

NOUVEAU MODELE D'APPROCHE LOCALE POUR LA RUPTURE DUCTILE CYCLIQUE

Almahdi Remmal^{a,b}, Jean-Baptiste Leblond^a, Stéphane Marie^b

a. Sorbonne Université, Université Pierre-et-Marie-Curie (UPMC), CNRS, UMR 7190, Institut Jean-Le-Rond-d'Alembert, Tour 65-55, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France. jbl@lmm.jussieu.fr (J.-B. Leblond)

b. Framatome, Tour Areva, 1 place Jean Millier, 92084 La Défense cedex, France almahdi.remmal@framatome.com (A. Remmal), stephane.marie@framatome.com (S. Marie)

Mots clés : Rupture ductile cyclique, Modèle de Gurson, Chargements cycliques, Effet de rochet de la porosité, Simulations micromécaniques.

Résumé

L'influence du type de chargement, monotone ou cyclique, sur la rupture ductile a été mis en évidence expérimentalement pour la première fois il y'a 25 ans. Cette réduction a été décrite comme étant la conséquence de l'augmentation de la porosité moyenne sur un cycle avec le nombre de cycles (effet de rochet de la porosité).

L'objectif de cet article est de proposer un nouveau modèle d'approche locale qui permet de modéliser l'importante réduction de ductilité engendrée par le caractère cyclique du chargement. Cela est fait, dans un premier temps, en validant un nouveau modèle de type Gurson incluant les écrouissages de type isotrope et cinématique par l'intermédiaire de calculs micromécaniques en se basant sur l'analyse limite séquentielle.

Dans un second temps, une amélioration de l'équation du taux de porosité pour un matériau élasto-plastique est proposée en introduisant une correction à la dérivée objective de Jaumann. Elle permet d'obtenir l'équation du taux porosité incluant les déformations plastiques et élastiques pour une sphère creuse.

Enfin, les prédictions de ce nouveau modèle sont validées par comparaisons avec des simulations numériques micromécaniques incluant les effets de l'élasticité pour différents types d'écrouissages.

Les principales conclusions de ces travaux sont que l'effet de rochet de la porosité, qui dépend fortement de la triaxialité, est un phénomène majeur dans la modélisation de la rupture ductile cyclique et que l'élasticité joue un rôle aussi important que l'écrouissage dans la modélisation de ce phénomène.

Références

- [1] Gilles, Ph, B. Jullien, and G. Mottet. "Analysis of cyclic effects on ductile tearing strength by a local approach of fracture." *Advances in Fracture/Damage Models for the Analysis of Engineering Problems* 137 (1992): 269-284.
- [2] Devaux, J., et al. "On continued void growth in ductile metals subjected to cyclic loadings." *IUTAM Symposium on Nonlinear Analysis of Fracture*. Springer, Dordrecht, 1997.
- [3] Besson, J., and C. Guillemer-Neel. "An extension of the Green and Gurson models to kinematic hardening." *Mechanics of materials* 35.1-2 (2003): 1-18.
- [4] Brocks, Wolfgang, and Dirk Steglich. "Damage models for cyclic plasticity." *Key Engineering Materials*. Vol. 251. Trans Tech Publications, 2003.
- [5] Rabold, F., and M. Kuna. "Cell model simulation of void growth in nodular cast iron under cyclic loading." *Computational materials science* 32.3-4 (2005): 489-497.

- [6] Steglich, D., et al. "Micromechanical modelling of cyclic plasticity incorporating damage." *International Journal of Solids and Structures* 42.2 (2005): 337-351.
- [7] Mbiakop, A., A. Constantinescu, and Kostas Danas. "On void shape effects of periodic elasto-plastic materials subjected to cyclic loading." *European Journal of Mechanics-A/Solids* 49 (2015): 481-499.
- [8] Lacroix, Rémi, Jean-Baptiste Leblond, and Gilles Perrin. "Numerical study and theoretical modelling of void growth in porous ductile materials subjected to cyclic loadings." *European Journal of Mechanics-A/Solids* 55 (2016): 100-109.
- [9] Gurson, Arthur L. "Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: Part I—Yield criteria and flow rules for porous ductile media." *Journal of engineering materials and technology* 99.1 (1977): 2-15.
- [10] Leblond, J-B., G. Perrin, and J. Devaux. "An improved Gurson-type model for hardenable ductile metals." *European journal of mechanics. A. Solids* 14.4 (1995): 499-527.
- [11] Morin, Léo, Jean-Claude Michel, and Jean-Baptiste Leblond. "A Gurson-type layer model for ductile porous solids with isotropic and kinematic hardening." *International Journal of Solids and Structures* 118 (2017): 167-178.
- [12] Cheng, L., et al. "A homogenization model for porous ductile solids under cyclic loads comprising a matrix with isotropic and linear kinematic hardening." *International Journal of Solids and Structures* 121 (2017): 174-190.
- [13] Yang, Wei H. "Large deformation of structures by sequential limit analysis." (1993).
- [14] Leu, S-Y. "Analytical and numerical investigation of strain-hardening viscoplastic thick-walled cylinders under internal pressure by using sequential limit analysis." *Computer methods in applied mechanics and engineering* 196.25-28 (2007): 2713-2722.
- [15] Leblond, Jean-Baptiste, et al. "Classical and sequential limit analysis revisited." *Comptes Rendus Mécanique* 346.4 (2018): 336-349.
- [16] Thèse de Benoit Tranchand, "Proposition d'un paramètre énergétique en déchirure cyclique : impact du séisme sur la résistance à la déchirure ductile des tuyauteries REP. ", *Laboratoire Mécanique des Sols, Structures et Matériaux, Ecole Centrale-Supelec* (2015).