på toppen av ujevnheten, eller væter den nedi ujevnheten?

Væter nedi (kontaktvinkelen er den samme innen usikkerheten)

f) (20%)

Nevn 2 grunner til at det kan være små avvik mellom kontaktvinklene fra oppgave a) og oppgave e)

To av følgende grunner (10p for hver, 20 tilsammen). Godtar også andre sannsynlige svar. Dersom studenten gir flere enn 2 grunner, trekkes 5p for hvert svar som åpenbart ikke er riktig.

Kontaktvinklene er ikke i likevekt.

Måleusikkerheter.

Avrundingsfeil under utregninger.

--- Slutt av del 3 ---

---*God jul*---

## Formelsamling:

For en dråpe som hviler på en fast overflate gir Youngs ligning:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

hvor  $\theta$  er kontaktvinkelen til dråpen,  $\gamma_{SG}$  er overflatespenningen mellom det faste stoffet og luft,  $\gamma_{SL}$  er grenseflatespenningen mellom det faste stoffet og væsken (dråpen) og  $\gamma_{LG}$  er overflatespenningen mellom væsken og luft.

Dersom overflaten er ujevn gjelder Wenzels ligning dersom dråpen væter alle ujevnheterne

$$\cos \theta_{rough} = f \cos \theta_{smooth}$$

og Cassie-Baxters ligning dersom dråpen ligger på toppen av ujevnheterne.

$$\cos \theta_{rough} = -1 + \phi [\cos \theta_{smooth} + 1]$$

$f = A_{rough}/A_{smooth}$  hvor A er arealet av overflaten, og  $\phi$  er fraksjonen av overflaten som dråpen er i kontakt med.

## Equations:

Youngs equation, for a drop that is resting on top of a solid surface

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

where  $\theta$  is the contact angle of the drop,  $\gamma_{SG}$  is the surface tension between the solid surface and air,  $\gamma_{SL}$  is the interfacial tension between the solid surface and the liquid drop, and  $\gamma_{LG}$  is the surface tension between the liquid drop and air.

Wenzel's equation for a rough surface where the drops is wetting down into the rough surface:

$$\cos \theta_{rough} = f \cos \theta_{smooth}$$

Cassie-Baxter's equation for a drop that is resting on top of a rough surface:

$$\cos \theta_{rough} = -1 + \phi [\cos \theta_{smooth} + 1]$$

$f = A_{\text{rough}}/A_{\text{smooth}}$  where  $A$  is the area of the surface, and  $\phi$  is the fraction of the surface the drop is in contact with.