AALBORG UNIVERSITY

Introduktion til Udmattelse

M5 kursusgang 2

Søren Heide Lambertsen

Det er muligt at bestemme udmattelseslevetiden ved en revnemekanisk beregning.

Disse beregninger tager udgangspunkt i en fiktiv revne

Revnemekanik er meget anvendt inden for rumfart, atomkraft, skibsindustri og bilindustrien.

I dette kursus anvendes linear elastic fracture mechanics (LEFM)

LEFM basere sig på hooks lov

I virkeligheden sker der en plastisk deformation i revnespidsen

Revnen kan belastes på forskellige måder

Belastnings måden har betydning for revneudviklingen eksempelvis vil en revne som udsættes for træk åbne sig.

Der findes forskellige måder at belaste en revne på.

Der findes 3 modes og disse navngives:

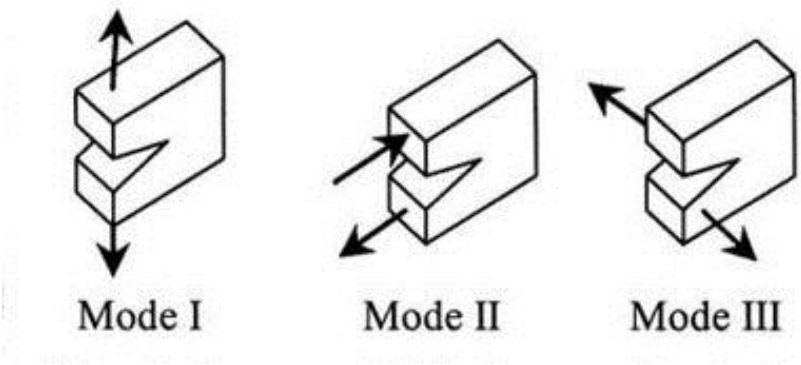
Mode 1 : Træk tilstand

Mode 2: Forskydningstilstand

Mode 3: Forskydningstilstand ud af planet

De 3 modes i revnemekanik

Den mest undersøgte og anvendte er mode 1.



Spændings intensitets faktor. (K)

Grundlaget for revnemekanik blev grundlagt af Griffith

$$K = \sigma\sqrt{a \cdot \pi}$$

K har en sammenhæng med G

G er den elastiske energi per revne areal for revne udvikling.

Irwin

$$G = \frac{K^2}{E}$$

G = Crack tip driving force

$$G = \frac{(\sigma\sqrt{a \cdot \pi}\,)^2}{E}$$

Indsættes enhederne

$$G = \frac{\frac{N^2}{mm^4} \cdot mm}{\frac{N}{mm^2}} = \frac{N}{mm}$$

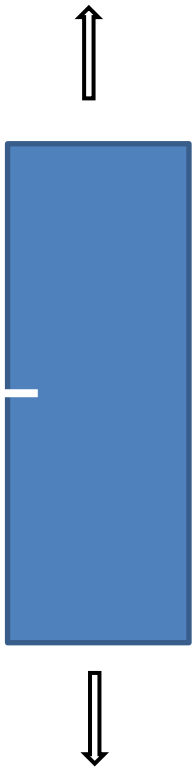
Energi

J = N mm

N= J/mm

$$G = \frac{\frac{N^2}{mm^4} \cdot mm}{\frac{N}{mm^2}} = \frac{N}{mm} = \frac{J}{mm^2}$$

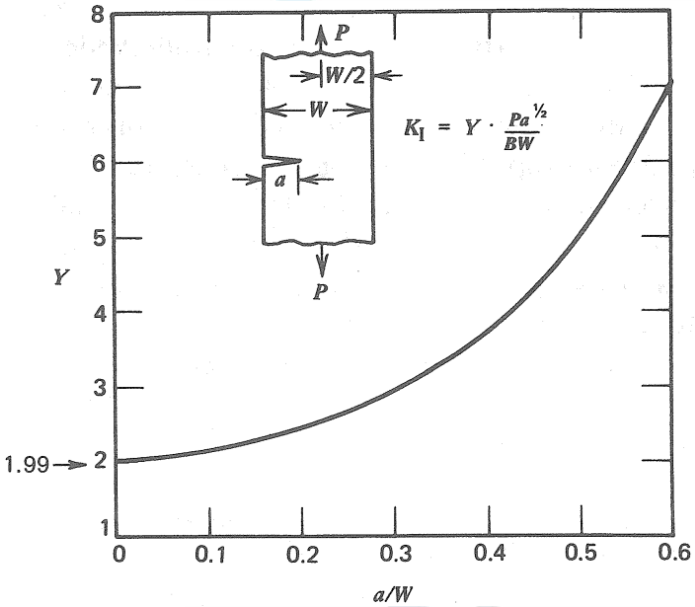
K værdi



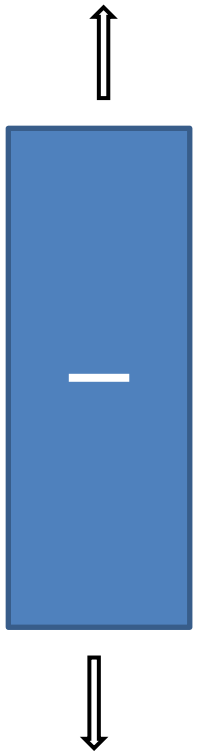
$$K = s\sqrt{a}\ f\left(\frac{a}{w}\right)$$

$$K = s\sqrt{a}\ Y$$

$$K = 1{,}99 s\sqrt{a}$$



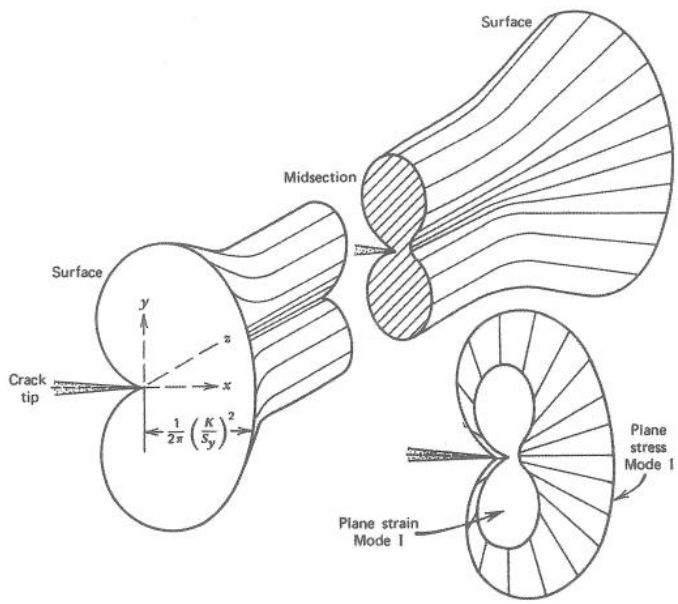
K værdi



$$K = S\sqrt{\pi a} \approx 1{,}77 s\sqrt{a}$$

Det plastiske område omkring revnespidsen.

$$2r_y = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K}{S_y}\right)^2 \qquad r_y \leq \frac{a}{8} \qquad r_y \leq \frac{a}{4}$$



K_c

Spændingsstørrelse som giver en instabil revne.

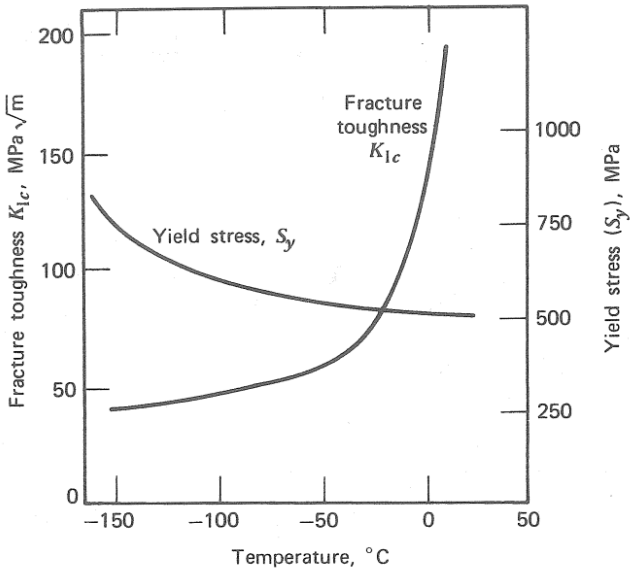
Hvis den værdi opnås sker der brud.

Kc afhænger af tykkelsen på emnet.

Kc

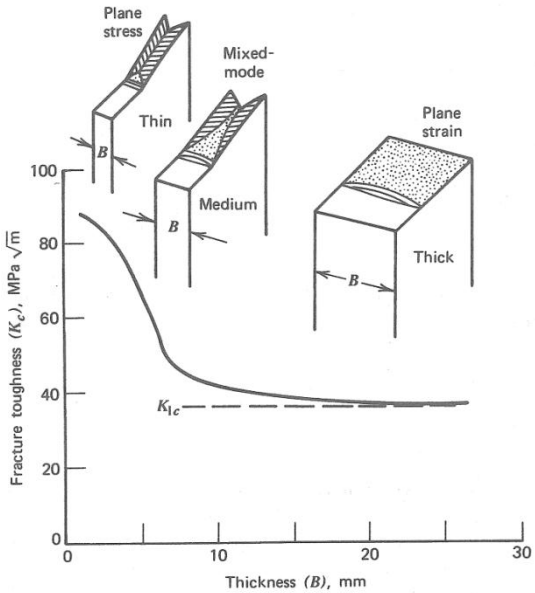
Kc har en værdi fra 30-130

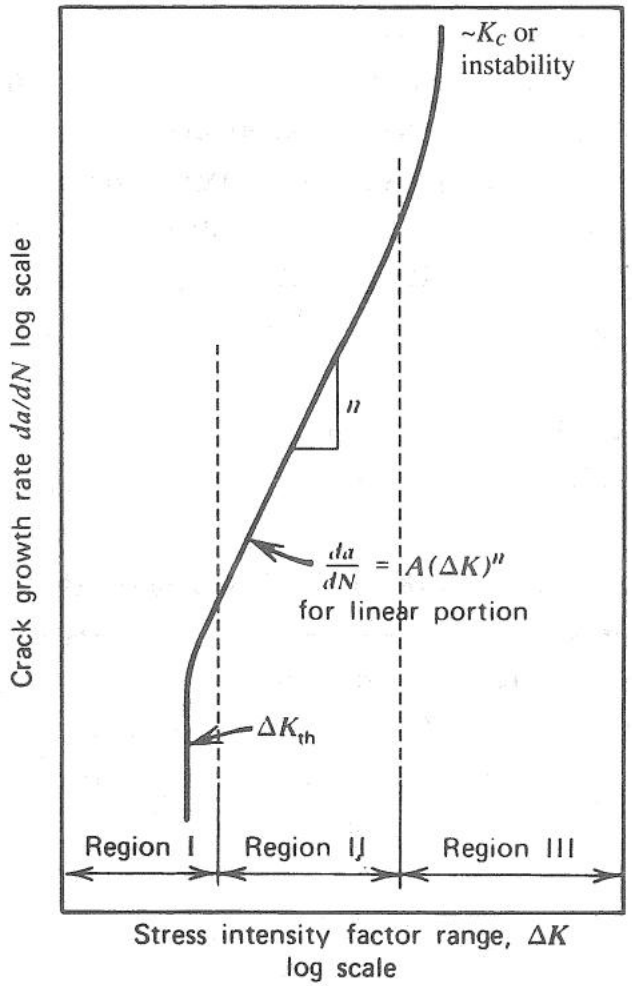
Kc afhænger af temperaturen



Revne vækst da/dN-K

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta\sigma, a, Y)$$

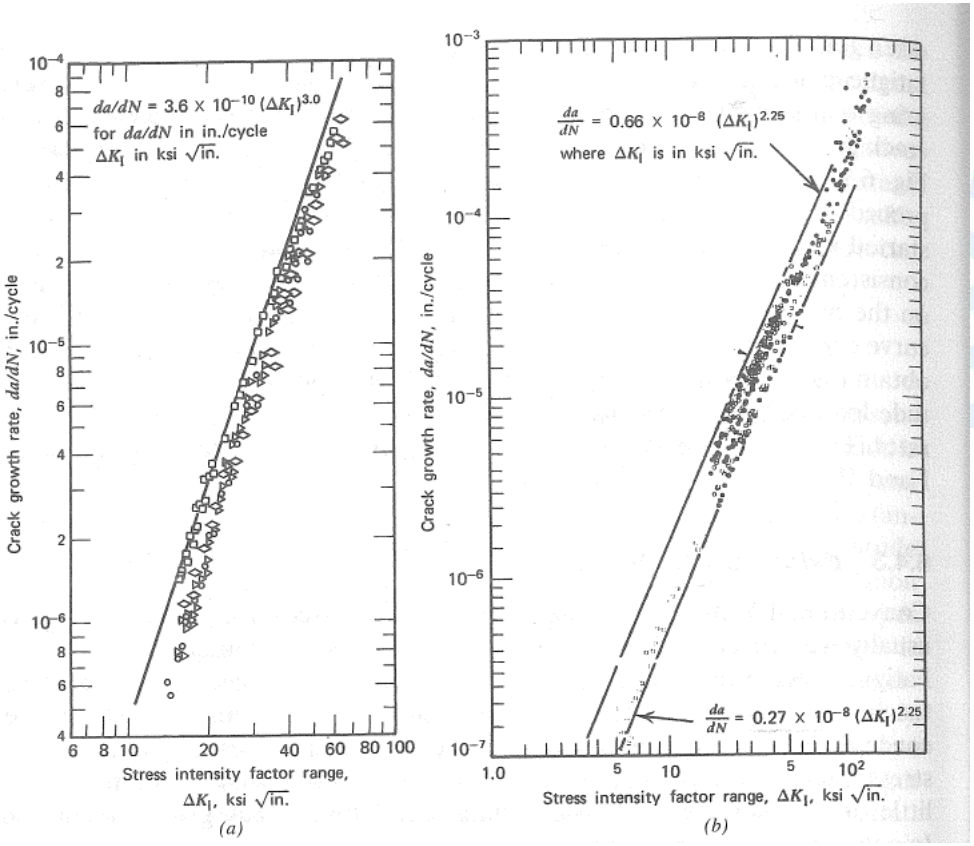


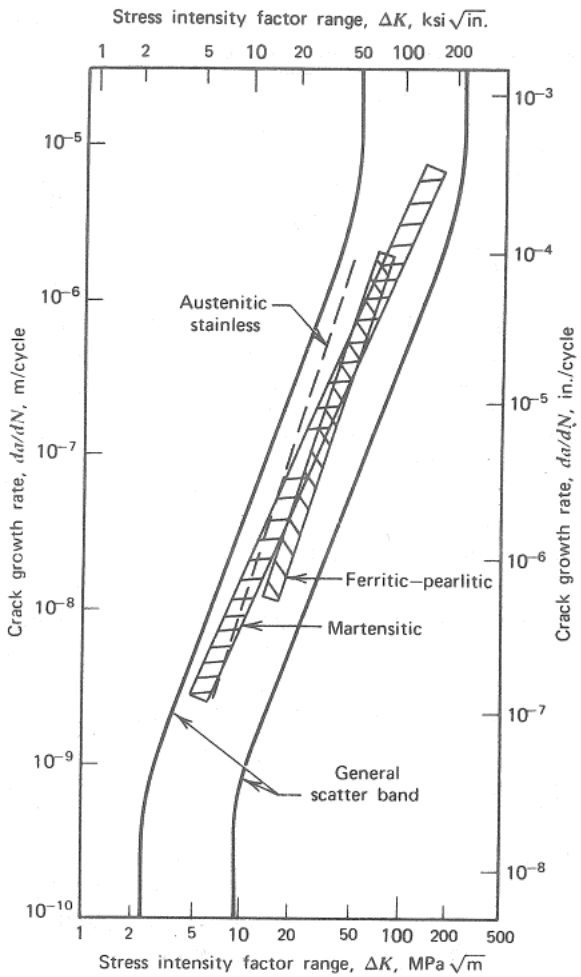


Paris lov

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^n$$

Paris lov (Revnevækst)





Revnevækst (Rustfri stål)

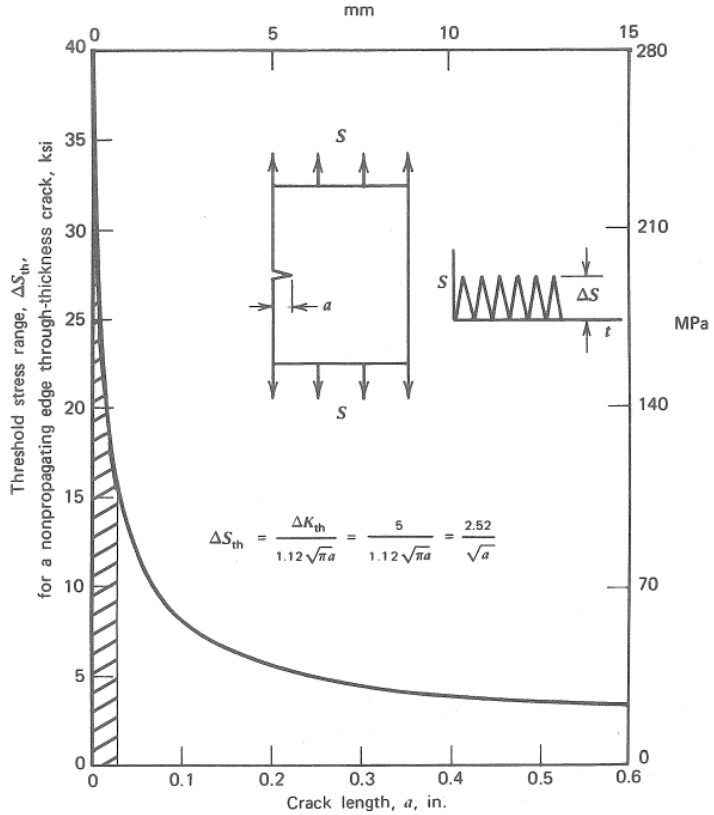
$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^n$$

Revnevækst (Materialer)

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^n$$

Material	Slope, n	Intercept, A (m/cycle)	Intercept, A (in./cycle)
Ferritic-pearlitic steels*	3.0	6.9×10^{-12}	3.6×10^{-10}
Martensitic steels*	2.25	1.35×10^{-10}	6.6×10^{-9}
Austenitic stainless steels*	3.25	5.6×10^{-12}	3.0×10^{-10}
7075-T6 wrought aluminum [22]	3.7	2.7×10^{-11}	1.5×10^{-9}
A356-T6 cast aluminum [29]	11.2	1.5×10^{-20}	7.8×10^{-19}
Ti-6-4 mill annealed titanium [30]	3.2	1.0×10^{-11}	5.2×10^{-10}
Ti-62222 mill annealed titanium [31]	3.2	2.3×10^{-11}	1.2×10^{-9}
AZ91E-T6 cast magnesium [32]	3.9	1.8×10^{-10}	9.4×10^{-9}

Revnevækst (Spænding-revnelængde)



Revnevækst (Beregning af levetiden)

$$\Delta K = \Delta\sigma\sqrt{a\pi}\ Y \qquad \frac{da}{dN} = A(\Delta K)^n$$

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta\sigma\sqrt{a\pi}\ Y)^n \frac{da}{dN}$$

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta\sigma)^n (a\pi)^{n/2}\ Y^n$$

$$dN = \frac{da}{A(\Delta\sigma)^n (a\pi)^{n/2}\ Y^n}$$

Revnevækst (Beregning af levetiden)

$$dN = \frac{da}{A(\Delta\sigma)^n (a\pi)^{n/2}\, Y^n}$$

$$\int_0^{Nf} dN = \int_{ai}^{af} \frac{da}{A(\Delta\sigma)^n (a\pi)^{n/2}\, Y^n}$$

Hvordan finder vi a_f og a_i

Revnevækst (Beregning af levetiden)

Hvordan finder vi a_f og a_i

$$K = s\sqrt{a\pi}\ Y$$

$$\frac{K}{sY} = \sqrt{a\pi}$$

$$\left(\frac{K}{sY}\right)^2 \frac{1}{\pi} = a$$

$$\left(\frac{K_c}{S_{max}Y}\right)^2 \frac{1}{\pi} = a_f$$

Revnevækst (Beregning af levetiden)

$$\left(\frac{K_c}{S_{max}Y}\right)^2 \frac{1}{\pi} = a_f$$

$$\int_0^{Nf} dN = \int_{ai}^{af} \frac{da}{A(\Delta\sigma)^n (a\pi)^{n/2}\, Y^n}$$

$$\int_0^{Nf} dN = \frac{1}{A(\Delta\sigma)^n (\pi)^{n/2}\, Y^n} \int_{ai}^{af} \frac{da}{a^{n/2}}$$

Revnevækst (Beregning af levetiden)

$$\int_{ai}^{af} \frac{da}{a^{n/2}}$$

$$\int_{ai}^{af} \frac{da}{a^{n/2}} = \left.\frac{a^{-\left(\frac{n}{2}\right)+1}}{-\frac{n}{2}+1}\right]_{ai}^{af}$$

$$\left.\frac{a^{-\left(\frac{n}{2}\right)+1}}{-\frac{n}{2}+1}\right]_{ai}^{af} = \frac{{a_f}^{-\left(\frac{n}{2}\right)+1} - {a_i}^{-\left(\frac{n}{2}\right)+1}}{-\frac{n}{2}+1}$$

Revnevækst (Beregning af levetiden)

$$N_f = \frac{1}{A(\Delta\sigma)^n(\pi)^{n/2}\,Y^n}\left(\frac{{a_f}^{-\left(\frac{n}{2}\right)+1} - {a_i}^{-\left(\frac{n}{2}\right)+1}}{-\frac{n}{2}+1}\right)$$

Tager ikke højde for ændring af Y