

Epreuve de Métallurgie

1 de fluage. (10pts)

- Définition, interprétation de la courbe de fluage.
- Influence de la température sur le fluage.
 - mesure de l'énergie d'activation.
 - les différents types de fluage.
- Influence du fluage sur la structure.
 - morphologie en microscopie optique
 - morphologie en microscopie électronique.

2 Mécanique de la rupture (10pts)

Pour faire des mesures de ténacité sur un acier, dont la limite élastique est 50 daN/mm², on utilise des éprouvettes C.T. (fig 1).

Dans ces conditions, le facteur d'intensité de contrainte est donné par l'expression :

$$K_I = \frac{P \sqrt{a}}{b \cdot w} f\left(\frac{a}{w}\right)$$

avec $f\left(\frac{a}{w}\right) = 29,60 - 185,5 \frac{a}{w} + 655,7 \frac{a^2}{w^2} - 1017 \frac{a^3}{w^3} + 639 \frac{a^4}{w^4}$

Des éprouvettes de largeur variable b sont usinées de telle sorte que l'épaisseur w soit le double de la largeur b . Ensuite, l'entaille obtenue par fatigue sera ouposée avoir une longueur égale à la demi-épaisseur ($a = w/2$).

Pour les différentes valeurs de b choisies, on obtient les résultats réunis dans le tableau suivant.

b (cm)	F_R (daN)	type de Courbes (voir Figure 2)
5	5720	I
4	4120	I
3	2680	I
2	1440	II
1,5	960	II
1	560	II
0,75	440	III
0,5	250	III

1° - Calculer la valeur de K_I pour chaque largeur b et tracer la courbe $K_I = f(b)$.

2° - Calculer le rayon de zone plastique supposé, d'abord dans le cas d'une contrainte plane, ensuite dans le cas d'une déformation plane ; le calcul sera fait pour chaque largeur. (On en profitera pour définir l'état de contrainte plane et l'état de déformation plane)

3° - Exprimer la courbe $K_I = f(b)$, en déduire la bonne valeur de K_{IC} .

$$Z_P = \frac{1}{2\pi}$$

$$Z_P = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_y} \right)^2$$

$$K_I = \sigma_y \sqrt{2\pi Z_P}$$



1986/1987

DEA

$$1.) \sigma_y = 50 \text{ daN/mm}^2$$

$$w = 2b$$

$$a = b$$

$$K_I = \frac{F\sqrt{a}}{bw} f\left(\frac{a}{w}\right)$$

$$f\left(\frac{a}{w}\right) = 29,60 - 185,5 \frac{a}{w} + 655,7 \frac{a^2}{w^2} - 1017 \frac{a^3}{w^3} + 639 \frac{a^4}{w^4}$$

$$= 13,5875$$

$$\rightarrow K_I = \frac{F\sqrt{b}}{b \cdot 2b} \cdot 13,5875 = \frac{6,79375 F}{b^{3/2}}$$

$$\rightarrow K_{IC} = \frac{6,79375}{b^{3/2}} F_R$$

$$\rightarrow K_{IC} \quad 347,57664$$

$$349,87812$$

$$350,39869$$

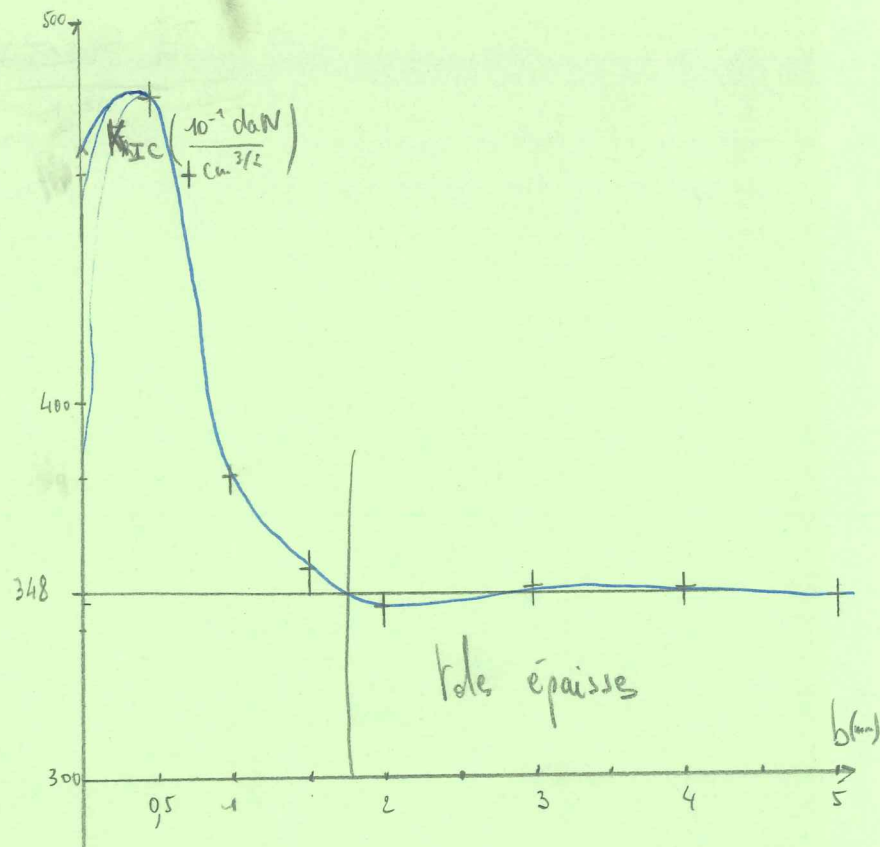
$$345,88128$$

$$355,01271$$

$$380,450000$$

$$460,22514$$

$$480,39067$$



$$2.) \text{Contrainte plane: } Z_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y} \right)^2$$

$$\text{déformé plane: } Z_p = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y} \right)^2$$

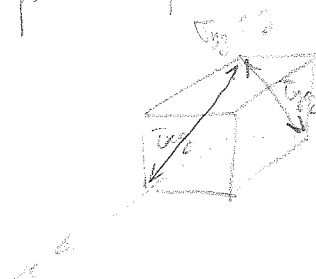
(mm)	b	5	4	3	2	1,5	1	0,75	0,5
Z_p plane		0,789	0,789	0,781	0,762	0,802	0,92	1,35	1,47
Z_p del plane		0,256	0,259	0,261	0,254	0,267	30,7	0,449	0,489

L'état de contraintes planes est un état pour lequel :

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = 0$$

$$\sigma_{yz} = 0$$

$$u_z = 0$$



les tôles minces présentent un cas où l'on est en état de contraintes planes.

L'état de déformation planes est défini par :

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = 0$$

$$\sigma_{yz} \neq 0$$

$$u_z = 0$$

tôles épaisses

3°)

Sur la courbe $K_{IC} = f(b)$, on voit que la tôle mince reste mince à la propagation de fissure que la tôle épaisse (dominée par $b \geq 2mm$).

Ds notre cas : $Z_p \ll W - a$ obligatoirement, sinon on est en situation de plasticité généralisée, et le modèle proposé n'est plus valable.

$$\rightarrow Z_p \ll 2b - b$$

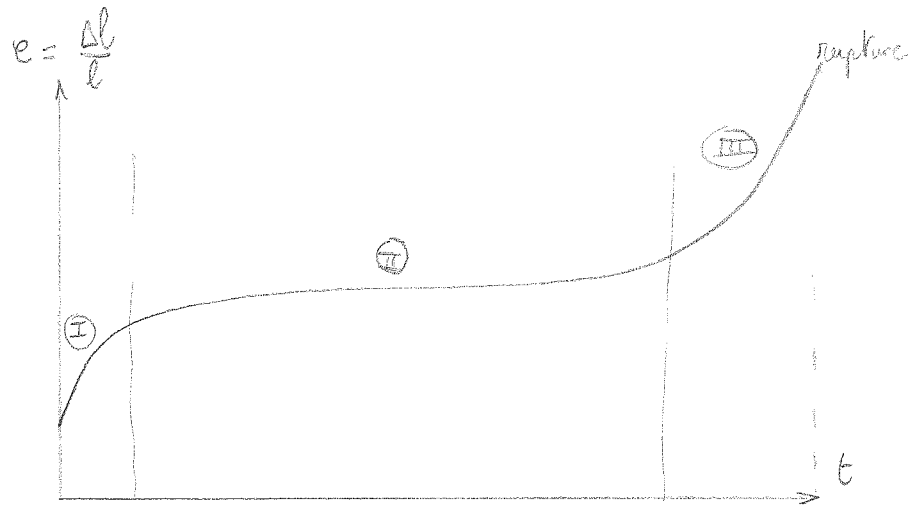
$$\rightarrow Z_p \ll b$$

Ds le tableau précédent, on voit que cette condition n'est respectée que pour $b \leq 1,5 mm$.

Le bon K_{IC} est donc celui pour lequel cette condition est la mieux vérifiée, soit pour une tôle épaisse, et en dessous de $b = 1,5 mm$.

$$\rightarrow K_{IC} = 3484 \frac{daN}{mm^{3/2}}$$

- 1 Le fluage l'étude de la déformation d'un matériau contraint en fonction du temps. Cette étude révèle une courbe de la forme



Où les domaines correspondent à :

I: Fluage primaire :

la vitesse de déformation est augmentée de moins en moins. En fait il y a formation de dislocations. Les dislocations créées gênent le mouvement de suivantes : il y a durcissement car les dislocations s'ancrent de mieux en mieux.

II: Fluage secondaire :

la vitesse est constante. On a établissement d'un régime stationnaire car on crée autant de dislocations que ce que l'on en détruit par montée, annihilation ou glissement : équilibre dynamique.

III Le rapprochement des grains les uns par rapport aux autres engendre des cavités aux joints de grains (aux joints triples au départ). Ces cavités sont synonymes d'une section résistante à la force de plus en plus faible $\rightarrow$ la contrainte dans le matériau croît vite : il s'établit un régime tertiaire conduisant à la rupture.

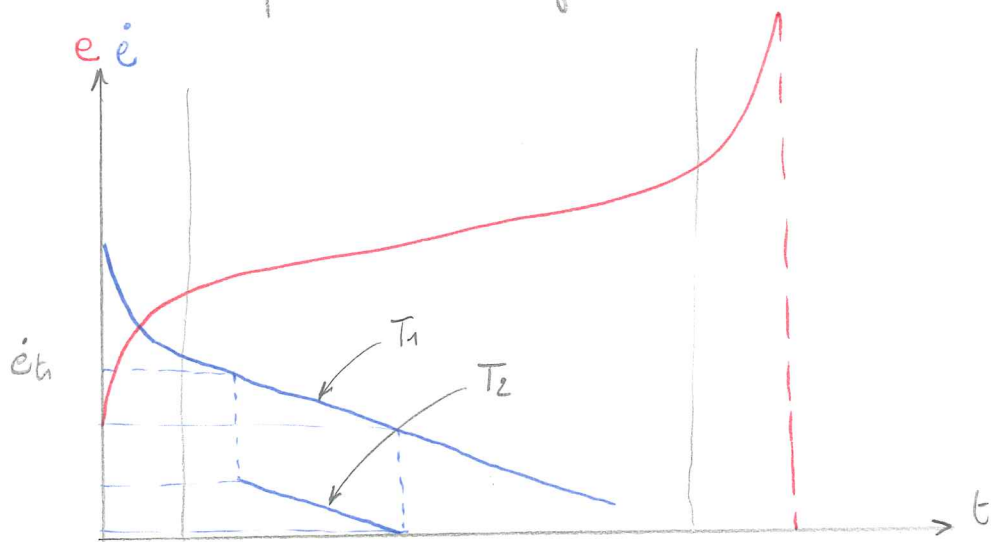
- Influence de la température :

Deux phénomènes entrent en compétition de la fluage :

- le phénomène de glissement de dislocations, qui se produit quelle que soit la température. Ce phénomène reste prépondérant lorsque $T < 0,3 T_f$.
- le phénomène de montée des dislocations, qui est un phénomène activé thermiquement puisque c'est en fait la diffusion de lacunes qui le régit. Et donc plus la température devient grande, et plus la montée devient importante. Il résulte que ce phénomène est prépondérant pour $T > 0,4 T_f$.

- Mesure de l'énergie d'activation :

Pour faire 1 étude de fluage en fonction de la température, il est nécessaire de se placer en fluage secondaire :



On fait subir à l'échantillon un refroidissement brusque. On obtient ainsi pour un même temps t_1 , les valeurs de 2 vitesses de déformations aux températures T_1 et T_2 : $\dot{\epsilon}_{t_1}(T_1)$ et $\dot{\epsilon}_{t_2}(T_2)$

Après un certain temps, on réchauffe l'échantillon à T_1 brutalement,

ce qui nous donne pour un même temps les valeurs: $\dot{\epsilon}_1(t_1)$ et $\dot{\epsilon}_2(t_2)$.

On a ainsi pour $\bar{\epsilon}$:

$$\bar{\epsilon}(T_1) = \frac{\dot{\epsilon}_1(T_1) + \dot{\epsilon}_2(T_1)}{2}$$

$$\text{et } \bar{\epsilon}(T_2) = \frac{\dot{\epsilon}_1(T_2) + \dot{\epsilon}_2(T_2)}{2}$$

En prenant alors $\ln \bar{\epsilon}(T_i) = f\left(\frac{1}{T_i}\right)$, on accède à $\Delta H^\ddagger$ l'énergie d'activation du phénomène, car:

$$\dot{\epsilon} = \sum_i Z_i \sigma_i \exp\left(-\frac{\Delta H_i(T, \sigma)}{RT}\right)$$

$$\rightarrow \ln \dot{\epsilon}_i = \underbrace{\ln Z_i \sigma_i}_{\text{cte}} - \frac{\Delta H_i}{RT} \quad \text{pour 1 mécanisme}$$

- influence du fluage sur la structure:

- * L'effet de la contrainte sur le réseau est qu'elle comprime certains sites atomiques et étire d'autres (sens de la traction). Ainsi la σ des sites comprimés a tendance à limiter de la sites étirés s'ils sont immergés.

- * Fluage I: créat dislocat $\rightarrow$ dislocations qui s'empilent sur les σ_{σ_2} ou qui s'y annihilent. Au départ: peu de dislocat. après contrainte: le taux dislocat $\uparrow$, et crée 1 réseau de dislocat qui brise (annule) les dislocat créés ultérieurement par l'action d'un mécanisme de moulin de Frank-Robert. Elles peuvent être créées sur le réseau lui-même.

fluage: qd $N_{\text{total}} = N_{\text{annihilat}} \rightarrow$ équilibre dynamique.