

## 2.8 Beregningsmetoder for limte konstruksjoner

Liming er i design en ”ny metode”. Vi må være klar over at lim ikke uten videre kan erstatte sveising, lodding eller mekaniske festemetoder. Det er flere grunner til dette.

- En limt konstruksjon består av ulike materialer, som har forskjellig elastisitetsmodul og forskjellig varmetvidelse, og dette medfører spenningskonsentrasjoner i tillegg til dem som ligger i selve utformingen av skjøten.
- Selv det sterkeste lim har mindre fasthet enn et metall.
- Kløvepåkjenning og skrellepåkjenning kan føre til store spenninger i en liten del av den totale limflaten.

### MIDLERE SKJÆRSPENNING VED BRUDD I LIMET.

Som en grov beregningsmetode for å finne styrken i en enkel overlappskjøt, kan vi benytte en forenklet ”Volker-ligning”:

Midlere skjærspenning ved brudd i limet:  $\tau_{Bm} = K \cdot M \cdot f$

hvor:

K er lim-faktor  $K = \tau_{Bmaks} \cdot \sqrt{\frac{2d}{G}}$

$\tau_{Bmaks}$  = maks. skjærspenning ved brudd i limskjøten

d = limtykkelse

G = limets skjærmodul

M er metall-faktor  $M = \sqrt{E}$

E = platematerialets E-modul

f er design-faktor  $f = \frac{\sqrt{t}}{l_0}$

t = platetykkelse

$l_0$  = lengde av overlapp

Dette resulterer i endelig ligning for midlere skjærspenning ved brudd i limet:

$$\tau_{Bm} = \tau_{Bmaks} \cdot \sqrt{\frac{2Etd}{Gl_0^2}}$$

### KONTROLL AV ENKEL OVERLAPP-SKJØT.

Skjærspenningen i limet i en enkel overlapp-skjøt, kan veldig enkelt skrives som:

$$\tau = \frac{F}{L \cdot l} [N/mm^2]$$

Hvor F er bruddlasten, L er bredde og l er lengde av limflaten.

Normalspenningen i metallet kan skrives som:

$$\sigma = \frac{F}{t \cdot L} [N/mm^2]$$

Hvor F er bruddlasten, t er platetykkelse og L er bredde av limflaten.

Ligningene ovenfor gjelder bare for elastiske materialer, spenninger under flytegrensen.

Eksempel:

En standardisert prøvestav for overlapp-skjøt prøves. Prøven er i aluminiumlegering 5754 H1 med flytegrense lik ca. 85N/mm<sup>2</sup>. Det ble benyttet 1-komponent epoksyylim med skjærspenning ved brudd lik ca. 25 N/mm<sup>2</sup>.

Bruddlasten ble registrert til 6000N.

Spenningsnivået i limet var:

$$\tau = \frac{6000}{12,5 \cdot 25} = 19,2 N/mm^2$$

Normalspenningen i metallet var:

$$\sigma = \frac{6000}{1,6 \cdot 25} = 150 N/mm^2$$

$\sigma$  er over flytegrensen til metallet (85N/mm<sup>2</sup>).

Bruddet i limskjøten oppstod i limet p.g.a. for stor deformasjon, forlengelse, i aluminiumlegeringen da flytegrensen ble overskredet.

Her var det aluminiumlegeringen som ble testet i stedet for limet.

Under de samme forhold, med samme lim, ble en annen aluminiumlegering 2017 T4 med flytegrensen på ca. 245N/mm<sup>2</sup> testet. Bruddlasten ble nå registrert til 8750N.

Dette ga  $\tau = 28 N/mm^2$  i limet og  $\sigma = 218 N/mm^2$  i platene.

$\sigma$  er her lavere enn flytegrensen til aluminiumlegeringen. Bruddet oppstod p.g.a. at limets bruddgrense ble overskredet.

Ved å bruke såkalt ”forsterket” 1-komponent epoksyylim, som er mer fleksibelt og derfor bedre egnet til å motstå forlengelse, kan vi oppnå følgende verdier:

- På aluminiumlegering 5754 H : F = 8000N
- På aluminiumlegering 2017 T4 : F = 13625N

Konklusjon:

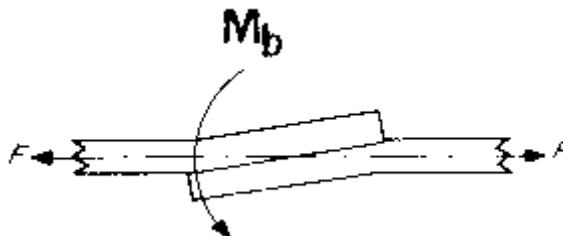
I alle limforbindelser er det viktig å forsikre seg at spenningen i metallet bestandig er mindre enn flytegrensen.

I praksis, for å oppnå optimal design av forbindelsen, må forbindelsen være dimensjonert slik at brudd oppstår i limet når metallet når flytegrensen.

**BØYEMOMENT I OVERLAPPSKJØT.**

I en overlappskjøt vil det i tillegg til skjærspenningen oppstå strekkspenning på grunn av bøyemoment. Årsaken til bøyemomentet er at overlappskjøten prøver å innstille seg i linje med kraften. Bøyemomentet øker med økende platetykkelse.

$$M_b = F \cdot \left( \frac{t}{2} + s \right)$$



Figur 2.8.1

Strekraften gir et bøyemoment i overlappskjøten. (5)

**TERMISK EKSPANSJON.**

Når temperaturen for et gitt materiale øker, blir dimensjonene endret med  $\Delta L$ :

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$

hvor :  $\alpha$  = materialets termiske utvidelseskoeffisient ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )  
 $\Delta T$  = temperaturforskjellen ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $L$  = delens lengde (mm)

Hvis vi limer sammen to materialer 1 og 2, med utvidelseskoeffisienter  $\alpha_1$  og  $\alpha_2$ , vil en temperaturendring forårsake at materiale 1 utvider seg med  $\Delta L_1 = \alpha_1 \cdot \Delta T \cdot L$  og det andre med  $\Delta L_2 = \alpha_2 \cdot \Delta T \cdot L$ .  $L$  er her limfugens lengde.

Skjærspenningen i limet blir: 
$$\tau = (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \frac{\Delta T \cdot L \cdot G}{2d} \left[ \text{N/mm}^2 \right]$$

Hvor :  $G$  = limets skjærmodul  
 $d$  = limtykkelse

I tilfeller hvor aluminium er limt til plastmaterialer eller glass, vil brudd kunne oppstå. I tilfeller med myke materialer (lav  $G$ -modul), vil materialets deformasjon oppveie forskjellen i utvidelse og således redusere spenningsnivået.

**Eksempel:**

En aluminiumplate limes til en stålplate.

$\alpha_{Al} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha_{St} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ , lengde på overlapp  $L = 200\text{mm}$ , Lim-tykkelse  $d = 1\text{mm}$  og limets skjærmodul  $G = 400\text{N/mm}^2$ .

Temperaturen økes fra  $20^{\circ}\text{C}$  til  $80^{\circ}\text{C}$ . Beregn skjærspenningen i limet.

$$\tau = (23 - 12) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{(80 - 20) \cdot 200 \cdot 400}{2 \cdot 1} = 26,4 \text{ N/mm}^2$$

Denne verdien er veldig høy og fører til et høyt sigenivå.

Det er viktig å merke seg at limets skjærmodul,  $G$ , avtar lineært med økende temperatur.

Spenningsnivået vil derfor bli noe lavere ved  $80^{\circ}\text{C}$ .

Generell regel:

For forbindelser som utsettes for store temperaturvariasjoner, må vi huske på:

- å velge limtyper med lav skjærmodul
- å lage en tykk limfuge
- hvor mulig, å velge limtype med termisk utvidelseskoeffisient noe imellom de to materialene som skal limes

Sikkerhetsfaktorer:

Vi må benytte sikkerhetsfaktorer for å kunne ta hensyn til feil i produksjonen og elding.

2-komponent-lim blandes i produksjonen. Disse limene vil gi videre spredning av resultatet enn 1-komponent-lim som herder ved høy temperatur. Vi benytter derfor høyere sikkerhetsfaktorer med 2-komponent-lim.

Da sikkerhetsfaktorer ikke er standardisert, er det opp til designeren å velge dem.