

Comportement asymptotique des structures soumises à des chargements thermo-mécaniques cycliques : application aux collecteurs d'échappement

A. Benoit^{1,2,3}, H. Maitournam³, L. Rémy², F. Oger¹

¹ PSA Peugeot Citroën, France, {aurelie.benoitalaguillaume, frederic.oger}@mpsa.com

² CdM, Ecole des Mines Paristech, France, luc.remy@ensmp.fr

³ LMS, Ecole Polytechnique Paristech, France, maitournam@lms.polytechnique.fr

Résumé — Les structures soumises à des chargements cycliques présentent différents types de comportement asymptotique : l'adaptation, l'accommodation ou le rochet. Cette étude vise à caractériser ces différents comportements et à les identifier pour une structure soumise à des chargements thermo-mécaniques cycliques et dont le matériau possède des caractéristiques mécaniques variant avec la température. Les définitions proposées seront ensuite appliquées au cas d'un essai de durée de vie classique réalisé sur collecteur d'échappement.

Mots clés — chargement cyclique, comportement asymptotique, chargement thermo-mécanique.

Lorsqu'elles sont soumises à des chargements cycliques, les structures présentent différents types de comportement asymptotique : l'adaptation lorsque la réponse asymptotique est purement élastique, l'accommodation lorsque les déformations plastiques deviennent périodiques et le rochet, les déformations plastiques vont alors se cumuler pour conduire à la ruine de la structure. Pour les composants industriels, l'adaptation est synonyme de fatigue à grand nombre de cycle, tandis que l'accommodation et le rochet appartiennent au domaine de la fatigue oligocyclique. Néanmoins, le rochet doit être évité car il réduit considérablement la durée de vie de la structure. Dans l'industrie automobile, les pièces froides telles que les systèmes de suspension ont essentiellement un comportement adapté tandis que les culasses sont soumises à des chargements thermo-mécaniques et présentent souvent un comportement accommodé.

Pour déterminer la durée de vie de ces composants, il est possible de suivre l'évolution d'une variable d'endommagement ou d'utiliser un critère de fatigue qui donne une estimation de la durée de vie d'une structure à partir de grandeurs thermo-mécaniques macroscopiques mesurées sur le cycle stabilisé. Dans le cadre de l'industrie automobile, l'utilisation d'un critère de fatigue est privilégié essentiellement en raison de ses moindres coûts de calcul. Pour utiliser ces critères, il est au préalable nécessaire de vérifier que le comportement de la structure est adapté ou accommodé. Si le comportement n'est pas stabilisé, il peut être intéressant de quantifier le rochet et d'étudier son évolution au cours des cycles. En effet, le rochet peut diminuer progressivement jusqu'à ce que la structure présente un comportement accommodé ; ou il peut rester suffisamment important pour avoir une influence non négligeable sur la durée de vie de la structure. Etudier son évolution permet d'utiliser des méthodes de calcul telles que le saut de cycles [1, 2] ou la technique cyclic direct [3, 4]. Dans la littérature, Ambrico et Begley [5] suggèrent une méthode pour identifier les différents types de comportement asymptotique dans le cas du fretting contact. Pour un chargement cyclique de période T_c , la structure atteint un état stabilisé au temps t_0 si :

$$\forall i, j = 1, 2, 3, \forall t > t_0, \epsilon_{ij}^{vp}(M, t + T_c) = \epsilon_{ij}^{vp}(M, t)$$

Si le comportement n'est pas stabilisé, il est possible d'évaluer le rochet $\Delta \epsilon^r$ au cours du cycle k en comparant deux instants correspondants aux cycles k et $k + 1$:

$$\Delta \epsilon_{ij}^r(k) = \epsilon_{ij}^{vp}(t_k) - \epsilon_{ij}^{vp}(t_k - T_c) \quad (1)$$

Dans cette étude, nous proposons des définitions légèrement différentes de la partie cyclique de la déformation et du rochet (voir Figure 1). Le rochet $\epsilon^r(t)$ est construit à tout instant t , en considérant

l'évolution de la déformation plastique pendant le cycle complet précédant cet instant t . Puis nous introduisons une nouvelle définition de l'amplitude de la déformation plastique cyclique au cours du cycle k , $\Delta\epsilon^c(k)$. Cette définition prend en compte les chargements multiaxiaux et correspond à la différence entre deux états de déformations effectivement atteints au cours du cycle.

Pour identifier les différentes zones - adaptées, accommodées ou présentant un rochet - le rochet et l'amplitude des déformations plastiques cycliques sont comparées à un seuil ϵ_s , qui dépend du matériau. Si $\Delta\epsilon^r$ et $\Delta\epsilon^c$ sont inférieurs à ϵ_s , le matériau a atteint l'adaptation. Si $\Delta\epsilon^r$ est inférieur à ϵ_s tandis que $\Delta\epsilon^c$ est supérieur à ϵ_s , la zone est accommodée ; et si $\Delta\epsilon^r$ est supérieure au seuil, la zone présente du rochet. Cette méthode est adaptée aux chargements thermo-mécaniques appliqués à un matériau dont les caractéristiques mécaniques dépendent de la température. En conclusion, un exemple d'application montre l'identification des différentes zones sur un collecteur d'échappement soumis à un essai de durée de vie classique [6]. Au cours de cet essai réalisé sur banc moteur, le collecteur d'échappement est soumis à des cycles d'augmentation et de diminution de la température des gaz d'échappement, avec des temps de maintien aux températures minimales et maximales.

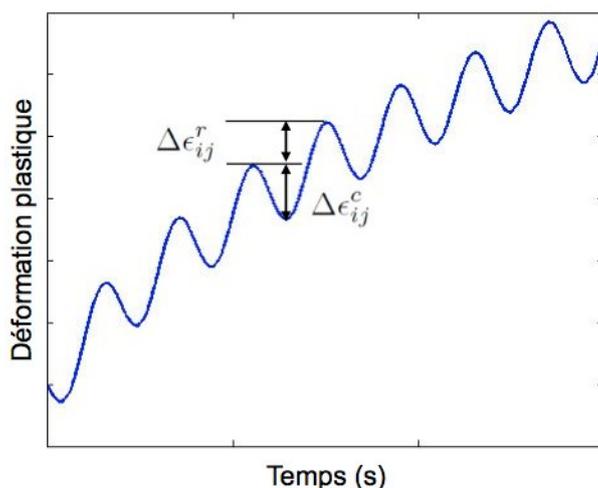


FIGURE 1 – Rochet et amplitude de la déformation plastique cyclique

Références

- [1] P.M. Lesne and S. Savalle. An efficient cycles jump technique for viscoplastic structure calculations involving large number of cycles. ONERA, TP no. 1989-138, pp. 13, 1989.
- [2] J.L. Chaboche and G. Cailletaud. Integration methods for complex plastic constitutive equations. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 133, pp. 125-155, 1996.
- [3] M.H. Maitournam, B. Pommier, J.J. Thomas. Determination of the asymptotic response of a structure under cyclic thermomechanical loading. *Comptes Rendus Mecanique*, Volume 330, Number 10, pp. 703-708, 2002.
- [4] T.M.L. Nguyen-Tajan, B. Pommier, H. Maitournam, M. Houari, L. Verger, Z.Z. Du and M. Snyman. Determination of the stabilized response of a structure undergoing cyclic thermal-mechanical loads by a direct cyclic method, *ABAQUS Users' Conference Proceedings*, 2003.
- [5] J.M. Ambrico, M.R. Begley. The role of macroscopic plastic deformation in fretting fatigue life predictions, *Int. J. Fatigue*, 23 (2001), 2 :121-128.
- [6] E. Charkaluk, A. Bignonnet, A. Constantinescu and K. Dang Van. Fatigue design of structures under thermo-mechanical loadings. *Fatigue Fract. Engrg. Mater. Struct.*, Vol. 25, pp. 1199-1206, 2002.