

Suivi par corrélation d'images du benchmark FATACRACK

T. QUEMIN^a, E. IVANOVIC^a, G. BARATTE^a
M. CORET^a, J. RÉTHORÉ^a

a. Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM) – Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, CNRS : UMR 6183 – 1, rue de la Noë BP92101 44321 Nantes cedex 3, France

Résumé :

Dans le cadre du benchmark du GDR 3651, des essais ont été réalisés au GeM à l'Ecole Centrale de Nantes. Un traitement des essais par corrélation d'images est effectué. Le suivi de la position de la fissure au cours des cycles et la mesure des facteurs d'intensité des contraintes sont mis en place. Des mesures aux crêtes sont effectuées de manière périodique. Des mesures à l'intérieur des cycles sont également mises en place régulièrement pour essayer de capter les effets de fermeture et leur évolution.

Abstract :

For the benchmark proposed by GDR 3651, experiments are performed at GeM lab. Digital Image Correlation is the main investigation tool used in this contribution. An experimental setup has been designed to acquire images at the peak values of the force but also periodically within a single cycle. Stress intensity factors extraction and crack length estimation are performed to analyze the tests.

Mots clefs : DIC, Crack closure, mode mixity

Introduction

Dans le cadre du benchmark du GDR 3651, des essais sont réalisés à l'institut GeM à L'Ecole Centrale de Nantes. Les essais sont instrumentés par corrélation d'images numériques pour la mesure des facteurs d'intensité des contraintes et de la longueur de fissure. Un développement expérimental spécifique a été mis en place pour prendre des images périodiquement aux pics d'efforts (minimum et maximum), mais également au cours d'un cycle à intervalle régulier. Les résultats préliminaires présentés dans ce papier insistent sur les différences induites par la variation du décalage entre le perçage et l'entaille (2.5 et 6 mm).

Le dispositif expérimental utilisé sera décrit dans le paragraphe suivant. Ensuite, l'analyse des données expérimentales est présentée.



FIGURE 1 – Photo du montage expérimental

Essais

Equipement

Les essais sont effectués sur une machine servo-hydraulique MTS de capacité 250 kN équipée de mors hydrauliques (voir Figure 1). Les essais sont effectués à 10Hz sur des cycles à $R = 0.1$ dont l'effort maximum dépend du cas de chargement et du matériau testé. Une caméra numérique avec un capteur CCD 24×36 mm d'une résolution de 29 MPix est utilisée. La prise d'image est synchronisée avec la mesure d'effort. Un objectif permettant un grossissement tel que la taille physique d'un pixel soit de $8.7 \mu\text{m}$ est utilisé.

Acquisition d'images

Pour permettre d'analyser finement les essais, un protocole d'acquisition d'images spécifique a été mis en place (voir Figure 2). Tous les 1000 cycles, 3 images sont prises à effort minimum, effort maximum et effort minimum. Lors de ces cycles d'acquisition d'images, le cyclage à 10 Hz est stoppé pour permettre l'acquisition des images dans de bonnes conditions. Tous les 10 fois 1000 cycles, 10 images sont prises lors d'un cycle. Ceci a pour but de pouvoir suivre finement lors d'un cycle l'évolution des facteurs d'intensité des contraintes et la longueur de la fissure. On peut alors espérer évaluer la partie effective du cycle (celle pendant laquelle la fissure est effectivement ouverte).

Analyse

Méthodologie

Les déplacements sont mesurés pour chaque image par rapport à une image de référence prise avant que l'essai ne commence. La mesure de ces déplacements est basée sur une méthode de corrélation

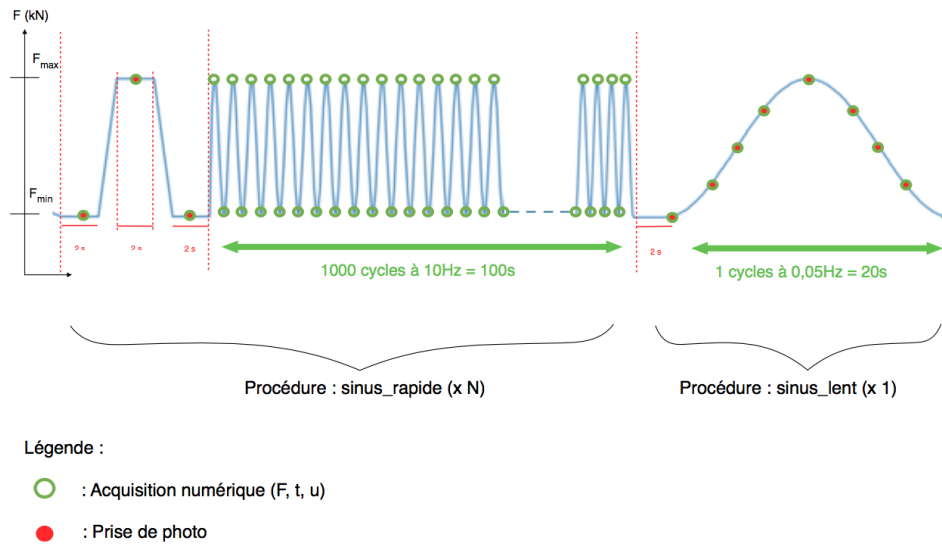


FIGURE 2 – Stratégie d'acquisition des images au cours de l'essai.

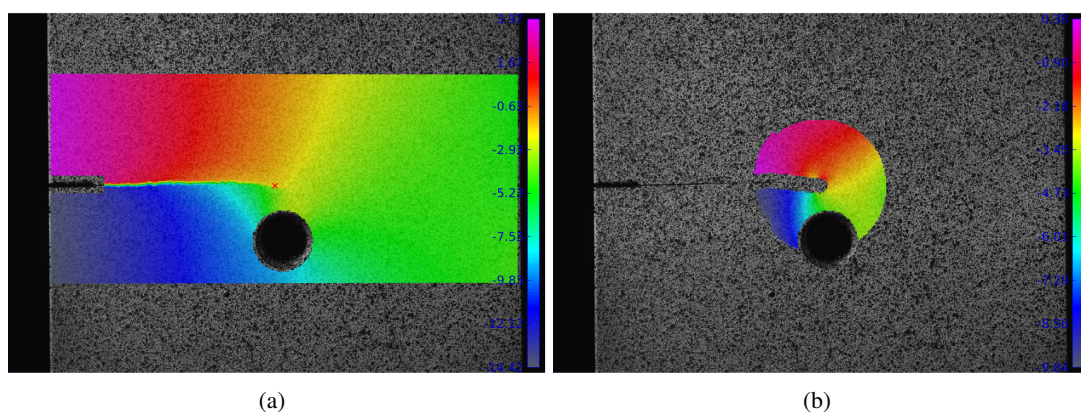


FIGURE 3 – Champs de déplacement dans la direction de chargement (vertical) en pixel pour une éprouvette en acier 316L avec un décalage de 6 mm et un effort max de 22.5 kN : (a) champs brut, (b) champs projeté sur les série de Williams.

d'images utilisant une cinématique de type éléments finis [1]. Un maillage structuré composé d'éléments quadrangles de 20 pixels de côté est utilisé. Une fois le déplacement déterminé (Figure 3(a)), il est projeté sur une base de fonctions constituée des séries de Williams [2] (Figure 3(b)). Une minimisation de type moindres carrés non-linéaire est effectuée pour estimer non seulement les facteurs d'intensité des contraintes et autres facteurs tel que le T -stress mais aussi la longueur de la fissure élastique équivalente [3, 4]. Dans les analyses effectuées, le rayon de la zone d'extraction est de 800 pixels. Une zone d'épaisseur 100 pixels de part et d'autre des lèvres de la fissure est ignorée. Le module de Young est estimé à 195 GPa et le coefficient de Poisson à 0.3.

Résultats

Nous présentons ici les résultats obtenus pour les éprouvettes en acier 316L et pour un effort maximum de 22.5 kN. Nous nous concentrons sur l'analyse de l'effet du perçage en fonction du décalage entre la pré-entaille et le centre du perçage. Pour mémoire, la longueur de la pré-entaille est de 5 mm et le diamètre du perçage également. Deux géométries sont disponibles : un décalage e le long de la direction de sollicitation entre le centre du perçage et l'axe de l'entaille de 2.5 ou 6 mm. Pour la première géométrie, la fissure est attirée par le perçage. Pour la seconde géométrie, la fissure est déviée par la présence du perçage mais elle finit par poursuivre son trajet en passant au dessus. On s'attend donc à observer des différences sur l'évolution des paramètres de fissuration à l'approche du perçage.

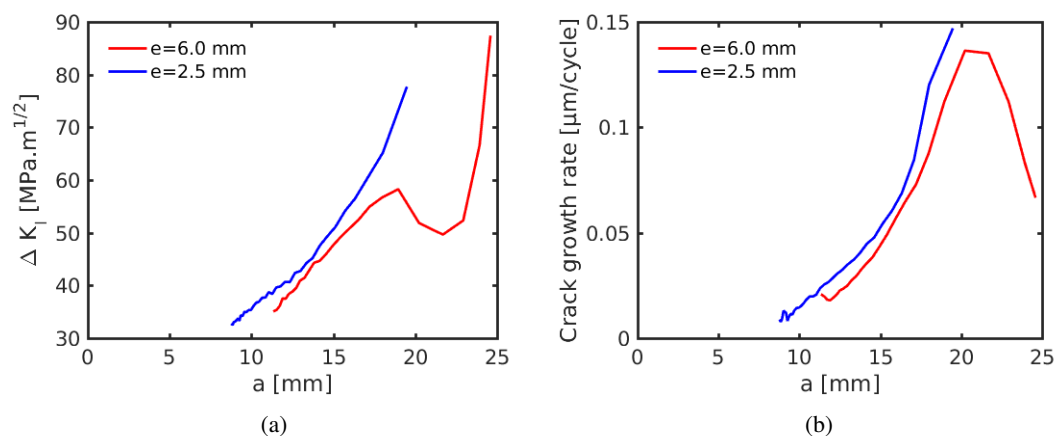


FIGURE 4 – Comparaison de l'évolution des ΔK_I et la vitesse de propagation en fonction de la longueur de la fissure pour deux décalages e sur les éprouvettes en acier 316L avec un effort max de 22.5 kN.

La Figure 4(a) présente l'évolution des facteurs d'intensité des contraintes en fonction de la longueur de la fissure pour les deux géométries. Concernant l'évolution de ΔK_I , on observe des tendances similaires pour les deux géométries jusqu'à une longueur de fissure de 14 mm environ. A partir de cette longueur, ΔK_I augmente plus vite pour le cas où $e = 2.5$ mm. Les vitesses de propagation sont, elles aussi, similaires jusqu'à ce point (Figure 4(b)). Pour $e = 6$ mm, on obtient alors des vitesses légèrement inférieures à mettre en regard avec ΔK_I qui diminue significativement à l'approche du perçage.

Ensuite, pour $e = 2.5$ mm, la fissure plonge dans le perçage ce qui ne permet pas de poursuivre l'analyse. Pour $e = 6$ mm, la diminution de ΔK_I paraît disproportionnée par rapport à la différence de vitesse observée par rapport au cas $e = 2.5$ mm. Mais la Figure 5(a) montre l'apparition à l'approche du perçage d'un mode II beaucoup plus prononcé pour $e = 6$ mm. Pour ce dernier cas, à partir du moment où la fissure passe au dessus du perçage ($a = 22.5$ mm), ΔK_I augmente à nouveau mais la vitesse

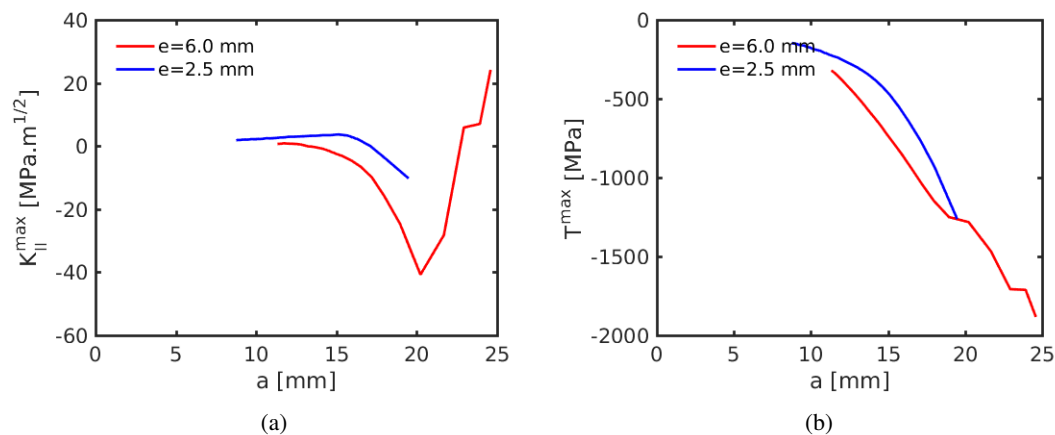


FIGURE 5 – Comparaison de l'évolution de K_{II}^{max} et T^{max} en fonction de la longueur de la fissure pour deux décalages e sur les éprouvettes en acier 316L avec un effort max de 22.5 kN.

de propagation atteint un maximum et diminue. Ceci intervient alors que la contrainte T continue de diminuer (augmenter en amplitude), voir Figure 5(b).

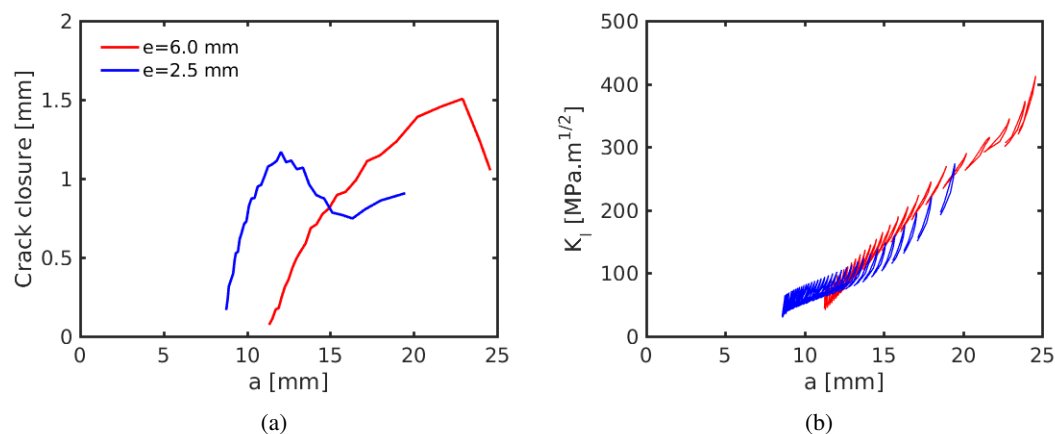


FIGURE 6 – Comparaison de l'évolution des effets de refermeture de fissure en fonction de la longueur de la fissure pour deux décalages e sur les éprouvettes en acier 316L avec un effort max de 22.5 kN. (a) variation de la longueur de fissure élastique équivalente, (b) boucle (a, K_I) pour chaque cycle.

Les données obtenues permettent également une analyse en terme de refermeture de fissure. La Figure 6(a) montre l'évolution de la variation de la longueur de fissure au cours d'un cycle pour les deux géométries. Il est également possible de tracer pour chaque cycle analysé la boucle hystérétique (a, K_I) et son évolution au cours de la propagation (Figure 6(b)). Une boucle verticale signifie une refermeture très faible alors qu'une boucle qui s'aplatit est synonyme d'une refermeture plus importante.

Conclusion

Les résultats présentés illustrent la quantité importante de données obtenue lors des analyses des essais du benchmark FATA CRACK. On montre des différences de comportement significatives en fonction du décalage entre l'entaille et le centre du perçage. Une analyse plus approfondie des résultats permettra peut-être de mettre en évidence des corrélations entre les différents paramètres accessibles à la mesure. L'analyse des essais effectués sur une gamme d'effort plus basse doit être menée prochainement.

Références

- [1] G. Besnard, F. Hild, and S. Roux. ‘finite-element’ displacement fields analysis from digital images : Application to portevin-le châtelier bands. *Experimental Mechanics*, 46(6) :789–803, 2006.
- [2] ML. Williams. On the stress distribution at the base of a stationary crack. *ASME Journal Applied Mechanics*, 24 :109–114, 1957.
- [3] S. Roux and F. Hild. Stress intensity factor measurement from digital image correlation : post-processing and integrated approaches. *International Journal of Fracture*, 140(1-4) :141–157, 2006.
- [4] R. Hamam., F. Hild, and S. Roux. Stress intensity factor gauging by digital image correlation : Application in cyclic fatigue. *Strain*, 43(3) :181–192, 2006.