

Fatigue-fluage à la température ambiante et rupture différée d'alliages de titane, en relation avec leur teneur en hydrogène.

Véronique Doquet, Laboratoire de Mécanique des Solides, UMR CNRS-Ecole Polytechnique

Les alliages de titane constituant les disques de moteurs d'avion sont sujets, spécialement à la température ambiante, au « dwell-effect », une réduction sensible de leur durée de vie en fatigue, sous des sollicitations à contrainte imposée comportant des temps de maintien en tension et à « l'effet Marci », une transition vers la rupture différée au lieu d'un ralentissement et d'un arrêt de la fissuration lors de sollicitations cycliques d'amplitude décroissante et de valeur moyenne élevée.

Les causes du premier phénomène ont été analysées dans l'alliage biphasé Ti6242, et celles du second sur l'alliage Ti6246, au moyen d'essais mécaniques suivis ou couplés à des observations au MEB et MET sur les matériaux de base, appauvris ou dopés en hydrogène.

Il s'avère que le fluage lors des temps de maintien provoque dans le Ti6242 l'amorçage de cavités à l'intersection de bandes de glissement intense avec la phase β , peu déformable. Ce processus a été simulé par la dynamique des dislocations qui rend compte, qualitativement, de l'évolution du phénomène avec le niveau de contrainte, la microstructure et la durée des maintiens. La coalescence de ces cavités engendre précocement des microfissures. Les temps de maintien accélèrent en outre la propagation des fissures, en partie à cause d'un effet d'environnement. Un chargement modéré en hydrogène accroît la limite délasticité conventionnelle et limite le fluage à froid à fort niveau de contrainte, retardant l'apparition d'endommagement au point d'accroître les durées de vie en fatigue et fatigue-maintien, malgré une accélération sensible de la propagation des fissures. Par contre, il réduit la micro-limite d'écoulement et stimule le fluage à froid pour les faibles contraintes. Ces effets de l'hydrogène sont discutés en s'appuyant notamment sur des observations de sa répartition dans l'alliage par la technique de micro-empreinte et sur des essais de traction à diverses vitesses qui suggèrent une réduction par l'hydrogène des phénomènes de vieillissement dynamique.

En ce qui concerne la fissuration anormale du Ti6246 à fort K_{max} , la spectrométrie de masse d'ions secondaires a mis en évidence une surconcentration en hydrogène devant la pointe d'une fissure développée à faible ΔK . Ceci est cohérent avec le calcul des champs de contrainte en pointe de fissure effectués en élasto-viscoplasticité, en relâchant périodiquement des noeuds pour simuler la propagation: plus ΔK décroît, plus la zone qui reste en tension triaxiale (et donc attractive pour l'hydrogène) à chaque décharge s'étend vers la pointe de la fissure, ce qui ne saurait qu'encourager la ségrégation d'hydrogène. Des essais de fissuration menés sous MEB et accompagnés de mesures du champ de déformation par corrélation d'images ont mis en évidence du fluage en pointe de fissure dans le matériau de base à la température ambiante. Dans le matériau dopé en hydrogène, le fluage est encore plus important. L'ajout d'hydrogène provoque en outre une localisation de la déformation et des décohésions près des interfaces α/β où l'hydrogène introduit se trouve probablement concentré, en raison de sa solubilité bien plus forte dans la phase β . Enfin, l'anomalie dans la fissuration disparaît lorsque l'alliage est appauvri en hydrogène alors que l'enrichissement en hydrogène accentue au contraire le phénomène. Le régime anormal de fissuration du Ti6246 à 20°C semble donc dû au fluage et à la localisation de la déformation assisté par une ségrégation de l'hydrogène interne. L'absence d'anomalie de fissuration à 150°C semble liée à l'absence de fluage à cette température.