

Identification des relations microstructure/propriétés de tolérance aux dommages d'alliages de titane de type $\alpha\beta$

V. Renon^{a, b}, G. Henaff^a, C. Larignon^b, S. Pérusin^b, P. Villechaise^a

^a Institut P' - ENSMA – 1 Avenue Clément Ader 86360 Chasseneuil-du-Poitou (France)

^b IRT Saint Exupéry – 118 route de Narbonne CS 44248 31432 Toulouse Cedex 4 (France)

Résumé

Cette étude porte sur l'impact de la microstructure (taille des ex-grains β , des colonies, des lamelles de phase α ,...) sur la fissuration par fatigue d'alliages de titane de type $\alpha\beta$. Les travaux réalisés s'intéressent en particulier à l'influence des différents paramètres de traitement thermique sur les microstructures, et sur l'influence de ces dernières sur la résistance à la fissuration par fatigue d'alliages de titanes chimiquement proches de l'alliage TA6V.

Mots clés : fissuration, microstructure, titane, traitements thermiques

1. Introduction

Aujourd'hui, l'alliage de titane de référence pour la fabrication de structures aéronautiques est l'alliage Ti-6Al-4V (TA6V). Ses propriétés de résistance à la propagation de fissures par fatigue ont été améliorées ces dernières années par la mise en œuvre d'un traitement thermique appelé « recuit β », permettant d'obtenir à température ambiante une microstructure lamellaire.

Le besoin de gains de masse pour les structures concernées entraîne à rechercher des propriétés de résistance à la fissuration par fatigue améliorées, ou l'amélioration d'autres propriétés mécaniques sans impacter la résistance à la fissuration, ce que l'utilisation d'autres nuances d'alliages de titane pourrait permettre.

Cependant, les différents alliages pouvant prétendre à remplacer le TA6V recuit β ont été moins étudiés et nécessitent encore des travaux d'optimisation de leurs microstructures avec des traitements thermomécaniques adaptés pour optimiser leurs résistance à la fissuration. Plus précisément, pour les alliages candidats, ici l'alliage TA6V ELI (ELI pour « Extra Low Interstitial » : réduction du taux d'éléments interstitiels dans la chimie de l'alliage) et l'alliage Ti54M, une meilleure connaissance des relations entre microstructure (taille des ex-grains β , des colonies, des lamelles α ,...) et propriétés de tolérance aux dommages est recherchée.

2. Matériaux de l'étude

Les deux alliages étudiés, de type $\alpha\beta$ ont été choisis pour leurs compositions chimiques proches du TA6V. Le *Tableau 1* indique les compositions nominales et valeurs limites pour les deux alliages sélectionnés, en l'occurrence l'alliage Ti54M et l'alliage TA6V ELI.

	Aluminium	Molybdène	Vanadium	Carbone	Fer	Oxygène	Azote	Hydrogène	Titane
TA6V ELI	6%	-	4%	<0.08%	<0.25%	<0.13%	<0.03%	<0.012%	Base
Ti54M	5%	0.75%	4%	<0.08%	0.5	<0.2%	<0.03%	<0.006%	Base
TA6V	6%	-	4%	<0.08%	<0.4%	<0.2%	<0.05%	<0.015%	Base

Tableau 1 Comparaison des compositions des alliages TA6V ELI et Ti54M avec le TA6V [1, 2](% massiques).

3. Etudes menées

3.1 Objectifs et stratégie

Les études se focaliseront sur les microstructures lamellaires issues de traitements thermiques au-delà du transus β , connues pour présenter de meilleures résistances à la propagation de fissures [3, 4, 5], dans un premier temps sur l'alliage TA6V ELI.

L'analyse des résultats d'essais de propagation de fissures et en particulier des chemins de propagation permettra d'identifier le rôle de chacun des paramètres microstructuraux présentés sur la *Figure 1* : la taille des ex-grains β , notée D , la taille des colonies de lamelles, notée d , et la taille des lamelles, notée t , sur les mécanismes de déformation et d'endommagement en pointe et dans le sillage de la fissure.

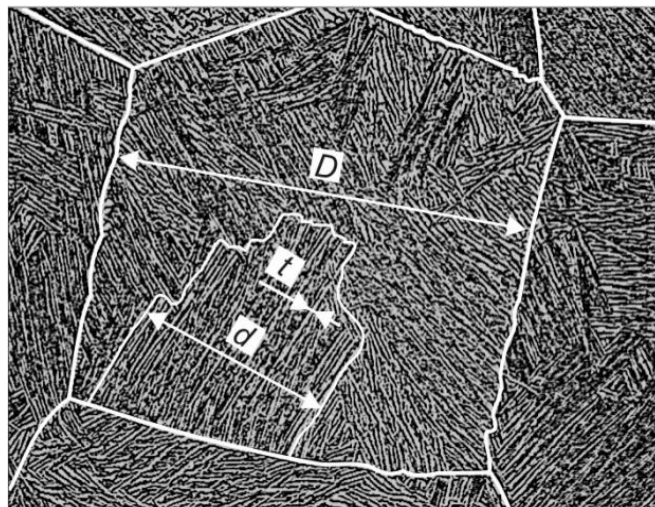


Figure 1. Microstructure lamellaire du titane [6]

3.2 Traitements thermiques réalisés et microstructures associées

Différents traitements thermiques ont été réalisés sur des ébauches de dimensions 22*22*8mm en TA6V ELI. Le traitement thermique industriel sur billette (diamètre 180mm, mise en solution à $T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$ durant 1h30, refroidissement air, puis détensionnement à 730°C durant 1h, refroidissement air) a été pris pour référence.

A partir de cette référence, un programme d'essais a été réalisé (*Tableau 2*). Pour chaque configuration étudiée, un des paramètres de la mise en solution du traitement (température, durée de maintien ou vitesse de refroidissement) a été modifié par rapport au traitement de référence, afin

d'identifier son influence sur la microstructure en fin de traitement. Les résultats de ces essais sont en cours d'analyse.

	Traitement de référence	Traitement 1	Traitement 2	Traitement 3	Traitement 4	Traitement 5	Traitement 6
Durée de maintien	1h30	1h30	2h15	3h00	1h30	1h30	1h30
Température de traitement	$T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$	$T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$	$T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$	$T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$	$T_{\beta}+50^{\circ}\text{C}$	$T_{\beta}+75^{\circ}\text{C}$	$T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$
Type de refroidissement	Trempe air sur billette	Trempe air sur coupon	Trempe air sur coupon	Trempe air sur coupon	Trempe air sur coupon	Trempe air sur coupon	Contrôlé sur coupon

Tableau 2 Détails du programme d'essais de traitements thermiques. Tous les traitements thermiques présentés sont suivis d'un revenu de détensionnement de 1h à 730°C.

Suite à la réalisation de ces traitements thermiques, chaque ébauche est polie (papier SIC =>4000 puis OPS), puis attaquée chimiquement au réactif de Kroll afin de révéler la microstructure. Les microstructures sont ensuite observées à l'aide de différents moyens de microscopie (optique et MEB) afin de caractériser les tailles des différents paramètres microstructuraux : tailles des ex-grains β , tailles des colonies de lamelles α et épaisseur des lamelles α . Une image de la microstructure du TA6V ELI obtenue après le traitement thermique de référence est présentée en Figure 2. Une taille d'ex grains β d'approximativement 600 μm , des colonies de lamelles d'environ 100 μm d'épaisseur et des lamelles d'épaisseur approchant de 2 μm ont ainsi été déterminés.

Les analyses sur les microstructures générées par traitement thermique avec trempe à l'air montrent une microstructure aciculaire, résultant d'un refroidissement trop rapide du matériau. Le contrôle des vitesses de refroidissement pour se rapprocher des refroidissements réalisés industriellement sur billette, permettant d'obtenir des microstructures lamellaires, est donc encore à améliorer.

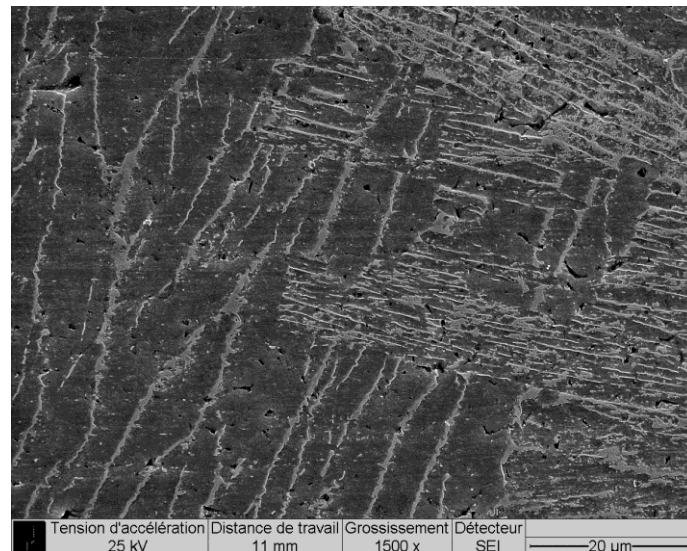


Figure 2. Microstructure totalement lamellaire issue d'un traitement thermique sur billette: $T_{\beta}+25^{\circ}\text{C}$ 1h30, ref air ; 730°C 1h00; ref air.

La suite des travaux consiste à sélectionner et à réaliser sur des ébauches les traitements thermiques permettant d'obtenir les microstructures les plus différenciées en termes de paramètres microstructuraux (taille des ex-grains β , des colonies, des lamelles α).

3.3 Essais de fissuration

Les essais sont réalisés à température ambiante sur des éprouvettes de TA6V ELI, type CT40 B10 polies miroir, avec un rapport de charge $R=0,1$ et dans une gamme de valeurs de ΔK de 15 à 40 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$. Le suivi de l'avancée de fissure est réalisé par mesure de potentiel. Les essais sont en cours de réalisation et d'analyse.

En plus des résultats de vitesse de propagation, les analyses porteront sur les mécanismes de fissuration observés post-mortem sur les surfaces de rupture ainsi que sur les chemins de propagation dans les alliages concernés.

4. Conclusion et perspectives

De premières microstructures ont pu être générées par traitement thermique. Cependant, l'analyse de ces microstructures indique le besoin de contrôler le refroidissement. Par la suite, les traitements thermiques pourront être réalisés sur des ébauches d'éprouvettes de fissuration puis les essais de fissuration seront réalisés sur des matériaux ayant subi les traitements thermiques précédemment sélectionnés.

Ces essais pourront être complétés par des essais « in-situ » sous MEB, sur des micro-éprouvettes. Celles-ci seront prélevées sur une éprouvette CT, en pointe de fissure, après un essai interrompu. La réalisation de ces essais permettra d'observer la propagation de fissure, ce qui permettra d'améliorer la compréhension des mécanismes en jeu.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier *Aubert et Duval*, *Timet*, *Airbus Groupe Innovation* et *Airbus opération* pour leur soutien.

Références

- [1] ASTM international, « ASTM B348-13, Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Bars and Billets », West Conshohocken, PA, 2013.
- [2] M. Armendia, A. Garay, L.-M. Iriarte, et P.-J. Arrazola, « Comparison of the machinabilities of Ti6Al4V and TIMETAL® 54M using uncoated WC-Co tools », *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 210, no 2, p. 197-203, 2010.
- [3] P. E. Irving et C. J. Beevers, « Microstructural influences on fatigue crack growth in Ti-6Al-4V », *Mater. Sci. Eng.*, vol. 14, n° 3, p. 229-238, 1974.
- [4] B. Hadj Sassi et P. Lehr, « Ténacité et résistance à la propagation des fissures de fatigue de l'alliage de titane TA6V », *J. Common Met.*, vol. 56, n° 2, p. 157-165, déc. 1977.
- [5] R. K. Nalla, B. L. Boyce, J. P. Campbell, J. O. Peters, et R. O. Ritchie, « Influence of microstructure on high-cycle fatigue of Ti-6Al-4V: bimodal vs. lamellar structures », *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 33, n° 13, p. 899-918, 2002.
- [6] J. Sieniawski, W. Ziaja, K. Kubiak, et M. Motyk, « Microstructure and Mechanical Properties of High Strength Two-Phase Titanium Alloys », in *Titanium Alloys - Advances in Properties Control*, J. Sieniawski, Éd. InTech, 2013.