

Effet de la forme de l'inclusion sur le comportement mécanique des matériaux métalliques sous chargements cycliques, cas de chargement TT60

A. KERKOUR-EL MIAD^{1,2*}, M. ABBADI¹, F. JEFFALI^{2,3}, A. NOUGAOU².

¹ENSA, EMCS, ENSAO, BP696, Oujda, Maroc

¹ENSAH, BP 03 Ajdir-Al Hoceima, Université Mohamed Premier, B.P. 524, 60000, Oujda-Maroc

²LDOM, Faculté des Sciences, Université Mohamed Premier, B.P. 524, 60000, Oujda-Maroc

*E.mail : kerkourelmiad@yahoo.fr

Résumé

L'objectif principale de ce travail consiste à étudier l'effet de la forme de l'inclusion (grain) (rapport $\alpha = a/b$), sur le comportement mécanique des matériaux métalliques de type CFC, sous chargements cycliques et d'interpréter ces résultats dans le cas du chargement TT60. Ce paramètre de forme a été développé et introduit par Abdul-Latif et Radi [4], en effet durant cette étude nous utilisons leur modèle. Ce dernier est exprimé dans le cadre de l'approche auto-cohérente et de la plasticité dépendante du temps. En se basant sur le tenseur d'Eshelby, ce modèle considère que le comportement élastique est compressible[1]. Pour une structure polycristalline, les grains se déforment par glissements cristallographique situé dans les systèmes les plus favorablement orientés et qui supportent une forte contrainte résolue τ^s .

Mots clefs: *Effet de la forme de l'inclusion, Inclusion ellipsoïdale, Modèle auto-cohérent, comportement élasto-inélastique, chargement TT60*

1. Introduction

Afin de se rapprocher de la réalité géométrique des grains, le modèle AR suppose que l'inclusion (grain), ayant une forme ellipsoïdale (figure 1) de demi axes a , b et c tels que $a \neq b=c$ [4], est noyée dans une matrice homogène infinie 4. On définit alors par le rapport dimensionnel (aspect ration) $\alpha = a/b$ l'effet de forme, qui sera ultérieurement étudié par la suite sous différents chargements cycliques. Plusieurs testes numériques sont réalisées afin de mettre en évidence l'effet de ce paramètre de forme sur le comportement élasto-inélastique des polycristaux. Les différentes réponses du modèle aux échelles globale, granulaire et microscopique sont enregistrées puis discutées, nous descendons par la suite à l'échelle des systèmes de glissement, afin d'interpréter ces résultats. Grâce à cette étude effectuée nous concluons que le modèle démontre sa sensibilité au paramètre de forme α .

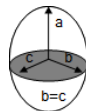


Fig 1 : Forme ellipsoïdale.

2 Présentation du modèle

Dans ce travail, nous utilisons le modèle développé auparavant par Abdul-Latif et Radi (2010) noté AR (tableau 1). En se basant sur le tenseur d'Eshelby, le modèle considère que le comportement élastique est compressible. Ce modèle non-incremental simplifié est exprimé dans le cadre de l'approche auto-cohérente et de la plasticité dépendante du temps prenant en compte l'effet de forme de grain introduit une variable d'écroutissage isotrope pour chaque système de glissement¹². L'effet de l'écroutissage cinématique est globalement décrit par la loi d'interaction[2].

Au niveau de système de glissement

$$\underline{\tau}^s = \underline{\sigma}^g : \underline{m}^s \quad R^s = Q^s \sum_{r=1}^n H_{rs} q^r$$

$$\dot{\lambda}^s = \left\langle \frac{\underline{f}^s}{K^s} \right\rangle^{z^s} = \left\langle \frac{|\underline{\tau}^s| - R^s - k_o^s}{K^s} \right\rangle^{z^s} \quad \dot{\gamma}^s = \dot{\lambda}^s \text{sign}(\underline{\tau}^s)$$

Au niveau granulaire

$$\left(\underline{\underline{S}}^{s-1} + \underline{\underline{C}} \right)^{-1} : (\underline{\sigma}^g - \underline{\Sigma}) + \gamma \left(\underline{\underline{S}}^{s-1} + \underline{\underline{A}} \right)^{-1} : (\underline{s}^g - \underline{S}) = (\underline{\epsilon}^g - \underline{\dot{E}})$$

$$\underline{\epsilon}_e^g = \frac{(1 + \nu^g)}{E^g} \underline{\sigma}^g - \frac{\nu^g}{E^g} \text{tr}(\underline{\sigma}^g) \underline{I} \quad \underline{\epsilon}_{in}^g = \sum_{s=1}^n \dot{\gamma}^s \underline{m}^s$$

$$\underline{\epsilon}^g = \underline{\epsilon}_e^g + \underline{\epsilon}_{in}^g$$

Au niveau macroscopique

$$\dot{\underline{E}}_e = \sum_{g=1}^{Ng} f_v^g \dot{\underline{\epsilon}}_e^g \quad \dot{\underline{E}}_{in} = \sum_{g=1}^{Ng} f_v^g \dot{\underline{\epsilon}}_{in}^g$$

$$\dot{\underline{E}} = \dot{\underline{E}}_e + \dot{\underline{E}}_{in} \quad \dot{\underline{\Sigma}} = 2\mu \dot{\underline{E}}_e + \lambda (\text{tr} \dot{\underline{E}}_e) \underline{I}$$

Tableau 1 : Résumé du modèle micro-macro AR[4].

avec :

K^s et Z^s constantes matérielles permettant de décrire l'effet local de la viscosité du matériau.

k_o^s est la contrainte de friction (la cission critique résolue) sur le système.

H_{rs} est la matrice d'interaction de l'écroutissage isotrope intragranulaire.

Q^s est le module d'écroutissage isotrope intragranulaire du système s .
 γ constante matérielle (paramètre viscoplastique).
 ν^s coefficient de poisson à l'échelle granulaire.
 E^s le module d'Young à l'échelle granulaire.
 f_v^g est la fraction volumique du grain.
 $\mu = \mu^s$ et $\lambda = \lambda^s$ sont les constantes de Lamé.

2 Effet de α cas du chargement TT60

D'après la figure (2, 3 et 4), l'évolution de l'écroutissage à l'échelle globale du polycristal est tout à fait sensible à ce paramètre, i.e., la diminution progressive de l'écroutissage avec l'augmentation de la valeur de α . En effet, sur cette figure, on distingue deux familles de contraintes maximales stabilisées : la famille qui donne des contraintes maximales plus importantes stabilisées est déterminée pour α comprises entre 0.75 et 1.5, alors que les contraintes maximales stabilisées pour la deuxième famille se situent pour des valeurs de α comprises entre 4 et 6, cela est dû à l'écroutissage. Cette figure illustre aussi que l'évolution de la contrainte maximale stabilisée en fonction de α est non linéaire. De plus, on remarque que le modèle montre une sensibilité notable pour des valeurs de α comprises entre 1.5 et 4. En effet, pour des valeurs de α comprises entre 0.75 et 1.5, une chute de 6.7% de Σ_{11} est enregistrée, cette chute est moins importante (4.29%) pour des valeurs de α comprises entre 4 et 6. Par contre, elle devient plus importante (11,92%) pour des valeurs de α comprises entre 1.5 et 4. Sur la figure (3), on remarque que la tendance générale concernant l'évolution de la Σ_{12} - E_{12} (contrainte globale de cisaillement déformation globale de cisaillement) est similaire à l'évolution de Σ_{11} - E_{11} , i.e., l'augmentation progressive de l'écroutissage avec la réduction de la valeur de α . Cette évolution est marquée aussi par les mêmes deux familles. Pour la première famille, elle est aussi située pour des valeurs de α comprises entre 0.75 et 1.5, tandis que la deuxième est localisée pour α comprise entre 4 et 6. On constate que le modèle est toujours sensible à des valeurs de α comprises entre 1.5 et 4 et que l'évolution de la contrainte maximale stabilisée en fonction de α est non linéaire.

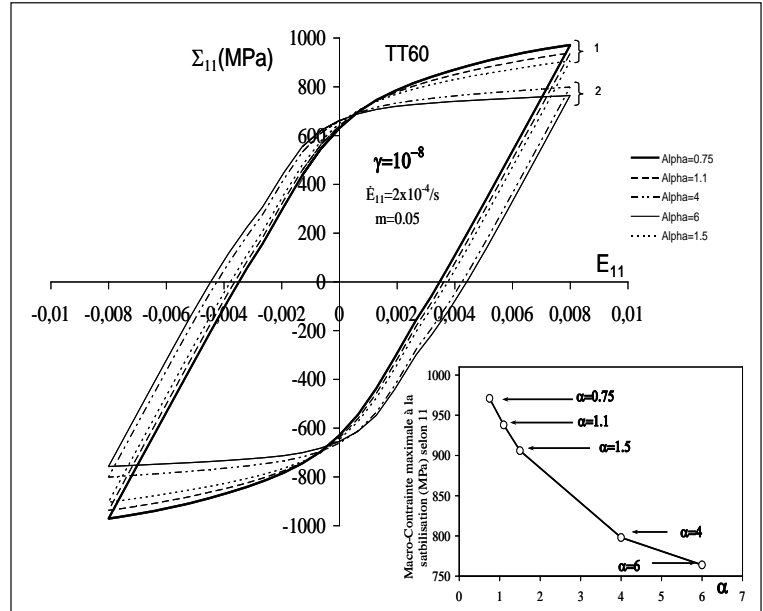


Fig 2 : Effet de la forme de l'inclusion sur la contrainte globale maximale Σ_{11} à la stabilisation cas du chargement TT60.

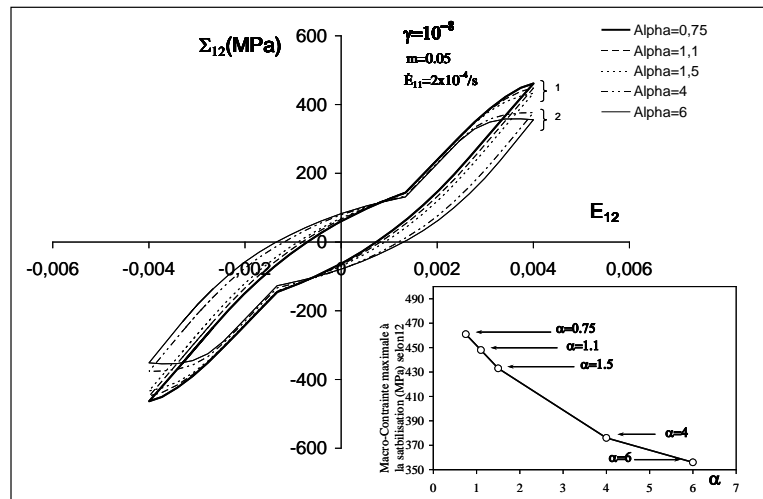


Figure 3 : Effet de la forme sur la contrainte globale maximale de cisaillement Σ_{12} à la stabilisation, cas du chargement TT60

Grâce à la courbe de la figure (3), on enregistre une chute de 6% pour la contrainte maximale stabilisée située pour des valeurs de α comprises entre 0.75 et 1.5, 5.5% pour des valeurs de α comprises entre 4 et 6, et finalement 13% pour la zone de forte interaction α comprise entre 1.5 et 4).

α	Nombre de systèmes activés au cycle stabilisé	Σ_{VM} max (MPa)	Déformation macroscopique équivalente de von-Mises E_{VM}
0.75	0.28	1002	0.0092
1.1	0.46	970	
1.5	0.58	938	
4	0.80	831	
6	0.83	797	

Tableau 2 Comparaison entre différent valeur de α , cas du chargement TT60

3 Interprétation des résultats

Dans le but d'interpréter ces résultats, nous allons descendre à l'échelle des systèmes de glissement. Nous constatons alors d'après la figure (3) et le tableau (2) que le nombre de systèmes activés par grain en fonction du temps se stabilise quelle que soit la valeur de α , durant la phase de stabilisation cyclique. Il est à déduire que le nombre de SGAs par grain augmente avec l'augmentation de la valeur de α

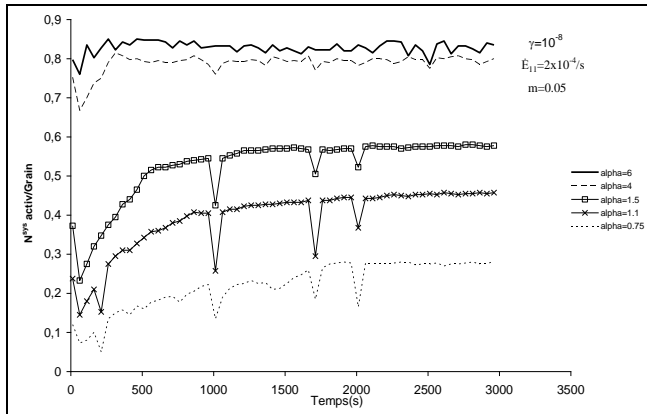


Fig 5 : Effet de α sur l'évolution des systèmes activés pour l'agrégat 400 grains, en TT60

Incontestablement, se baser uniquement sur le nombre de systèmes actifs ne représente pas forcément la démarche unique pour interpréter les résultats exposés ici. En effet, prendre en compte aussi la qualité de glissement, comme elle a été montrée sur la figure (4) fournit des informations pertinentes pour bien analyser l'effet de la forme des grains via le paramètre α . D'après la figure (4), les systèmes suivants ont eu un changement notable concernant la qualité de leurs états d'activation, pour les deux valeurs extrêmes $\alpha = 6$ et $\alpha = 0.75$. On commence par exemple par le système n°4, ce dernier change d'état faiblement activé à un état bien activé, par contre le système n°8 a subi un changement important, son état a basculé de faiblement activé à un état très bien activé. En revanche, les systèmes 10 et 11 ont basculé de l'état bien activé à l'état fortement activé. En résumé, on compte 3 systèmes très bien activés pour $\alpha = 0.75$ contre 1 système très bien activé pour $\alpha = 6$, ces résultats expliquent bien ceux de la figure (2).

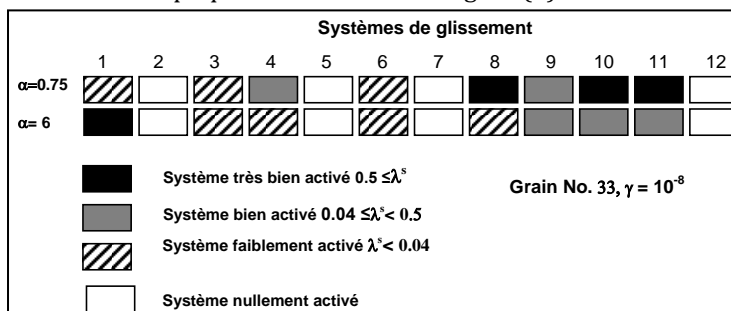


Fig 6: Variation des états de glissement des systèmes du grain N°33 de l'agrégat 400 grain pour $\alpha = 6$ et $\alpha = 0.75$ au cycle stabilisé.

Conclusion

Grâce à cette étude effectuée nous concluons que le modèle démontre sa sensibilité au paramètre de forme α .i.e., la diminution progressive de l'écroûissage avec l'augmentation de la valeur de α . Cela s'explique par la variation de qualité de glissement des systèmes de glissement pour les deux valeurs extrêmes $\alpha = 6$ et $\alpha = 0.75$.

Références

- [1] Abdul-Latif, A., Dingli, J. Ph., & Saanouni, K., 2002a, "Elastic-inelastic self consistent model for polycrystals", J. Appl. Mech. 69, 309.
- [2].Abdul-Latif, A., Dingli, J. Ph., & Saanouni, K., 2002b, "Multiscale Modeling for Describing the Multiaxial Low-Cycle Fatigue for Polycrystals", IUTAM Symposium on Multiscale Modeling and Characterization of Elastic-Inelastic Behavior of Engineering Materials, pp.141, Eds. by S.
- [3]Abdul-Latif, A., kerkourelmiad,A., et Razafindramary,D. 2010, "Elasto-Inelastic Cyclic Modeling for Ellipsoidal Inclusion under Multiaxial Loading Paths" IV ECCM, May 16-21, Palais des Congrès, Paris (France), 2010
- [4] Abdul-Latif, A., Radi, M., 2010, "Modeling of the grain shape effect on the elastic-inelastic behavior of polycrystals with self-consistent scheme" ASME, Engineering Materials and Technology, vol. 132, no. 1, pp. 011008.
- [5]Kerkour-El Miad A., 2011" Modélisation micromécanique du comportement cyclique des polycristaux sous chargement multiaxiaux à déformation et à contrainte imposées avec l'effet de la forme du grain" Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie