

Oppgave 4.1

Hva er et konstruksjonsmateriale, designmateriale?

Materialer for fremstilling av maskiner, transportmidler, bygninger, bruksgjenstander, etc.

Oppgave 4.2

Hvilke grupper konstruksjonsmaterialer, designmaterialer har vi?

Metaller, polymerer (plast og gummi), keramer, tre og kompositter.

Oppgave 4.3

Hva er egenskapen styrke til et konstruksjonsmateriale?

Evne til å motstå krefter og spenninger, normalspenninger og skjærspenninger.

Oppgave 4.4

Hva er mekaniske egenskaper?

Mekaniske egenskaper som er uttrykk for materialers reaksjon på ytre krefter som:

- Fasthetsegenskaper
- Hardhet
- Bruddfasthet, flytegrense, utmattingsfasthet
- Forlengelse

Oppgave 4.5

Hva er teknologiske egenskaper?

Teknologiske egenskaper som er uttrykk for evnen til å la seg forme ved:

- Smiing
- Støping
- Sveising
- Avsponing
- Trekking

Oppgave 4.6

Hva er fysikalske egenskaper?

Fysikalske egenskaper som er uttrykk for evnen til å lede:

- Elektrisitet
- Varme

Oppgave 4.7

Hva er materialprøvingens oppgave i snevreste forstand?

Ekspertimentell måte å måle forskjellige materialegenskaper ved hjelp av standardiserte teknikker som gir et sammenligningsgrunnlag.

Oppgave 4.8

Hvorfor er de mekaniske prøvemethodene i mange tilfelle utilstrekkelige?

Kriteriene som brukes refererer til ganske bestemte prøvestykker og metoder som ikke nødvendigvis er representative for de påkjenningene materialet gjennomgår i virkeligheten.

Oppgave 4.9

Hvorfor er det nødvendig med forskrifter for metoder og prøvestykker?

Verdiene som måles ved materialprøving er ikke rene materialkonstanter og kan derfor ikke gjøres uavhengig av prøvemethoder og prøvestykker. For sammenligning må prøvene alltid gjennomføres på samme måte.

Oppgave 4.10

Hva mener vi med representativitet av prøvestaver og prøvemethoder?

Prøvestaver og prøvemethoder er bare representative hvis de alltid gjennomføres på samme måte for sammenligning.

Oppgave 4.11

Hvilke andre begrensninger har materialprøvemethodene generelt?

Materialprøvemethodene angir bare materialegenskapene for det enkelte prøvestykket under bestemte prøvebetingelser.

De gjennomføres bare med enkle belastningsformer som ren strekk, ren trykk etc.

I konstruksjoner er forholdene mer kompliserte. En omregning av prøveresultatene til virkelige forhold lar seg bare gjennomføre i få tilfeller.

Oppgave 4.12

Hva slags spenningstilstand har vi under strekkprøving?

Under strekkprøving er spenningstilstanden enakset strekk.

← →

Oppgave 4.13

Hva er nominell og reell spenning i en strekkstav?

Nominell (konvensjonell) spenning:

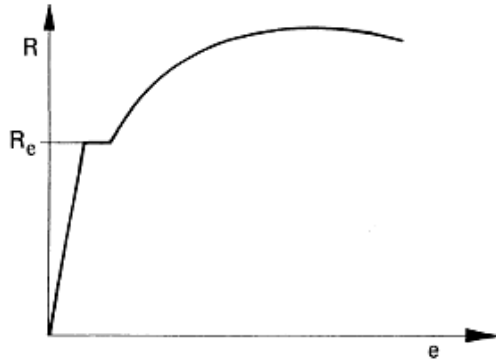
$$R = \frac{\text{strekk kraft}}{\text{opprinnelig tverrsnitsareal}} = \frac{F}{S_0}$$

Reell spenning (sann):

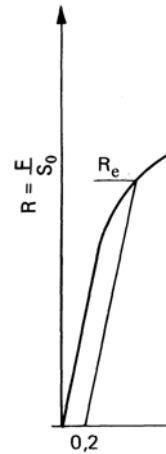
$$\sigma = \frac{\text{strekk kraft}}{\text{tverrsnitsareal ved strekk kraft } F} = \frac{F}{S}$$

Oppgave 4.14

Tegn spenning - tøyning diagram for bløtt stål og for et annet metall?



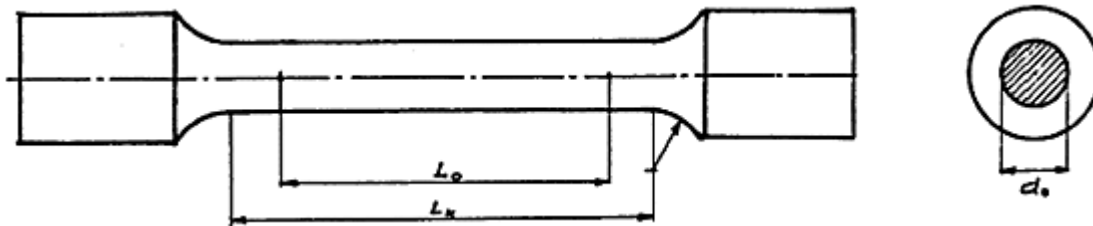
Bløtt stål med markert flytegrense R_e .



De fleste andre materialer med 0,2 grense $R_{0,2}$.

Oppgave 4.15

Tegn en strekkprøvestav.



Vanlige prøvelengder er:

- $L_0 = 10 d_0$
- $L_0 = 5 d_0$

Oppgave 4.16

Hva kalles R_a , R_b , R_e og R_m og hva slags betydning har de?

R_a : **Proporsjonalitetsgrensen** angir høyeste spenning hvor spenningen er proporsjonal med tøyningen. (Har liten betydning)

R_b : **Elastisitetsgrensen** angir høyeste spenning for elastisk strekk.

Elastisitetsgrensen ligger alltid lavere enn flytegrensen og proporsjonalitetsgrensen lavere enn elastisitetsgrensen. Begge spenninger er vanskelige å bestemme og brukes bare ved undersøkelser av forskningsmessig karakter. (Har liten betydning)

$R_e = F_e/S_0$: **Flytegrensen** (yield strength) angir den nominelle spenning (nominell fordi den baserer seg på stavens opprinnelige tverrsnitt S_0) ved hvilken glidning mellom atomplan med høyeste skjærspenning setter inn. Materialet flyter når glidning som forplanter seg fra korn til korn og derved rammer et større volum i staven.

$R = R_m = F_m/S_0$: **Strekkfasthet** (tensile strength) er den nominelle spenning ved maksimal last og lar seg uten videre bestemme.

Oppgave 4.17

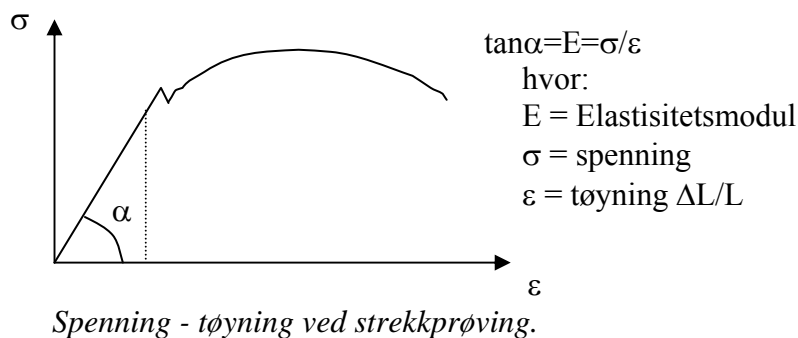
Definer forlengelse og kontraksjon.

- Forlengelse (relativ) $\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100[\%]$
 - L_0 = prøvestavens lengde før strekking [mm]
 - L = prøvestavens lengde under / etter strekking [mm]
- Kontraksjon $\delta = \frac{S - S_0}{S_0} \cdot 100 = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100[\%]$
 - S_0 = prøvestavens tverrsnittsareal før strekking [mm²]
 - S = prøvestavens tverrsnittsareal under / etter strekking [mm²]

Oppgave 4.18

Hva uttrykker E-modulen?

Elastisitetsmodulen $E = R(\sigma)/e(\varepsilon)$ (Young's modulus) er helningen på det rette stykke av spenning - tøyningkurven for spenningsverdier under proporsjonalitetsgrensen. Den er en fysisk konstant som bare er avhengig av legeringens sammensetning og ikke av dens struktur, og hører ikke til de kriterier som vanligvis bestemmes ved materialprøving.

**Oppgave 4.19**

Hva er E-modulen for stål, aluminium og bly?

$$E_{\text{stål}} = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{Al}} = 70000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{Pb}} = 16000 \text{ N/mm}^2$$

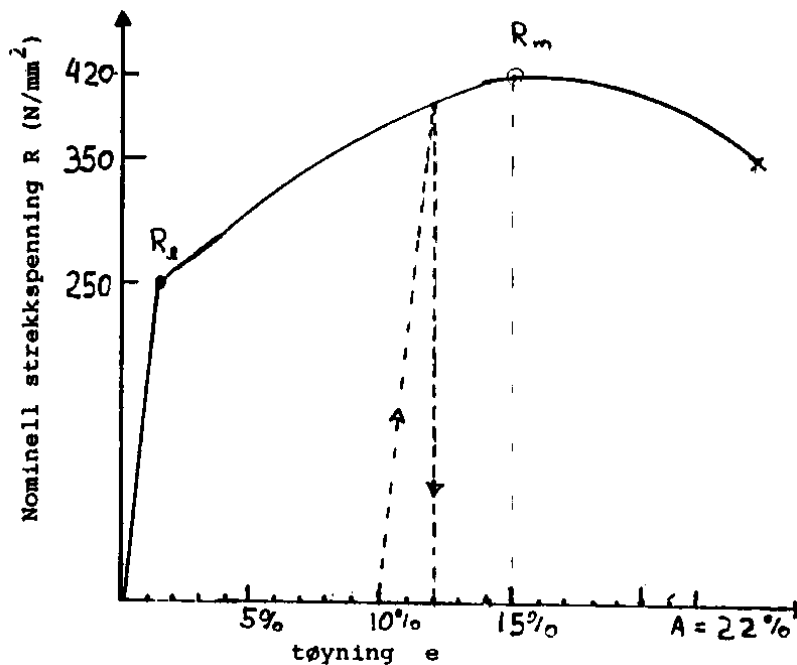
Oppgave 4.20Hvorfor har forholdet L_0/d_0 betydning for forlengelsen?

Forlengelse etter brudd fordeler seg ujevnt over L_0 , størst rundt bruddstedet. Forlengelse rundt bruddstedet $\propto d_0$. For å kunne sammenligne bruddforlengelsen for forskjellige d_0 må $L_0 \propto d_0$.

Oppgave 4.21

Figuren under viser data fra et strekkforsøk.

a) Definer R_e , R_m og δ_5



$R_e = 250 \text{ N/mm}^2$
 $R_m = 420 \text{ N/mm}^2$
 $R \text{ ved brudd} = 350 \text{ N/mm}^2$
 $e_m = 15\%$
 $\delta_5 = 22\%$
 $Z = 48\%$
 (Z er bruddkontraksjonen)

Data fra et strekkforsøk.

- R_e betegner flytegrensen. Denne angir den nominelle spenning (nominell fordi den tar utgangspunkt i stavens opprinnelige tverrsnitt, S_0) ved hvilken glidning mellom atomplan med høyeste skjærspenning setter inn. Vi tenker ikke her på lokal glidning innen enkelte korn, men en glidning som forplanter seg fra korn til korn i et større volum av materialet.

$$\sigma = R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

hvor F = kraft

S_0 = opprinnelige tverrsnitt

I Figur L-4.2 ser vi at punktet R_e angir overgangen fra elastisk til plastisk deformasjon.

- R_m betegner strekkfastheten. Denne er definert som den nominelle spenning ved maksimal last.

$$\sigma = R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

- A betegner bruddforlengelsen. Dette er den relative forlengelse gitt av:

$$\delta_5 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

hvor L_0 = opprinnelig målelengden

L_u = målelengden etter brudd

L_u måles ved å legge de to delene av prøvestykket sammen etter at brudd er oppstått, og A betegner forlengelsen av avlastet stav.

Oppgave 4.21, forts.

b) Beregn sann tøying ved 10% varig forlengelse av strekkstaven.

Nominell tøying, e , er gitt av følgende formel:

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1$$

hvor L = prøvestavens målelengde under belastning
 L_0 = den opprinnelige målelengde

I dette forsøket blir $e = 12\%$ for en tøying som tilsvarer 10% varig forlengelse av målelengden. Se Figur L-4.1. Sann tøying, ε , er gitt av:

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} \ln[L_0(1+e)] \ln L_0 = \ln(1+e)$$

Med en nominell tøying på 12% blir:

$$\underline{\underline{\varepsilon = \ln(1 + 0,12) = 0,113 = 11,3\%}}$$

c) Beregn sann tøying av staven omkring bruddstedet.

I dette tilfellet har det inntruffet en vesentlig kontraksjon av staven omkring bruddstedet. Vi benytter da følgende formel for sann tøying:

$$\varepsilon = \ln \frac{L}{L_0} \ln \frac{S_0}{S_u}$$

hvor: L_0 = lengden før strekkingen - tilsvarende tverrsnitt er S_0
 L = lengden etter strekkingen - tilsvarende tverrsnitt er nå redusert til S_u pga kontraksjon

Volumet er konstant slik at:

$$S_0 L_0 = S_u L$$

Kontraksjonen, Z , er gitt av formelen:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} = 1 - \frac{S_u}{S_0}$$

$$\frac{S_u}{S_0} = 1 - Z \quad \rightarrow \quad \frac{S_0}{S_u} = \frac{1}{1 - Z}$$

$$\text{Vi setter så dette inn i } \varepsilon = \ln \frac{S_0}{S_u} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \ln \frac{1}{1 - Z}$$

Bruddkontraksjonen, Z , er oppgitt til 0,48. Dette gir:

$$\varepsilon = \ln \frac{1}{1 - 0,48} \approx \ln 1,92 \approx 0,65$$

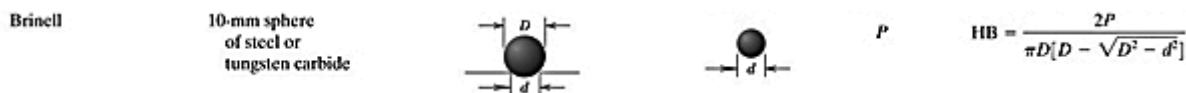
$$\underline{\underline{\varepsilon = 65\%}}$$

Oppgave 4.22

Hva er prinsippene for HB-, HV- og HR-prøving?

Brinell HB (Hardhet Brinell)

En herdet stålkule med standardisert diameter D presses inn i prøvestykke med en standardisert kraft F . Diameter d på merket, kulekalott, i prøve måles.

**Hvickershardhet HV (Hardhet Vickers)**

En diamantpyramide med spissvinkel 136° presses inn i prøvestykke med en standardisert kraft F . Diagonalene d_1 og d_2 i prøve måles. Midlere verdi $d = (d_1 + d_2)/2$ beregnes.

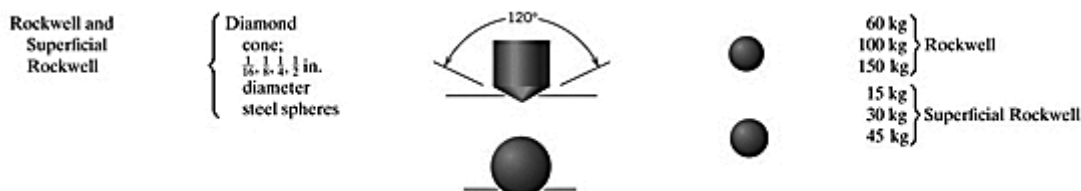
**Rockwell hardhet HR (Hardhet Rockwell)**

Med denne metoden måler vi inntrengningsdybde.

Det settes på en forbelastning F_0 for å sikre en utgangsflate for målingen. Deretter pålegges en tilleggsbelastning F_1 og dybden e måles.

Det finnes flere HR-metoder. De vanligste er:

- Rockwell B, HRB (Ball) : Her benytter vi en herdet stålkule med diameter $1/16''$ som presses ned i prøven. Egner seg til bløte materialer.
- Rockwell C, HRC (Cone) : Her benytter vi en diamantkonus med 120° spissvinkel som presses ned i prøven. Egner seg til harde materialer.

**Oppgave 4.23**

Hvilke begrensninger har HB-prøving?

- Kan ikke brukes på herdede materialer, kula deformeres.
- Målinger bare sammenlignbare når utført under samme betingelser. D og F må oppgis ($F/D^2 = \text{konstant}$)

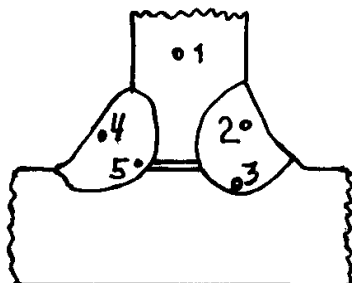
Oppgave 4.24

Kan σ_B beregnes ut fra HV-tallet?

Ja. Det finnes empiriske formler utarbeidet for forskjellige materialer.

Oppgave 4.25

En kontrollør fra Det norske Veritas, DnV, har vært ute på oppdrag og tatt med seg noen utkutt av et par sveiser. Sveisene ble utført på en boreplattform under bygging. I laboratoriet ble det laget såkalte slip av prøvene, slik som vist i figuren. På disse slipene ble det utført hardhetsmålinger med Vickers metode (HV). Til målingene ble det brukt en belastning på 30kp.



Resultatet av målingene ble:

måling	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
	0,700	0,791
1	0,620	0,581
3	0,415	0,446
4	0,493	0,532
5	0,398	0,393

Slip av sveisen og resultat av målinger.

a) Beregn hardheten i punktene 1 – 5.

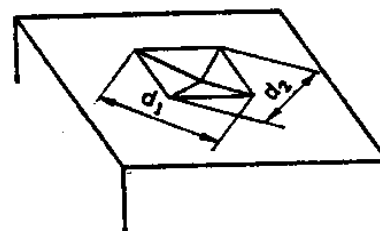
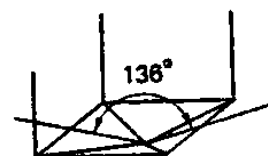
Hardheten regnes ut på basis av midlere diagonal $1/2(d_1 + d_2)$.

Vickers hardhet, HV, beregnes etter følgende formel:

$$HV = \frac{1,854 \cdot F}{d^2}$$

hvor: F = kraften i kp. Her lik 30 kp.

d = midlere diagonal av inntrykket $1/2(d_1 + d_2)$ (mm)



Vickers pyramide og inntrykk etter vickersprøving.

Vi beregner da Vickers hardhet (ubenevnt):

Måling	$1/2(d_1 + d_2)$ (mm)	d ²	HV
1	0,7455	0,5558	100
2	0,6005	0,3606	154
3	0,4305	0,1853	300
4	0,5125	0,2627	212
5	0,3955	0,1564	356

DnV sine krav til godkjenning av en sveis til offshore konstruksjoner er gitt slik →

b) Kan sveisen godkjennes etter DnV sine krav til hardhet?

6.4.3.10 Hardness tests: The maximum hardness at any part of the weldment is not to exceed 325 HV . A lower hardness level may be required if structural members will be exposed to environments which may cause stress corrosion.

Det norske Veritas sitt krav til hardheten i sveiser i vanlig miljø offshore er 325HV. Det betyr at sveisen ikke kan godkjennes.

Oppgave 4.26

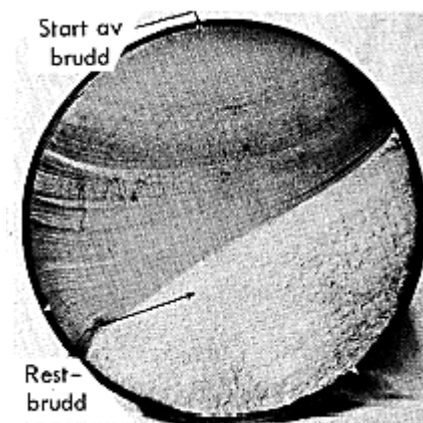
Under hvilke betingelser oppstår utmatting?

Utmatting oppstår ved at materialet utsettes for en periodisk varierende spenning av tilstrekkelig størrelse (under σ_B og ofte under σ_F) over et tidsrom. Dette vil resultere i sprekker og ofte brudd som starter fra feil i overflaten.

Oppgave 4.27

Hva er karakteristisk for bruddflaten i et utmattingsbrudd?

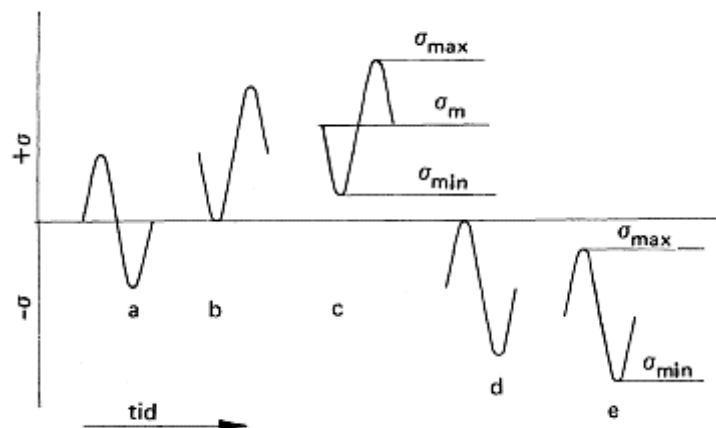
Bruddet starter ofte fra en feil eller ujevnhet i overflaten. Det brer seg herfra i konsentriske sirkler. Tverrsnittet reduseres og til slutt oppstår et plastisk restbrudd som skyldes overbelastning.

**Oppgave 4.28**

Hvilke spenningstilstander (-variasjoner) er aktuelle i utmattingsammenheng?

Spenningsvariasjoner som funksjon av tiden ved utmattingsprøving:

- symmetrisk vekslende
 $\sigma_{maks} = \sigma_{min}$ og $\sigma_m = 0$
- utsvingende strekk
 $\sigma_{min} = 0$ og $\sigma_m = 1/2 \cdot \sigma_{maks}$
- pulserende strekk
 $\sigma_{maks} = 0$ og $\sigma_m = 1/2 \cdot \sigma_{min}$
- utsvingende trykk
- pulserende trykk

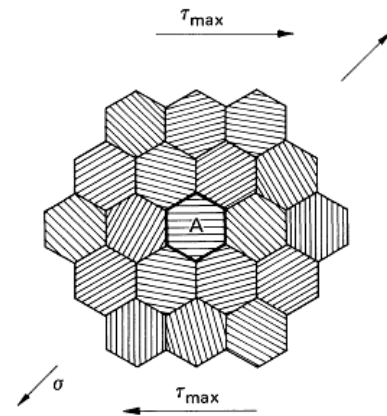


Oppgave 4.29

Hvordan starter et utmattingsbrudd (Mekanismen)?

Mekanismen ved utmatting

På glideplan som faller sammen med τ_{\max} får vi glidning, plastisk deformasjon, vekslende sammentrykking og forlengelse som skaper uorden i nærliggende atomplan. Dette fører til dannelse av sprekker ved et stort antall spenningsperioder. Spenningskonsentrasjoner i sprekken gjør at glidning kan komme i gang i nabo krystaller med gunstige glideplan. Sprekken vokser.....

**Oppgave 4.30**

Hvordan måles og defineres utmattingsfasthet (-grense)?

Utmattingsfasthet måles ved å prøve et sett med like prøvestaver ved forskjellige spenningsamplituder (σ_a) og telle antall perioder (N) til brudd.

For stål er det en grense hvor brudd opptrer, utmattingsfastheten (-grense) (σ_D).

Brudd i materialet vil oppstå hvis σ_D overskrides.

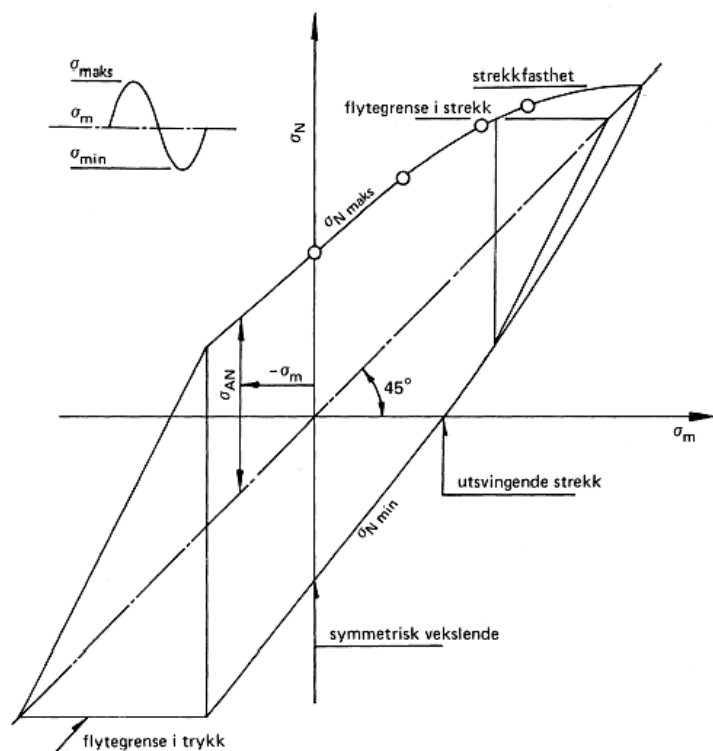
Oppgave 4.31

Tegn et Smith-diagram. Hva kan det brukes til?

Utmattingsfastheten for et bestemt antall perioder, ofte 10^6 lastveksler, kan overføres til et diagram som vi kaller Smith – diagram.

Smith - diagrammet til høyre viser utmattingsfastheten σ_N som funksjon av middelspenningene σ_m (som angis på strek - punkt linjen som går i 45° igjennom origo i diagrammet) for et bestemt antall lastvekslinger (10^6).

Ved en gitt σ_m kan spenningene i materialet teoretisk variere mellom maksimal spenning $\sigma_{N\max}$ og minimal spenning $\sigma_{N\min}$ uten at det oppstår brudd.



Oppgave 4.32

Hvordan kan faren for utmattingsbrudd reduseres?

- Unngå skarpe skår, hulkiler (spenningskonsentrasjoner).
- Velg riktig materiale ut fra utmattingsfasthet.
- Miljø, hvis fare for korrosjon, velg rustfritt stål.

Oppgave 4.33

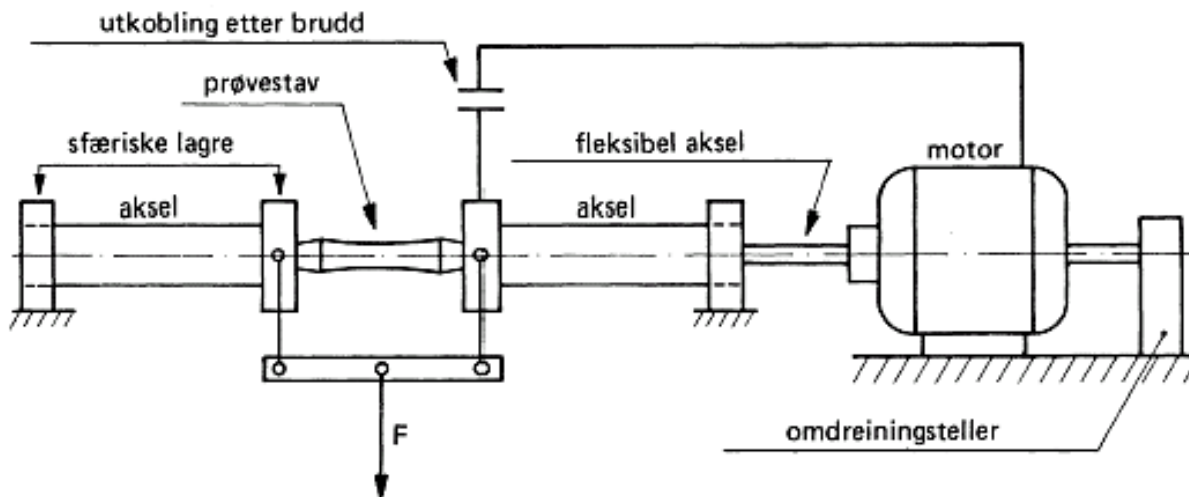
a) Hvilke faktorer er medbestemmende for utmattingsfastheten?

Faktorer som er medbestemmende for utmattingsfastheten til et materiale:

- Spenningskonsentrasjoner
- Spenningsnivå
- Overflatebeskaffenhet
- Kjervfølsomhet
- Temperatur
- Korrosjonsforhold
- Belastningsart
- etc.

b) Hvordan bestemmes utmattingsfastheten eksperimentelt?

Utmattingsfastheten bestemmes eksperimentelt ved prøving av serier med prøvestaver.



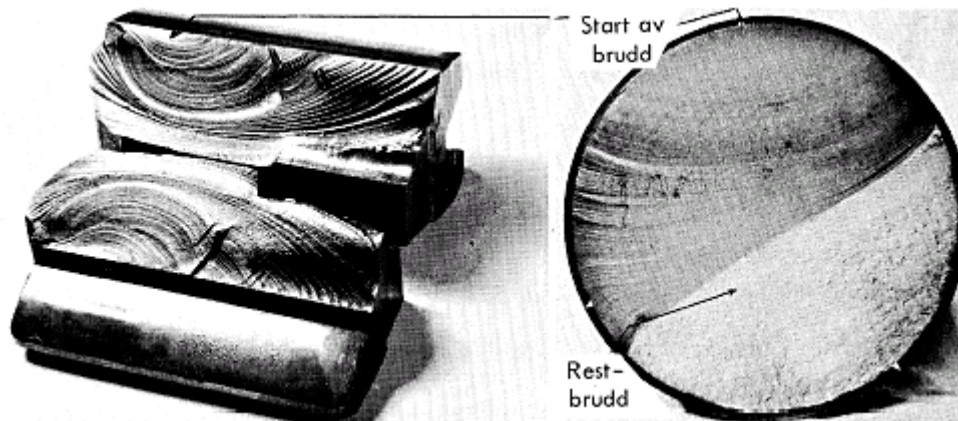
Prinsippkisse for en bøyeutmattingsmaskin.

Når maskinen er i gang, fremkaller kraften F et roterende bøyemoment i prøvestaven.

Oppgave 4.33, forts.

c) Hva karakteriserer et utmattingsbrudd? Vis et typisk eksempel på et slikt brudd.

Brudd skjer uten forutgående varsel i form av plastisk tøyning og kontraksjon. Bruddet starter ofte fra en feil eller ujevnheter i overflaten. Det brer seg herfra i konsentriske sirkler. Tverrsnittet reduseres og til slutt oppstår et plastisk restbrudd som skyldes overbelastning.

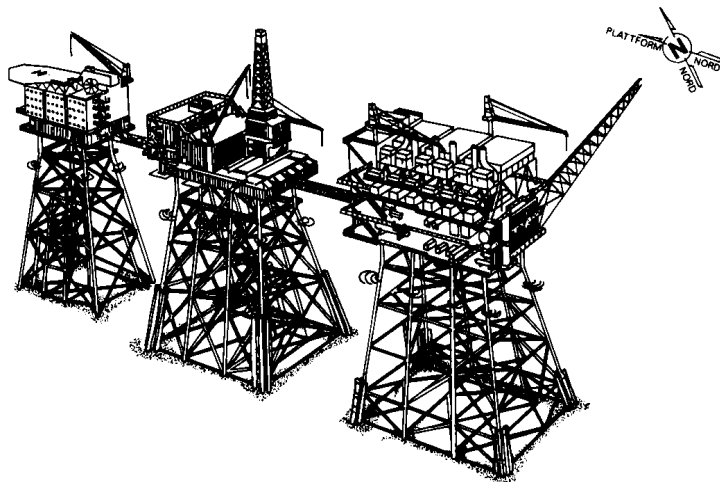


Utmattingsbrudd i tannhjul og aksel.

Bruddet starter fra en feil i overflaten og brer seg i tilnærmet konsentriske sirkler, tilsynelatende uten plastisk deformasjon av bruddkantene.

Restbruddet er plastisk og rent, uten korrosjon.

Stendere, stag og fester på en bunnfast oljeplattform (se Figur 1) i Nordsjøen er kontinuerlig belastet med bølgeslag av varierende styrke og frekvens. Vi skal sammenholde belastning med prøvedata for å vurdere de enkelte konstruksjonsdelers levetid.



Figur 1. Bunnfaste oljeplattformer.

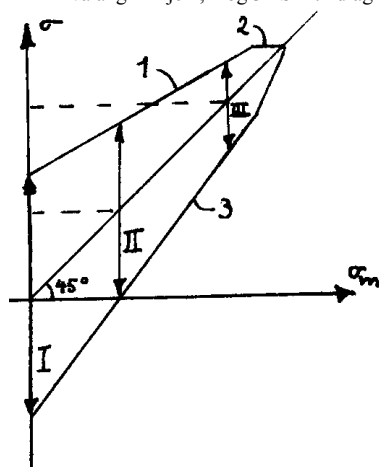
Oppgave 4.33, forts.

d) I det viste Smith diagrammet i Figur 2 er det angitt tre tilstander I – III.

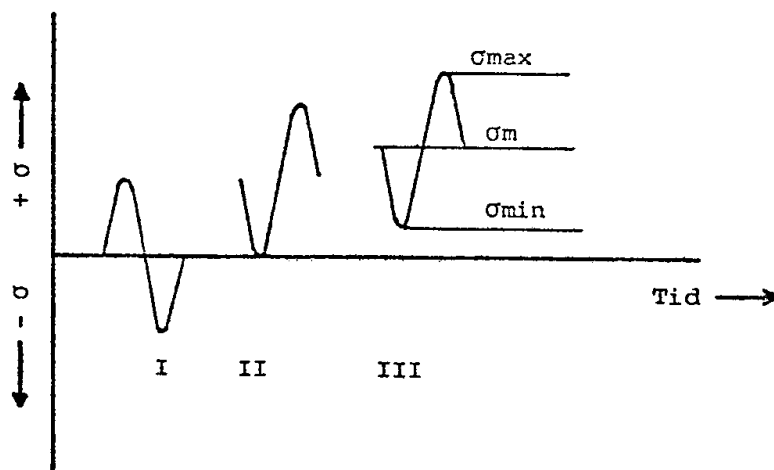
Hva kalles de tre belastningstilstandene?

Beskriv belastningstilstanden i et spenning - tid diagram.

Hva angir linje 1, 2 og 3 i Smith diagrammet?



Figur 2. Smith diagram.



Figur.5

De tre belastningstilstandene kalles:

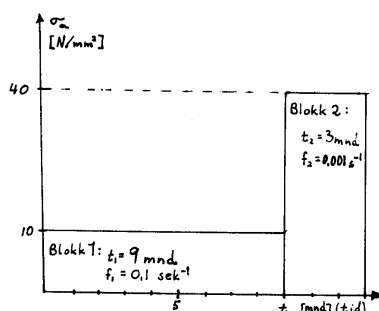
- I. Vekslenende belastning, $\sigma_{\text{maks}} = -\sigma_{\text{min}}$
- II. Utsvingende strekk, $\sigma_{\text{min}} = 0$, $\sigma_m = 1/2\sigma_{\text{maks}}$
- III. Pulserende strekk

Linje 1 i Smith -diagrammet angir σ_{maks} som funksjon av σ_m .

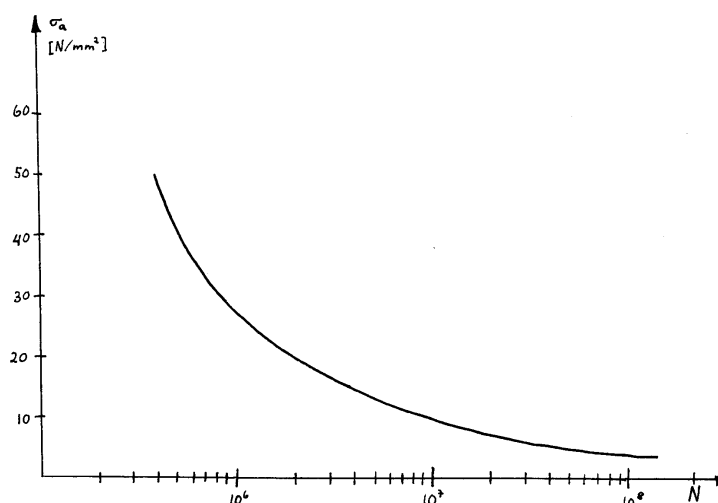
Linje 2 i Smith-diagrammet angir materialets flytegrense.

Linje 3 i Smith-diagrammet angir σ_{min} som funksjon av σ_m .

e) I et bestemt stag i plattformen opptrer rene normalkrefter som fører til normalspenninger med varierende styrke og frekvens. Vi forenkler forholdene ved å anta at spenningsforløpet over et år er sammensatt av to blokker, en på 9mnd. Og en på 3mnd. Blokkene representerer spenning - tid forløpet i hhv. sommer- og vinterperioden som vist i Figur 3. Innen hver blokk er spenning - tid kurven sinusformet med konstant amplitude og frekvens. Middelspenningen er 0. Utmattingsfastheten for materialet er i det aktuelle miljø er gitt av Wöhlerkurven i Figur 4. Beregn stagets levetid i hele år.



Figur 3. Blokk diagram.



Figur 4. Wöhlerkurve.

Oppgave 4.33 e), forts.

Vi skal beregne stagets levetid, og vi tar først for oss blokk 1:

Vi har oppgitt frekvensen, $f = 0,1 \text{ sek}^{-1}$, og at denne belastningen varer i 9 måneder. Vi kan da beregne antall lastveksler i denne blokken, n_1 :

$$\underline{n_1 = 0,1 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 9 = 2,3328 \cdot 10^6 \text{ lastveksler}}$$

Vi har oppgitt spenningsamplituden til 10 N/mm^2 og at belastningen er sinusformet med middelspenning lik 0. Vi leser da ut av Wöhler-diagrammet at materialet ved denne spenningsamplituden maksimalt tåler $N_1 = 1,0 \cdot 10^7$ lastveksler før brudd oppstår.

Vi tar så for oss blokk 2 på samme måten:

Her er frekvensen, $f = 0,001 \text{ sek}^{-1}$, og denne belastningen varer i 3 måneder. Dette gir antall lastveksler i denne blokken, n_2 :

$$\underline{n_2 = 0,001 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 3 = 7,7760 \cdot 10^3 \text{ lastveksler}}$$

Her er spenningsamplituden oppgitt til 40 N/mm^2 , og av Wöhler-diagrammet finner vi tilsvarende at materialet maksimalt tåler $N_2 = 5,0 \cdot 10^5$ lastveksler før brudd oppstår.

Vi kan nå beregne stagets totale levetid ut fra følgende formel:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \leq 1$$

Vi setter inn og regner ut venstre siden:

$$\frac{2,3328 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 10^7} + \frac{7,7760 \cdot 10^3}{5,0 \cdot 10^5} = \underline{0,2488}$$

Formelen sier at levetiden er brukt opp når venstre siden er lik 1. Vi ser at etter 1 år som vi har regnet ut for, er 24,88% av levetiden brukt opp.

Stagets totale levetid, N , blir da:

$$\underline{N = \frac{1}{0,2488} = 4,0193 \approx \underline{\underline{4 \text{ år}}}}$$

Oppgave 4.34

Hva er siging, og når kan siging opptre i metaller?

Siging er deformasjon avhengig av tid og temperatur, $\epsilon = f(\sigma, T, t)$.

Siging kan opptre i metaller hvis disse utsettes for høyere temperaturer, 30 – 40% av smelte-temperaturen, $T_{\text{abs.}}$.

Oppgave 4.35

a) Beskriv kort Sigeprøving.

Når et materiale belastes ved strekkprøving, lider det en nesten øyeblikkelig forlengelse som kan være elastisk eller elastisk og plastisk, avhengig av spenningen.

Materialet i denne tilstand ikke stabilt, det skapes en tendens hos materialet til varig å fri seg fra spenningene, altså til å forlenge seg.

Når temperaturen er lav i forhold til smeltepunktet, utløser ikke denne tendens noen merkbar reaksjon i krystallinske materialer. Vi kan derfor uttrykke tøyningen som en funksjon av spenningen alene: $\epsilon = f(\sigma)$

Mange deformasjonsmekanismer er betinget av termisk aktivering.

Ved lav temperatur er de så sjeldne at man kan neglisjere dem. Men de gjør seg sterkere og sterkere gjeldende når temperaturen øker, og vi regner at den enkle $\epsilon - \sigma$ relasjonen ikke lenger er brukbar når temperaturen nærmer seg 30 - 40% av smeltetemperaturen (rene metaller, absolutt temperatur). Vi må da sette:

$$\epsilon = f(\sigma, T, t)$$

hvor T = temperaturen og t = tiden.

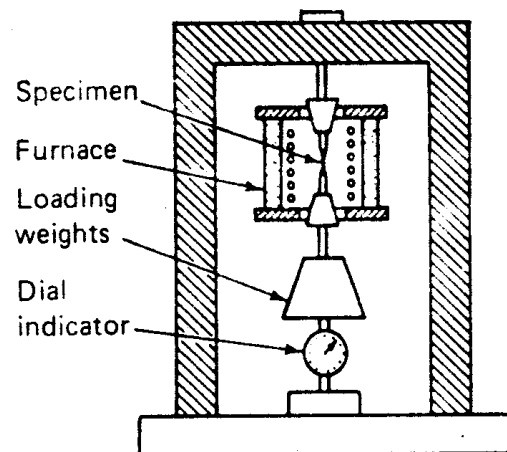
Fenomenet tids- og temperaturavhengig deformasjon kalles siging.

b) Hvilke metallegeringer er de mest temperaturbestandige?

De mest temperaturbestandige legeringene er de som har kubisk flatesentrert gitterstruktur og de som har basismetall med høyt smeltepunkt.

Metall	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Aluminium legeringer	200
Titan legeringer	325
lav legert stål	375
høy temperature stål	550
Nikkel og kobolt superlegeringer	650
tungsmeltelige metaller (wolfram, molybden)	1000 - 1550

Tabell. Tilnærmet temperatur hvor siging blir tydelig for noen metaller og legeringer.



Sigeprøving av metaller.

Oppgave 4.36

Hvordan går det med sann flytespenning σ_F , sann bruddspenning σ_B og sann brudd forlengelse δ_B ved lave temperaturer?

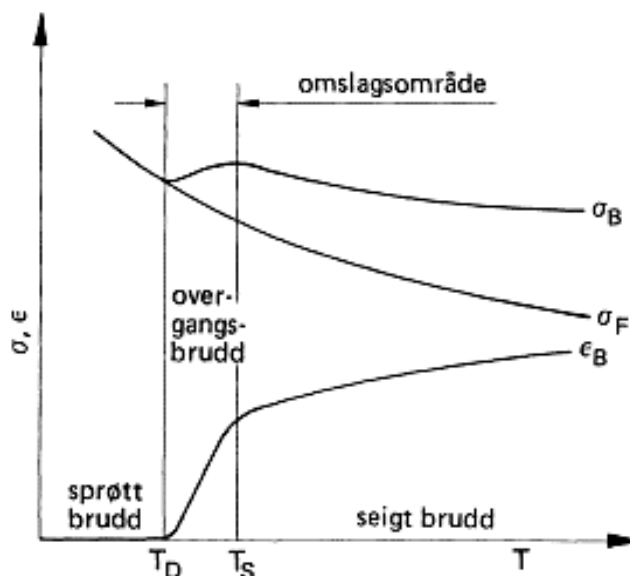
Figuren til høyre viser sann flytespenning σ_F , sann bruddspenning σ_B og sann bruddforlengelse ϵ_B som funksjon av prøvetemperaturen for ulegert stål i et område fra 293°K og nedover.

Det er benyttet glatte strekkstaver og alminnelige prøvebetingelser.

Vi ser at både σ_F og σ_B stiger ved fallende temperatur, men at de løper sammen ved en temperatur T_D som kan være omkring -150°C .

Over T_S får vi et seigt brudd med stor brudd forlengelse ϵ_B .

Under T_D har bruddet skiftet karakter, det er sprøtt og uten brudd forlengelse.

**Oppgave 4.37**

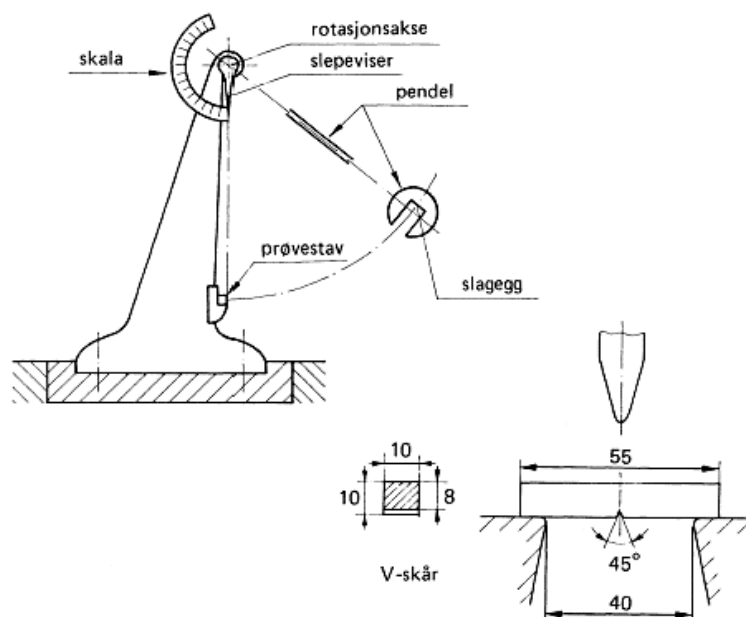
Hva er et omslagsområde for stål?

Omslagsområde for stål er et område hvor blandet, sprøtt og seigt, brudd kan oppstå. Sprøtt under T_D og seigt over T_S . (Se forrige oppgave.)

Oppgave 4.38

Hvordan måles skårslagseighet?

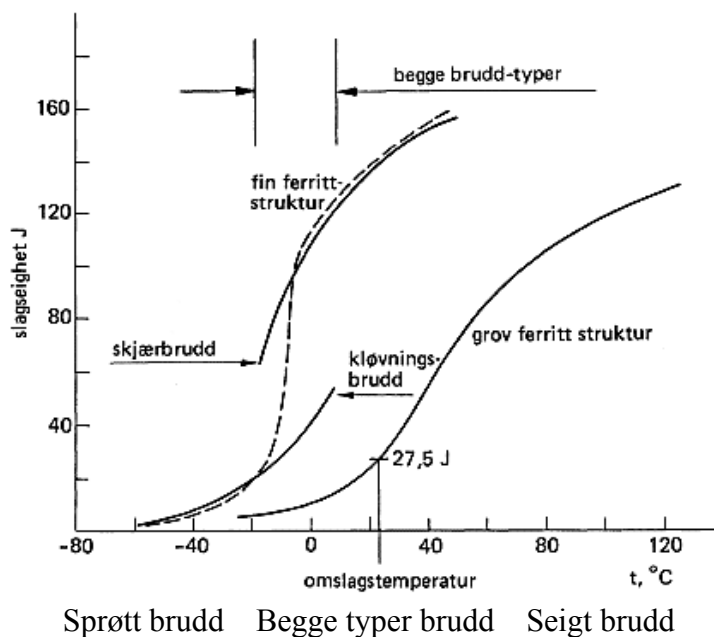
Skårslagseighet måles ved skårslagprøving som slagarbeidet målt som differansen mellom pendelens kinetiske energi før og etter slaget (kpm).



Oppgave 4.39

Hva sier en slagseighetskurve oss?

Skårslagkurvene forteller oss om sprøbruddtendensen til et materiale.

**Oppgave 4.40**

Hva er omslagstemperaturen og hvilken betydning har den?

Omslagstemperaturen defineres som temperaturen tilsvarende et slagarbeid på 27,5J. En konstruksjon som skal være sikker mot sprøbrudd bør ikke utsettes for temperaturer under denne. Omslagstemperaturen brukes mest til sammenligning av materialer da den egentlig gjelder for en bestemt type prøvestav testet under bestemte forhold. En virkelig konstruksjon vil kunne oppføre seg noe annerledes i forhold til temperaturendringer.

Oppgave 4.41

Har alle metaller et omslagsområde?

Omslagsområdet forekommer bare hos metaller som stål og noen andre metaller med kubisk romsentrert gitterstruktur, eksempel Fe/stål. For eksempel Al Cu har kubisk flatesentrert gitterstruktur og er derfor ikke utsatt.

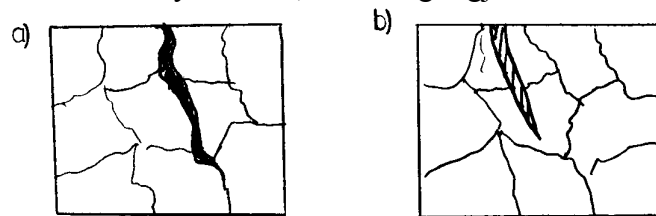
Oppgave 4.42

- a) Beskriv metoden for skårslagprøving. Forklar forskjellen mellom skjærbrudd og kløvningsbrudd, Karakteriser bruddtypene. Hvilken gitterstruktur er det vi forbinder ved kløvningsbrudd?

En kort stav med tverrsnitt 10 x 10mm, forsynt med et skarpt skår av bestemt form og dimensjon, slås av med et enkelt slag av en pendelhammer. Slagarbeidet, vanligvis kalt slagseigheten, måles som differansen mellom pendelens kinetiske energi for og etter slaget, og angis i Joule, i noen land også i Joule/mm². Charpy-staven er brukt over hele verden i dag, men det finnes også andre prøvestaver og prøvemethoder.

De to bruddtyper som opptrer er:

- I. Skjærbrudd : Duktilt brudd som er forårsaket av skjærspenninger
- II. Kløvningsbrudd : Normalspenninger river to atomplan fra hverandre. Dette er såkalt sprøbrudd. Vi har to undergrupper:
 - a. Interkrystallinsk, bruddet følger korn grensene.
 - b. Transkrystallinsk, bruddet går gjennom kornene. Se figur under.

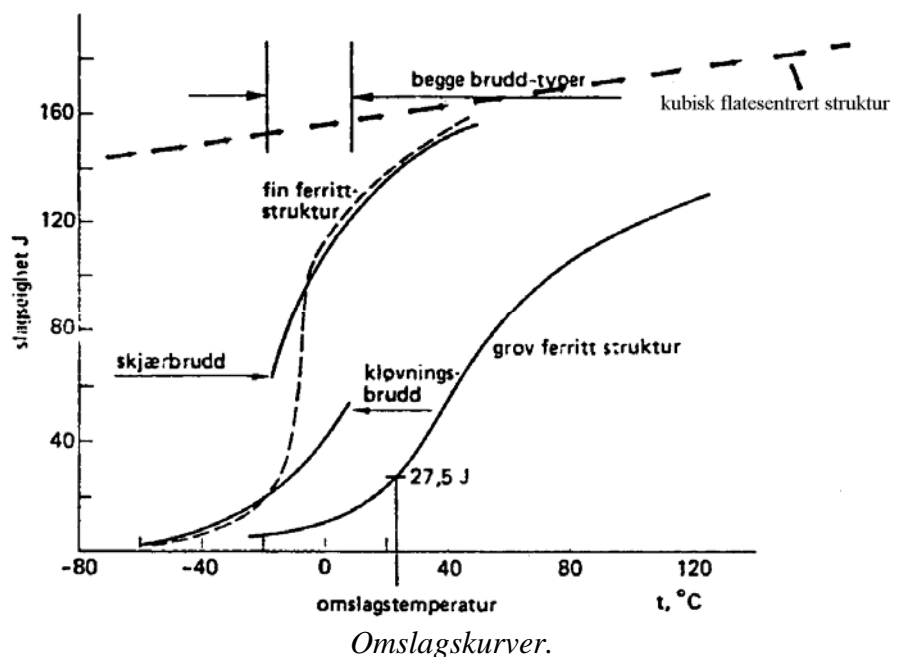


De to forskjellige sprøbruddtyper: a) Interkrystallinsk og b) Transkrystallinsk

Sprøbrudd, kløvningsbrudd, opptrer bare i metaller med kubisk romsentrert struktur (ferritt). Disse metallene oppviser også en omslagstemperatur hvor bruddmekanismen slår over fra sprøbrudd til duktilt (seigt) brudd.

- b) Vis eksempler på de diagram som skårslagdata settes opp i for å gi de karakteristiske omslagskurver. Vis i diagrammet hvordan vi definerer omslagstemperaturen for vanlig konstruksjonsstål. Tegn så inn i diagrammet en karakteristisk prøvekurve for Al- eller Cu-legeringer. Forklar hvilke informasjon vi kan få fra skårslagprøvingen av disse materialene.

Omslagstemperaturen defineres som temperaturen ved et slagarbeid på 27,5 J. Al- og Cu-legeringer har kubisk flatesentrert struktur. Disse materialene vil derfor ikke slå over til sprøtt ved noen temperatur. Slagarbeidet viser en svakt synkende tendens med temperaturen. Skårslagprøving kan fastlegge legeringens følsomhet for skarpe skår.



Oppgave 4.43

Hvilke egenskaper avdekkes ved de ikke-destruktive prøvemetodene?

Ikke-destruktive prøvemetoder avdekker fysikalske egenskaper som ujevnheter i materialet (hulrom, slag, sprekker etc.)

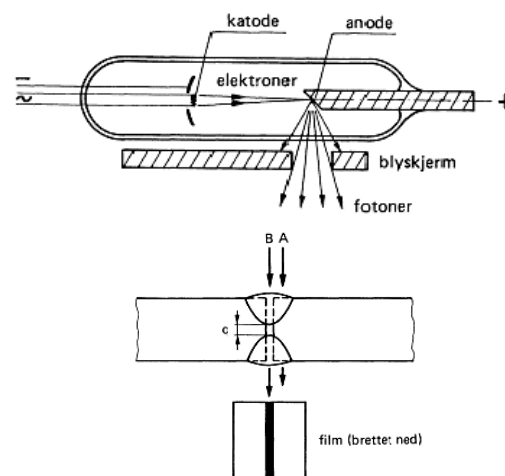
De gir ingen vurdering av den mekaniske svekkelse som disse ujevnheterne måtte ha til følge.

Oppgave 4.44

Tegn og forklar prinsippet for røntgenundersøkelse og ultralydundersøkelse av metaller.

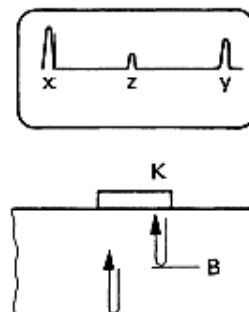
Prinsippet for **røntgenundersøkelse** av for eksempel en sveiseforbindelse.

- strålene treffer platen på oversiden og går så gjennom plate og sveis
- går så gjennom en fotografisk film plassert under platen
- filmen svartes av strålene sterkere jo større strålestyrken er
- sveisen har en rotfeil av dybde q
- materialet i feilen som kan bestå av gasser og/eller metalloksyder, svekker strålene mindre enn metallet omkring
- derfor tegnes rotfeilens konturer som en mørk stripe på filmen



Prinsippet for **ultralydundersøkelse**, ekkometoden.

- lydbølger av høy frekvensstrålene sendes fra lydhode K
- lydbølgene reflekteres ved overgang materiale – luft
- x angir startimpuls, z er feilekko som angir feil i materialet i B og y er bunnekk som platetykkelse

**Oppgave 4.45**

Sammenlign for røntgenundersøkelse og ultralydundersøkelse med hensyn på hva slags feil de avdekker. Fordeler og ulemper.

Feiltyper

- innvendige sprekker
- gassporer
- bindefeil i sveis
- feil i overflaten
- feil i lange tynne emner (stenger)
- korrosjon i skip og rør etc.

Prøvetode

Røntgen og ultralyd

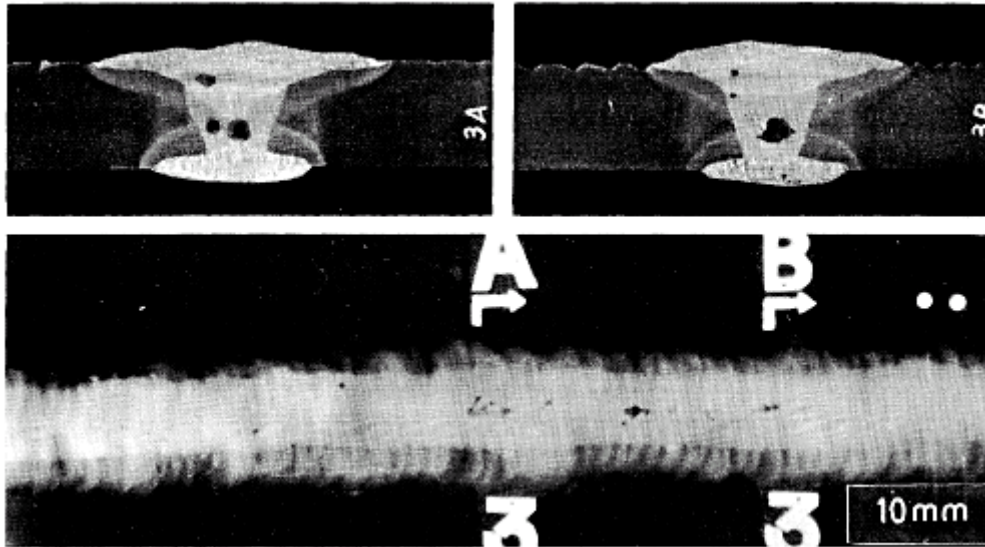
Ultralyd

Røntgen er begrenset til platetykkelser opp til ca. 100mm, ultralyd ingen begrensning. Strålingsfare ved røntgen.

Oppgave 4.46

Hvordan kan vi bruke røntgen for å undersøke en sveiseforbindelse?

Røntgenbilledet av en virkelig sveis er vist i neste figur, og vi ser rotfeil, slag og porer.



*Røntgenbilde av en buttsveis i 10mm stålplate utført i vertikalstilling.
Vi ser slag og gassporer, sammenlign makrofotografiene av de to snitt 3A og 3B.
Sveisen har fått karakter 3 i IIW røntgenatlas.*

For å lette tolkningen av røntgenbilleder av sveiser, er det utarbeidet referansefilm. International Institute of Welding (IIW) har utgitt "Collection of Reference Radiographs of Welds", som er en samling film av sveiseforbindelser der sveisene er klassifisert i 5 grupper etter mengde og antatt farlighet av feil.

Oppgave 4.47

Hvilke andre metoder for sprekkeundersøkelser har vi?

- | | |
|----------------------------|---|
| Magnetpulver undersøkelse: | Finner overflatesprekker og sprekker like under overflate.
Begrenset til ferromagnetiske materialer. |
| Inntrengende væsker: | Finner overflatesprekker.
Kan bestemme tetthet av beholder |