Précipitation dans les structures

Georges Cailletaud, Benoît Appolaire, Jonathan Cormier

▶ **To cite this version:**

Georges Cailletaud, Benoît Appolaire, Jonathan Cormier. Précipitation dans les structures. 11ème Colloque National en Calcul des Structures, May 2013, Giens, France. hal-01058603

HAL Id: hal-01058603
https://onera.hal.science/hal-01058603

Submitted on 27 Aug 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CSMA 2013
11e Colloque National en Calcul des Structures
13-17 Mai 2013

Précipitation dans les structures

Georges CAILLETAUD [1], Benoît APPOLAIRE [2], Jonathan CORMIER [3]

[1] MINES ParisTech, Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, georges.cailletaud@mines-paristech.fr
[2] ONERA, Laboratoire d'étude des microstructures, CNRS UMR 104, benoit.appolaire@onera.fr
[3] Pprime, Laboratoire de Mécanique et Physique des Matériaux, ENSMA, UMR CNRS 6617, jonathan.cormier@lmpm.ensma.fr

Résumé — La conception optimale des composants introduit la nécessité de suivre les matériaux qui les composent tout au long de leur vie. Le présent travail illustre par une série d'exemples sur les alliages métalliques (aluminium, nickel, titane) le rôle joué par le vieillissement et la précipitation sur le comportement et la rupture, et comment ils doivent être pris en compte dans les chaînes de calcul.
Mots clés — Chaîne de calcul, couplage procédés-propriétés d'emploi, vieillissement, précipitation, conception intégrée, liaison microstructure-propriétés.

1 Introduction

L'ambition née du rapprochement entre mécaniciens et métallurgistes à la fin du siècle dernier était d'intégrer de plus en plus de connaissances sur les matériaux au sein des calculs de structures. Le contrat a largement été rempli pour ce qui concerne la prise en compte de comportements non linéaires, pour des matériaux aussi variés que les polymères, les composites, les alliages métalliques et les géomatériaux, qu'il s'agisse d'aborder les procédés de fabrication ou le fonctionnement des structures. Les exemples de modèles qui passent avec succès du laboratoire à l'utilisation industrielle de routine sont malgré tout relativement rares : il suffit pour s'en convaincre de consulter les notices de lois de comportement des grands codes de calcul. Il y a donc un travail à terminer dans ce domaine, en développant les bases de données matériau disponibles pour la communauté scientifique. Il y a également d'autres perspectives qui s'ouvrent, avec le souhait de contrôler par le calcul l'ensemble de la chaîne de conception, *du berceau à la tombe*.

C'est cette nouvelle exigence qui est commentée ici, en se focalisant sur l'influence de la précipitation sur le comportement et la rupture, sur sa modélisation dans un élément de volume et en calcul de structures. En se basant sur une étude détaillée de la littérature et sur les résultats d'une série de travaux menés dans les Ecoles des Mines de Paris, de Nancy ou l'université de Créteil [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], à l'ONERA [9, 10] et à l'ENSMA [11], cet exposé se propose dans une première partie de faire un bilan des avancées observées dans le traitement de l'influence de la précipitation sur le comportement contrainte–déformation dans les alliages base nickel, d'aluminium ou de titane. Une deuxième partie montrera qu'il reste beaucoup à faire pour ce qui concerne les modèles d'amorçage de fissure, qui n'ont pratiquement pas progressé depuis 50 ans. La troisième partie discutera les différentes possibilités de couplage de code, en désignant celles qui sont utiles d'un point de vue de la connaissance (approches multi-échelles notamment) et celles qui sont utilisables de façon réaliste en environnement industriel (*approches phénoménologiques informées*).

2 Lois de comportement

La représentation des populations de précipités a considérablement progressé au cours des dernières années, en parallèle avec les comportements mécaniques. On ne se contente plus maintenant de prévoir un rayon moyen et une fraction volumique. Les nouveaux modèles numériques permettent de prévoir les distributions de taille (donc d'avoir une vue sur l'évolution de plusieurs populations qui seraient en compétition), voire d'avoir accès à la morphologie dans le cas où on met en œuvre les champs de phases. *La question qui se pose est de savoir comment tirer profit au mieux de ces informations dans un modèle*

mécanique.

3 Prévision d'amorçage et propagation de fissures

Selon les matériaux étudiés, la précipitation va influencer ou non l'amorçage et la propagation des fissures. Une des questions ouvertes est de savoir si l'influence éventuelle est cohérente avec l'influence sur le comportement (ce qui veut dire que l'utilisation, en entrée du modèle d'amorçage, de la sortie modifiée du modèle de comportement donne la bonne réponse) ou s'il faut recalibrer un nouveau modèle. La même interrogation est présente pour le cas de la propagation. *L'étude de l'interaction vieillissement–amorçage ou vieillissement–fissuration, quoique fondamentale, est trop souvent délaissée.*

4 Chaîne de calcul procédés-traitement thermique–propriétés d'emploi

Cette dernière partie discute les développements qui sont nécessaires en termes de méthodes de calcul et de logiciels si l'on souhaite réaliser une conception optimale, au cours de laquelle les procédés et les traitements thermomécaniques pourront être ajustés au sein des composants afin d'obtenir les microstructures présentant une résistance adaptée. Certains cas peuvent se traiter de façon séquentielle, en enchaînant simplement les différents codes. D'autres nécessitent un couplage plus complet, par exemple entre métallurgie et thermique si la chaleur latente de transformation n'est pas négligeable, ou bien entre métallurgie et mécanique lorsque la précipitation est influencée par l'état de contrainte. *Les différentes solutions sont présentées et leur efficacité est discutée.*

Références

[1] L. Espié. *Étude expérimentale et modélisation numérique du comportement mécanique des superalliages*. PhD thesis, ÉNSMP, 1996.

[2] E. Nicouleau-Bourles. *Etude expérimentale et numérique du vieillissement d'un alliage d'aluminium. Application aux culasses automobiles*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1999.

[3] Bruno Barlas. *Etude du comportement et de l'endommagement en fatigue d'alliages d'aluminium de fonderie*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 02/05, 2004.

[4] Y. Robert. *Simulation numérique du soudage du TA6V par laser YAG impulsionnel : caractérisation expérimentale et modélisation des aspects thermomécaniques associés à ce procédé*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 4 septembre 2007.

[5] A. Longuet. *FE model of the direct laser fabrication of Ta6V components*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, décembre 2008.

[6] Konstantin Kuzmenkov. *Développement d'un modèle pour estimer l'effet de temps de maintien dans l'alliage Ti6242 – A model for dwell effect in Ti6242*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 06/07 2012.

[7] Guillaume Martin. *Modélisation multi-échelles du comportement contrainte–déformation des alliages de titane beta-métastables – Multiscale modelling of the stress-strain behaviour of beta-metastable Titanium alloys*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 12/10 2012.

[8] Rémi Martinez. *Modélisation multiéchelles du vieillissement des alliages d'aluminium – Multiscale modeling of the ageing of cast aluminium alloys*. PhD thesis, Paris XII–Créteil University, 07/07 2012.

[9] G. Cailletaud. *Une approche micromécanique phénoménologique du comportement inélastique des métaux*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, 1987.

[10] Guylaine Boittin. *Etude numérique de la relation microstructure–propriétés dans les alliages base Nickel – Numerical investigation of the microstructure-mechanical properties relations in Nickel base alloys*. PhD thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 12/06 2011.

[11] J. Ghighi. *Modélisation 3D de l'effet des évolutions microstructurales sur la durée de vie en fluage des alliages monocristallins*. PhD thesis, ENSMA, 2012.