

Chapitre 4: Propagation de fissure par fatigue

Introduction

On appelle fatigue ou endommagement par fatigue la modification des propriétés du matériau, consécutive à l'application de cycles d'effort. La répétition de ces cycles peut conduire à la rupture des pièces constituées de ces matériaux.

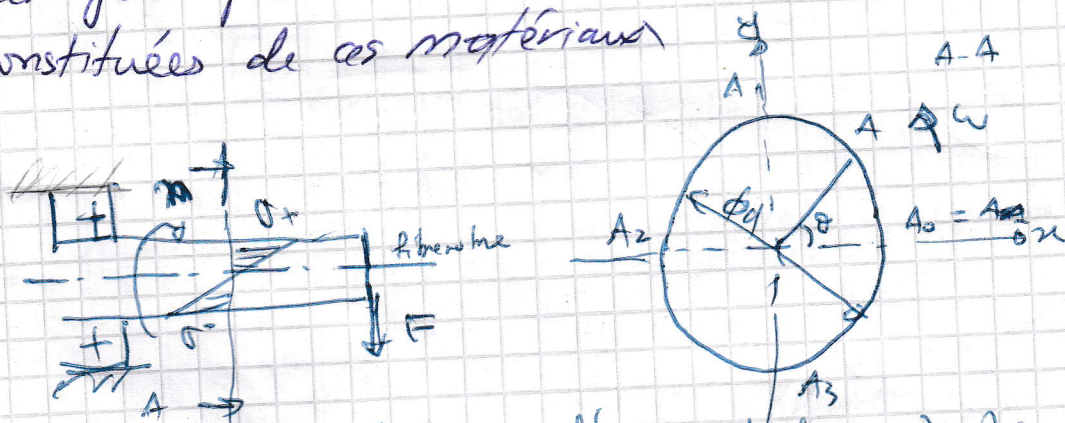


Fig 1 - Essai de fatigue en flexion rotative a) schéma de principe et distribution de σ aux niveau des différentes fibres. b) section de l'arbre tournant et variation de σ en divers points.

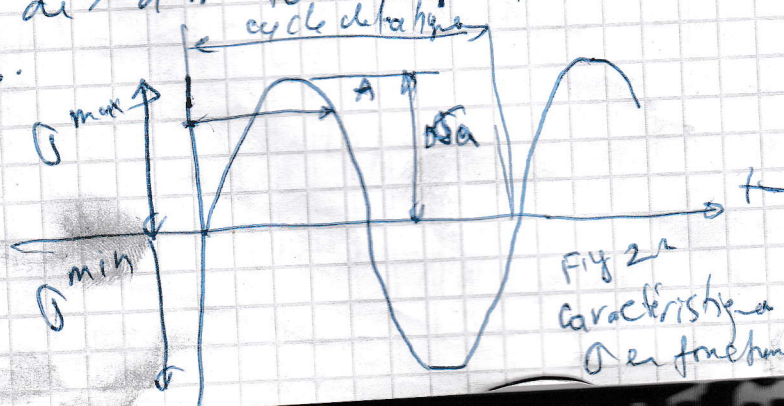


Fig 2 - Caractéristique d'un cycle de σ en fonction du temps

4.2- Caractéristique d'un essai de fatigue

En un point de la surface situé à une distance l du pôle (encreusement) la contrainte varie de façon sinusoïdale entre des valeurs égales de tension et de compression ($|\sigma^+| = |\sigma^-|$)

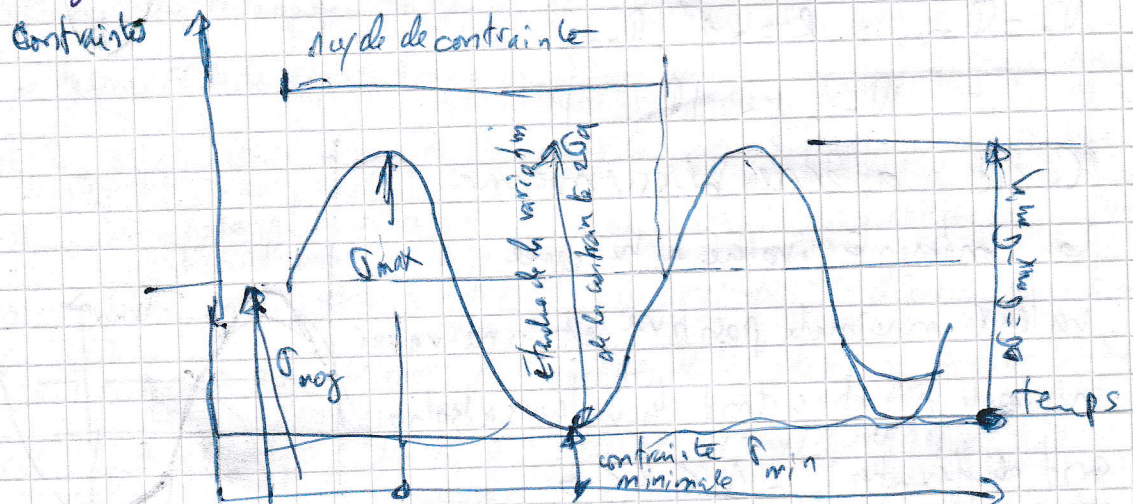


Fig 4-2 Cycle de contrainte de fatigue

La plus petite partie de cycle contrainte-temps (Fig 4-2) peut être caractérisée par :

- la contrainte maximale (σ_{max}) ;
- la contrainte minimale (σ_{min}) ;
- la contrainte moyenne : $\sigma_{moy} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$;
- L'amplitude de contrainte : $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ (Alternance) ;
- Le rapport de contrainte (R) : c'est le rapport algébrique de la contrainte minimale à la contrainte maximale : $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$;
- L'étendue de la contrainte : Elle représente l'écart entre σ_{min} et σ_{max} : $\Delta\sigma = 2\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})$;

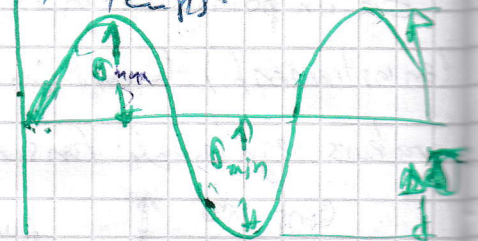
Fig 4-3 Diff types de sollicitation charge

Cycle alterné symétrique: (alterné)

La contrainte varie entre des valeurs égales dans le sens positif et négatif

$$\sigma_a = \sigma_{max} \quad R = -1, \quad \sigma_{moy}$$

$$|\sigma_{min}| = |\sigma_{max}|$$

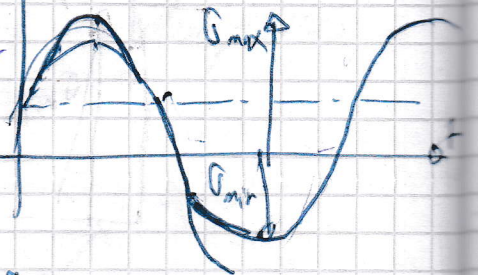


Cycle alterné dissymétrique:

La contrainte évolue entre une valeur maximale positive et une valeur minimale négative dont les valeurs absolues sont différentes: $-1 < R < 0$

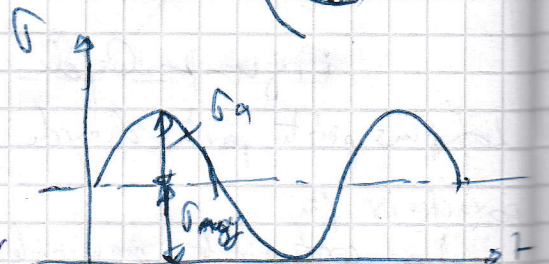
$$0 < \sigma_{moy} < \sigma_a$$

$$\sigma_a < \sigma_{max}$$



Cycle répété

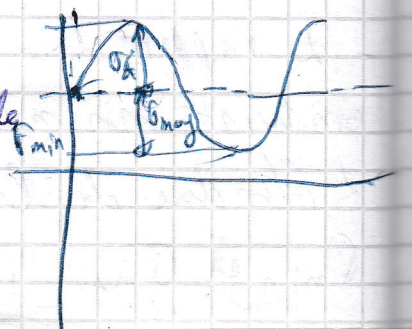
La contrainte varie entre la valeur nulle (0) et la valeur maximale positive (σ_a) ou entre la valeur nulle (0) et une valeur maximale négative (<0): $R = 0$, $\sigma_{max} = \sigma_a$, $\sigma_{min} = 0$



Cycle ondule

La contrainte varie entre les valeurs maximales et minimales qui sont de même signe

$$0 < R < 1 \quad | \sigma_{moy} > \sigma_a$$



23 Essai de Fatigue:

Wöhler (1870) préoccupé par la rupture des essieux de wagons de chemin de fer, a pu déterminer le comportement en fatigue des matériaux en utilisant l'essai suivant: L'essai consiste à soumettre en lot d'éprouvettes des efforts simples de flexion rotative à divers niveaux de contraintes σ_a et à mesurer le nombre N de cycle requis pour entraîner la rupture. On répète plusieurs fois l'essai à différents niveaux de contraintes σ_a . Les résultats enregistrés sont exploités sous forme d'une courbe $\sigma_a = f(n)$ connue sous le nom de courbes de Wöhler ou courbe S-N (Stress - number of cycles) ou courbe d'endurance.

Dans le cas de certains matériaux (ex. acier doux), cette courbe peut avoir l'allure de la figure 4.

Zone I Zone de fatigue oligocyclique

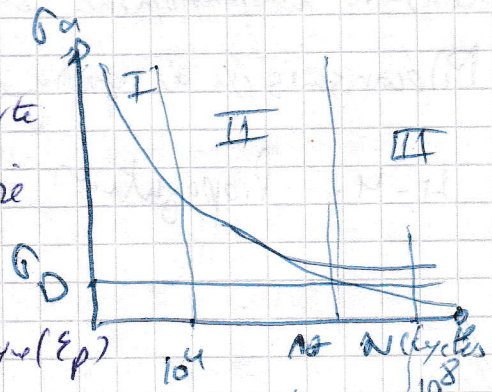
Cette zone est caractérisée par une forte amplitude de contrainte et une durée de vie réduite ($N_r < 10^4$ cycles). La rupture

est précédée par une forte déformation plastique (ϵ_p)

Dans cette zone la courbe est régie par la loi de Manson-Coffin: $N \Delta \epsilon_p = c$ etc

Zone II Zone de fatigue ou d'endurance limitée

la rupture se produit un grand nombre de cycle quand la



la contrainte diminue ($10^4 < N < 10^6$ à 10^8). Cette zone est la plus habituellement considérée. La rupture intervient sans aucune déformation globale de la pièce. Cette zone est caractérisée par la relation de Wöhler $N(\sigma - \sigma_D)^n = cte$ (1) : la limite d'endurance pour la

Zone III : Zone de fatigue (endurance) illimitée ou zone de sécurité. Sous de faibles amplitudes de contraintes σ_a , la rupture ne se produit pas même après un grand nombre de cycles ($N > 10^7$ cycles). Dans cette zone on peut valider la loi de Basquin

$$\Delta\sigma (N_r)^q = cte$$

Le niveau σ_D détermine la limite d'endurance du matériau. Cette limite d'endurance caractérise la capacité d'un matériau à résister au phénomène de fatigue.

3 Mécanismes de la fatigue : Amorçage et Propagation

4-4. Propagation de fissure par fatigue:

Le Propagation de fissure par fatigue:

N (cycles)

da/dN (mm/cycle)

a (mm)

ΔK (cycles)

ΔK_e

(1)

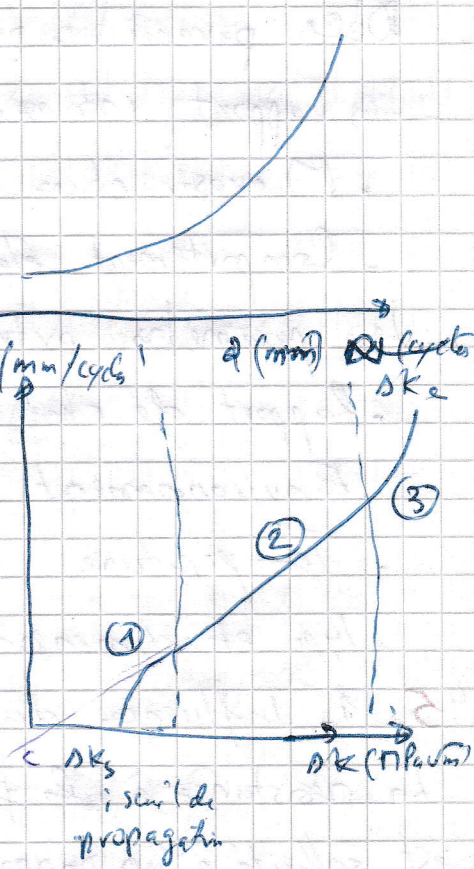
(2)

(3)

ΔK_s

seuil de propagation

ΔK (MPa $\sqrt{m}$)



4-5. Facteurs influençant la propagation des fissures de fatigue

Ces paramètres peuvent se regrouper en deux catégories

- Les rapport intrinsèques:

- Microstructure ou métallurgiques

- Comportement élasto-plastique

- Les paramètres extrinsèques

- Rapport de charge

- Environnement

- Température

- Type et dimensions des éprouvettes.

4.5. 1. Influence du rapport de charge R :

La résistance à la fissuration est plus faible quand un mat est sollicité à un rapport de charge p plus élevé. Ainsi, parmi tous les paramètres extrinsèques, ce dernier est certainement celui qui a le plus d'effet sur la vitesse de fissuration et/ou le seuil de propagation. Expérimentalement, l'augmentation du rapport de charge R décale les courbes de fissuration vers la gauche. C'est à dire que pour une valeur de ΔK donnée, un rapport R élevé se traduit par une vitesse de propagation plus forte. Ce qui veut dire que ΔK_s (figure 4-6) est très influencé par le rapport R .

$$\frac{da}{dN} = f(R, K, C, m)$$

C, m et dépendent du matériau à étudier
 $m(2-4)$ pour l'aluminium, entre 2-8 pour les aciers.

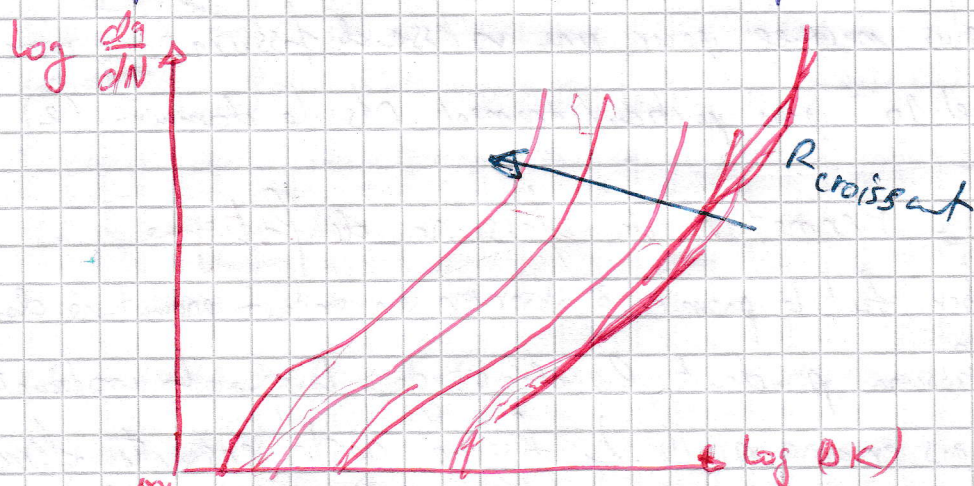
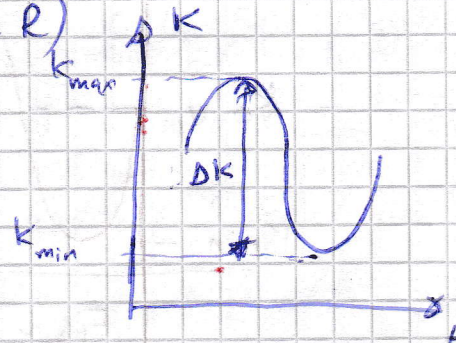
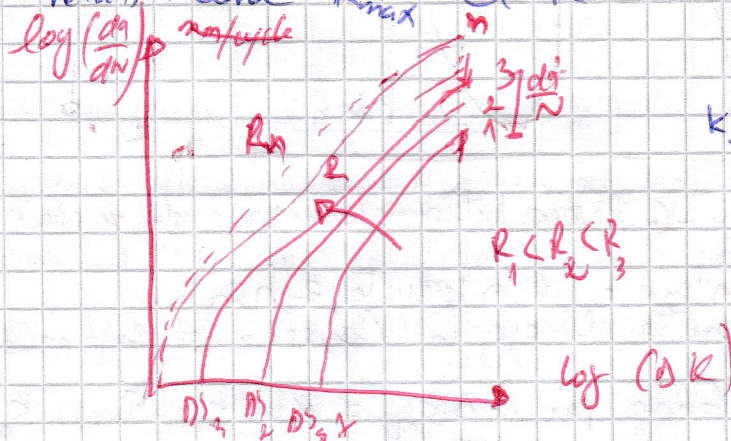


Fig. 4-5 Influence du rapport de charge R

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{K_{min}}{K_{max}}, \quad K_{min} = \frac{f \sigma_{min}}{\sqrt{a}}, \quad K_{max} = \frac{f \sigma_{max}}{\sqrt{a}}$$

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} = K_{max}(1-R)$$

relation entre K_{max} et R



4.5.2. Influence de l'environnement

La durée de vie en fatigue sous environnement agressif par rapport au vide est réduite, et l'influence de l'environnement est plus marquée pour une vitesse de fissuration comprise entre 10^{-6} et 10^{-4} plus particulièrement dans le domaine (2)

4.6. Fermeture de fissure de fatigue

Elber fut le premier à observer un contact prématuré des lèvres de la fissure pendant la décharge lorsque la contrainte nominale n'est pas encore nulle. La fissure reste ensuite fermée pendant toute une partie du bas de cycle, la fissure reste ensuite fermée pendant toute une partie du bas de cycle.

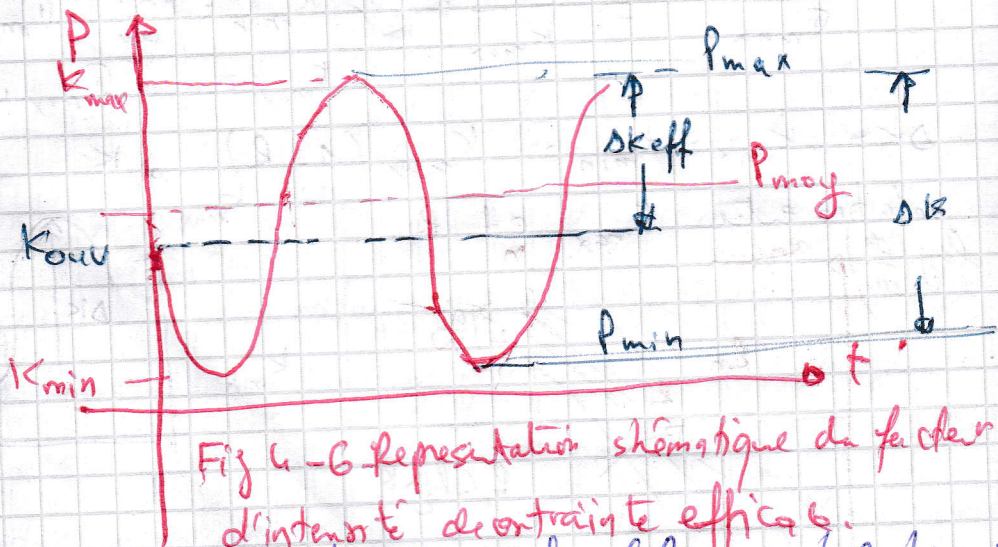


Fig 4-6 Représentation schématisée du facteur d'intensité de contrainte efficace.

ΔK_{eff} représente la partie du cycle (fissure est entièrement ouverte). Il est donné par : $\Delta K_{eff} = \alpha \Delta K = K_{max} - K_{ocv}$