

Titre : Fatigue thermique à grand nombre de cycles d'un acier inoxydable austénitique : apport des mesures de champs pour l'identification du chargement et le suivi *in-situ* de l'endommagement

Mots clés : Essais *in-situ* de fatigue thermique, système multivue hybride, corrélation d'images, réseaux de fissures

Résumé : Ce travail de thèse vise à étudier l'endommagement induit par la fatigue thermique d'un acier inoxydable austénitique AISI 316L(N), qui est un matériau candidat pour construire les structures internes des réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na). Des réseaux de fissures, aussi appelés "faïençage thermique", ont été observés en surface des certains composants. L'origine de ce type d'endommagement provient de sollicitations thermiques hétérogènes et répétées des parois des composants dans une zone où se mélange du sodium chaud et froid.

L'étude de la fatigue thermique à grand nombre de cycles pose des difficultés expérimentales, notamment le maintien tout au long des cycles d'un chargement thermique d'amplitude constante ou encore, la mesure continue de ce chargement thermique et de ses effets en termes de déformation mécanique et d'endommagement dans la zone la plus fortement sollicitée. Une campagne d'essais est réalisée avec un dispositif expérimental original, la machine FLASH. Une procédure spéciale de corrélation multivue hybride qui combine une caméra infrarouge et deux

caméras visibles est développée pour réaliser des mesures de champs thermomécaniques et aussi assurer le suivi *in-situ* de l'endommagement causé par les chocs thermiques produits par un laser de puissance.

Les mesures expérimentales sont comparées avec des résultats de simulation thermomécanique. Le bon accord entre ces deux approches permet d'estimer la variation de déformation mécanique équivalente dans la zone la plus forte sollicitée. Une courbe de fatigue reliant le chargement équivalent au nombre de cycles à l'amorçage d'une fissure de $200\mu\text{m}$ est alors construite à partir des résultats d'essais. La comparaison sur cette courbe entre les résultats de fatigue thermique FLASH et des essais de fatigue isothermes uniaxiaux standardisés est jugée satisfaisante (légèrement conservatrice). De plus, les analyses expérimentales des réseaux de fissures fournissent des informations utiles pour comprendre le mécanisme de multi-fissuration. Les paramètres morphologiques des fissures sont comparés avec les prévisions d'un modèle probabiliste.

Title: High cycle thermal fatigue of austenitic stainless steel: thermomechanical field measurements for the identification of thermal loading and *in-situ* tracking of damage

Keywords: *In-situ* thermal fatigue tests, hybrid multiview system, image correlation, crack networks

Abstract: This PhD work is devoted to the study of thermal fatigue damage of AISI 316L(N) austenitic stainless steel, a candidate material to make the primary cooling system of Sodium-cooled Fast Reactors (SFRs). Initiation and propagation of crack networks can be induced by locally constrained thermal expansions or contractions of the component surface subjected to repeated thermal shocks of turbulent coolants.

A campaign of high cycle thermal fatigue tests on AISI 316L(N) austenitic stainless steel has been carried out with the FLASH facility. Full field measurements have been performed to capture thermomechanical fields of monitored surfaces in thermal fatigue tests. An original procedure based on hybrid multiview correlation (HMC) uses images acquired by two visible light cameras and one infrared camera. With such a system, Lagrangian temperature fields can be measured and experimental strain or displacement fields can be used to calibrate Finite Element analyses to re-

produce the thermomechanical cyclic response of the material in the region of interest. One additional benefit of the spatiotemporal synchronization of the HMC system is that the entire fatigued region has been monitored *in-situ* during the whole test, without interruptions, which enables crack initiation and propagation to be tracked thanks to the different modalities of the three cameras.

With the Tresca strain variation, which is numerically estimated on the one hand, and the number of cycles to crack initiation obtained experimentally on the other hand, the thermal fatigue data have been compared with purely mechanical and isothermal uniaxial fatigue data, and an excellent (and conservative) agreement has been obtained. Qualitative and quantitative analyses of the morphology and the parameters of crack networks provide useful pieces of information on the mechanism of crack initiation and propagation under different loading conditions, which are compared to predictions of a probabilistic model.

