

Séminaire PIMM

Jeudi 15 juin 2017

13h30-14h30

Amphi Pinel

Arts et Métiers ParisTech, 151 bd de l'hôpital, 75013 Paris

ENDOMMAGEMENT DES MATERIAUX DUCTILES SOUS CHARGEMENT DYNAMIQUE.

S. Mercier ¹, C. Czarnota ¹, N. Jacques ², A. Molinari ¹ et C. Sartori ¹

¹LEM3, UMR CNRS 7239, Université de Lorraine, Ile du Saulcy 57045 Metz, France

²ENSTA Bretagne, IRDL, 2 rue François Verny, 29806 Brest cedex 9, France

La rupture des matériaux ductiles est le résultat de la nucléation, de la croissance et de la coalescence de vides à l'échelle microscopique. En endommagement dynamique, les vides vont être soumis à une expansion très rapide, ce qui va engendrer de très fortes accélérations de la matière au niveau de la paroi interne des vides. Ces fortes accélérations vont jouer un rôle très important dans le déroulement du processus de rupture, notamment lors d'essais d'impact de plaques (écaillage).

Depuis quelques années, au LEM3, une approche multi-échelle a été proposée pour décrire l'endommagement des matériaux ductiles en dynamique. La contrainte macroscopique se trouve être alors la somme d'une contribution quasi-statique et d'une contribution dynamique [1]. Cette contribution dynamique disparaît lorsque le chargement devient lent. Dans nos études, la contribution quasi-statique est issue de modèles de la littérature (modèle de Gurson, Gologanu et al...). La contribution dynamique de la contrainte est obtenue analytiquement en s'appuyant sur un motif représentatif élémentaire (généralement un motif de sphère creuse ou VER sphéroïdal) et sur un champ de vitesse cinématiquement admissible. A ce stade de nos travaux, des expressions analytiques sont disponibles pour des sphères ou des sphéroïdes [1,5].

Ce développement théorique nécessite d'être validé soit expérimentalement, soit sur la base de simulations EF. Par ailleurs, nous l'avons implémenté dans ABAQUS/Explicit pour sa version avec vide sphérique. Confronté à des résultats expérimentaux d'essais d'impact de plaques [2], il nous a été possible de décrire à la fois les profils de vitesse en face arrière mais aussi l'hétérogénéité de la porosité qui se développe au sein de la cible [3,4]. Dans un second temps, l'effet de la micro-inertie sur la propagation de fissure dans des éprouvettes entaillées a été analysé. Il a été montré que la vitesse de propagation de la fissure est fortement influencée par cette inertie locale. Par ailleurs, la présence de micro-inertie a un effet bénéfique sur la régularisation des calculs [5].

Pour des vides sphéroïdaux [6,7], il s'avère que la surface d'écoulement est fortement affectée par l'inertie mais aussi par la forme des vides. Ce travail permet d'étendre des résultats de la littérature sur les chargements statiques. Les résultats analytiques ont pu être confrontés favorablement avec des calculs éléments finis. A noter que l'effet d'inertie reste important même pour des vides sous forme de penny shape.

La phase de croissance des cavités est fortement influencée par l'inertie locale. Nous avons donc commencé à aborder le stade de la coalescence. Des calculs éléments finis viennent illustrer clairement l'effet stabilisant de l'inertie [8]. Une approche analytique de ce stade a été proposée dans [9]. 2

Pour finir, l'endommagement des matériaux en dynamique apparaît naturellement lors de la propagation d'ondes de choc intenses. Nous pourrions discuter l'effet de la taille des vides sur la largeur du front d'onde. L'inertie, par son aspect stabilisant, conduit à une augmentation de cette largeur. Il s'avère que pour des conditions de chargement particulières, la largeur du choc pour un matériau poreux peut être supérieure à celle obtenue pour un matériau sain. Ce résultat récent sera discuté.

References

- [1] Molinari A., Mercier S., (2001), Micromechanical modelling of porous materials under dynamic loading, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 49, 1497-1516, 2001
- [2] Roy, G., (2003). Vers une modélisation approfondie de l'endommagement ductile dynamique. Investigation expérimentale d'une nuance de tantale et développements théoriques. Doctorat, Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aéronautique, Université de Poitiers, France.
- [3] C. Czarnota, N. Jacques, S. Mercier, A. Molinari, (2008). Modelling of dynamic ductile fracture and application to the simulation of plate impact tests on tantalum, *J. Mech. Phys. Solids* 56(4):1624-1650.
- [4] N. Jacques, C. Czarnota, S. Mercier, A. Molinari, (2010). A micromechanical constitutive model for dynamic damage and fracture of ductile materials. *Int. J. Fract.* 162:159-175
- [5] Jacques, N; Mercier, S; Molinari, A, (2012) Effects of microscale inertia on dynamic ductile crack growth, *J. Mech. Phys. Solids*, 60(4): 665- 690
- [6] Sartori C., Mercier S., Jacques N., Molinari A. (2015), Constitutive behavior of porous ductile materials accounting for micro-inertia and void shape, *Mechanics of Materials*, 80, Part B, 324-339.
- [7] Sartori C., Mercier S., Jacques N., Molinari A. (2016), On the dynamic behavior of porous ductile solids containing spheroidal voids, *Int. J. Solids Struct.*, 97-98, 150-167.
- [8] Jacques, N; Mercier, S; Molinari, (2012) A void coalescence in a porous solid under dynamic loading conditions, *Int. J. Fract.*, 173: 203-213
- [9] Molinari, A; Jacques, N; Mercier, S; Leblond, JB; Benzerga, AA;(2015) A micromechanical model for the dynamic behavior of porous media in the void coalescence stage *Int. J. Solids Struct.*, 71:1-18