4.3 Schadensakkumulation

Eine Turbinenschaufel unterliegt bei der Temperatur $T_1 = 650\ °C$ einer Spannung von $\sigma_1 = 45\ \text{MPa}$.

$$
\begin{aligned}
A &= 3.6 \times 10^{-5}\,(\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s} \\
n &= 5 \\
Q &= 220\,\text{kJ/mol} \\
R &= 8.314\,\text{J/(mol K)}
\end{aligned}
$$

a) Wie gross ist die Kriechrate?

Kriechverformung:	$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_{cr}$
Kriechrate (Geschw.):	$d\varepsilon_{cr}/dt = \dot{\varepsilon}_{creep}$
Nortonsches Kriechgesetz (Kriechrate):	
$\dot{\varepsilon}_S = A \cdot \sigma^n \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \left[\frac{1}{s}\right]$	Für **Aufgaben** gut: $A \cdot \sigma^n = C$
$\boldsymbol{\varepsilon_S = t \cdot \dot{\varepsilon}_S}$ $n = 5$	**Versetz.-Kriechen (meist): $n = 3 \dots 8$** Über Diffusion (σ sehr klein): n = 1
Für $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \rightarrow Q = ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) \cdot \left(\frac{1}{RT_1} - \frac{1}{RT_2}\right)^{-1}$	

4.3 Schadensakkumulation

Eine Turbinenschaufel unterliegt bei der Temperatur $T_1 = 650\ ^\circ\mathrm{C}$ einer Spannung von $\sigma_1 = 45\ \mathrm{MPa}$.

b) Wie gross ist seine Kriechdehnung ε_1 nach einer Betriebszeit von $t_1 = 500\ \mathrm{h}$?

$$\begin{aligned} \mathrm{A} &= 3.6 \times 10^{-5}\,\left(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N}\right)^5/\mathrm{s} \\ \mathrm{n} &= 5 \\ \mathrm{Q} &= 220\,\mathrm{kJ/mol} \\ \mathrm{R} &= 8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)} \end{aligned}$$

[redacted]

Kriechverformung:	$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_{cr}$
Kriechrate (Geschw.):	$d\varepsilon_{cr}/dt = \dot{\varepsilon}_{creep}$
Nortonsches Kriechgesetz (Kriechrate):	
$\dot{\varepsilon}_S = A \cdot \sigma^n \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)\left[\frac{1}{s}\right]$	Für **Aufgaben** gut: $A \cdot \sigma^n = C$
$\boldsymbol{\varepsilon_S = t \cdot \dot{\varepsilon}_S}$ $n = 5$	**Versetz.-Kriechen (meist): $\boldsymbol{n = 3 \dots 8}$** Über Diffusion ($\sigma$ sehr klein): n = 1
Für $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \rightarrow Q = ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) \cdot \left(\frac{1}{RT_1} - \frac{1}{RT_2}\right)^{-1}$	

4.3 Schadensakkumulation

Eine Turbinenschaufel unterliegt bei der Temperatur $T_1 = 650\ °C$ einer Spannung von $\sigma_1 = 45$ MPa.

c) Wie lange können Sie die Turbine nach der Betriebs-zeit t_1 noch betreiben, bevor die Schaufeln ersetzt werden müssen? ($\varepsilon_{zul} = 0.01$)

$$A = 3.6 \times 10^{-5}\,(\mathrm{mm^2/N})^5\,/\mathrm{s}$$
$$n = 5$$
$$Q = 220\,\mathrm{kJ/mol}$$
$$R = 8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)}$$

Schädigungs-parameter:	$D = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{zul}}$	**Schädigung gesamt:**	$D = \sum_{i=1}^{n} \frac{\varepsilon_{cr,i}}{\varepsilon_{cB,i}}$
Lebensdauer Bauteil bis D = 1		$\varepsilon = \dot{\varepsilon} \cdot \Delta t$	$\varepsilon_{cr} < \varepsilon_{zul} < \varepsilon_{cB}$

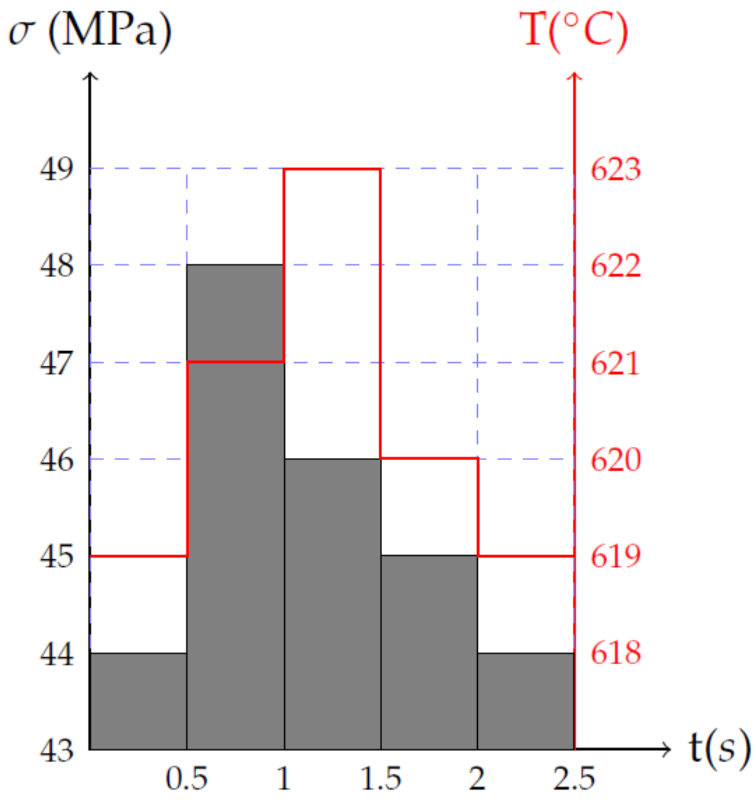
ETH zürich

4.3 Schadensakkumulation

Eine Turbinenschaufel unterliegt bei der Temperatur $T_1 = 650\ °\mathrm{C}$ einer Spannung von $\sigma_1 = 45\ \mathrm{MPa}$.

d) Dank neuen Berechnungsmodellen konnten Sie die Belastung besser berechnen. Die Schaufeln werden jeweils mit einem 2 s dauernden Zyklus periodisch belastet. Die Belastung über einen Zyklus finden Sie in Abb. 4.1. Wie viel früher müssen Sie die Schaufeln ersetzen als mit konstanter Belastung?

$$
\begin{aligned}
A &= 3.6 \times 10^{-5}\,(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N})^5/\mathrm{s} \\
n &= 5 \\
Q &= 220\,\mathrm{kJ/mol} \\
R &= 8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)}
\end{aligned}
$$



ETH zürich

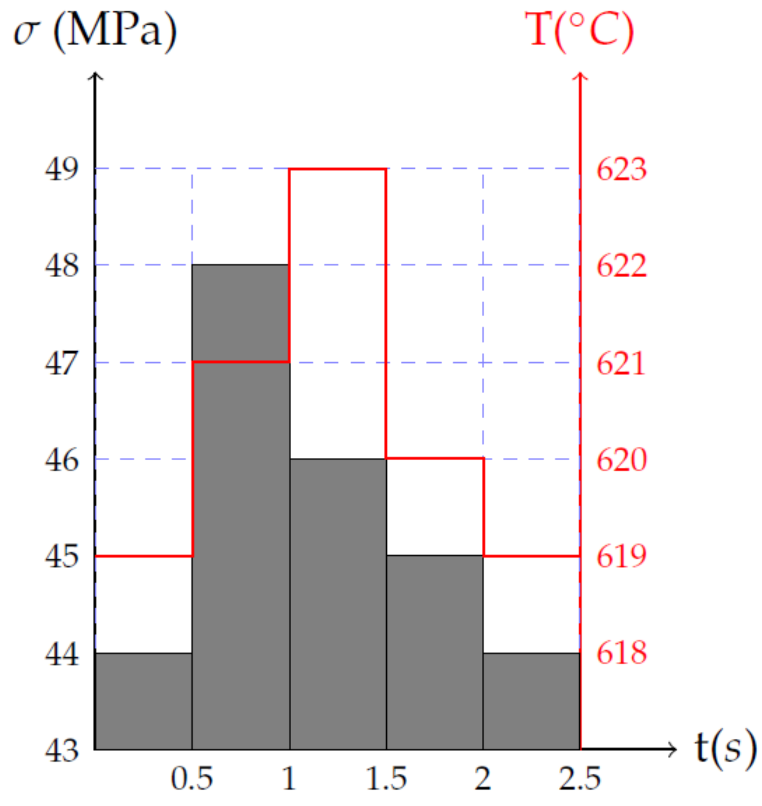
4.3 Schadensakkumulation

Eine Turbinenschaufel unterliegt bei der Temperatur $T_1 = 650\ °\mathrm{C}$ einer Spannung von $\sigma_1 = 45\ \mathrm{MPa}$.

d) Dank neuen Berechnungsmodellen konnten Sie die Belastung besser berechnen. Die Schaufeln werden jeweils mit einem 2 s dauernden Zyklus periodisch belastet. Die Belastung über einen Zyklus finden Sie in Abb. 4.1. Wie viel früher müssen Sie die Schaufeln ersetzen als mit konstanter Belastung?

$$\begin{aligned} A &= 3.6 \times 10^{-5}\,\left(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N}\right)^5/\mathrm{s} \\ n &= 5 \\ Q &= 220\,\mathrm{kJ/mol} \\ R &= 8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cr,1} &= A \cdot \sigma_i^n \cdot \exp\left(\frac{-Q}{R \cdot T_1}\right) \cdot \Delta t_1 \\ &= 3.6 \times 10^{-5}\left(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N}\right)^5/\mathrm{s} \cdot (44\,\mathrm{MPa})^5 \cdot \exp\left(\frac{-220\,\mathrm{kJ/mol}}{8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)} \cdot 892\,\mathrm{K}}\right) \cdot 0.5\,\mathrm{s} = 3.882 \times 10^{-10} \\ \varepsilon_{cr,2} &= A \cdot \sigma_i^n \cdot \exp\left(\frac{-Q}{R \cdot T_2}\right) \cdot \Delta t_2 \\ &= 3.6 \times 10^{-5}\left(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N}\right)^5/\mathrm{s} \cdot (48\,\mathrm{MPa})^5 \cdot \exp\left(\frac{-220\,\mathrm{kJ/mol}}{8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)} \cdot 894\,\mathrm{K}}\right) \cdot 0.5\,\mathrm{s} = 6.410 \times 10^{-10} \\ \varepsilon_{cr,3} &= A \cdot \sigma_i^n \cdot \exp\left(\frac{-Q}{R \cdot T_3}\right) \cdot \Delta t_3 \\ &= 3.6 \times 10^{-5}\left(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N}\right)^5/\mathrm{s} \cdot (46\,\mathrm{MPa})^5 \cdot \exp\left(\frac{-220\,\mathrm{kJ/mol}}{8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)} \cdot 896\,\mathrm{K}}\right) \cdot 0.5\,\mathrm{s} = 5.535 \times 10^{-10} \\ \varepsilon_{cr,4} &= A \cdot \sigma_i^n \cdot \exp\left(\frac{-Q}{R \cdot T_4}\right) \cdot \Delta t_4 \\ &= 3.6 \times 10^{-5}\left(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N}\right)^5/\mathrm{s} \cdot (45\,\mathrm{MPa})^5 \cdot \exp\left(\frac{-220\,\mathrm{kJ/mol}}{8.314\,\mathrm{J/(mol\,K)} \cdot 893\,\mathrm{K}}\right) \cdot 0.5\,\mathrm{s} = 4.491 \times 10^{-10} \end{aligned}$$



Prüfungsaufgabe Spannungsrelaxation

Eine Stahlschraube, die unter erhöhter Temperatur im Einsatz ist, wird auf die Spannung σ_i vorgespannt. Wenn die Spannung auf 80% dieses Wertes abgesunken ist, muss die Schraube gemäss Konstruktionsrichtlinie nachgezogen werden.

Wie gross darf σ_i sein, wenn das Wartungsintervall 200 Tage betragen soll?

$E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa
$A = 3.7 \cdot 10^{-5}$ $(\mathrm{mm}^2/\mathrm{N})^5/\mathrm{s}$
$\vartheta = 480°\mathrm{C}$
$n = 5$
$Q = 2.3 \cdot 10^5$ J/mol
$R = 8.31$ J/mol·K

Spannungsrelaxation → massgeblicher Vorgang beim **Spannungsarmglühen**			
→ Umlagerung ε_{el} auf ε_{cr} → elast. vorgespannte Teile verlieren Vorspannung (z.B. Schraube)			
$B = A \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$	$\frac{1}{\sigma_t^{n-1}} - \frac{1}{\sigma_{init}^{n-1}} = (n-1) \cdot B \cdot E \cdot t$	**Relaxationszeit:**	$t_r = \frac{2^{n-1}-1}{(n-1) \cdot B \cdot E \cdot \sigma_i^{n-1}}$
$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{cr}$	t: Zeit von σ_{init} bis σ_t, E: E-Modul	t_r: Zeit bis Spannung σ_i auf $\sigma_i/2$	
σ jeweils in [MPa]	Für gleiche Konstanten: $\left(\frac{\sigma_A}{\sigma_B}\right)^{n-1} = \frac{t_B}{t_A}$	**Einheiten!** (Einheit B = Einheit A)	