



CENTRE DES MATERIAUX
P.M.FOURT



S *ÉMINAIRE du 2 Octobre 2015*

Étude multi-échelles de la viscoplasticité à froid et de la rupture différée du titane en relation avec leur teneur en hydrogène et oxygène



VISCOPLASTICITE DU TITANE A L'AMBIANTE. ROLES DE L'OXYGENE ET DE L'HYDROGENE EN SOLUTION

Véronique Doquet

Laboratoire de Mécanique des Solides, CNRS, École Polytechnique, Palaiseau

Le fluage du titane et de ses alliages dès la température ambiante, dont les mécanismes sont encore mal compris, est source de multiples problèmes industriels: fatigue-fluage des disques de turbines aéronautiques (ou «cold dwell effect»), rupture différée sous l'effet de contraintes résiduelles, desserrage d'assemblages vissés/boulonnés en titane...

Une étude de base du comportement viscoplastique à l'ambiante a été menée sur du titane non allié en variant les teneurs en oxygène et hydrogène en solution sans affecter par ailleurs la microstructure.

Des essais de traction sous MEB, précédés de mesures des orientations cristallines, accompagnés de mesures des champs de déformation par corrélation d'images et des déplacements hors plan à l'AFM ont permis d'identifier les mécanismes de déformation actifs lors d'essais en sens long ou travers (glissement de dislocations, maclage, mais aussi glissement aux joints de grains) et d'estimer les cissions critiques des différents systèmes de glissement.

Des essais de traction entrecoupés de sauts de vitesse, ainsi que des essais de fluage et de relaxation menés selon la direction de laminage et la direction transverse ont mis en évidence l'anisotropie du comportement, y compris de la viscosité, qui s'avère en outre dépendre de la vitesse de déformation.

L'oxygène en solution est responsable d'un fort durcissement associé à une réduction de mobilité des dislocations vis, mais aussi d'un phénomène de vieillissement statique anisotrope et d'un blocage du fluage à basse contrainte, par vieillissement dynamique.

L'hydrogène en solution semble au contraire atténuer les interactions dynamiques entre dislocations mobiles et atomes d'oxygène, abaissant ainsi la contrainte seuil de fluage à l'ambiante et accélérant celui-ci.

La proportion atomique O/H apparaît donc comme un paramètre contrôlant la mobilité des dislocations. Lorsque cette proportion est faible, une interruption du fluage suivie d'un vieillissement de quelques heures à contrainte nulle suscite une très forte accélération du fluage lors de la reprise de l'essai, attribuée à une restauration sous l'effet de la forte contrainte interne permise par la mobilité accrue des dislocations.

Les données recueillies ont permis l'identification d'un modèle de viscoplasticité cristalline en champs moyen qui rend bien compte du comportement anisotrope des matériaux étudiés en traction, fluage et relaxation.

ÉTUDE DES MICROMECHANISMES DE DEFORMATION DU TITANE A L'AMBIANTE PAR DES ESSAIS DE TRACTION MET IN SITU

Bassem Barkia¹, Jean-Philippe Couzinié¹, Ivan Guillot¹

¹*Institut de Chimie Paris-Est*

L'objectif de cette étude est de comprendre les micromécanismes de déformation du titane de pureté commerciale à l'ambiante, en particulier le mouvement des dislocations, le glissement dévié et les mécanismes de multiplication. Les essais de traction sous MET montrent que la déformation est principalement contrôlée par les dislocations de vecteur de burgers de type $\langle a \rangle$. Le mouvement des segments vis est saccadé et constitué d'une succession des sauts très rapides (le temps d'attente étant plus grand pour des fortes teneurs en oxygène). Des macro-décrochements sont également observés au niveau des ancrages intrinsèques (macrokink). Les sources peuvent être de nature intergranulaire (joint de grain α/α ; interface α/β) ou bien intra-granulaire (source à un point d'ancrage). La multiplication des dislocations est principalement contrôlée par le double glissement dévié et les dislocations sont également sujettes à de nombreux glissements déviés notamment dans la nuance à plus faible teneur en oxygène.

ANALYSE DE PHENOMENE DU VIEILLISSEMENT ET DE RUPTURE DIFFEREE DU TITANE EN RELATION AVEC LEUR TENEUR EN HYDROGENE ET OXYGENE.

Arina Marchenko¹, Matthieu Mazière¹, Samuel Forest¹

¹Mines ParisTech, Centre des Matériaux, UMR CNRS 7633, BP 87, 91003, Evry Cedex, France

Grâce au rapport résistance/masse volumique élevé, et à ses performances à haute température, le titane et ses alliages sont largement répandus dans l'industrie aéronautique. Par ailleurs, le titane flue à température ambiante ce qui conduit à une réduction de la résistance du matériau et provoque un phénomène de rupture différée. La rupture différée se produit dans la structure lors de l'application d'un chargement de niveau inférieur à la ténacité pendant un certain temps d'incubation allant de quelques heures à quelques jours. Un partie des études montrent que ce comportement viscoplastique inhabituel à température ambiante est lié aux phénomènes d'interactions entre les dislocations et les atomes interstitiels comme l'hydrogène et l'oxygène, aussi appelés vieillissement statique et dynamique. L'hydrogène diffuse sans difficulté dans les structures cristallines du titane à cette température et il peut interagir rapidement avec les dislocations sans en diminuer leur mobilité, contrairement aux autres atomes interstitiels comme l'oxygène dont la diffusion est beaucoup plus lente. De nombreuses études ont suggéré que l'oxygène stabilise la phase et durcisse le matériau.

Pour comprendre les effets souvent antagonistes et en parti couplés de l'oxygène et de l'hydrogène en solution sur le comportement viscoplastique du titane, une étude expérimentale et numérique multi-échelle, a été lancée sur du titane non-allié de phase alpha.

A partir des essais de traction à vitesse de déformation imposée, accompagnés de sauts de vitesse, de périodes de relaxation et de décharges, ainsi que des essais de fluage à la température ambiante sur deux tôles de titane de Grade 2 et 4 avec différentes teneurs en hydrogène (6 ppm et 15 ppm en poids, respectivement) et oxygène (1600ppm et 3200ppm), le phénomène du vieillissement statique et dynamique ont été mis en évidence. L'apparition d'un crochet de traction de quelques MPa suivi d'un palier de type Lüders a été attribué aux interactions entre les atomes interstitiels d'oxygène et les dislocations $\langle c+a \rangle$ de type coin. Les serrations de type Portevin-Le Châtelier sont dû au blocage des dislocations $\langle a \rangle$ vis par dissociation de leur cœur dans la structure cristalline. Un modèle phénoménologique de vieillissement de Kubin-Estrin-McCormick (KEMC) a été couplé avec un approche de plasticité cristalline pour prendre en compte le rôle de la cristallographie dans le vieillissement statique et dynamique. Des simulations par éléments finis sur des agrégats polycristallins représentatifs de la texture après laminage à froid intégrant ces précisions sont réalisées. La différence en manifestation de la localisation de la plasticité en échelle locale et macroscopique est montrée.

Les essais de fissuration (ténacité et rupture différée) ont été effectués sur des éprouvettes de CT à l'entaille latérale, préfissurées par fatigue et chargés en hydrogène. Les principaux résultats montrent que la résistance à la fissuration brutale est dégradée, mais la fissuration lente est retardée pour une légère augmentation de la concentration en hydrogène. Un accroissement de teneur en oxygène de 1600 à 3200 ppm augmente la résistance à la fissuration brutale et lente grâce à l'effet durcissant d'oxygène.

Un modèle macroscopique viscoplastique qui permet d'écrire la fissuration lente et brutale a été identifié.

Des simulations numériques de la rupture de ces éprouvettes sont en cours de réalisation. Un modèle de zone cohésive est utilisé pour la simulation de la propagation des fissures. Les essais sont simulés par éléments finis prenant en compte la surconcentration en hydrogène en pointe de fissure.



Vous pouvez nous contacter:

par courrier postal:

Centre des Matériaux
Mines ParisTech
CNRS UMR 7633
10 Rue Henry Desbrières, BP 87
F-91003 Evry cedex, FRANCE

par téléphone : +33 1 60 76 30 00
par fax : +33 1 60 76 31 50
par courrier électronique semteam@mat.ensmp.fr
Site web : <http://www.mat.ensmp.fr>

Equipe séminaire :

Manon ABECASSIS (B102)
Clément DEFAISSE (C120)
Clémentine FELLAH (C120)
Pierre-Emmanuel LEGER (C121)
Lucie MATEUS-FREIRE (B107)

