

Sujet de stage de PFE/Master : Optimisation de microstructures dans un superalliage à base de nickel monogranulaire

Encadrement : Dr. Jérémy Rame (Safran Aircraft Engines) & Dr. Jonathan Cormier (Institut Pprime)

Stage se déroulant au sein de l'Institut Pprime, Département de Physique et de Mécanique des Matériaux, Axe Endommagement et Durabilité.

Les superalliages à base de nickel monogranulaires sont couramment employés pour la fabrication des aubes de turbine dans les parties les plus chaudes des moteurs aéronautiques. Leur microstructure est composée d'une forte fraction volumique de précipités γ' (structure intermétallique ordonnée $L1_2$) cohérents avec la matrice γ (structure cristalline austénitique désordonnée) [1, 2].

Afin d'améliorer leur résistance au fluage, des éléments tels que le rhénium et le ruthénium ont été ajoutés dans les compositions chimiques de ces alliages, avec une baisse progressive du taux de chrome et du taux de titane [1-3]. Ces modifications chimiques progressives qui ont permis des performances en fluage de plus en plus élevées ont néanmoins conduit à une baisse progressive de la limite d'élasticité de ces alliages à basses températures ($T < 850^\circ\text{C}$) de par la modification de l'énergie de paroi d'antiphase de la phase γ' [4, 5]. A l'échelle d'un composant, une telle diminution de limite d'élasticité impose un dimensionnement avec une géométrie plus « massive », ce qui en retour limite la vitesse de rotation maximale de la roue de turbine et limite donc le rendement thermodynamique globale de la turbomachine.

Nous proposons dans ce travail un nouveau concept visant à développer une microstructure de précipitation particulière qui a déjà été démontrée comme pouvant permettre d'apporter une amélioration des propriétés monotones à basse température ($T < 850^\circ\text{C}$) ou de manière transitoire à très haute température [6-14]. Ainsi, l'objectif de ce travail de stage sera de :

1. Développer des traitements thermiques permettant de générer diverses microstructures particulières.
2. De caractériser les cinétiques de formation/dissolution des précipités.
3. De quantifier l'impact de ces microstructures particulières sur les propriétés monotones en traction et en fluage à $T < 850^\circ\text{C}$.

Techniques expérimentales mises en œuvre : métallographie, traitements thermiques instrumentés, microscopie électronique à balayage, analyse d'images, essais de traction, essais de fluage sous air.

Profil recherché : formation ingénieur aéronautique, mécanique des matériaux ou métallurgie, avec un goût prononcé pour les approches expérimentales. La maîtrise de l'anglais est indispensable et des bonnes connaissances en métallurgie des superalliages seraient un atout indéniable.

Ces travaux seront menés en collaboration étroite avec Safran Aircraft Engines.



Références associées :

1. T.M. Pollock and S. Tin, *Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties*. Journal of Propulsion and Power, 2006. **22**(2): p. 361-374.
2. R.C. Reed, *The Superalloys - Fundamentals and Applications*. 2006, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
3. K. Kawagishi, A.-C. Yeh, T. Yokokawa, T. Kobayashi, Y. Koizumi, and H. Harada, *Development of an oxidation-resistant high-strength sixth-generation single-crystal superalloy TMS-238*. Superalloys, 2012. **9**: p. 189-195.
4. P. Caron, F. Diologent, and S. Drawin, *Influence of chemistry on the tensile yield strength of nickel-based single crystal superalloys*. Advanced Materials Research, 2011. **278**: p. 345-350.
5. L.M. Bortoluci Ormastroni, S. Utada, J. Rame, L. Mataveli Suave, K. Kawagishi, H. Harada, P. Villechaise, and J. Cormier. *Tensile, Low Cycle Fatigue and Very High Cycle Fatigue Characterizations of Advanced Single Crystal Nickel-Based Superalloys*. in *Superalloys 2020*. 2020. Seven Springs, PA, USA: TMS. p. 341-351.
6. J. Cormier, V. Caccuri, J.-B. le Graverend, and P. Villechaise, *Comments on 'Selective evolution of secondary γ' precipitation in a Ni-based single crystal superalloy both in the γ matrix and at the dislocation nodes'*. Scripta Materialia, 2017. **129**: p. 100-103.
7. J.-B. le Graverend, J. Cormier, F. Gallerneau, S. Kruch, and J. Mendez. *Anisothermal high-temperature cyclic behavior of a Ni-based single crystal superalloy*. in *Superalloys 2016*. 2016. Seven Springs, Champion, PA, USA: TMS. p. 647-654.
8. J.-B. le Graverend, J. Cormier, F. Gallerneau, and P. Paulmier, *Dissolution of fine γ' precipitates of MC2 Ni-based single-crystal superalloy in creep-fatigue regime*. Advanced Materials Research, 2011. **278**: p. 31-36.
9. J.-B. le Graverend, J. Cormier, M. Jouiad, F. Gallerneau, P. Paulmier, and F. Hamon, *Effect of fine γ' precipitation on non-isothermal creep and creep-fatigue behaviour of nickel base superalloy MC2*. Materials Science and Engineering A, 2010. **527**(20): p. 5295-5302.
10. J. Cormier, *Comportement en fluage anisotherme à haute et très haute température du superalliage monocristallin MC2*, Thèse de doctorat, in *LMPM / ENSMA*. 2006, University of Poitiers: Poitiers.
11. G. Cailletaud, *Modélisation mécanique d'instabilités microstructurales en viscoplasticité cyclique à température variable*, Thèse de doctorat, in *ONERA*. 1979, University of Paris VI.
12. G. Cailletaud and J.-L. Chaboche. *Macroscopic description of the microstructural changes induced by varying temperature: example of the IN 100 cyclic behaviour*. in *Third International Conference on Mechanical Behaviour of Materials (ICM-3)*. 1979. Cambridge (G.B.): Pergamon Press. p. 23-32.
13. G. Cailletaud, J.P. Culié, and H. Kaczmarek. *Thermal fatigue on a thermally instable alloy*. in *Fourth International Conference on "Mechanical Behaviour of Materials"*. 1983. Stockholm: Tiré à part ONERA T.P. n° 1983-86
14. J. Coakley, D. Ma, M. Frost, D. Dye, D.N. Seidman, D.C. Dunand, and H.J. Stone, *Lattice strain evolution and load partitioning during creep of a Ni-based superalloy single crystal with rafted γ' microstructure*. Acta Materialia, 2017. **135**: p. 77-87.