
Simulation par éléments finis de l'initiation des fissures de fatigue le long des bandes de glissement persistantes

Eyouiléki Awi^{*1,2,3}, Jérôme Hazan^{1,3}, Maxime Sauzay^{†1}, and Laurent Van Brutzel²

¹DEN/DMN/SRMA – Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) - Saclay – France

²DEN/DPC/SCCME – Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) - Saclay – France

³Sorbonne Université, Institut de Formation Doctorale – Sorbonne Université UPMC Paris VI – France

Résumé

De nombreux composants des machines industrielles et des moteurs sont soumis au phénomène d’endommagement par fatigue. L’une des conséquences de ce phénomène est l’initiation et la propagation des microfissures amenant à une diminution considérable de la durée de vie de ces composants.

Sous l’effet d’un chargement cyclique, plusieurs systèmes de glissement peuvent être activés, en fonction de l’orientation cristalline du grain et de celles de ses voisins (Sauzay, 2007). Le glissement plastique se produit avec les facteurs effectifs de Schmid les plus élevés. Du fait de la nature cyclique du chargement, autant de dislocations coins de signe positif que de signe négatif glissent dans des sens opposés. Si la distance séparant les plans de glissement de deux dislocations de signes opposés est inférieure à une distance critique, ces dislocations s’annihilent en produisant des rangées de lacunes. La concentration des lacunes dans la bande de glissement entraîne sa dilatation et la formation d’extrusion à la surface libre. A température assez élevée, les lacunes produites dans la bande de glissement diffusent. Cette diffusion entraîne la formation des intrusions à la frontière entre la bande de glissement et le reste du grain. La concentration des contraintes en pointe des intrusions entraîne l’initiation des microfissures. De nombreuses études ont permis de mieux comprendre les mécanismes d’initiation des microfissures en lien avec la microstructure. Parmi celles-ci, nous pouvons citer les observations expérimentales de Mughrabi et al., 1979 ; Ma et Laird, 1989 ; Wang et al., 1999 ; Man et al., 2002 ; Polak, Man et al., 2009 ; Essman et al., 1981 ; Mineur et al., 2000 ; les études théoriques de (Polak et Sauzay, 2009), (Polak et Man, 2015), les simulations par éléments finis de (Repetto et Ortiz, 1997), (Liu et Sauzay, 2015). Mais aucun modèle n’a été largement validé par rapport aux observations et mesures expérimentales.

Notre objectif est de simuler, à l’aide des calculs éléments finis cristallins réalisés sous CAST3M en déformations planes, l’initiation des fissures de fatigue en surface le long des bandes de glissement en se basant sur les mécanismes précédemment décrits.

En accord avec les observations expérimentales, un monocristal orienté pour le glissement simple est modélisé par un massif élastique contenant une bande de glissement. La dilatation

*Intervenant

†Auteur correspondant: maxime.sauzay@yahoo.fr

de la bande de glissement est modélisée par une dilatation thermique libre. La diffusion des lacunes quant à elle est modélisée par l'équation de la chaleur pour la diffusion. Les calculs sont effectués dans le cadre de l'élasticité cubique et de la plasticité cristalline. Les matériaux d'étude sont le cuivre, le nickel et l'acier austénitique inoxydable 316L. Les champs de contrainte induits sont étudiés. L'évolution des contraintes normale et de cisaillement le long de la bande de glissement en fonction du nombre de cycle et des dimensions de la bande de glissement est également analysée. La hauteur d'extrusion de la bande de glissement et la profondeur de l'intrusion sont évaluées et confrontées aux mesures expérimentales. Enfin, un modèle d'initiation des fissures de fatigue se basant sur la mécanique de la rupture à incrément fini et le double critère en contrainte et énergie critiques (Leguillon, 2002) est présenté et les prédictions discutées par rapport aux observations expérimentales.

Mots-Clés: Bandes de glissement persistantes, fatigue, fissure, Eléments finis