
Étude des comportements mécanique et tribologique du matériau composite carbone/carbone 2,5D

Marie Poitrimolt

Directeurs de thèse : Mohammed Cheikh, Gérard Bernhart

Les matériaux composites Carbone/Carbone 2,5D (C/C 2,5D) sont utilisés pour le freinage haute énergie des avions civils et militaires et pour les systèmes de freinage des pales d'hélicoptères. Ils peuvent aussi être employés en environnement lubrifié, pour des blocs de sécurité anti-retour, d'avions de ligne majoritairement, et ce dans une gamme de températures d'utilisation de -55°C à $+110^{\circ}\text{C}$. L'avantage majeur du lubrifiant est ici sa propriété anti-corrosion pour les pièces métalliques du système.

Cette étude s'intéresse aux performances d'un tel équipement. En effet, durant la vie d'un avion, l'état de surface évolue et les performances de freinage s'en trouvent modifiées. L'objectif de ce travail est la maîtrise et la prédiction de l'évolution des propriétés de la surface en fonction des conditions d'utilisation (pression, vitesse, distance, ...).

Les disques Carbone/Carbone 2,5D connaissent une évolution d'état de surface et une usure lors des freinages successifs. L'objectif de ce travail est alors l'étude du comportement mécanique afin de comprendre les répercussions du frottement en sous-couche d'une part ; et d'autre part, la mise en place d'un protocole de caractérisation d'états de surface incluant des moyens traditionnels et des essais tribologiques courts. Ce protocole doit être valable pour les deux environnements d'étude : à sec et en environnement lubrifié, pour des essais tribologiques C/C 2,5D contre acier en configuration disque/disque.

Pour cela, une caractérisation complète du comportement mécanique en compression du composite Carbone/Carbone 2,5D est réalisée. Dans un premier temps, le module d'Young du matériau est déterminé par 3 méthodes différentes : essais de compression monotones, mesures de propagation d'ondes ultra-sonores et essais d'indentation. Dans un second temps le comportement élasto-endommageable en compression est relevé. Les caractéristiques du matériau telles que sa limite d'élasticité, sa contrainte à la rupture, son endommagement, son taux de restitution d'énergie et ses déformations résiduelles engagées dans une simulation 1D permettent de reproduire les courbes d'essais de compression cyclique à contrainte croissante.

Parallèlement, une étude du comportement tribologique du C/C 2,5D à sec via des essais courts a permis de connaître les caractéristiques de coefficient de frottement de différents états de surface (neufs, polis, revenants de service) préalablement définis à l'aide d'images MEB et de relevés rugosimétriques. Les valeurs moyennes de coefficient de frottement s'avèrent être fonction du paramètre de rugosité S_k . Les essais tribologiques longue distance mis en œuvre ont modifié l'état de surface des échantillons autant sur

le plan topologique que sur le plan morphologique. Les informations recueillies montrent, qu'avec une énergie spécifique suffisante, l'état de surface acquiert des propriétés similaires aux disques revenant de service. Le mécanisme mis en jeu est basé sur une concomitance de 2 phénomènes : un écrêtage des pics de rugosité les plus élevés, produisant des débris qui participent aux comblements des creux topographiques et l'apparition de fissures en sous-couche.

Enfin, deux campagnes d'essais en environnement lubrifié ont été proposées pour séparer le comportement tribologique de la surface du disque à instant donné, de celui évoluant avec la distance. Premièrement, les essais avec différents couples pression/vitesse sur des durées courtes, permettent le tracé des courbes de Stribeck dont les caractéristiques du régime mixte sont directement liées avec les états morphologiques et topologiques. Ils complètent donc efficacement la procédure de caractérisation des états de surface. Ensuite, un plan d'expérience réunit les essais longs destinés à modifier l'état de surface d'éprouvettes sous plusieurs jeux de paramètres tribologiques (pression normale appliquée, vitesse de frottement et distance). L'influence de chacun de ces paramètres et leurs combinaisons sur la rugosité finale, l'état morphologique et l'usure, par exemple, est discutée. Pour finir, les débris tribologiques issus des essais en environnement lubrifié sont analysés afin de connaître leurs compositions chimiques et leurs tailles et morphologies afin de statuer sur leur cycle de vie dans le contact.

Mots clés : Composite Carbone/Carbone 2,5D (C/C 2,5D), Comportement mécanique élasto-endommageable, Comportement tribologique à sec, Comportement tribologique en environnement lubrifié, État de surface, Usure, Courbes de Stribeck.