

# Influence du vieillissement sur le comportement en fissuration de l'alliage Ti 17

**L. Sasaki<sup>a</sup>, G. Henaff<sup>a</sup>, P. Villechaise<sup>a</sup>, M. Arzaghi<sup>a</sup>, J. Delfosse<sup>b</sup>**

a. Institut P prime, ISAE-ENSMA

b. Airbus Group Innovation

[layla.sasaki@ensma.fr](mailto:layla.sasaki@ensma.fr)

## Résumé

Ces travaux évaluent l'influence du vieillissement sur la résistance à la fissuration de l'alliage Ti 17. Des essais de fissuration sur les matériaux standards et vieillis 1000 h à 350°C et 450°C respectivement ont été effectués, de manière à bâtir une comparaison basée sur les courbes classiques  $da/dN=f(\Delta K)$ . Si le vieillissement à 350°C ne semble pas affecter le comportement macroscopique du Ti 17, une accélération de la fissuration peut être constatée pour 450°C. Une discussion sur les mécanismes conduisant à cette différence est proposée, basée sur l'analyse fractographique des éprouvettes.

**Mots clés :** titane, vieillissement, fissuration, température, fractographie

## 1. Introduction

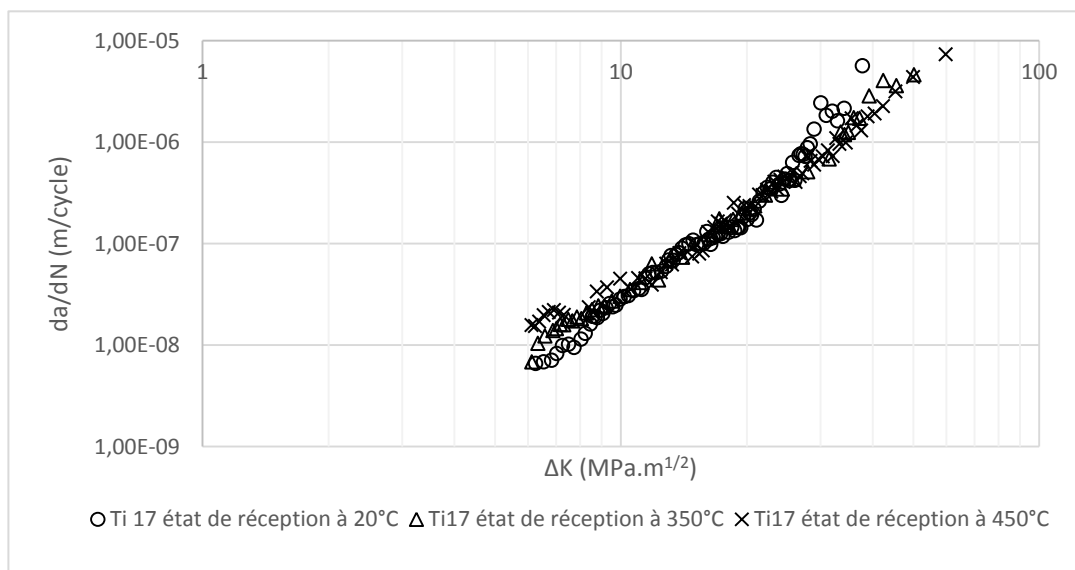
Les normes environnementales ainsi que les problématiques de réduction des coûts dans l'industrie aéronautique conduisent à l'élaboration de réacteurs plus performants, avec un diamètre plus important. Les dimensions des pièces de structure environnant le réacteur sont réduites et les matériaux constitutifs sont soumis à des sollicitations poussées, tant mécaniques que thermiques. Ces pièces, élaborées en titane pour son haut module spécifique et sa tenue en température, doivent en outre être qualifiées en termes de résistance à la fissuration. Une exposition prolongée en température lors du service de ces pièces pose également la question de la tenue en fissuration par fatigue après un vieillissement métallurgique.

L'alliage Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr ou Ti 17 (le total des éléments d'addition représentant 17% de la composition massique) est un alliage de titane beta-métastable [1], dont la plage de température d'utilisation monte jusqu'à 400°C [2]. Le travail suivant s'attache à présenter l'impact sur le comportement en fissuration d'un vieillissement de 1000 h dans la gamme moyenne-haute des températures de service, à 350°C et 450°C.

## 2. Résultats

Des éprouvettes de fissuration de type CT40 ont été prélevées dans des blocs de Ti 17 à l'état de réception puis vieillis 1000 h respectivement à 350°C et 450°C. Les éprouvettes à l'état de réception ont été testées à température ambiante et aux deux températures de vieillissement, à une fréquence de 20 Hz et un rapport de charge de  $R=0,1$ . Les éprouvettes vieilles ont également été testées à l'air du laboratoire, à température ambiante ainsi qu'à la température correspondant à leur condition de vieillissement respective.

A l'état de réception, le Ti17 montre un comportement en fissuration stable entre la température ambiante, 350°C et 450°C. La figure 1 montre le tracé de la vitesse de fissuration en fonction du facteur intensité de contrainte pour les tests sur état de réception. Les paramètres de la loi de Paris  $da/dN = C \times \Delta K^m$ , gouvernant la zone de propagation stable de la fissure sont indiqués dans le tableau 1. Bien que la vitesse de départ de la fissuration augmente de manière fine à mesure que la température d'essai augmente, les courbes de fissuration se confondent sur la majorité du domaine de Paris. De même, le faciès de rupture montre des similitudes entre chaque condition, révélant notamment une rupture transgranulaire formant des facettes nettes de la taille des ex-grains béta.

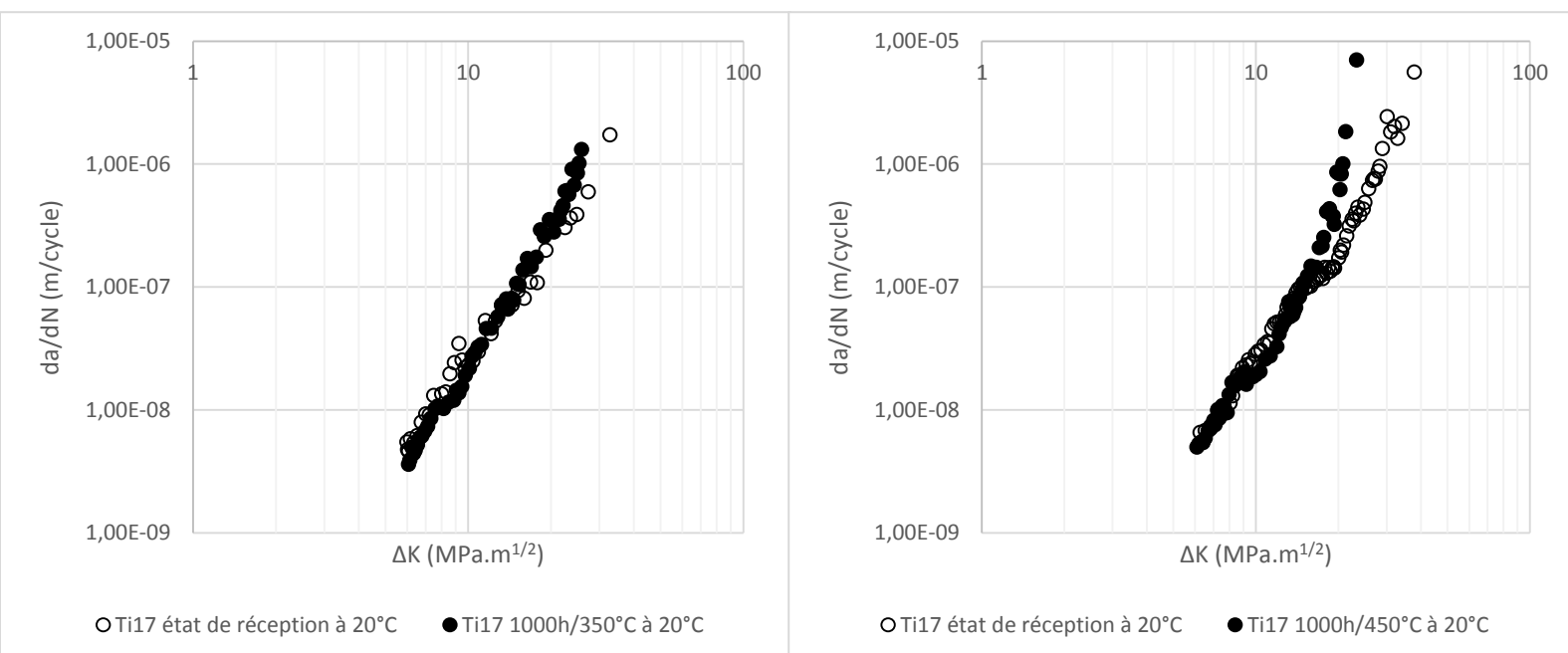


**Figure 1.** Courbes de fissuration pour le Ti 17 à l'état de réception, testé en température

Température d'essai (°C)	C	m
20	$3 \times 10^{-11}$	3,0
350	$8 \times 10^{-11}$	2,6
450	$3 \times 10^{-11}$	3,0

**Table 1.** Paramètres de la loi de Paris pour le Ti 17 à l'état de réception testé en température

Les courbes relatives aux éprouvettes ayant subi un vieillissement de 1000 h, à 350°C et 450°C respectivement, sont apportées sur la figure 2 pour des essais menés à température ambiante sous air. Au vu de la superposition des courbes de l'état vieilli avec l'état de réception, une exposition 1000 h à 350°C n'affecte pas le comportement macroscopique du matériau vis-à-vis de la fissuration. Dans le cas de l'éprouvette vieillie 1000 h à 450°C en revanche, une divergence claire de la courbe de la condition vieillie par rapport à l'état de référence est visible, à partir de  $\Delta K = 15 \text{ MPa} \times \text{m}^{1/2}$ . A  $\Delta K = 20 \text{ MPa} \times \text{m}^{1/2}$ , la vitesse de fissuration du cas vieilli est supérieure de près d'un facteur 10 comparé à l'état de référence. Concernant les résultats en température, l'insensibilité au vieillissement est confirmée pour l'échantillon vieilli 1000 h à 350°C puis testé à 350°C. Pour les tests menés à 450°C sur l'éprouvette vieillie 1000 h à cette température, la divergence de la courbe du cas vieilli par rapport à l'état de réception est repoussée vers les valeurs de  $\Delta K$  plus élevées, à partir de  $\Delta K = 27 \text{ MPa} \times \text{m}^{1/2}$ .



**Figure 2.** Courbes de fissuration à température ambiante pour le Ti 17 vieilli 1000 h, à 350°C (gauche) et à 450°C (droite)

L'analyse des faciès de rupture des éprouvettes à l'état de réception et vieilles 1000 h à 450°C, testées à température ambiante, a été effectuée dans le but de comprendre les mécanismes de rupture conduisant à la divergence observée sur les courbes de la figure 2. L'état de réception montre un faciès de rupture relativement régulier, d'aspect lisse avec l'émergence de fines fissures perpendiculaires à la direction de fissuration principale. L'occurrence de ces fines fissures semble augmenter à mesure que la valeur de  $\Delta K$  augmente, marquant par endroits des décollements entre lamelles alpha. Si pour des valeurs de  $\Delta K$  situées sous le point de divergence à  $\Delta K = 15 \text{ MPa} \times \text{m}^{1/2}$ , la surface de rupture du cas vieilli est similaire à celle de l'état de réception, au-delà de  $15 \text{ MPa} \times \text{m}^{1/2}$  une rupture avec une forte localisation de la déformation au niveau des interfaces lamelles/matrice apparaît.

Ceci se traduit avec un faciès marqué par des empreintes de décollement de lamelles, en une multitude de formes concaves dont la disposition reflète l'enchevêtrement des lamelles alpha au sein de la matrice bêta, caractéristique de la microstructure de l'alliage étudié.

L'analyse microfractographique suggère qu'il est possible de relier la divergence de comportement observée à température ambiante entre l'état de réception et le cas vieilli 1000 h à 450°C, à une modification des interfaces lamelles/matrice induite par le vieillissement, conduisant à un mécanisme d'endommagement différent.

Plusieurs travaux ont en effet mis en avant la sensibilité des interfaces alpha/bêta au vieillissement [3] ainsi que l'apparition de nouvelles phases venant modifier les propriétés mécaniques sur matériau vieilli [4]. Les résultats sur des durées de vieillissement plus longues (10 000 h) devraient permettre de statuer sur ce point et de progresser dans la compréhension plus fine des mécanismes de déformation au niveau des lamelles voire à l'échelle supérieure des ex-grains bêta, via des essais in-situ sur micro-éprouvettes de traction.

## **Remerciements**

L'auteur souhaite remercier l'Agence Nationale de la Recherche pour le financement qui permet la tenue de ces travaux. Les remerciements vont également aux acteurs du projet ANR DUSTI, l'Institut Jean Lamour et le Cirimat pour leur expertise sur le plan académique, Aubert & Duval, Airbus Group pour la fourniture des matériaux ainsi que Liebherr Aerospace pour le support tout au long du projet.

## **Références**

- [1] Jérôme Delfosse, Forgeage du Ti17 - Propriétés en fatigue, thèse, Ecole Centrale de Paris, 2005.
- [2] R. R. Boyer, An overview on the use of titanium in the aerospace industry, Materials Science and Engineering A213 (1996) 103-114.
- [3] Matteo Benedetti, Initiation and propagation behaviour of fatigue cracks in titanium alloy, PhD Thesis, Università degli Studi di Trento, 2004.
- [4] A. Gysler, G. Lütjering, V. Gerolds, Deformation behavior of age-hardened Ti-Mo alloys, Acta Metallurgica, Vol. 2, July 1974, 901-909.