**Analyse microstructurale du concept de distance cri-tique pour prédire le risque d’amorçage de fissures sous forts gradients de contraintes**

Mots-clés : fretting, fatigue, amorçage, microstructure, distance critique, éléments finis

**Microstructural analysis of the critical distance concept to predict the crack nucleation risk under high stress gradients**

Keywords : fretting, fatigue, crack nucleation, microstructure, critical distance, finite elements

## Résumé

Ce travail de recherche porte sur l’étude de l’impact de la microstructure sur le phénomène de fissuration dans le cas d’une sollicitation de fretting simple. Du fait des forts gradients de contraintes induits par le contact, les critères usuellement appliqués ont tendance à surestimer le risque d’amorçage de fissure, conduisant à un surdimensionnement des pièces métalliques dans l’industrie. La méthode de la distance critique propose une approche non-locale pour pallier ce problème.

L’approche de ces travaux de thèse repose sur un couplage expérimental/numérique permettant d’estimer la distance critique optimale pour différentes configurations (tailles de grains, gradients de contraintes, longueurs d’amorçage). Trois rayons de cylindre sont sélectionnés pour discuter l’effet du gradient de contraintes. Cinq tailles de grains d’un acier C35 sont obtenues par traitements thermiques et retenues pour étudier l’effet de la microstructure. Pour chacune, les caractéristiques mécaniques sont déterminées grâce à des essais de traction monotone, de dureté et de fatigue en traction-compression. Des essais cycliques plastiques sont réalisés pour identifier les lois de comportement élasto-plastique des matériaux.

Les essais de fretting simple cylindre/plan révèlent une différence de comportement en amorçage et en propagation pour les différentes microstructures – analogues à celle observable en fatigue – et pour les différents gradients. Les courbes de longueurs d’amorçage en fonction de l’amplitude de force tangentielle appliquée permettent de définir un seuil d’amorçage dépendant de la longueur critique d’amorçage considérée. Un calcul éléments finis 3D du contact est réalisé dans lequel est insérée une entaille représentative d’une fissure réelle obtenue après essai de fretting simple. Par une méthode d’identification inverse, les facteurs d’intensité des contraintes sont calculés et les propriétés d’arrêt de fissuration sont obtenues pour l’ensemble des microstructures.

Les seuils d’amorçage sont implémentés dans un calcul éléments finis 2D du contact afin d’estimer les champs de contraintes dans le matériau pour les différentes configurations. Le choix a été fait de considérer le critère de fatigue multiaxiale SWT comme critère pour déterminer la distance critique optimale. Si la distance critique semble stable avec le gradient de contraintes, une dépendance à la taille de grains est observée. Cette dépendance varie elle-même en fonction de la longueur critique d’amorçage choisie. Les résultats soulignent également l’importance de prendre en compte le caractère élasto-plastique du comportement de l’acier étudié pour rendre compte au mieux du phénomène d’amorçage en fretting.

## Abstract

This research work focuses on the impact of microstructure on the fretting crack nucleation. Due to the high stress gradients induced by the contact, the fatigue criteria usually applied tend to overestimate the crack initiation risk, leading to the oversizing of metal parts in industry. The critical distance method describes a non-local approach to overcome this problem.

The approach used in this thesis is based on an experimental/numerical coupling that enables the optimum critical distance to be estimated for different configurations (grain sizes, stress gradients, crack nucleation lengths). Three cylinder radii are selected to discuss the effect of the stress gradient. Five grain sizes of a C35 steel are obtained by heat treatment and selected to study the effect of the microstructure. For each, the mechanical properties are determined using monotonic tensile tests, hardness tests and tension-compression fatigue tests. Cyclic plastic tests are carried out to identify the elasto-plastic behaviour laws of the materials.

The cylinder/plane fretting tests reveal a difference in crack initiation and propagation behaviour for the different microstructures – similar to the one observed in fatigue – and for the different gradients. The curves of crack lengths as a function of the amplitude of the applied tangential load make it possible to define a nucleation threshold depending on the considered crack nucleation length. A 3D finite element calculation of the contact is carried out, in which a notch, representative of a real crack obtained after a fretting test, is inserted. Using an inverse identification method, the stress intensity factors are calculated and the crack arrest properties are obtained for all the microstructures.

The nucleation thresholds are implemented in a 2D finite element calculation of the contact to estimate the stress fields in the material for the different configurations. It was decided to use the SWT multiaxial fatigue criterion to determine the optimum critical distance. While the critical distance appears to be stable with stress gradient, a dependence on grain size is observed. This dependence varies with the chosen critical crack nucleation length. The results also highlight the importance of considering the elasto-plastic behaviour of the studied steel in order to best account for the fretting crack nucleation phenomenon.