

Contrat doctoral – ED Galilée

Titre du sujet : Modélisation de la rupture transgranulaire par modèle d'endommagement à champs de phase - développement théorique et implémentation numérique

- Unité de recherche : Laboratoire des Sciences, des Procédés et des Matériaux, CNRS, UPR 3407
- Discipline : Mécanique
- Encadrement de thèse : Radhi Abdelmoula (directeur) ; Joseph Paux
- Contacts : radhi.abdelmoula@univ-paris13.fr ; joseph.paux@univ-paris13.fr
- Domaine de recherche : Rupture ductile des métaux, endommagement à champ de phase
- Mots clés : Rupture ductile ; Endommagement non local ; Champ de phase ; Plasticité cristalline

La rupture ductile des métaux est principalement causée par la présence de porosité dans le matériau. Cette porosité, initialement présente, ou causée par la décohésion des interfaces particule/matrice autour de particules de seconde phase (nucléation de cavités), se développe par déformation plastique autour des cavités (phase de croissance), jusqu'à entraîner la formation de macro-fissures par coalescence des cavités. Ce processus est classiquement modélisé par les modèles de type Gurson tels que le modèle GTN [1].

La croissance des cavités peut se produire à deux échelles physiques: à l'échelle du polycristal, où il est raisonnable de modéliser la plasticité environnante par un comportement isotrope [1], ou à l'échelle des grains, où l'anisotropie plastique cristalline joue un rôle important sur la croissance des cavités et doit être prise en compte [2]. L'utilisation de modèle type Gurson adapté permet de prédire l'apparition de macro-fissures transgranulaires ou intergranulaires [3] dans les polycristaux et de mieux comprendre l'influence des paramètres microstructuraux sur la rupture des métaux.

Néanmoins, les modèles d'endommagement de type Gurson, et plus généralement les modèles avec affaiblissement, présentent le défaut d'être fortement sensibles au maillage et de prédire une localisation excessive de la porosité, qui tend à se concentrer dans des bandes d'endommagement. Les modèles d'endommagement non locaux permettent de corriger ce défaut en introduisant une pénalisation du gradient de la variable d'endommagement associée à une longueur interne. Cette méthode, associée aux méthodes de simulation à champs de phase, permet à la fois une prédiction plus cohérente de la localisation de l'endommagement et une meilleure stabilité numérique. Son efficacité a été récemment mise en évidence dans le cadre des modèles de type Gurson à matrice isotrope [4]. Dans cette thèse, on se propose d'appliquer cette méthode pour la prédiction de la rupture transgranulaire.

L'objectif de cette thèse est de développer et d'implémenter un modèle de Gurson non local prenant en compte l'anisotropie plastique cristalline pour la rupture ductile transgranulaire. On se basera sur le modèle type Gurson proposé dans [2]. Une première étape consistera à étendre ce modèle dans le cadre de l'endommagement non local en transformations finies suivant la méthode proposée par [4] de manière à avoir un modèle thermodynamiquement consistant. Puis une méthode numérique à champ de phase sera développée pour intégrer le modèle dans un outil de simulation de type éléments finis (logiciel Fenics). L'outil sera testé sur des microstructures typiques pour observer l'influence des différents paramètres sur la stabilité numérique, l'apparition de la rupture et la localisation de la déformation.

[1] Gurson, A. L. (1977). Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: Part I—Yield criteria and flow rules for porous ductile media.

[2] Paux, J., Morin, L., Brenner, R., & Kondo, D. (2015). An approximate yield criterion for porous single crystals. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 51, 1-10.

[3] Senac, C. (2023). Micromechanical study of transgranular and intergranular ductile fractures of metals (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).

[4] Chen, Y., Lorentz, E., Dahl, A., & Besson, J. (2022). Simulation of ductile tearing during a full size test using a non local Gurson–Tvergaard–Needleman (GTN) model. *Engineering Fracture Mechanics*, 261, 108226.