

Effet de la diffusion de l'oxygène sur le comportement mécanique du Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si

J. BAILLIEUX^a, C. ARCHAMBEAU^b, P. EMILE^b, D. POQUILLON^a

a. Université de Toulouse, CIRIMAT, INP-ENSIACET, 4 allée Emile Monso - BP 44362 - 31030 Toulouse cedex 04, France (dominique.poquilon@ensiacet.fr)

b. AIRBUS, 316, route de Bayonne 31060 Toulouse Cedex 09 France

Résumé :

Les alliages de titane sont utilisés dans les composants aéronautiques tels que les structures secondaires de fixation du moteur. Augmenter l'efficacité du moteur conduit à une augmentation de la température de ces composants. Pour améliorer l'évaluation de la durée de vie de ces pièces, il est nécessaire d'obtenir une meilleure compréhension des changements en service, dans le comportement mécanique. Ceux-ci sont dus à l'enrichissement en oxygène de l'alliage pendant son oxydation. Dans ce travail, des échantillons minces en alliage Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si ont été pré-oxydés pendant des durées contrôlées afin d'obtenir différentes épaisseurs de la couche affectée par l'oxygène. L'analyse par résonance acoustique permet d'obtenir le module de Young à différentes températures, des essais de traction et de fluage sont ensuite réalisés. En utilisant des échantillons minces, l'effet de la zone de diffusion de l'oxygène (ODZ) sur les propriétés mécaniques a été déterminé.

Abstract:

Titanium alloys are used in aero-structure such as the engine attachment secondary structures. Increasing engine efficiency leads to an increase of the temperature of these components. To improve life assessment, it is necessary to get a better understanding of the changes in the mechanical behavior due to oxygen enrichment during in-service oxidation. In this work, thin samples in Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si alloy were pre-oxidized during controlled durations in order to get samples with different thicknesses of the layer affected by oxygen ingress. Acoustic resonance analysis permitted to derive the Young modulus at different temperature. Tensile and creep tests were performed. By using thin specimens, the effect of the oxygen diffusion zone (ODZ) on mechanical properties was determined.

Mots clefs : Titane, Oxydation, Traction, Fluage

Résumé étendu

1 Introduction

La forte affinité des alliages de titane avec l'oxygène est bien connue et étudiée depuis des décennies [1-8].

L'oxydation conduit à la formation d'une couche d'oxyde et, au-dessous de l'interface métal / oxyde, à une zone de diffusion de l'oxygène (ODZ) appelé α -case. La concentration d'oxygène à l'interface oxyde / métal peut atteindre 30 a% dans la phase α . En dessous de cette interface, la teneur en oxygène diminue progressivement. Ce gradient en oxygène modifie les caractéristiques physiques et mécaniques de l'alliage sur une profondeur dépendant de la durée et la température d'exposition et, dans une moindre mesure, de l'alliage et de sa microstructure [1-12]. L'oxygène en insertion modifie les paramètres de maille du titane α . La zone enrichie est également plus rigide, plus dure et plus fragile [4,13]. Cette étude est centrée sur le Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si et plus particulièrement sur des composants minces pour lesquels la modification des propriétés mécaniques avec l'enrichissement en oxygène est notable, en particulier en fluage.

2 Matériaux et méthodes

Le matériau de l'étude est le Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si. Une tôle mince de d'épaisseur 1,6 mm a été fournie par Airbus. Il s'agit d'un alliage de titane quasi α . L'analyse métallographique permet de quantifier le pourcentage de phase β : 11%. Les grains sont équiaxes, de taille moyenne 4 micromètres. Le tableau ci-dessous donne la composition chimique de l'alliage. La teneur en Silicium augmente la résistance au fluage de cet alliage.

Table 1: Composition pourcentage massique du Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si (Ti6242S) [16].

Ti	Al	Sn	Zr	Mo	Si	Fe	C	O
Le reste	5,5 - 6,5	1,8 - 2,2	3,6 - 4,4	1,8 - 2,2	0,06 - 0,10	$\leq 0,25$	$\leq 0,050$	$\leq 0,15$

Des échantillons parallélépipédiques (40 x 10 x 1 mm), dont le sens long correspond à la direction de laminage ont été pré-oxydés sous air à 600 et 700°C pendant différentes durées. Ceci a permis d'obtenir des échantillons avec différentes profondeurs affectées par l'enrichissement en oxygène pour faire des analyses de fréquence de résonance acoustique

D'autre part, des essais de traction et de fluage ont été réalisés, à 600°C, sur des éprouvettes de zone utile (0,5 mm x 4 mm x 20 mm) préalablement oxydées pour obtenir les mêmes proportions de zone affectée, et les mêmes gradients de composition en oxygène.

3 Résultats

Des analyses de fréquence de résonance acoustique ont ensuite été menées de 20 à 600°C sur les échantillons dont la couche d'oxyde avait été au préalable enlevée par polissage.

Elles permettent de calculer un module d'Young effectif (Figure 1).

Les mesures ont été effectuées à la montée en température et à la descente. Les valeurs de début et de fin d'essais étant comparables, l'oxydation

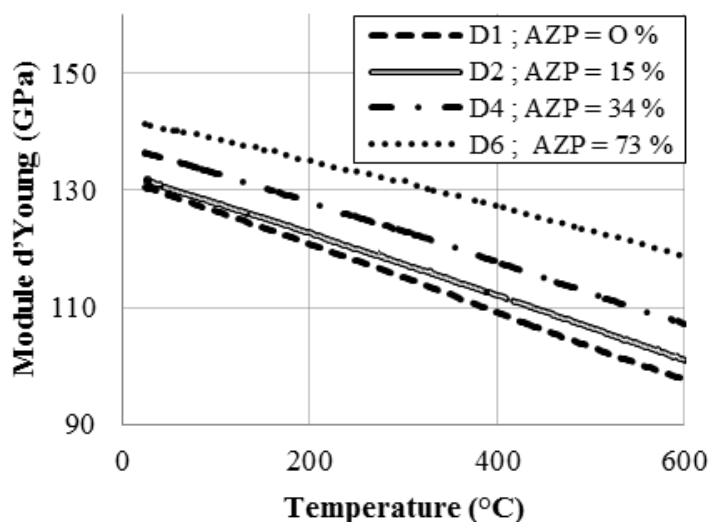


Figure 1 : Module d'Young en fonction de la proportion de la section enrichie en oxygène (AZP)

ayant lieu pendant l'essai a pu être considérée comme négligeable. La dépendance du module d'Young du matériau avec la teneur en oxygène a pu être explicitée.

A 600°C, les essais de traction pour les éprouvettes dont 15% de l'épaisseur était enrichies en oxygène ont montré une augmentation de la rigidité et de la limite élastique et une diminution de la ductilité.

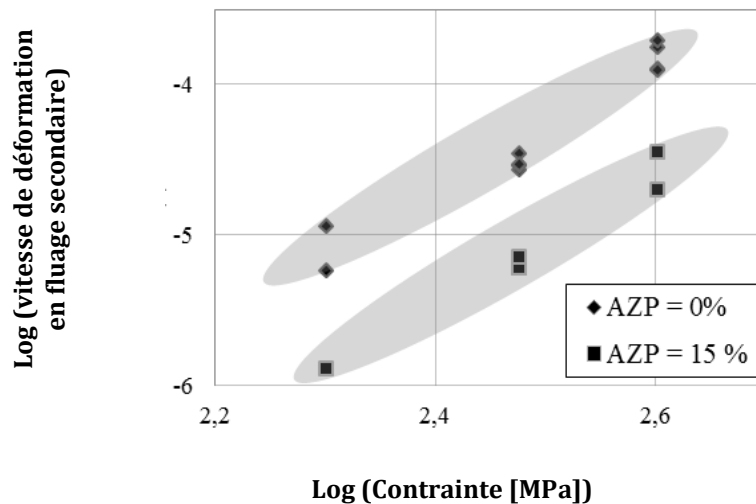


Figure 2 : Vitesse de fluage secondaire à 600°C en fonction de la contrainte et de la proportion de la section enrichie en oxygène (AZP).

Les essais de fluage menés à la même température ont mis en évidence une forte diminution de la vitesse de fluage secondaire (Figure 2).

L'effet cœur-coquille permet d'expliquer ce comportement. L' α -case plus rigide contribue à décharger le cœur de l'éprouvette. D'autre part, l'oxygène interstitiel présent dans cette zone y diminue la mobilité des dislocations. Une analyse de type Voigt permet d'expliquer la diminution macroscopique de la vitesse de fluage. Le mécanisme de fluage reste inchangé comme en atteste la pente de la figure 2.

4 Conclusion

Les résultats obtenus sont comparés aux données de la littérature disponibles sur d'autres alliages de titane [13-17]. Moyennant quelques hypothèses, il est possible de modéliser, pour cet alliage :

- la dépendance du module d'Young à la teneur en oxygène et ce entre 20 et 600°C,
- une loi de fluage secondaire tenant compte de la teneur locale en oxygène.

Références

- [1] A. Rosen and A. Rottem, "The effect of high temperature Mater. Sci. Eng., vol. 22, pp. 23–29, Jan. 1976.
- [2] Z. Liu and G. Welsch, "Effects of oxygen and heat treatment on the mechanical properties of alpha and beta titanium alloys," Metall. Trans. A, vol. 19, no. March, 1988.

- [3] R. Gaddam, B. Sefer, R. Pederson, and M.-L. Antti, "Oxidation and alpha-case formation in Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo alloy," *Mater. Charact.*, vol. 99, pp. 166–174, Jan. 2015.
- [4] R. W. Evans, R. J. Hull, and B. Wilshire, "The effects of alpha-case formation on the creep fracture properties of the high-temperature titanium alloy IMI834," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 56, no. 1–4, pp. 492–501, Jan. 1996.
- [5] G. Lütjering and J. C. Williams, *Titanium*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [6] J. L. Murray and H. a. Wriedt, "The O-Ti (Oxygen-Titanium) system," *J. Phase Equilibria*, vol. 8, no. 2, pp. 148–165, Apr. 1987.
- [7] K. S. McReynolds and S. Tamirisakandala, "A Study on Alpha-Case Depth in Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo," *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 42, no. 7, pp. 1732–1736, Apr. 2011.
- [8] P. Kofstad, *High Temperature Corrosion*. Elsevier, 1988.
- [9] J. Unnam, R. N. Shenoy, and R. K. Clark, "Oxidation of commercial purity titanium," *Oxid. Met.*, vol. 26, no. 3–4, pp. 231–252, Oct. 1986.
- [10] J. Baillieux, B. Malard, and D. Poquillon, "Observation of the crystallographic evolution of α -titanium after oxygen diffusion using synchrotron X-ray diffraction," *Philos. Mag.*, 2015.
- [11] D. Poquillon, C. Armand, and J. Huez, "Oxidation and Oxygen Diffusion in Ti-6Al-4V Alloy: Improving Measurements During Sims Analysis by Rotating the Sample," *Oxid. Met.*, vol. 79, no. 3–4, pp. 249–259, Jan. 2013.
- [12] M. Göbel, V. A. C. Haanappel, and M. F. Stroosnijder, "On the Determination of Diffusion Coefficients of Oxygen in One-Phase Ti (α -Ti) and Two-Phase Ti-4Nb (α - and β -Ti) by Micro-Hardness Measurements," *Oxydation Met.*, vol. 55, 2001.
- [13] Y. T. Lee and G. Welsch, "Young's modulus and damping of Ti6Al4V alloy as a function of heat treatment and oxygen concentration," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 128, no. 1, pp. 77–89, Aug. 1990.
- [14] T. A. Parthasarathy, W. J. Porter, S. Boone, R. John, and P. Martin, "Life prediction under tension of titanium alloys that develop an oxygenated brittle case during use," *Scr. Mater.*, vol. 65, no. 5, pp. 420–423, Sep. 2011.
- [15] G. Viswanathan, "Creep behaviour of Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo: II. Mechanisms of deformation," *Acta Mater.*, vol. 50, no. 20, pp. 4965–4980, Dec. 2002.
- [16] F. Cardarelli, *Materials Handbook*, 2nd Ed. London: Springer-Verlag, 2008.
- [17] N. E. Paton and M. W. Mahoney, "Creep of titanium-silicon alloys," *Metall. Trans. A*, vol. 7, no. 11, pp. 1685–1694, Nov. 1976.