

PPU022 VT18

# K3

## Stål, utmattning

Lars Bark MDH/DT 2018-04-11 1

---

---

---

---

---

---


---

---

PPU022 VT18

## Utmattning

- De flesta haverier som sker i lastbärande konstruktioner orsakas av utmattning.
- Detta beror bl.a. på att:
  - hållfastheten vid upprepade belastningar, speciellt vid hög anvisningsverkan från t.ex. svetsar, är mycket lägre än den statiska hållfastheten
  - detta förhållande inte alltid beaktas vid dimensioneringen.
- Utmattningsprocessen
  - Utmattning är en process där materialet gradvis bryts ner vid **upprepade belastning**
  - Sprickor bildas och tillväxer i områden med hög lokal spänning (**anvisningsverkan**).
  - Utmattning är alltså ett **lokalt fenomen**
  - Ett utmattningsbrott karakteriseras av **liten plastisk deformation**
  - Utmattningssprickor kan därför vara svåra att upptäcka.
- Utmattning är svårt att härleda/beskriva matematiskt.
- Beräkningsmodeller baseras till stor del på empirisk kunskap



Lars Bark MDH/DT 2018-04-11 2

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022 VT18

## Vägen till utmattningsbrott

- Utmattningsbrott sker vanligtvis i tre steg.
  - Steg I:** vilket utgörs av en **initial spricka** som ofta börjar vid en repa på ytan eller en inre defekt såsom en inneslutning.
  - Steg II:** **sprickan växer** lite för varje cykel som den utsätts för. Ytan får små böjleslagsmärken (kallas på engelska för beach marks och skall inte förväxlas med striations som är mikrometerstora), det vill säga en räffla för varje cykel som sprickan vuxit.
  - Steg III:** när sprickan vuxit tillräckligt mycket alternativt om sprickan utsätts för en större last, sker ett plötsligt, katastrofalt **brott**.



Beachmarks brukar uppträda om man har viloperioder mellan belastningarna

Lars Bark MDH/DT 2018-04-11 3

---

---

---

---

---

---

---

---

**Sprickinitiering, spricktillväxt och restbrott**

- Utmattningsprocessen:
  - Initiering av spricka
  - Tillväxt av sprickan
  - Tvärsnittet till slut försvagat (minskat) ⇒ brott
- Svetsat material
  - Svets innehåller alltid sprickor/sprickanvisningar

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

**Kittagawa-diagram**

- Hastigheten för tillväxt av sprickor
  - i princip oberoende av stålets hållfasthet
- Utmattningshållfastheten för svetsförband
  - också i princip oberoende av stålets hållfasthet
- Spänningen för initiering av utmattningsprickor
  - relaterad till stålets sträckgräns
  - Därför ökar utmattningshållfastheten med ökande hållfasthet för osvetsat material (där initieringsfasen i utmattningsprocessen dominerar)

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

**Inverkan på utmattningshållfasthet**

- Tumregel:
  - risk för utmattning om antalet lastcykler överstiger  $10^3$
- Utmattn.hållf beror av:
  - I första hand:
    - antalet lastcykler
    - lastkollektivets form (spänningsvariationer)
    - graden av anvisningsverkan
  - I andra hand:
    - grundmaterialets statiska hållfasthet
    - medelspänning
    - korrosion
    - plättjocklek
    - belastningsfrekvens

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022\_VTB

### Definitioner av spänningsmått i en utmattningscykel

- $\sigma_{max}$  – max spänning under utmattningscykeln
- $\sigma_{min}$  – min spänning
- $\sigma_m$  – medelspänning
- $\sigma_a$  – spänningsamplitud
- $\Delta\sigma$  – spänningsvidd

$R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$  spänningsförhållande

- $R < 0$  växlande belastning
- $R \geq 0$  pulserande belastning

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022\_VTB

### Inverkan av varierande last

- A: Fullt spänningskollektiv. Dvs last varierar hela tiden mellan max-/min-värde
- B: Verkligt spänningskollektiv (uppmätt mha t.ex. trådtöjningsgivare)

Vi kan ange en *kollektivfaktor* mellan 0 < k < 1 för att ta hänsyn till utseendet på lastkollektivet

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022\_VTB

### Att tänka på vid risk för utmattning

- Undvik sprickanvisningar
- Skapa ett jämnt kraftflöde
- Jäma ytor
- Undvik korrosion
- Försök undvika svetsning

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Utformning av förband**

- Lastinföring i balkliv

a) Bra vid statiskt belastad balk

b) Bra vid utmattningsbelastad balk

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11 10

---

---

---

---

---

---

---

---

**Utformning av svetsade konstruktioner 1**

Figur 5.13: Undvik abrupta styvhetsförändringar.

Figur 5.14: Undvik ett överfoga omlastningsvärt.

Figur 5.15: Övergång för stött utskott vid anslutning.

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11 11

---

---

---

---

---

---

---

---

**Utformning av svetsade konstruktioner 2**

Figur 3.17: Styrmedel för bättre förhållande vid anslutningsdetaljer. Det är viktigt att förhållna är den bättre med en dubbelhöjd utan för en avsevärd.

Skal anslutningslängd

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11 12

---

---

---

---

---

---

---

---

**Utformning av svetsade konstruktioner 3**

**Figur 3.19:** Ett svetsförband ska absolut inte utformas som ett nitförband. Det som är ett konstruktivt bro- eller skruvförband är ett dåligt svetsförband.

Lars Bark MSH/VDT 2018-04-11 13

---

---

---

---

---

---

---

---

**Utformning av svetsade konstruktioner 4**

- Placera svetsen där spänningen är låg

**Figur 5.22:** Svarsta lastförhållingar i balkar nära neutrala

Lars Bark MSH/VDT 2018-04-11 14

---

---

---

---

---

---

---

---

**Exempel**

Lars Bark MSH/VDT 2018-04-11 15

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022 VT18

## Utformning av svetsade konstruktioner 5

- Efterbehandling
  - Metoder för förbättring av svetsprofilen. (avlägsna/reducera sprickliknande defekter)
    - maskinbearbetning eller planslipning av svetsrägen
    - maskinbearbetning eller slipning av svetsfån
    - lokal återsmältning med TIG, plasma eller laser
  - Metoder för att införa tryckegenspänningar (reducera dragspänningar):
    - kallhamring - Peening (Hamring, Nålhamring, Kulblåstring,
    - "Ultrasonic Peening" (UP) och "Ultrasonic Impact Treatment" (UIT)
    - lokal kompression
    - överbelastrning
    - avsännings glödning
- OBS! En spricka kan bara växa om den utsätts för dragspänningar**

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11 15

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022 VT18

## Val av förband/förbandsklasser

- Förbandsklass FAT
  - är den karakteristiska utmattningshållfastheten för förbandet vid  $2 \cdot 10^6$  cykler och vid en brottsannolikhet på 2,3 %.

Figur 5.1b: Utmattningshållfasthet som funktion av stresscyklor schematiskt, inverkan av ökad förbandsklass och efterbehandling av svets.

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11 17

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022 VT18

## Beräkningsmodeller

- Metoden med nominella spänningar (spänning ber. med vanl. hållf)
  - Ännu idag den vanligaste metoden
  - Förutsättningar:
    - Nominell spänning måste vara möjlig att bestämma.
    - Geometrin och belastningsriktning hos aktuellt förband har en motsvarighet i en känd förbandsklass. (längd verkan av spänningskoncentrationer mm)
  - Fördelar:
    - Enkel metod
- Hot spot-metoden
  - Förutsättningar:
    - Metoden är tillämpbar endast på svetsförband och endast då svetsfån är kritisk.
  - Fördelar:
    - Metoden är tillämpbar för komplicerade strukturer där nominell spänning ej går att definiera.
- Effective notch- metoden
  - Förutsättningar:
    - Metoden är tillämpbar endast på svetsförband.
  - Fördelar:
    - Metoden är tillämpbar för komplicerade strukturer där nominell spänning ej går att definiera.
    - Förutom svetsfån så kan även svetsroten dimensioneras med denna metod.

Lars Bark MSH/DT 2018-04-11 19

---

---

---

---

---

---

---

---

PPU022 VT18

### Ex. 1

- Ett svetsat förband skall utmattningsdimensioneras. Man upptäcker vid en mätning att spänningvidden är 25 % större än man från börjat räknat med. Hur påverkar det livslängden för förbandet?

Lars Bark MDH/DT 2018-04-11 19

---

---

---

---

---

---

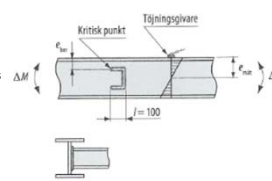
---

---

PPU022 VT18

### Ex. 2

- För att få fram dimensioneringsunderlag till en ny balk gjordes en fältmätning på en prototyp under en veckas tid. Mätningen gjordes under sådana förhållanden att man inte behöver befara att släpvagnar ur kommande serieproduktion utsätts för hårdare kollektiv som orsakar större delskada i en given punkt än i fallet med det uppmätta kollektivet, d.v.s.  $y_i$  sätts till 1,0 vid dimensionering. Den beräknade driftstiden är 9 år och släpet är dimensionerat för att gå 2/3-delar av denna tid i trafik d.v.s. 16 h/dygn. En kritisk punkt har identifierats i anslutningen mellan rambalk och tvärbalk enligt Svets är lagd runt om den C-formade tvärbalken. Livet i huvudbalken har godstjockleken  $t=5$  mm. Konsekvensen av haveri bedöms vara allvarig, d.v.s.  $\gamma_m$  sätts till 1.21. Inverkan av excentricitet och vinkelfel täcks in av aktuell förbandsklass. I figur 5.73 och tabell 5.20 visas fältmättningsdata i form av range-pair värden för spänningvidder.
- Uppfyller den aktuella beräkningspunkten kravet på driftstid med ovan nämnda förutsättningar?



Lars Bark MDH/DT 2018-04-11 20

---

---

---

---

---

---

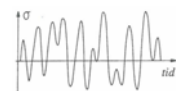
---

---

PPU022 VT18

### Analys av lastväxlingarna

- Hur många belastningscykler?
- Hur stor amplitud?
- Metoder för att räkna cykler med viss amplitud
  - Peak count-metoder
  - Range pair count-metoder
    - Rain-flow count
  - M.fl.



Lars Bark MDH/DT 2018-04-11 21

---

---

---

---

---

---

---

---

**Konvertering av oregelbundna cykler till block av regelbundna cykler**

- Mätresultat
- Konvertering av mätdata till block med konstant amplitud efter Rain-flow count-analys

Lars Bark MSH/VDT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Range par**

**Figur 5.73:** Grafisk representation av kollektiv från förtäring.

Range-Pär värden från förtäring			Beräknade värden	
i	(MPa)	n <sub>i</sub> <sup>1</sup> (ber/cykler)	n <sub>i</sub> <sup>2</sup> (2m <sup>2</sup> · Δσ <sub>i</sub> <sup>-2</sup> · 0,0001n <sub>i</sub> )	Akkumulerat antal ber/cykler <sup>2</sup>
1	600	3	5,89 · 10 <sup>-1</sup>	3
2	500	11	1,23 · 10 <sup>-1</sup>	14
3	400	70	4,01 · 10 <sup>-2</sup>	84
4	300	201	4,85 · 10 <sup>-3</sup>	285
5	200	511	3,66 · 10 <sup>-4</sup>	796
6	100	913	8,17 · 10 <sup>-6</sup>	1309
7	50	5015	5,61 · 10 <sup>-8</sup>	6724
8	20	15025	1,08 · 10 <sup>-9</sup>	21749
9	10	30012	2,68 · 10 <sup>-10</sup>	51761
Summa:		51761 = n <sub>i</sub>	0,00158 = Δ <sub>i</sub>	

<sup>1</sup> Helycykler (i) range-pär metodens används vid mätning.  
<sup>2</sup> Används endast för grafisk representation.

**Tabell 5.20:** Resultat från förtäring och beräkning av kollektivfokom km.

Lars Bark MSH/VDT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**5.6.6 Beräkningsgång**

- Bestäm områden av spänningsfluktuation genom spänningsfrekvensdiagrammet  $S_{\sigma}$ 

$$S_{\sigma} = \frac{1}{T} \int_0^T \sigma^2 dt = \sigma_{\text{eff}}^2$$
- Bestäm förtäringsskivan  $N_0$  med hjälp av samband 5.17, 5.18 och 5.19
 
$$N_0 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\Delta_i} \cdot \frac{1}{\sigma_i} \right]^2$$
- Bestäm förtäringsskivan  $N_0$  med hjälp av samband 5.17 och samband 5.19
- Bestäm väntetidsfunktionen  $n_i$  enligt 5.14
- Bestäm spänningsfluktuationer  $n_i$  enligt 5.12, 5.14
- Bestäm partiella summan för ber och förtäring  $n_i$  enligt 5.12 och 5.14
- Bestäm den totala väntetidsfunktionen  $n_i$  enligt 5.12, 5.14
- Bestäm den totala väntetidsfunktionen  $n_i$  enligt 5.12, 5.14
- Bestäm väntetidsfunktionen  $n_i$  enligt 5.12, 5.14

Lars Bark MSH/VDT 2018-04-11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---