

RADOS : Rafting And Dislocations in Ordered Superalloys

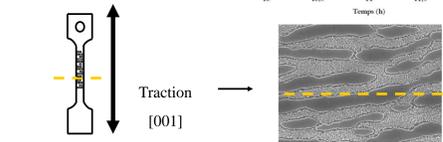
Resp: Bernard Viguier
CIRIMAT-CEMES

Le comportement en fluage d'un superalliage base Nickel, utilisé pour les aubes de turboréacteur, est étudié dans des conditions de cyclage thermique à très haute température (>1000°C). Le cyclage thermique, plus proche des conditions de service que le fluage isotherme classiquement étudié, induit une détérioration de la résistance au fluage. L'objectif de ce travail est de comprendre les mécanismes à l'origine de ce comportement.

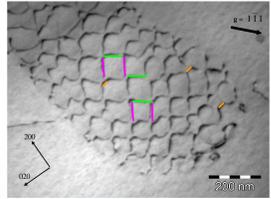
Le superalliage MC2

Ni	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta
Bal.	7,22	4,98	2,06	7,1	5,45	1,3	5,6

La microstructure des précipités (en radeaux) est examinée à divers moments du cycle thermique.

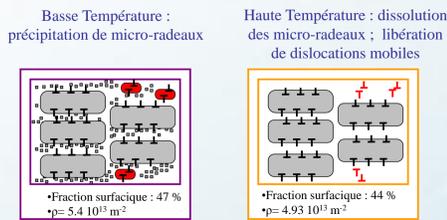
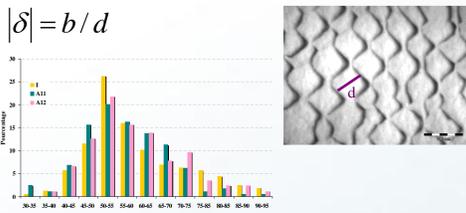


Morphologie des réseaux d'interface



a[100] a/2[110] a/2[110] → Dislocations coin

Estimation du désaccord paramétrique



$$\frac{\epsilon'}{\epsilon} = \frac{\rho'}{\rho} = \frac{\rho + \Delta\rho}{\rho}$$

Les réseaux de dislocations aux interfaces sont stables au cours du fluage en cyclage thermique : morphologie identique et désaccord paramétrique comparable. La précipitation / dissolution de petits radeaux induit la libération de dislocations mobiles.

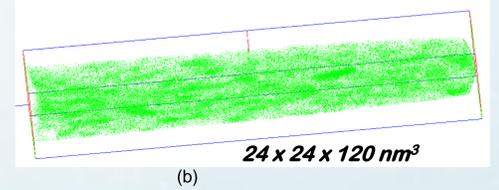
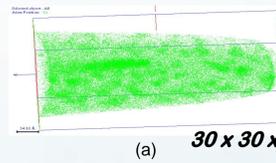
Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence la stabilité des réseaux d'interfaces au cours du fluage en cyclage thermique, tout en soulignant l'importance des phénomènes de précipitation et de dissolution de précipités γ' sur la densité de dislocations mobiles. Cette augmentation ponctuelle de densité de dislocations mobiles permet d'expliquer l'accélération du fluage du superalliage en condition de fluage anisotherme.

Evolution of interfacial dislocation network during anisothermal high temperature creep of MC2 nickel-based superalloy, M. Hantcherli, F. Pettinari-Sturmel, B. Viguier, J. Douin, A. Coujou, Scripta Materialia, soumis 2011.

Resp: Jacques Lacaze
CIRIMAT-GPM

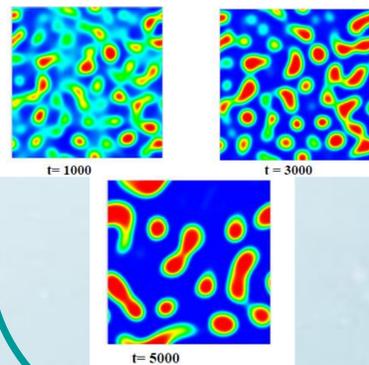
ESPINO : Etude et Simulation de l'effet des contraintes sur la décomposition spinodale

Ce projet consiste à associer une démarche expérimentale et une approche théorique destinée à simuler l'effet des contraintes appliquées sur la cinétique de décomposition spinodale de solutions solides Fe-Cr. Cette initiative fait suite à la mise en évidence d'un effet très net des contraintes sur la cinétique de la décomposition spinodale (Thèse de E. Hery, INPT, 2006) qui s'accompagne d'une dégradation très importante des propriétés mécaniques d'aciers constituant des éléments de structure aéronautique. En particulier, l'évolution de la température de transition ductile - fragile et l'énergie de rupture sont affectées très significativement rendant ces aciers inutilisables à la température de service.



Images de sonde atomique des atomes de Cr dans un alliage Fe-Cr-Ni-N après maintien de 1000 h à 425°C, sans chargement appliqué (a), avec un chargement appliqué uniaxial initial (80% limite d'élasticité) (b).

La microstructure issue de la décomposition spinodale a été caractérisée à la sonde atomique tomographique (SAT). Les figures ci-dessus (projection dans le plan d'une image 3D) ont été obtenues par ablation progressive de la matière, analyse (spectrométrie de masse) et comptage des atomes à partir d'une aiguille extraite du matériau vieilli. La distribution spatiale des éléments (ici le chrome) peut être reconstituée (chaque point représente un atome). Ces figures montrent une distribution isotrope des domaines riches en Cr dans le cas d'un traitement sans charge (a) alors qu'ils apparaissent allongés si le vieillissement est fait sous charge (b).



Phase-field modelling of spinodal decomposition during ageing and heating
N. Lecoq, J. Lacaze, F. Danoix, R. Patte, Solid-state phenomena, 172-174, 2011, 1072-1077

La modélisation par la méthode des champs de phase permet de reproduire les principales caractéristiques de la décomposition spinodale. Ce travail a fait l'objet de la publication mentionnée ci-dessous.

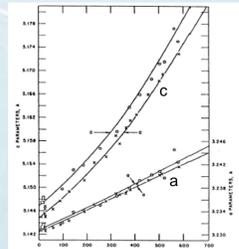
Le passage à des calculs sur alliages ternaires et multiconstitués, ainsi que l'intégration dans le code de simulation en champs de phase des contraintes mécaniques ont fait l'objet d'un travail post-doctoral. Le programme mis au point est en cours de test.

Projet ARCS- Stabilité des structures CEMES-CIRIMAT-GPM-ICA-LGP

ACCOTHEs : ACcommodation des COntraintes d'origine Thermique dans les polycristaux HEXagonaux par Ségrégation d'éléments interstitiels

Resp: Joël Alexis
LGP-CIRIMAT

L'anisotropie du coefficient de dilatation des cristaux de structure hexagonale (Zr, Ti, Zn) provoque, lors du refroidissement des polycristaux, des incompatibilités de déformation inter cristaux engendrant des contraintes internes. La relaxation de ces contraintes résiduelles pourrait être assurée, pour partie, par la ségrégation d'éléments interstitiels qui agissent sur le rapport d'éclatement de la maille hexagonale (c/a) tels que le carbone, l'oxygène ou l'hydrogène et parallèlement sur le comportement mécanique. Le projet réalisé associe des approches théorique et expérimentale.



° Zr contenant moins de 500 ppm de Hf
X Zr contenant + de 1.2at% de Hf

La distorsion du réseau du Zirconium par la présence d'hydrogène peut être décrite à l'aide du tenseur λ_H . La donnée expérimentale issue de [1] donne $\lambda_2 = \lambda_1$ et $\lambda_3/\lambda_1 = 1.6$.

Tenseur λ de l'hydrogène en solution dans Zr α .

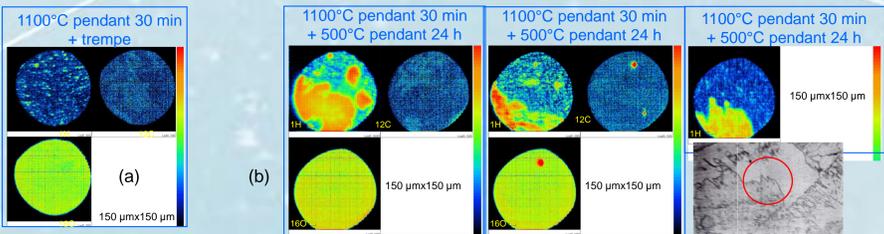
système	$\lambda_1 = \lambda_2$	λ_3	λ_3/λ_1
Mac Ewen [1]	0.033	0.054	1.6

Avec C_H concentration atomique en hydrogène, a et c paramètres de la maille α .

[1] Dilatation of h.c.p. zirconium by interstitial deuterium S.R MacEwen, C.E Coleman, C.E Ellis, J. Faber jr, Volume 33, issue 5, May 1985 pp 753-757

Evolution des paramètres de maille a et c du Zr alpha en fonction de la température.

Distribution des éléments interstitiels pour différents états métallurgiques du Zr: Analyse SIMS



(a) Après trempe à l'azote liquide depuis le domaine β , pas de contraste chimique visible
(b) Après un traitement de 24h à 500°C, présence de contraste chimique entre les grains (hydrogène)

Synthèse:
Illustration de résultats obtenus respectivement sur le Zr et sur le Ti. La démarche expérimentale adoptée dans le cadre de cette étude révèle un effet significatif des interstitiels et plus particulièrement de l'hydrogène sur l'accommodation des contraintes d'origine thermique. Cet élément, grâce à sa grande mobilité et son effet important sur l'éclatement de la maille à la capacité d'assurer la relaxation des contraintes d'origine thermique. Les questions qu'il convient de se poser à l'issue de ces travaux sont le rôle joué par l'hydrogène d'une part, sur les propriétés mécaniques locales et d'autre part, sur les transformations de phases.

Evolution des contraintes résiduelles induites par une trempe (1100°C-25°C) en fonction de l'angle de désorientation θ entre deux cristaux de $Ti\alpha$. Effet de la migration des espèces interstitielles lors d'un traitement de revenu (600°C) sur celles-ci.

First-principles study of diffusion and interactions of vacancies and hydrogen in hcp-titanium, Damien Connetable, J. huez, C. Mijoule and E. Andrieu Accepted J. Phys.: Condens. Matter, 2011

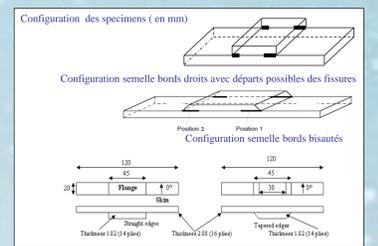
Resp: Bruno Castanié
ICA

3EI : Etude des Effets Environnementaux sur les Interfaces

L'objectif de ce travail est d'étudier les effets environnementaux couplés, effet hydrique, thermique et mécanique sur les propriétés mécaniques des interfaces dans les stratifiés composites de type carbone/époxy utilisés dans les structures aéronautiques. Il s'agira de réaliser des essais élémentaires de type matériau afin d'identifier et de quantifier ces effets. Cette base d'essai couvrira ainsi les effets de la température requis par la certification (de -50°C à +70°C), du vieillissement humide et de la fatigue afin de rendre compte des conditions de vie réelle de la structure. A terme une modélisation numérique et son implantation dans un code de calcul par éléments finis sera envisagée.

Contexte

L'interface peau/raidisseur est appréhendée en statique seulement



- L'optimisation massique nécessite que les structures postflambent.
- Dans ce cas, il faudra calculer en fatigue les interfaces.
- Très peu de données à ce sujet dans la littérature

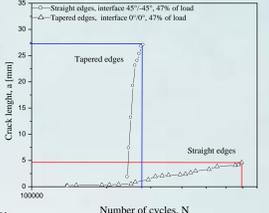
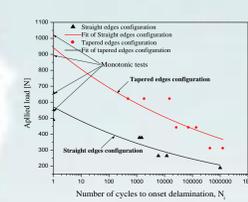
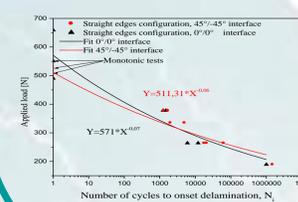
Principaux Résultats:

Configuration Bords droits

- L'initiation du délaminage se fait à l'interface peau/semelle pour l'ensemble des configurations.
- La fissure se propage lentement.
- Les interfaces orientées 45°/45° retardent l'initiation.

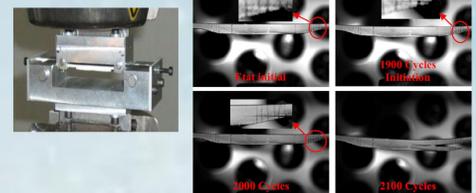
Vieillessement humide

- Diminue significativement l'initiation du délaminage.
- Ne modifie pas les vitesses de propagation.



Experimental analysis of composite structures debonding under cyclic loading
Ahmed Abbadi, Laurent Michel and Bruno Castanié, International Conference on Composite and nano engineering (ICCE- 18), Anchorage Alaska, USA

Flexion 4 points



Configuration Bords bisautés

- Ils retardent significativement l'initiation du délaminage/bords droits.
- Ils génèrent une vitesse de propagation supérieure/bords droits.