

Modélisation des mécanismes physiques de rupture ductile et simulation numérique des essais de laboratoire

G. Rousselier^a

a. MINES ParisTech, PSL Research University, MAT-Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, BP 87, 91003 Evry Cedex, France, gilles.rousselier@mines-paristech.fr

Résumé

Le mécanisme de rupture ductile le plus couramment observé est la nucléation-croissance-coalescence de cavités. Les modèles de "plasticité poreuse" sont présentés et discutés en relation avec les observations quantitatives et les simulations micromécaniques. (La modélisation micromécanique de la nucléation n'est pas abordée.) A faible triaxialité des contraintes, des mécanismes de rupture ductile sans cavités sont observés, en particulier dans des produits minces en aluminium. Les modèles de "plasticité poreuse" peuvent être couplés avec de nouveaux modèles à l'échelle du grain cristallin. Le propos est illustré par des exemples de simulation numérique d'éprouvettes sans ou avec fissure initiale, pour l'aluminium et l'acier.

Mots clés : croissance de cavité ; triaxialité des contraintes ; cisaillement ; localisation de la déformation ; coalescence ;

1. Introduction

Depuis la publication de Rice et Tracey (1969), la catégorie de modèles prenant en compte explicitement les cavités a connu un développement considérable. Ils sont particulièrement adaptés au calcul d'éprouvettes de laboratoire. Avec les modèles couplés de type "plasticité poreuse" (GTN, ...), la localisation de la déformation sous forme d'une bande macroscopique représente la phase de coalescence des cavités. La modélisation de la rupture ductile à faible triaxialité des contraintes et/ou en cisaillement questionne les limites de validité de ces modèles. Par ailleurs, des mécanismes de rupture ductile en cisaillement sans cavités nécessitent des modèles spécifiques.

2. Présentation

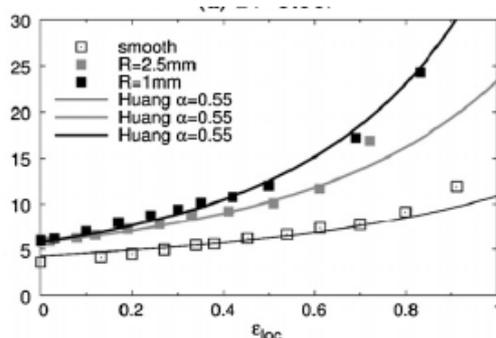


Fig 1. Landron, Maire et al. (2011), acier dual phase, croissance de cavité.

Rice et Tracey (1969), Huang (1991) :

$$\frac{dR}{R} = \alpha_{RT} \exp\left(\frac{3}{2}T\right) d\epsilon$$

$$\frac{dR}{R} = \alpha_{HUANG} T^{1/4} \exp\left(\frac{3}{2}T\right) d\epsilon$$

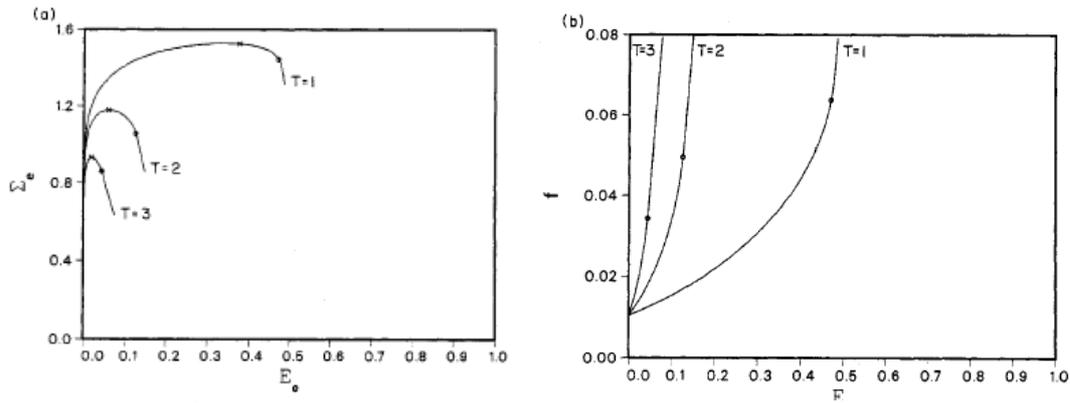


Fig 2. Koplík et Needleman (1988), cellule axisymétrique, cavité sphérique $r_0=0.25$ $f_0=0.0104$. Les points marquent la transition vers la déformation uniaxiale pour $f_c=0.035-0.050-0.065$ (triaxialité $T=3-2-1$).

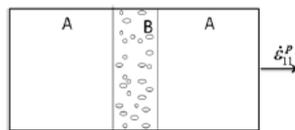
Condition cinématique nécessaire de localisation macroscopique

⇒ Adoucissement dans une bande B
Blocs A en décharge élastique

$$\dot{\epsilon}_{22}^p \cong \dot{\epsilon}_{33}^p \cong 0 \Rightarrow \dot{\epsilon}_m^p \cong \dot{\epsilon}_{11}^p / 3$$

$$\dot{\epsilon}_{12}^p = \dot{\epsilon}_{13}^p = 0 \Rightarrow \dot{\epsilon}_{eq}^p \cong 2\dot{\epsilon}_{11}^p / 3$$

$$\Rightarrow \dot{\epsilon}_m^p \cong \dot{\epsilon}_{eq}^p / 2$$

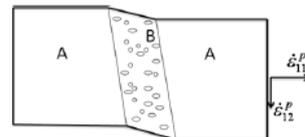


Cavités nécessaires
(variation de volume)

avec cisaillement

$$\dot{\epsilon}_{12}^p \neq 0 \text{ et/ou } \dot{\epsilon}_{13}^p \neq 0$$

$$\Rightarrow \dot{\epsilon}_m^p \leq \dot{\epsilon}_{eq}^p / 2$$



Localisation possible sans
cavités (rupture en
cisaillement avec $\dot{\epsilon}_m^p = 0$)

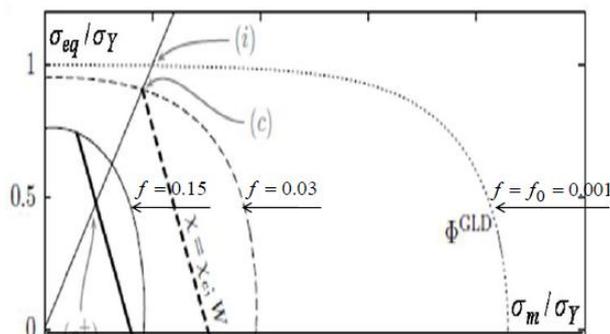


Fig 3. Benzerga et Leblond (2010). Lignes courbes : modèle de type GTN (1984). Lignes droites : modèle de coalescence de type Thomason (1985), pente $-3/2$ en accord avec la condition cinématique nécessaire de localisation macroscopique (sans cisaillement).