



Mars 2020

LES ALLIAGES DE TITANE ET LES HAUTES TEMPERATURES

1^{ère} partie : Présentation du phénomène d'alpha case, une limite pour l'utilisation des alliages de titane

Avec cette 43^{ème} newsletter, nous avons décidé de rester dans les alliages de titane mais cette fois-ci en abordant le cas des environnements dits sévères : les hautes températures pour des visées aéronautiques ou le monde de l'énergie.

Comme nous l'avons vu avec les drivers de golf, le titane et ses alliages sont des matériaux intéressants en raison de leur rapport résistance / poids et de leur bonne tenue à la corrosion. L'application des alliages à base de titane se concentre principalement dans les industries aérospatiales, militaires et chimiques [1,2]. Toute extension significative de l'usage des alliages de Ti, par exemple dans l'automobile l'industrie, est limitée par un coût élevé. De plus, la résistance à l'oxydation à haute température de l'alliage TiAl6V4, l'alliage à base de Ti le plus largement utilisé dans le commerce, est plutôt faible. Ceci limite la température de fonctionnement la plus élevée pour les composants structuraux de moteurs à réaction en alliages de titane (par exemple, aubes de compresseur) à environ 550°C [1,2]. Il est évident qu'une augmentation de cette limite supérieure pourrait entraîner une baisse significative de la consommation en carburant par la réduction de la masse embarquée. L'utilisation d'alliages base titane à des températures supérieures à 600°C est donc un axe stratégique primordial pour l'aéronautique. Face à ce sujet, il est important de prendre en compte :

- la limitation de la chute des caractéristiques mécaniques,
- l'abaissement de la tenue au fluage et en fatigue,
- et la résistance à l'oxydation à chaud.

Les deux premiers points sont beaucoup étudiés dans le secteur de l'aéronautique en travaillant sur la composition chimique et les traitements thermiques / thermomécaniques. Nous avons décidé d'aborder le dernier sujet : la tenue des alliages de titane face à la transformation à chaud de la matrice soit par oxydation, ou par carburation, ou par nitruration. Dans la seconde Newsletter attachée à cette thématique, nous appréhenderons les astuces métallurgiques pour éviter la formation d'alpha case préjudiciable à la bonne tenue mécanique des pièces élaborées en alliage de titane.

Le titane possède une grande affinité chimique pour les éléments interstitiels (O, H, C, N) à des températures élevées ($T^{\circ}\text{C} > 550^{\circ}\text{C}$). En effet, ces éléments réactifs avec le titane et ses alliages auront un effet plus ou moins nocif sur les propriétés mécaniques du produit (Cf. figure 1).



Mars 2020

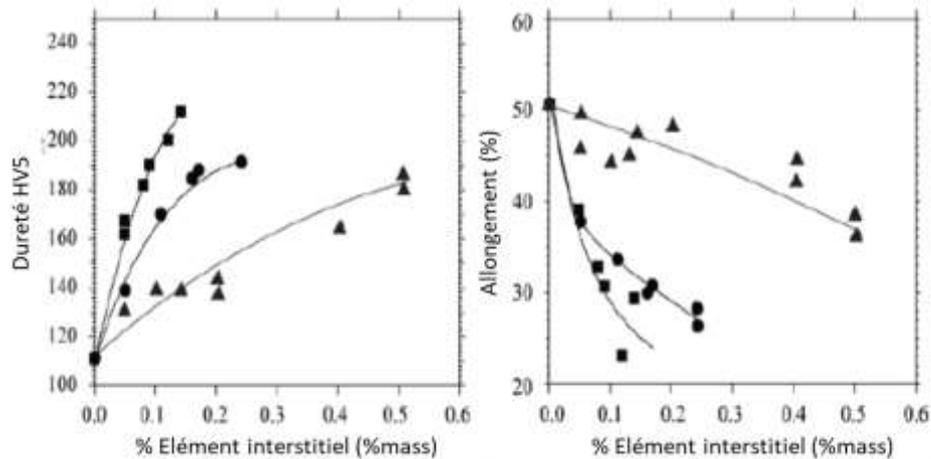


Figure 1 : Effet des éléments interstitiels sur la dureté et l’allongement d’un alliage de titane (CP-titanium). (Carré : « N » – Rond : « O » – Triangle : « C ») [3]

L’oxygène est identifié comme l’un des éléments le plus problématique : un chauffage sous air du titane et de ses alliages fait apparaître une couche de calamine plus ou moins adhérente à partir de 600/650°C. La formation de cette couche est accompagnée d’une mise en solution solide sous-jacente de l’oxygène avec la formation de la phase α dure et fragile (alpha-case) dont l’impact mécanique est illustré par des attaques sélectives et des filiations de micro dureté (Cf. figure 2).

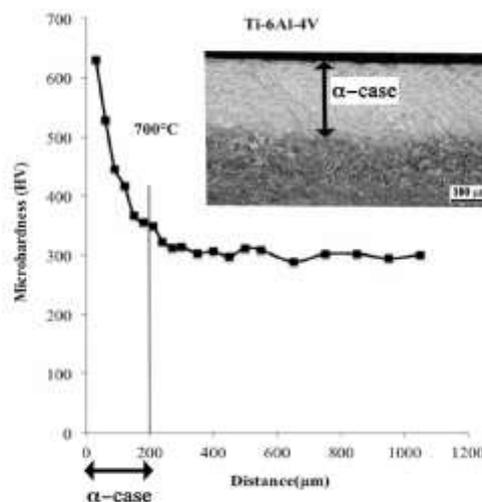


Figure 2 : Variation de la dureté de surface d’un Ta6V exposé à 700°C pendant 500h. [4]

La phase « alpha case », comme nous pouvons le constater est très fragile et ne peut être utilisée dans la plupart des fonctions industrielles dès que le produit est sollicité mécaniquement. L’absence d’alpha case sur une pièce "de vol" est impérative : la formation d’une couche d’oxyde même faible (10µm) impacte directement la tenue en fatigue.



Mars 2020

Les épaisseurs de couches de « calamine » et des zones contaminées sous-jacentes sont d'autant plus épaisses que la température est plus élevée et le maintien prolongé. Cependant les cinétiques de croissance de ces couches sont également grandement fonction de la composition chimique de l'alliage (Cf. Figures 3-4).

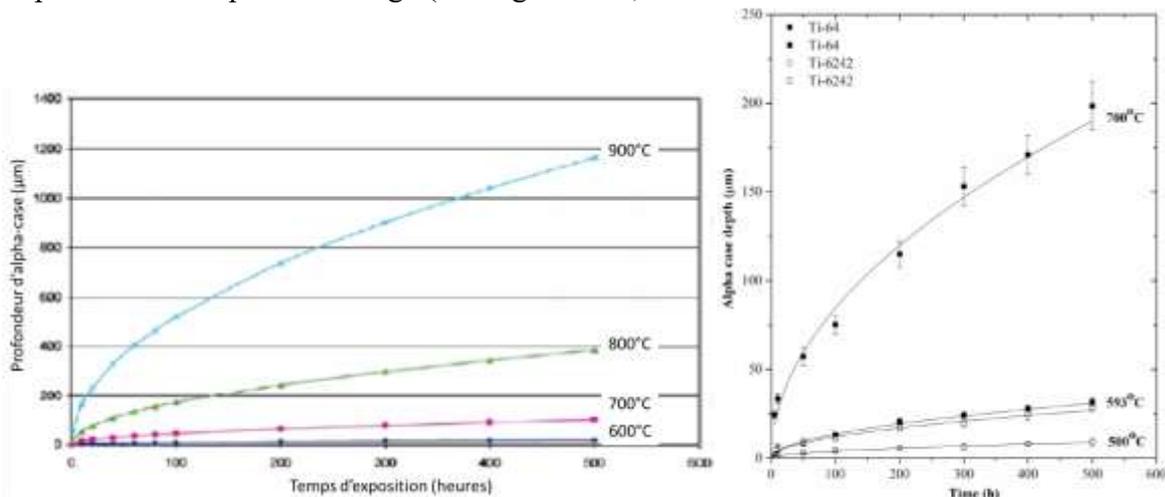


Figure 3 : Epaisseur d' α -case pour un alliage IMI 834 exposé à différentes T°C sous air. [5]

Figure 4 : Epaisseur d' α -case pour Ti 6242 et Ta6V exposés à différentes T°C sous air. [4]

Lorsque cette phase nocive apparaît au moment des étapes de fabrication du produit, il est nécessaire de l'éliminer par écouvonnage, meulage, décapage (NO₃H/HF).

En revanche, sa formation en fonctionnement reste un obstacle à l'utilisation de pièces mécaniques base titane travaillant à des températures supérieures à 550°C dans un milieu oxydant voir carburant, hydrogéné ou nitrurant.

La prochaine Newsletter aura pour objectif de rappeler des orientations technologiques qui nous ont inspirés pour tenter de protéger les alliages de titane face à l'oxydation à 850°C.

REFERENCES

- [1] Materials Science and Technology, vol. 8, Structure and Properties of Nonferrous Alloys, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1996.
- [2] ASM Handbook, vol. 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International, 1990.
- [3] WL Finlay, JA. Snyder, "Effects of three interstitial solutes (N, O, C) on the mechanical properties of high-purity alpha titanium", Journal of Metals 188, 1950, 227 – 286.
- [4] R. Gaddam, B. Sefer, R. Pederson, M-L Antti, "Study of alpha-case in Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo et Ti-6Al-4V.", 7th EEIGM International Conference on advanced Materials Research, Materials Science and Engineering 48 (2013).
- [5] I. Gurappa, « Prediction of titanium alloy component life by developing an oxidation model", Journal of Materials Letters (22), 771, 2003.