2 - Mécanique de la rupture. Concepts fondamentaux

L'apparition de structures qui se fracturent, alors que les contraintes distribuées sont inférieures à la contrainte d'écoulement du matériau, résulte souvent de fissures ou de défauts (porosités) présents dans la structure.

Ces ruptures montrent que l'analyse conventionnelle de la résistance des structures, quelle que soit la précision utilisée, ne suffit pas à assurer l'intégrité de la structure en fonctionnement. On appelle mécanique de la rupture l'analyse structurale qui tient compte de la taille des fissures en fonction de la contrainte appliquée.

Le chapitre de la mécanique de la rupture qui aborde cette étude mais qui ne considère que de petites zones de déformation plastique à la pointe des fissures s'intitule « Mécanique de la Rupture Linéaire Élastique ».

Grâce aux recherches considérables menées au cours des années 1950, la mécanique linéaire de la rupture peut être utilisée pour résoudre de nombreux problèmes pratiques de Génie, tels que la ruine (l'effondrement) de la structure, la sélection des matériaux, la prévision de la durée de vie des structures et la définition des critères d'acceptation de défauts.

La mécanique linéaire élastique de la rupture peut aussi être utilisée pour résoudre des problèmes concernant la faible déformation plastique, en intégrant des facteurs de correction de plasticité, à condition que la fracture se produise avant qu'une déformation plastique importante ne surgisse.

Bien que Griffith, réf. [1], ait posé les bases de la mécanique linéaire de la rupture, son travail est passé inaperçu pendant plus de 30 ans, réf. [2].

Pour expliquer comment on atteint la cohésion intermoléculaire alors que la contrainte nominale appliquée est très inférieure à la valeur théorique, Griffith a émis l'hypothèse selon laquelle un matériau fragile, ici le verre, contient une quantité énorme de microfissures provoquant des concentrations élevées de contraintes.

Quand une des fissures se propage subitement (fracture fragile), la surface des parois de la fissure augmente. Il faut de l'énergie pour vaincre la force de cohésion des atomes, autrement dit, l'énergie de surface doit augmenter.

Cette augmentation de l'énergie de surface ne peut provenir que de l'énergie de déformation élastique (énergie potentielle) qui se libère lors de l'avancée de la fissure.

Pour expliquer la propagation d’une fissure, Griffith a établi le critère suivant : la propagation se déclenche quand la diminution du taux de libération de l’énergie de déformation élastique stockée (énergie potentielle) est au moins égale au taux de création d’énergie de formation de surface de fissure. Ce critère peut être utilisé pour déterminer la valeur de contrainte appliquée en traction qui fait en sorte qu’une fissure de certaines dimensions se propage subitement (fracture fragile).

Si l’on considère la plaque représentée sur la fig. 2-1 et si l’on admet qu’elle est mince, le problème peut être traité en état de contraintes planes.

Griffith a déterminé la valeur de l’énergie de déformation élastique qui se libère lorsqu’une fissure de longueur 2*a* apparaît sur une plaque d’épaisseur unitaire sollicitée par la contrainte appliquée en traction σ.

En état de contraintes planes, cette valeur correspond à

$$U = -\frac{\pi\ a^2\ \sigma^2}{E} \qquad (2\text{-}1)$$

et, en état de déformation plane, à

$$U = -\frac{\pi\ a^2\ \sigma^2}{E}\ (1 - \nu\ 2)$$

où σ est la contrainte appliquée en traction qui agit normalement au voisinage de la fissure de longueur 2*a*. Le signe négatif est utilisé parce que la propagation de la fissure libère de l’énergie de déformation élastique.

L’équation (2-1) peut être comprise si l’on considère que l’énergie de déformation se circonscrit à deux zones circulaires de rayon *a* autour de la fissure (voir fig. (2-2)). L’énergie de déformation par unité de volume correspond à $\frac{\sigma^2}{2\ E}$ Par conséquent, U, énergie de déformation élastique par unité d’épaisseur, correspond à $\frac{\sigma^2\ (\pi\ a^2)}{E}$.

Cependant, l'énergie nécessaire à la création d'une fissure de longueur 2*a* est Us = Ys a. Ainsi, lors de la propagation d'une microfissure, la consommation d'énergie de surface est supérieure à l'énergie de déformation élastique libérée. Les conditions d'énergie propices à la propagation ne sont donc pas réunies. Toutefois, à partir d'une certaine valeur critique de *a*, a_c, ces conditions s'inversent, étant donné que l'énergie de déformation élastique libérée est proportionnelle à a^2 tandis que l'énergie superficielle est proportionnelle à *a*.

Ainsi la condition de propagation est représentée par :

$$\left| \frac{\delta U}{\delta a} \right| \geq \left| \frac{\delta U_s}{\delta a} \right|$$

$$\frac{\pi \ \sigma^2 \ a}{E} \geq 2 \ \gamma_s$$

et on définit une valeur critique de *a* pour une tension appliquée déterminée, ou une valeur critique de tension, σ_c, pour chaque valeur de *a*.

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2 \ E \gamma_s}{\pi a}}$$