

## Chapitre I : Généralités sur la mécanique de la rupture - Classifications et faciès

### Corrigé du TD N° 1

#### Exercice 1 :

La fig. (a) représente l'évolution de la limite élastique et la contrainte de rupture en fonction de la taille de grain ( $d^{1/2}$ ) du Fe polycristallin.

- La contrainte de rupture est inversement proportionnelle à la taille du grain (rupture par clivage);
- Ce comportement est expliqué par la difficulté d'amorcer la rupture quand le grain est petit (diminution des défauts microstructuraux).

La fig. (b) la déformation à la rupture par clivage et la déformation à la rupture présentent une zone de transition des faibles grandes tailles aux faibles.

La fig. (c) montre l'aspect de rivière aux joints du grain. C'est une rupture intergranulaire.

La fig. (d) montre une surface d'une rupture fragile intergranulaire. Le grain complet apparent montre que le joint du grain est composé d'une deuxième phase fragile.

La fig. (e) montre l'aspect de cupules dans une rupture ductile.

La fig. (f) montre l'aspect d'une surface de rupture par fatigue. Les stries (raies) apparentes sont les séquelles d'une déformation cyclique : quelques Å ( $10^{-4}$  μm) par cycles.

La fig. (g) représente schématiquement par étape les mécanismes d'une rupture ductile.

#### A retenir :

##### Rupture fragile :

##### 1. Transgranulaire (par clivage) :

- Fonction de la taille du grain ( $d^{1/2}$ ),
- Peu fonction de la température,
- Diminue avec l'augmentation de la vitesse de sollicitation.

##### 2. Intergranulaire (A basse températures :

impuretés ségrégués au joint du grain ou par fluage aux températures élevées  $-1/3 T_{\text{fusion}}$ ).

##### Critères :

- Critère de contrainte critique (Aspect lisses),
- Critère d'allongement critique (Aspect de cupules)

##### Rupture ductile :

- Aspect de cupules.
- Aspect de bois pourri ;

#### Exercice 2 :

Les mécanismes de rupture par fatigue :

- (a) Ouverture élastique par traction au premier  $\frac{1}{4}$  de cycle (point 1).
- (b) Ouverture avec une déformation élastoplastique avec un avancement éventuel infinitésimal.
- (c) Relâchement de la charge au premier demi cycle. On remarque une fermeture incomplète de la fissure.
- (d) La compression à la fin du premier cycle, force la fermeture de la fissure.
- (e) Au démarrage du deuxième cycle. La décompression ne peut faire aligner l'ouverture de la fissure élastique avec celle déformée d'une façon élastoplastique, ce qui forme

#### A retenir :

##### La fatigue :

- Amorçage d'une fissure (mécanisme d'intrusions et d'extrusions – Modèle de Cottrell et Hull);
- Propagation lente de la fissure (mécanismes de formation de stries);
- Propagation brutale et rupture totale.

des plis (traces ondulés sur la surface de la rupture – stries), apparent en présence d'un atmosphère oxydant (air, eau, etc...).

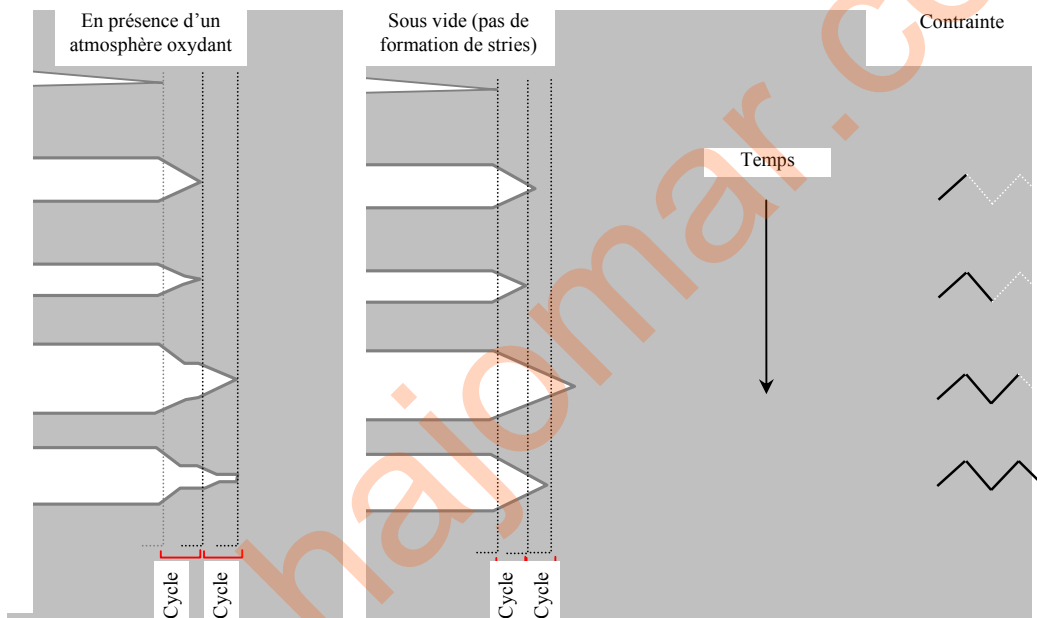
- (f) La compression et traction alternés provoquent un durcissement local qui avec le temps participe à l'avancement de la fissure.
- (g) Similaire à (c).
- (h) Similaire à (d).

Ainsi, la propagation lente de la fissure par fatigue présente deux stades :

- Stade de déformation plastique par cisaillement le long des plans de cisaillement ;
- Stade de fermeture lors de l'abaissement de la contrainte.

Ces deux stades expliquent le mécanisme de la formation de stries sous un atmosphère oxydant, car sous vide, les stries ne sont pas remarquées.

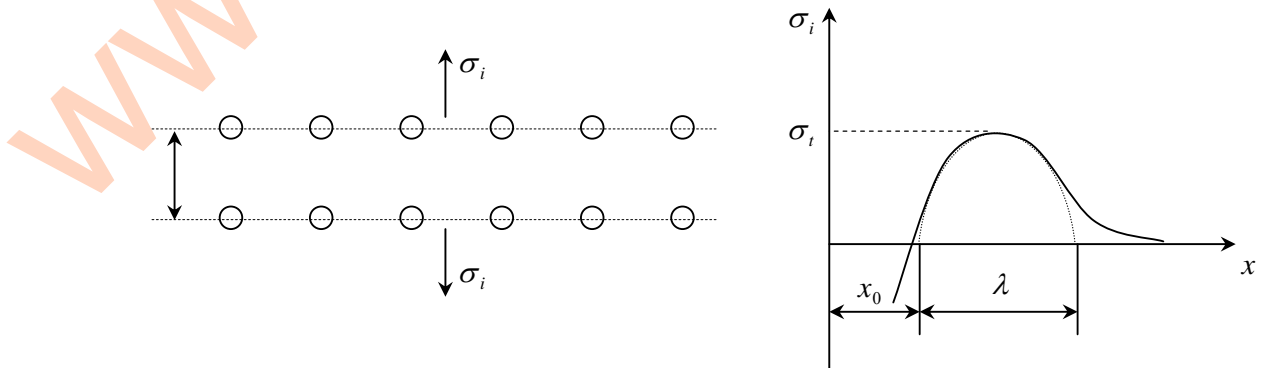
Mécanismes de formation de stries :



**Exercice 3 :**

La résistance théorique au clivage est de l'ordre de  $\sigma_t = E/10$ .  $\sigma_t$

Démonstration :



La fig. (a) montre deux plans d'atomes voisins distants de  $x$ . La contrainte locale est  $\sigma_i$ . La relation typique entre  $\sigma_i$  et  $x$  à l'allure de la courbe présentée dans la fig. (b), qui peut-être interpolée par une fonction sinusoïdale.  $x_0$  est la distance entre deux plans (deux atomes voisins dans la direction de chargement) pour une maille non chargée.  $\sigma_i$  est la contrainte théorique de clivage, c'est le seuil de contrainte nécessaire pour la séparation totale des deux plans.

L'interpolation de  $\sigma_i(x)$  par une fonction sinusoïdale (courbe en pointillés) avec une longueur d'onde  $\lambda$  :

$$\sigma_i = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi}{\lambda}u\right), \text{ pour } (0 \leq u \leq \lambda) \\ 0, \text{ pour } (u > \lambda) \end{cases}, \text{ où } u = x - x_0 \quad (1)$$

Pour les petits déplacements, on peut écrire :

$$\sigma_i \approx \sigma_i \frac{\pi}{\lambda} u \quad (2)$$

D'après la loi d'Hook :

$$\sigma_i \approx E \frac{u}{x_0} \quad (3)$$

Des deux équations (2) et (3), la résistance de clivage peut être exprimée par :

$$\sigma_i \approx \frac{\lambda}{\pi} \frac{E}{x_0} \quad (4)$$

Le travail dépensé dans la séparation totale des plans d'une maille est obtenu par :

$$\int_0^x \sigma_i du \equiv 2\gamma$$

L'énergie de surface  $\gamma$  représente l'énergie potentielle qui peut être attribuée à l'une des deux surfaces libres générées. Avec l'approximation considérée, l'intégrale est égale à la surface sous la courbe (fonction sinusoïdale):

$$\frac{2}{\pi} \sigma_i \lambda = 2\gamma \quad (5)$$

Eliminant  $\lambda$  de (4) et (5) :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{E\gamma}{x_0}} \quad (6)$$

Pour plusieurs matériaux, l'énergie de surface a une magnitude de l'ordre de  $\frac{Ex_0}{100}$ , ce qui donne :

$$\sigma_i \approx \frac{E}{10} \quad (7)$$