

Etude de la propagation de fissures sous chargement de fatigue thermique 3D

- Résumé -

Les structures lors de leur fonctionnement sont soumises à diverses sollicitations d'origine mécanique et/ou thermique. Des incidents, tels que la fuite qui a eu lieu sur le circuit RRA (circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt) de Civaux I, ont illustré les risques de perte d'intégrité d'un composant liés aux phénomènes de fatigue thermique et ont souligné par conséquent l'importance d'améliorer sa compréhension. De nombreuses études concernant ces aspects ont déjà et continuent à être menées dans l'industrie nucléaire française. Cette thèse s'inscrit dans ce cadre et a eu pour principal objectif d'améliorer l'estimation de la propagation de fissures dans une structure pour un chargement de fatigue thermique pur.

Plusieurs dispositifs spécifiques à la fatigue thermique ont déjà été mis au point par le passé. Cependant, ces derniers étaient principalement axés sur l'étude de l'amorçage de la fissuration. Il est apparu nécessaire d'entreprendre une nouvelle campagne d'essais ciblée sur l'étude de la propagation de fissure en fatigue thermique. Pour cela, le dispositif Fat3D mis au point lors d'une précédente thèse [O. Ancelet, 2005] au sein du laboratoire a été repris. Sur ce dispositif, un chargement thermique tridimensionnel est appliqué à un tube pré-entailé en AISI 304L.

La campagne finale comporte quatre essais de propagation avec deux géométries d'entaille et deux chargements différents. Le suivi de la propagation a été effectué grâce à l'observation de la surface interne avec un endoscope ainsi qu'à l'étude des marquages thermiques et/ou mécaniques. Plusieurs autres méthodes de contrôle non destructif (ultra-sons, rayons X) ont également été investiguées lors d'un benchmark. Enfin, cette campagne a été complétée par la caractérisation du chargement thermique et la caractérisation du comportement de l'acier AISI 304 L sous chargement monotone et en fatigue oligocyclique.

Les simulations par éléments finis 3D pour l'analyse des essais ont été réalisées grâce au logiciel d'éléments finis du CEA Cast3M et reposent principalement sur des analyses thermomécaniques élastiques avec une technique de remaillage. Ces simulations ont montré une surestimation de la propagation. Ce phénomène est dû pour partie à une non prise en compte du développement de la plasticité inhérente à la fissuration et importante pour ce type d'acier austénitique. Dans ce cadre, trois méthodes de correction simplifiées ont été proposées afin de mieux prendre en compte cet aspect.

Les deux premières méthodes de correction du profil de contrainte au cours du temps reposent sur une comparaison des profils obtenus suite à des simulations utilisant une loi de comportement élastique et élastoplastique (cinématique non linéaire). La troisième correction quant à elle, est issue de la variation de température. Ne nécessitant pas de simulations non-linéaires, cette méthode présente un réel potentiel pour la prédiction de la propagation de fissures sous chargement thermique dans les problèmes industriels.