

Thèse de doctorat préparée au **Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes**, UMR 5513 CNRS Ecole Centrale de Lyon ENISE, sous la direction de Philippe KAPSA

Fretting d'un alliage de titane revêtu et lubrifié : application au contact aube / disque

Soutenue le 4 novembre 2002. Mention : très honorable.

Ma thèse a été effectuée en collaboration avec Snecma Moteurs (concepteur et constructeur de turbines aéronautiques) dans le cadre du co-financement d'une bourse de docteur - ingénieur (BDI) du CNRS. Un partenariat global lie le LTDS et le groupe Snecma : en effet, le LTDS est un pôle externe de recherche de Snecma dans les domaines de la tribologie et de la dynamique des structures.

Au cours de ma thèse, une *collaboration scientifique* a été mise en place avec l'équipe « Comportement et calculs de structures » du Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris (UMR CNRS 7633). Cette collaboration a mené à la réalisation du stage de recherche post-doctoral de Mohammed Cheikh, sous la direction de Georges Cailletaud.

Lors du fonctionnement d'un turboréacteur aéronautique, la rotation des aubes et du disque de soufflante induit une force de contact entre le pied de l'aube et l'alvéole du disque correspondante. Des flux aérodynamiques instationnaires peuvent se produire et induire des vibrations de l'aube : ceci se traduit par un déplacement relatif tangentiel au niveau du contact aube / disque. **La liaison en queue d'aronde entre aube et disque** (constitués de Ti-6Al-4V grenailé) **est donc soumise à une sollicitation de fretting**. Afin de lutter contre les dégradations induites par cette sollicitation, un traitement de surface composé d'une sous-couche en Cu-Ni-In (dépôt plasma au chalumeau) et d'un film de lubrifiant solide Molydag est appliqué sur le pied d'aube. L'objectif de cette thèse est la **compréhension de l'endommagement du contact aube / disque afin de pouvoir prédire la durée de vie de ce contact**.

L'endommagement du film de lubrifiant solide est lié à deux phénomènes : **la tribo-oxydation du MoS₂** (qui induit une augmentation lente et continue du coefficient de frottement) et **l'usure par formation et éjection de débris**. La durée de vie du lubrifiant solide est alors définie suite à l'étude de l'évolution du coefficient de frottement qui présente une augmentation rapide lors de l'élimination complète du Molydag hors du contact. Concernant la **dégradation physico-chimique du bisulfure de molybdène MoS₂** (principal composant anti-frottement du Molydag), des analyses des traces et débris d'usure (par EDAX, EELS et XPS) ont permis de conclure à la tribo-oxydation du MoS₂ (formation de dioxyde et trioxyde de molybdène), responsable de l'augmentation continue du coefficient de frottement. Cette réaction de surface est favorisée par l'environnement ambiant (présence d'un métal et de vapeur d'eau). Concernant la durée de vie du lubrifiant solide dans le contact, **une courbe maîtresse de durée de vie a pu être déterminée en appliquant une approche énergétique locale** (Figure 1): la tenue du lubrifiant dans le contact est, en effet, fonction du maximum de l'énergie dissipée locale (paramètre permettant de prendre en compte les deux variables principales d'un test de fretting : effort normal et débattement tangentiel) apportée au système tribologique. La stabilité de cette approche a été validée en réalisant des tests avec deux

configurations de contact différentes. Il est donc désormais **possible de prédire la durée de vie du lubrifiant et cette approche prédictive peut être étendue au contact réel aube / disque**. De plus, cette approche permet une comparaison entre différents revêtements et est donc utile pour le **choix des matériaux**. L'utilisation de cette approche nous a permis de déterminer le rôle exact de la sous-couche de Cu-Ni-In, en étudiant séparément l'apport relatif des propriétés de surface (rugosité jouant le rôle d'un réservoir de lubrifiant solide) et des propriétés mécaniques de volume du Cu-Ni-In (couche permettant l'accommodation d'une partie du déplacement imposé entre les surfaces en contact par déformation élastique en cisaillement) sur la durée de vie du Molydag dans le contact.

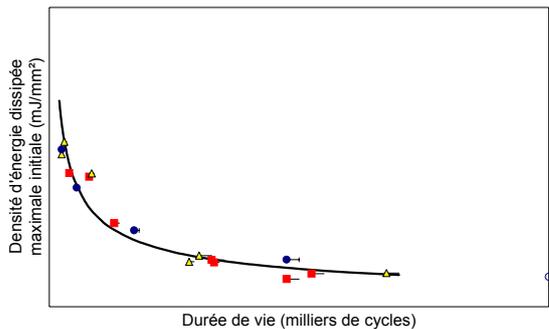


Figure 1 : courbe maîtresse de durée de vie du lubrifiant solide dans le contact, permettant la prédiction de la durée de vie.

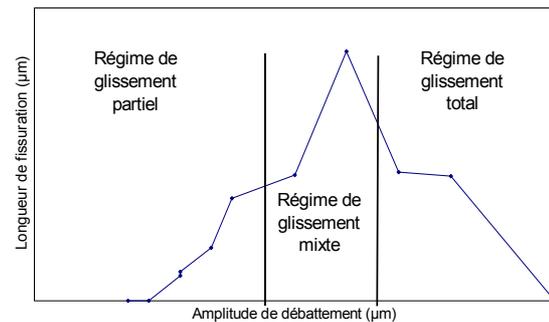


Figure 2 : longueur de fissuration dans le Ti-6Al-4V en absence de revêtement en fonction de l'amplitude de débattement.

La thèse a également porté sur la **détermination de l'endommagement en absence de Molydag**. En ce qui concerne la fissuration du substrat (Figure 2), le critère de Smith-Watson-Topper a été étudié pour déterminer l'**amorçage de fissures**. La comparaison entre le critère et les résultats expérimentaux a amené à définir un **volume critique élémentaire** sur lequel les contraintes doivent être moyennées afin de pouvoir prédire l'amorçage de fissures. Dans le cas du Ti-6Al-4V, ce volume élémentaire a une arête de 30 μm , ce qui est de l'ordre de grandeur de la taille des grains α et des zones lamellaires α / β . Le grenailage a pour effet d'augmenter les sollicitations nécessaires à l'amorçage de fissures et à diminuer la vitesse de propagation des fissures. L'effet du grenailage sur l'amorçage a été intégré dans le critère de Smith-Watson-Topper à partir d'un paramètre scalaire qui prend en compte les contraintes résiduelles induites et leur relaxation partielle. Des mesures de contraintes résiduelles par diffraction des rayons X ont permis de relier **relaxation des contraintes résiduelles** et amorçage de fissures pour les surfaces grenillées. Afin de caractériser entièrement l'endommagement du contact, les propriétés en **usure du Ti-6Al-4V et du Cu-Ni-In** ont également été déterminées, sur une base énergétique. Le grenailage n'a pas d'influence sur les propriétés d'usure de l'alliage de titane. Le Cu-Ni-In présente un coefficient énergétique d'usure supérieur à celui du Ti-6Al-4V. La **compétition entre amorçage de fissures et création de débris d'usure** dans le régime de glissement mixte a également été étudiée.

En conclusion, les résultats de la thèse ont permis de déterminer, dans des configurations d'essais de laboratoire, l'endommagement induit par la sollicitation de fretting sur un contact industriel complexe. L'approche adoptée a permis, de plus, l'extension des résultats obtenus à une configuration de contact représentative du contact réel.