

SdM R2.03

TD Fatigue Fluage

1 Essai de fatigue

Une éprouvette de 20mm de diamètre est soumise à un essai de fatigue en traction. L'effort appliqué varie entre 8500 et 185000N.

1. Calculez les contraintes mini et maxi appliquées à l'éprouvette.
2. Calculez la contrainte moyenne et l'amplitude de contrainte.

2 Cumul d'endommagement

On s'intéresse à un alliage léger destiné à l'aéronautique. Il a été testé en lui appliquant une contrainte variant de façon sinusoïdale dans le temps, de part et d'autre d'une contrainte moyenne nulle. On constate que l'alliage s'est rompu après 10^6 cycles pour une amplitude de contrainte σ_a de 280MPa et après 10^7 cycles pour une amplitude de 200MPa. On suppose que le comportement en fatigue de cet alliage peut être représenté par la loi suivante :

$$\sigma_a(N_f)^a = C$$

Où a et C sont des constantes propres au matériau.

1. Calculez le nombre de cycles à la rupture pour une pièce soumise à une amplitude de contrainte de 150MPa.
2. Un avion dans lequel sont utilisées ces pièces a été soumis à un nombre estimé de $4 \cdot 10^8$ cycles à une amplitude de 150MPa. On souhaite prolonger la durée de vie de l'appareil de $4 \cdot 10^8$ cycles supplémentaires. Déterminez la variation de l'amplitude de contrainte nécessaire pour obtenir cette prolongation. On donne pour cela la loi de cumul de l'endommagement :

$$\Sigma(N_i/N_{fi}) = 1$$

où N_{fi} est le nombre de cycles à rupture sous les conditions de cyclage en contrainte de la région i et $\frac{N_i}{N_{fi}}$ est la fraction du temps de vie consommé après N_i cycles dans cette région.

3 Courbe de Wölher

Une tige cylindrique de 200mm de long fabriquée à partir d'un laiton rouge et ayant un diamètre de 8mm est soumise à un cycle de contraintes de tension et de compression alternées le long de son axe. Les charges de tension et de compression maximales sont respectivement

4 Fluage de L'Aluminium

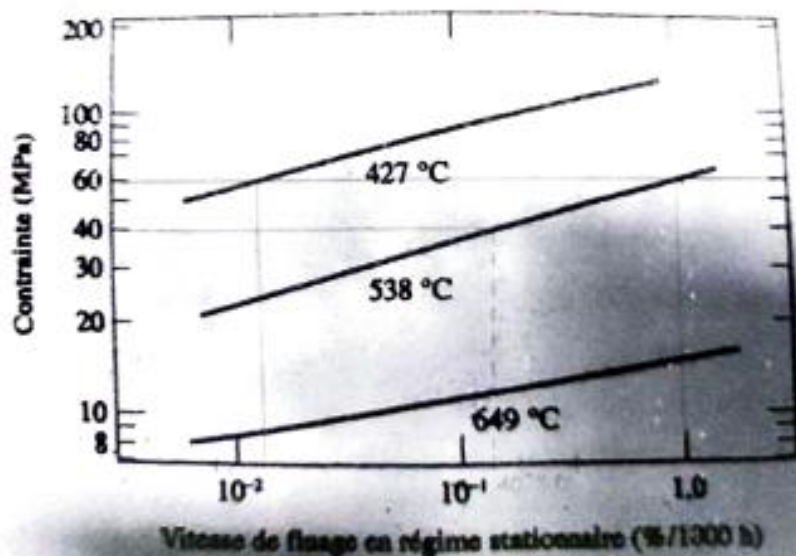
Les données de fluage ci-dessous s'appliquent à un alliage d'aluminium à 400°C dans le cas d'une contrainte constante de 25MPa . Tracer la courbe de déformation en fonction du temps puis déterminer la vitesse de fluage en régime stationnaire.

Rmq : la déformation initiale instantanée n'est pas indiquée.

Temps (min)	Déformation	Temps (min)	Déformation
0	0.000	16	0.135
2	0.025	18	0.153
4	0.043	20	0.172
6	0.065	22	0.193
8	0.078	24	0.218
10	0.092	26	0.255
12	0.109	28	0.307
14	0.120	30	0.368

5 Fluage du Nickel

On donne la courbe représentative de la contrainte en fonction de la vitesse de fluage en régime stationnaire pour un alliage de nickel à trois températures.



1. Une éprouvette de longueur 750mm doit être soumise à une contrainte de traction de 40MPa à 538°C . Déterminer son allongement après 5000 heures. Noter que la somme des allongements par fluages instantané et primaire est de 1.5mm .
2. Evaluer l'énergie d'activation du fluage.

6 Fluage d'un alliage de nickel

Une turbine à gaz fonctionne à 800°C . Les aubes du rotor de cette turbine ont une longueur initiale de 12cm et sont faites d'un superalliage de nickel qui, à cette température, a un module d'Young E égal à 175GPa . En service, les aubes sont soumises à une contrainte de traction de 430MPa . Le bureau d'étude a prévu un jeu initial de 2mm entre le stator et l'extrémité des aubes.

On étudie ici le fluage des aubes afin de recommander une inspection préventive de la dimension des aubes après un certain temps t de fonctionnement de la turbine.

Temps (jours)	Déformation plastique ϵ_p (%) à la température indiquée		
	700	800	900
40	0.0850	0.200	0.5800
460	0.1690	Non disponible	13.7895

Toutes ces valeurs sont relatives à des points expérimentaux situés dans le stade de fluage secondaire.

1. Quelles sont les valeurs de la vitesse de fluage $\frac{d\epsilon}{dt}$ (exprimée en %/jour) pour le stade II de fluage de ce superalliage à 700°C et à 900°C ?
2. Quelle est la valeur de l'énergie d'activation Q de la vitesse de fluage pour ce superalliage ?
3. Quelle est la valeur de la vitesse de fluage $\frac{d\epsilon}{dt}$ (exprimée en %/jour) à 800°C ?
4. A quelle déformation élastique instantanée ϵ sont soumises les aubes quand la turbine est mise en service ?
5. Après combien de jours de service continu de la turbine à 800°C recommanderez-vous de procéder à l'inspection dimensionnelle de la turbine afin de vérifier si le jeu entre le stator et l'extrémité des aubes est réduit à la moitié de sa valeur initiale ?

SDM TD

1 - Essai de fatigue

1. $\varnothing 20 \text{ mm}$ $F \approx 8500 \rightarrow 185\,000$

$$\sigma_{\min} = \frac{F_{\min}}{S} = \frac{4 \times 8500}{\pi \times 10^2} = 27,05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{4 \times 185\,000}{\pi \times 10^2} = 588,87 \text{ MPa}$$

2. $\sigma_{\text{moy}} = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{2} = \frac{588,87 + 27,05}{2} = 308$

amplitude $\left\{ \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{588,87 - 27,05}{2} = 280,91 \text{ MPa} \right.$

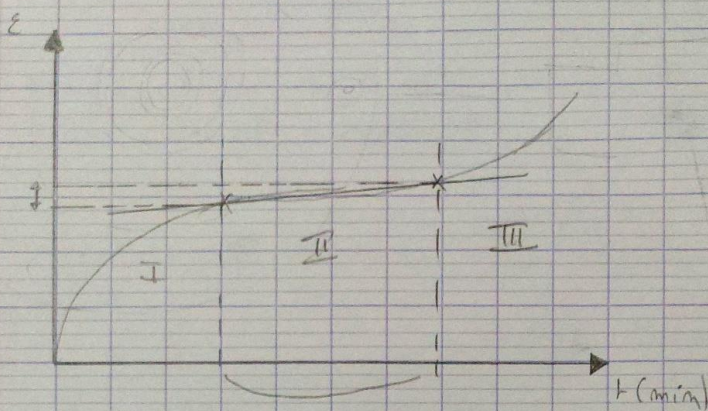
2 - Cumul d'endommagement

1. Loi de Basquien

$$\sigma_a (N_f)^c = C$$

↗ constante

Ex 4 - Tp fatigue fluage



$$\dot{\epsilon}_{II} = A \sigma^m e^{-\frac{Q_c}{RT}}$$

$$\dot{\epsilon}_{II} = \frac{d\epsilon}{dt} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

Ex 5 - Fluage du Nickel

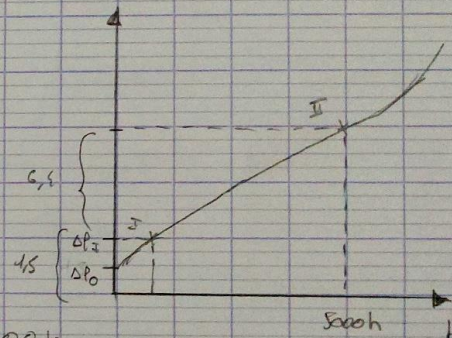
$L_0 = 750 \text{ mm}$

$\sigma = 40 \text{ MPa}$

$T = 538^\circ\text{C}$

ΔP_{5000h}

$\Delta P_{0+I} = 1,5 \text{ mm}$



Pour Pochure : $\dot{\epsilon}_{II} = 10^{-0,95} = 0,19\% / 1000 \text{ h}$

Pour 5000h : $\dot{\epsilon}_{II} = 5 \times 0,19\% = 0,85\%$

$$\epsilon = \frac{\Delta P}{P_0}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{II} &= \epsilon_{II} \times P_0 \\ &= 0,85\% \times 750 \\ &= 6,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{total} &= \Delta P_{0+I} + \Delta P_{II} \\ &= 1,5 + 6,4 = 7,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Essai 1 : à $T_1; \sigma_1$

Essai 2 : à $T_2; \sigma_2$

$$\dot{\epsilon}_{1II} = A \sigma_1^m e^{-\frac{Q_c}{RT_1}}$$

$$\dot{\epsilon}_{2II} = A \sigma_2^m e^{-\frac{Q_c}{RT_2}}$$

$$\frac{\dot{\epsilon}_{1II}}{\dot{\epsilon}_{2II}} = \frac{A \sigma_1^m e^{-\frac{Q_c}{RT_1}}}{A \sigma_2^m e^{-\frac{Q_c}{RT_2}}} = e^{-\frac{Q_c}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

$$Q_c = -R \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_{1II}}{\dot{\epsilon}_{2II}} \right) \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

Graphiquement, on cherche E pour 2 essais à ^{même} 2 températures différentes

$A_0 = 60 \text{ MPa}$ $T_1 = 429^\circ\text{C}$ $T_2 = 538^\circ\text{C}$ $\epsilon_{1II} = 10^{-1,9} \% / \text{jour}$
 $= (429 + 273) \text{ K}$ $= (538 + 273) \text{ K}$ $\epsilon_{2II} = 1 \% / 1000 \text{ h}$

$$Q_c = \frac{-8,314 \times P_m \left(\frac{10^{-4,9}}{10^6} \right)}{\frac{1}{(429+273)} - \frac{1}{(538+273)}} = 186\,026,69 \text{ kJ/mol}$$

G - Fluage d'un alliage de nickel

1- 800°C $P_0 = 12 \text{ cm}$ $E = 195 \text{ GPa}$ $\sigma = 430 \text{ MPa}$
 jeux initial = 2 mm

$T_1 = 700^\circ\text{C}$ $\epsilon_{1II} = \frac{0,169 - 0,085}{460 - 40} = 2 \cdot 10^{-4} \% / \text{jour}$
 $T_2 = 800^\circ\text{C}$ $\epsilon_{2II} = \frac{13,9895 - 0,58}{460 - 40} = 3,14 \cdot 10^{-2} \% / \text{jour}$

2- Essai 1 : $\dot{\epsilon}_1$; σ_1 $\epsilon_{1II} = A \sigma_1^m e^{-\frac{Q_c}{RT_1}}$
 Essai 2 : $\dot{\epsilon}_2$; σ_2 $\epsilon_{2II} = A \sigma_2^m e^{-\frac{Q_c}{RT_2}}$

$$\frac{\epsilon_{1II}}{\epsilon_{2II}} = \frac{A \sigma_1^m e^{-\frac{Q_c}{RT_1}}}{A \sigma_2^m e^{-\frac{Q_c}{RT_2}}} = e^{-\frac{Q_c}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

$$Q_c = \frac{R P_m \left(\frac{\epsilon_{1II}}{\epsilon_{2II}} \right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{-8,314 \times P_m \left(\frac{2 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 10^{-2}} \right)}{\frac{1}{900+273} - \frac{1}{800+273}} = 239 \text{ kJ/mol}$$