

Kan udmattelsesegenskaber genetableres i industrielle komponenter?

Cirkulært vedligehold - udmattelseslevetid i stempler fra skibsmotor

Ditte Bilgrav Banggaard
FMV 2022



Levetidsforlængelse

Kan udmattelsesegenskaber genetableres i industrielle komponenter?

- Præsentation af resultater fra et indledende forsøg, hvor udmattelsesbelastede stempelkroner fra skibsmotor gennemgår en varmebehandling, som potentielt vil kunne genetablere udmattelsesstyrken med henblik på levetidsforlængelse
- Litteratur viser at varmebehandling har en effekt på restitution så udmattelsesegenskaber kan nulstilles
- Eftervises ved forsøg på aktuelle industrielle komponenter

Projekt: Nyt liv til maskinkomponenter

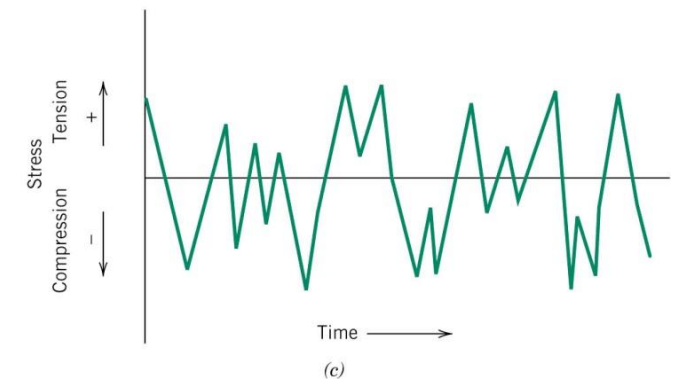
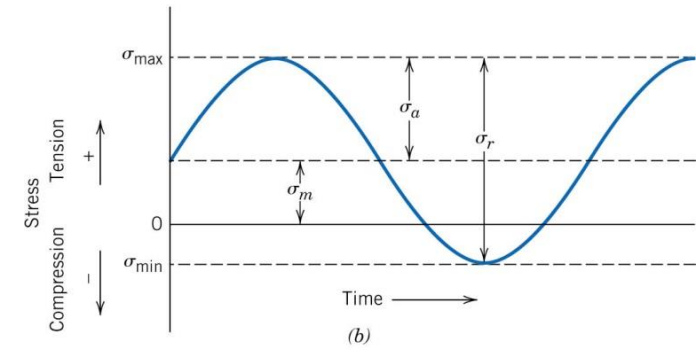
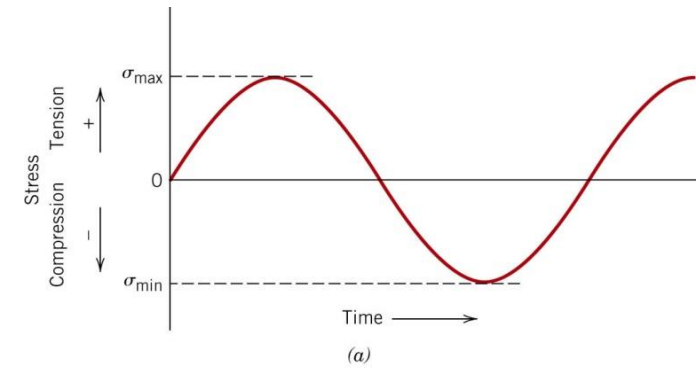
Finansieret af Innovationsnetværket for Miljøteknologi

- Projektperiode: 15. marts 2020 til december 2020
- Partnere: Molslinjen, DFDS, Maersk Supply, Maersk Drilling, Fjordline, Zeppelin, PJ Diesel
- Workshop januar 2020 – er der interesse fra industrien?
- **Formål: varmebehandling har en effekt på restitution så udmattelsesegenskaber kan nulstilles – det skal eftervises**
- Stempelkroner var noget alle nævnte som komponent, som tilsyneladende udskiftes uden at fejle noget



Udmattelse – hvad er det?

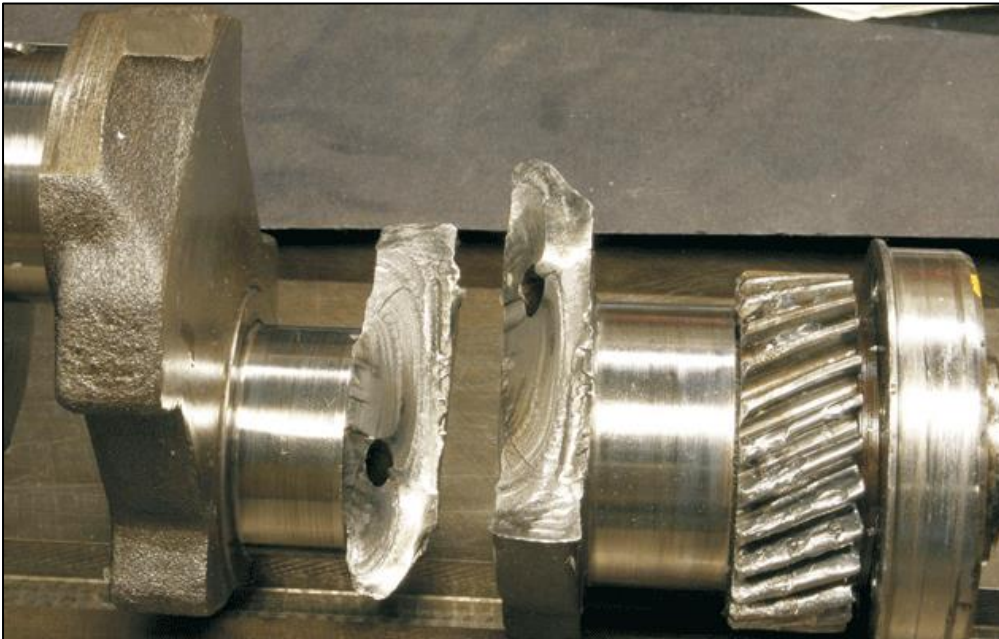
Udmattelse er akkumulering af plastisk tøjning - dislokationer



Udmattelsesbrud

Udmattelse er akkumulering af plastisk tøjning

- Revneinitiering → Revnevækst → Brud
- Når først revneinitiering er opstået (90%), kan materialet ikke genoprettes (ved varmebehandling)



Undersøgelser

Fejler stempelkronerne intet på overfladen?

- Visuel undersøgelse for ydre skader
 - Fretting
 - Slid i ringspor (måling på replica)
 - Revner, elefanthud/nedbrænding, overfladedefekter (penetrant)
 - Koks og belægnings – tykkelse målt til 150-250 μm
 - Undersøgelser viste ingen tegn på ydre skader

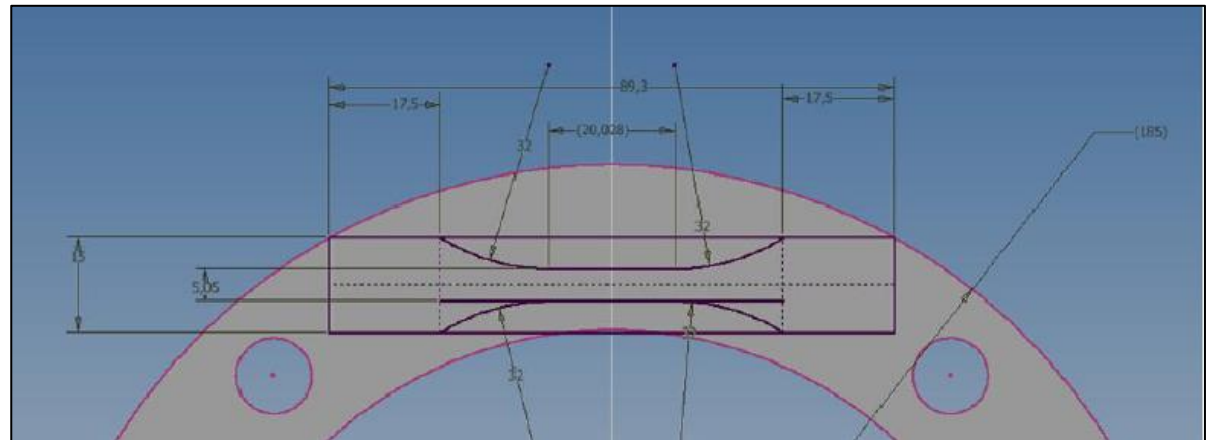
- Testprogram:

- Maskinering af emner
- Varmebehandling
- Udmattelsestest



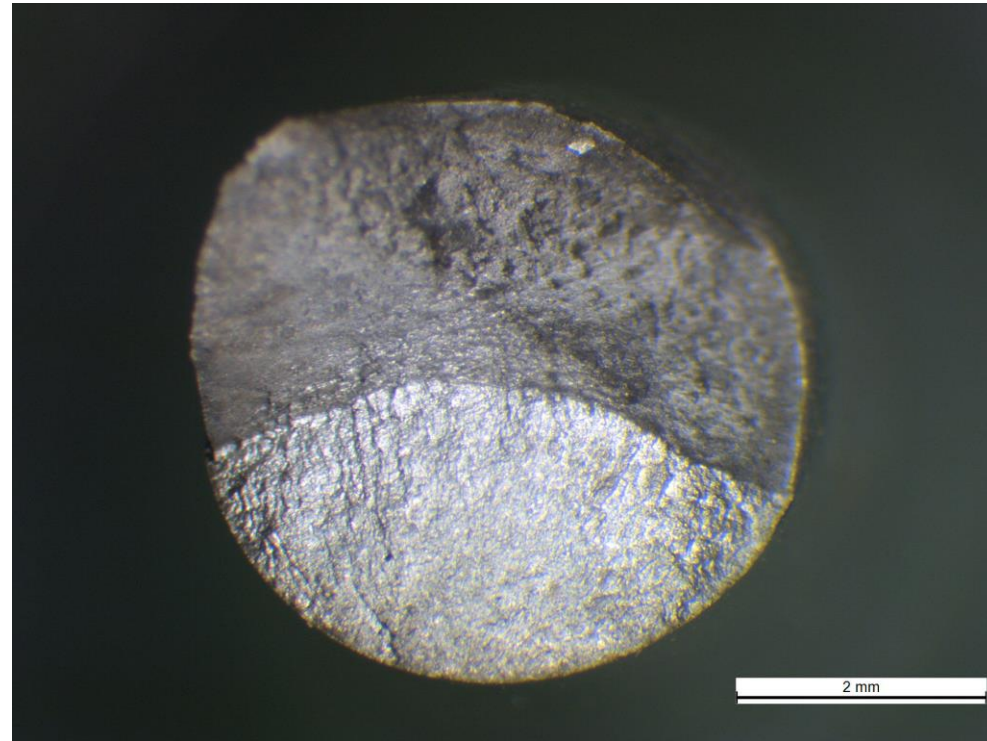
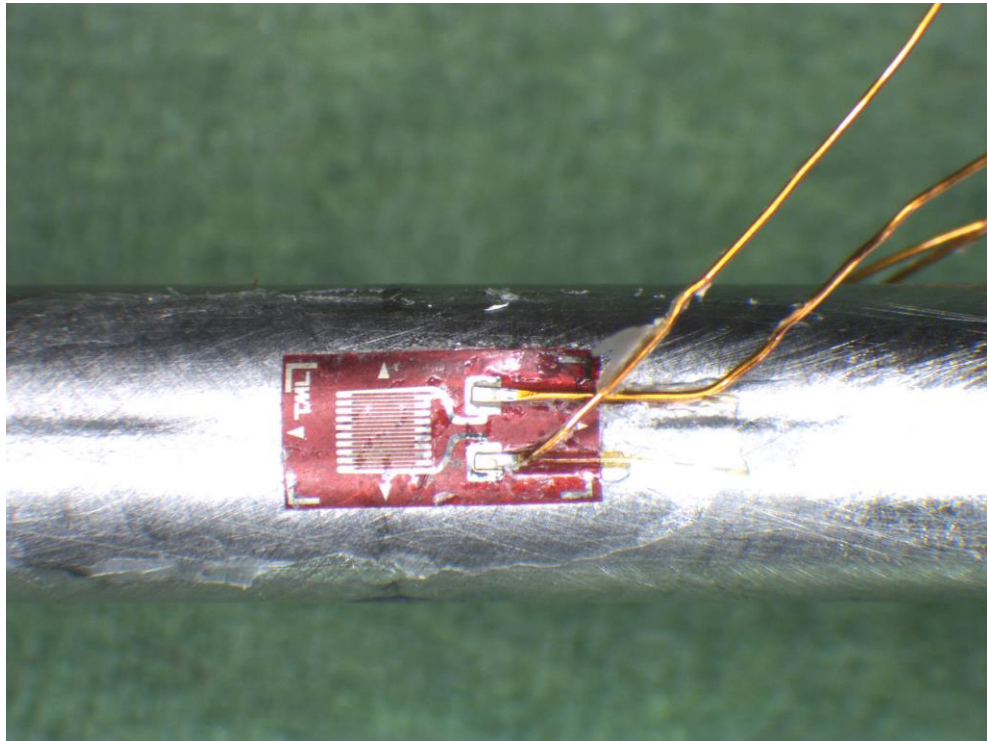
Udskæring af testemner

- Testemnerne blev udtaget fra stempelkronerne og testet iht. ASTM E466
- 3 emner blev udtaget pr. stempel
- 3 testserier: som modtaget, varmebehandlet og 100.000 cykler før varmebehandling



Udmattelsestest

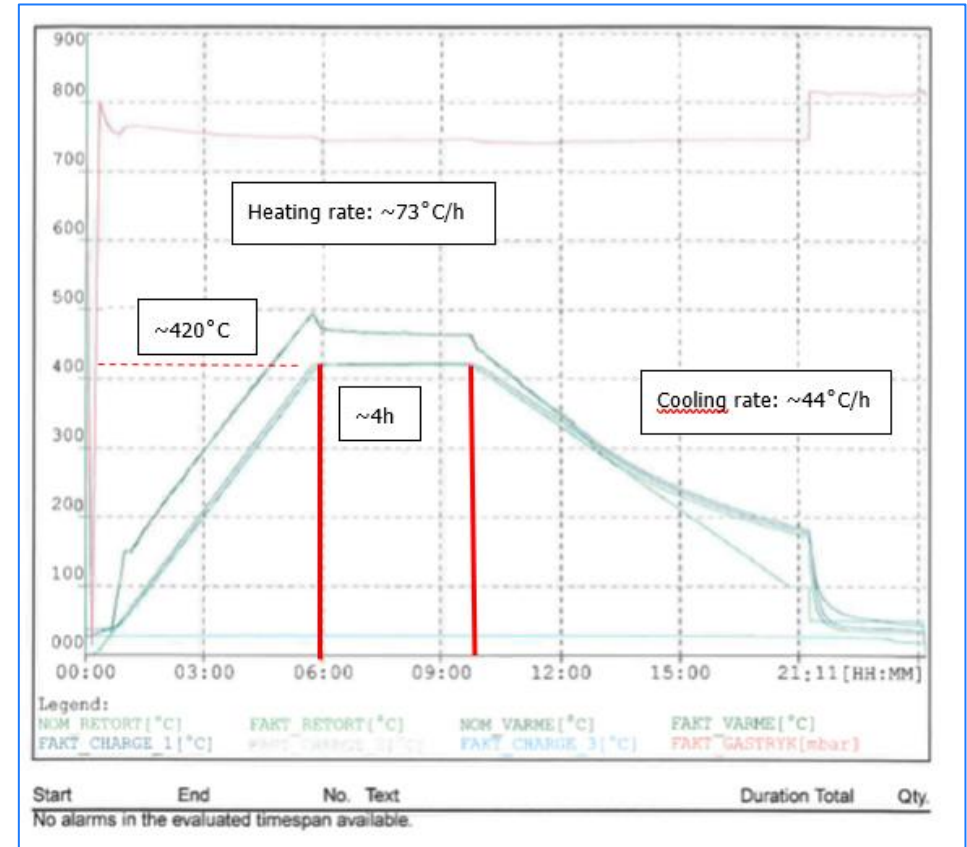
- Emnerne blev testet ved en spændingsvidde på 950 MPa
- Èt emne blev kørt med strain gauge for at verificere sammenhæng med maskinen, samt at vi ikke havde plastisk deformation/tøjning
- $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = -1$



Varmebehandling

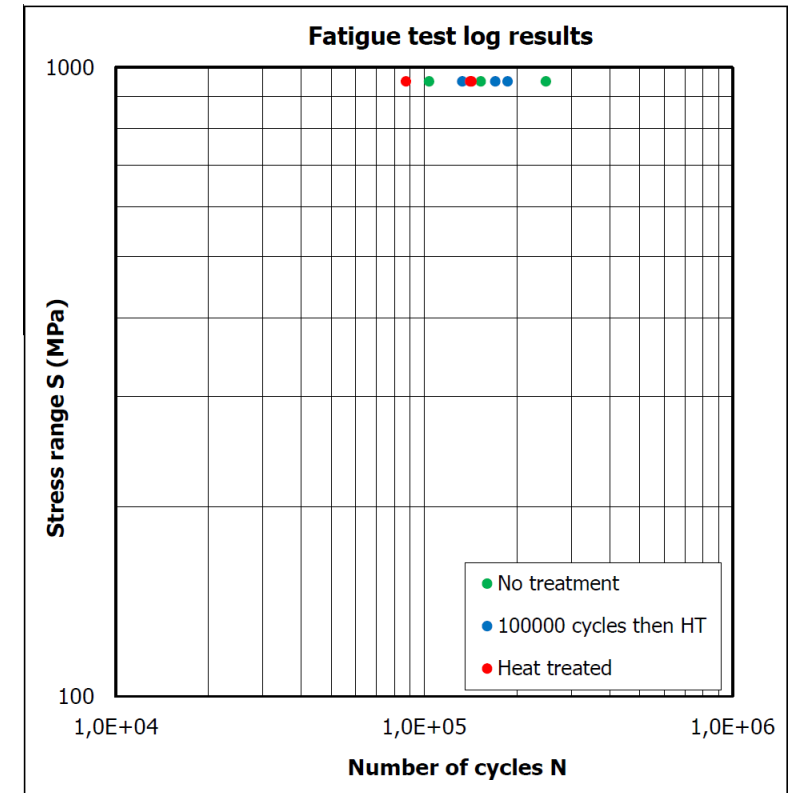
Ved lav temperatur for at undgå anløbning

- Lavtemperatur restitutionssproces
- Opvarmningshastighed: 75 °C/hour
- Restitutionstemperatur: 420°C
- Holdetid: 4 hours
- Atmosfære: Formiergas
- Afkølingshastighed: 40 °C/hour
- P(LM), K=20: 14.2



Resultat af udmattelsestests

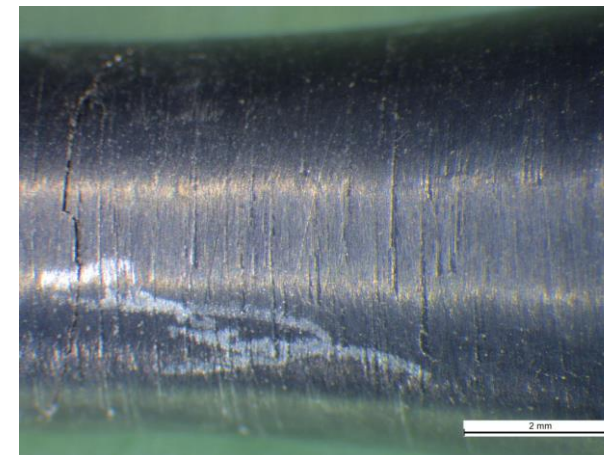
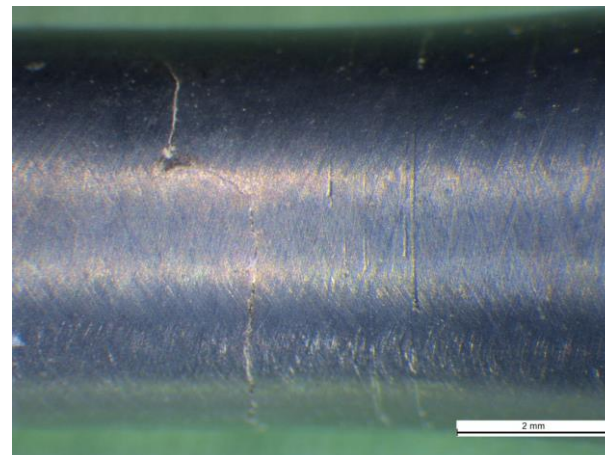
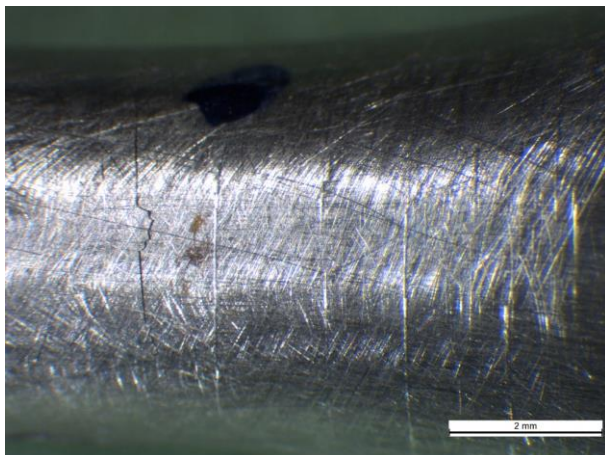
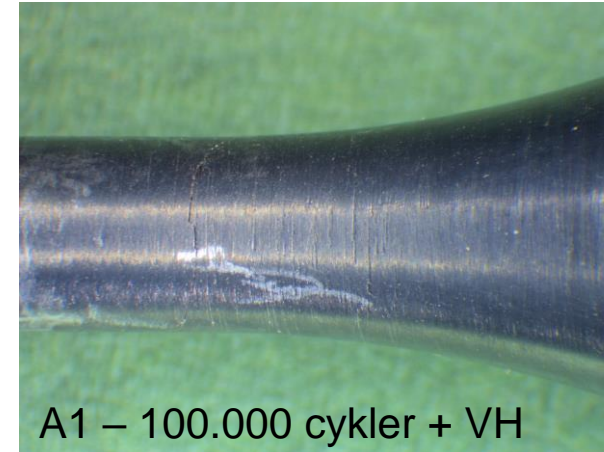
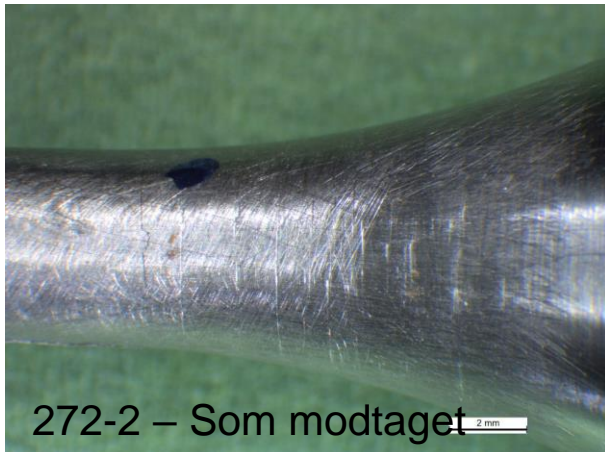
- Tre testserier blev kørt:
- 3 tests til brud i tilstand "som modtaget"
- 3 tests kørt til 100.000 cykler, dernæst varmebehandlet og kørt til brud
- 3 tests til brud efter varmebehandling
- De observerede forskelle er indenfor den statiske usikkerhed, givet det begrænsede antal prøveemner.
- Varmebehandlingen har ikke nogen signifikant indvirkning ved det



Fatigue test log Ø5.05 - Molslinien													
File No.	120-24037			Specimen Type			Round Ø5.05		Run out	1,00E+06			
Marking	Area		Load range	Stress range	R	Fmean	Famp	Frequency	Temp.	Cycles	Machine	Time	Cycles
	D (mm)	A (mm ²)	ΔF (kN)	S (MPa)	Fmin/Fmax	(kN)	(kN)	HZ	°C	N	ID		Average
282-1	5,03	19,87	18,9	950,0	-1,00	0,0	9,44	72,0	<30	248245	305	10-09-2020	168218
B1	5,03	19,87	18,9	950,0	-1,00	0,0	9,44	71,0	<30	152663	305	14-09-2020	
272-2	5,03	19,87	18,9	950,0	-1,00	0,0	9,44	72,0	<30	103745	305	24-09-2020	
A2	5,05	20,03	19,0	950,0	-1,00	0,0	9,51	72,0	<30	132839	305	09-10-2020	163069
223-3	5,05	20,03	19,0	950,0	-1,00	0,0	9,51	72,0	<30	169982	305	09-10-2020	
A1	5,04	19,95	19,0	950,0	-1,00	0,0	9,48	72,0	<30	186385	305	09-10-2020	
223-2	5,04	19,95	19,0	950,0	-1,00	0,0	9,48	72,0	<30	142497	305	13-10-2020	123610
B2	5,04	19,95	19,0	950,0	-1,00	0,0	9,48	72,0	<30	140993	305	13-10-2020	
272-3	5,03	19,87	18,9	950,0	-1,00	0,0	9,44	72,0	<30	87340	305	13-10-2020	

Emner efter udmattelsestest

- Parallelrevner til hovedrevnen sås på alle emner. Ingen signifikant forskel sås på batches. (som modtaget, varmebehandlet, +100.000 cykler)



Opsummering

Hvorfor så vi ikke den ønskede effekt af varmebehandlingen?

- Vi har ikke kunnet påvise en effekt af varmebehandling på udmattelseslevetiden
- Det er påvist, at højstyrkematerialet har rigtig gode udmattelsesegenskaber
 - måske er udmattelsesegenskaber ikke den afgørende faktor for den fastsatte levetid
- Genanvendelse af stempler bør måske følge **tilstandsbaseret vedligehold**?
- **Vores tekniske læring i projektet:**
 - Begrænsning i tid og økonomi – derfor antal prøveemner reduceret og høj spændingsvidde
 - Den valgte spændingsvidde (950 MPa) var muligvis så høj at en effekt af varmebehandlingen ikke kunne ses – plastisk tøjning blev dog ikke registreret med strain gauge
 - Spændingsvidden blev valgt på baggrund af udmattelsesegenskaberne for materialet og for at kunne køre testen indenfor rimelig tid
 - Fremtidigt arbejde kunne være test ved lavere spændingsvidde med target value på 1 mio. cykler i stedet for de 150.000 cykler i disse tests



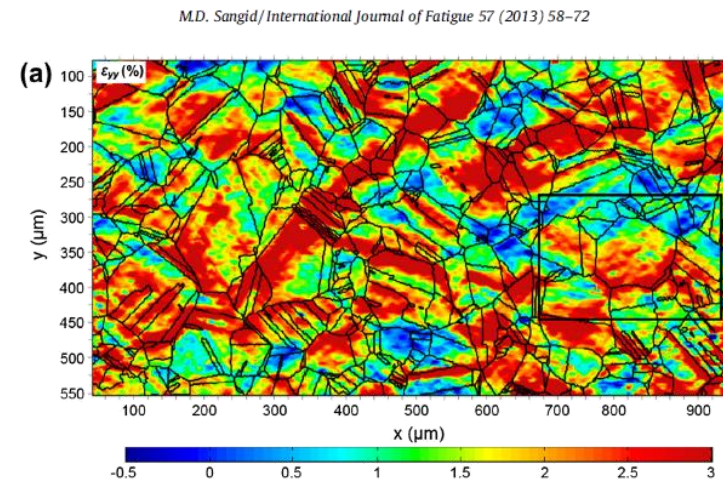
Udmattelseslevetid

Kan vi forudsige brud ved
tilstandsbaseret vedligehold?

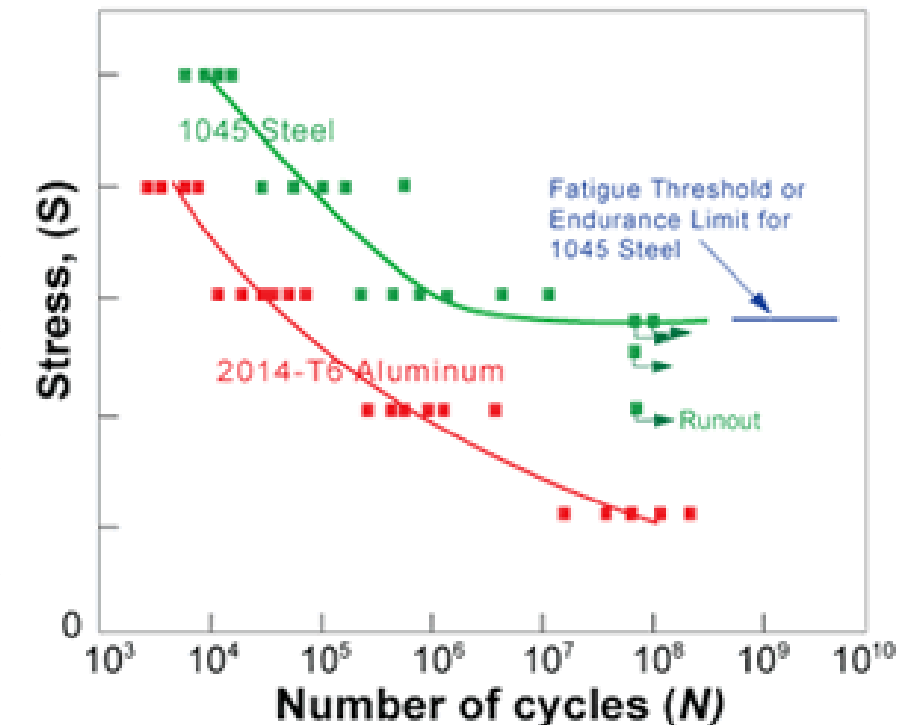
Tilstandsbaseret vedligehold med NDT

Tidlig detektion af udmattelse – ikke-destruktivt

- Undgå at kassere komponenter før end-of-life
- Giver mulighed for genanvendelse/rejuvenation
- Metoder kunne være;
 - Akustisk emission
 - Restspændingsanalyse
 - Strain maps (EBSD)



S-N kurve – spænding vs. belastninger



Akustisk emission – forvarsel før udmattelsesbrud?

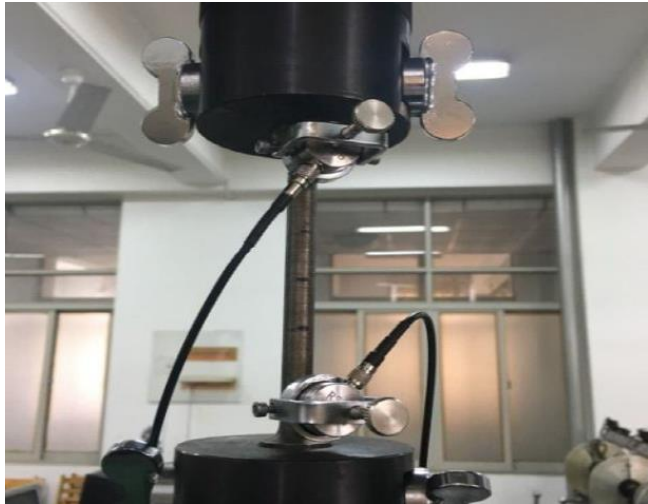
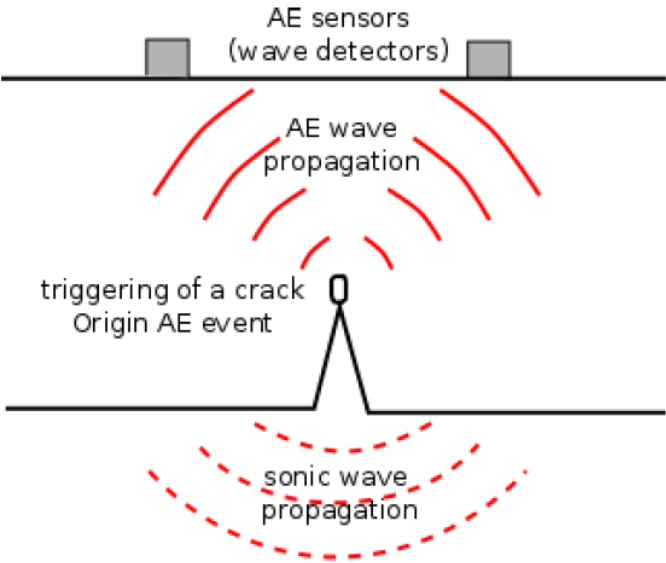


Figure 1. Principle of the acoustic emission wave detection.

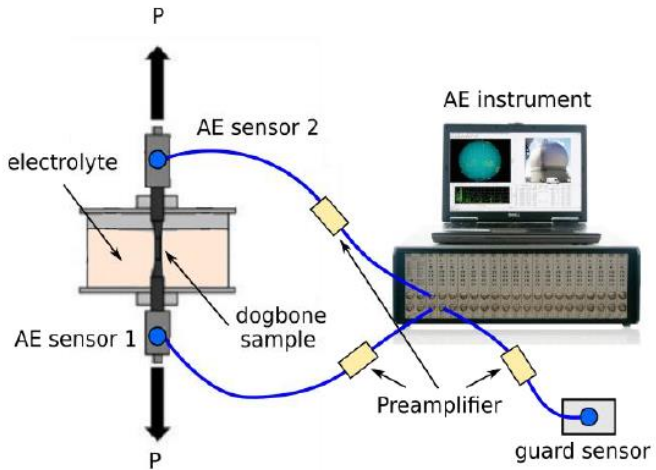
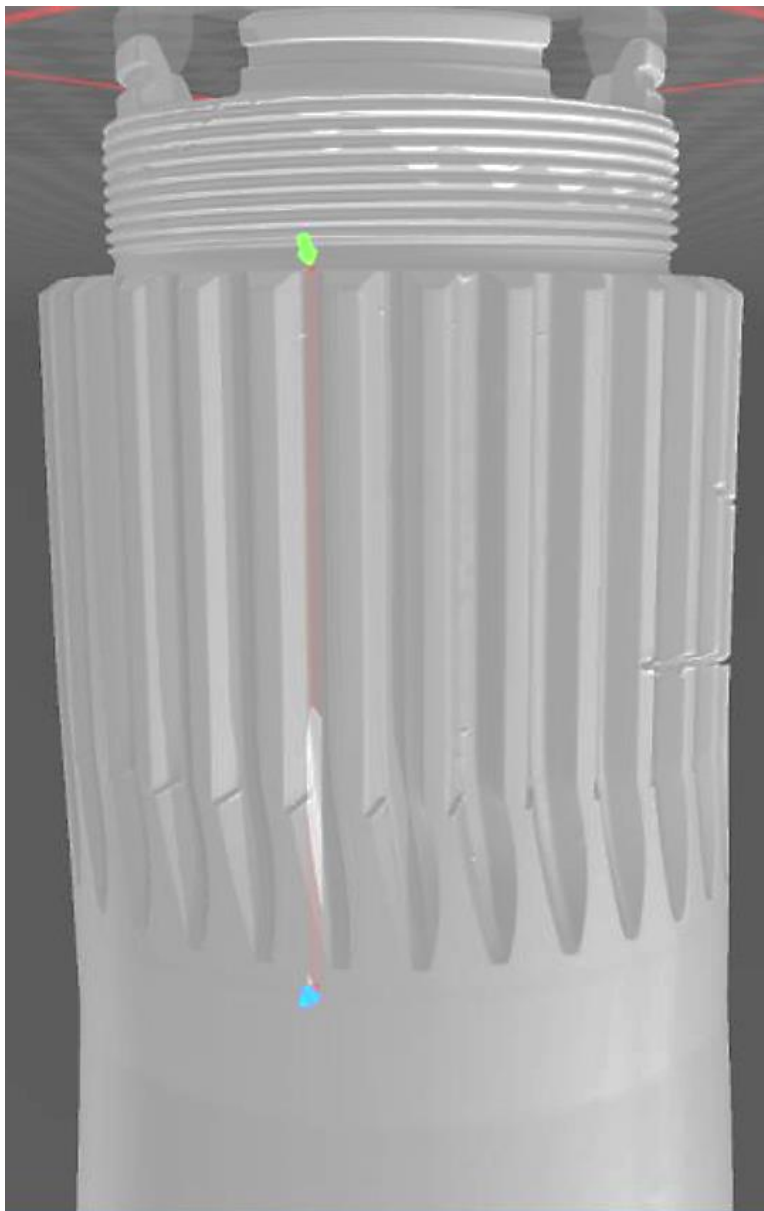


Figure 2. Schematic of AE equipment set-up for a typical SCC test.



Tak for opmærksomheden

Follow us on:

