

ANALYSE DU PROCESSUS D'USURE ABRASIVE ET OPTIMISATION D'ENGRENAGE AÉRONAUTIQUE

Résumé

Les organes de transmission de puissance par engrenages sont couramment utilisés dans de nombreux domaines, parmi lesquels celui de l'aéronautique. Le système étudié dans ces travaux de thèse est un réducteur d'hélicoptère. Son rôle est de transmettre la puissance générée par le turbomoteur à la boîte de transmission principale, tout en adaptant la vitesse de rotation au besoin de cette dernière. Pour maximiser la puissance massique des systèmes, les engrenages aéronautiques peuvent être dotés de voiles minces, réduisant la masse de l'ensemble, mais favorisant aussi leurs flexibilités. Très sollicités en termes de nombre de rotations et de conditions de fonctionnement, ces engrenages à voile mince du réducteur présentent un risque d'apparition de surpressions locales et sont d'autant plus susceptibles d'être soumis à un certain nombre d'avaries, telles que l'usure abrasive, le grippage ou encore le micro-écaillage.

Le premier objectif de ces travaux de thèse est la compréhension et la simulation du processus d'usure abrasive sur les engrenages. Ce processus d'arrachement de matière sur le flanc des dentures est simulé par l'intermédiaire de la loi d'Archard adaptée aux contacts lubrifiés. Lors des différentes phases de vol (décollage, atterrissage, etc.), les conditions de fonctionnement évoluent et modifient les paramètres quasi-statiques de l'engrènement, la lubrification du système et par conséquent la quantité de matière arrachée. Afin de prendre en considération les évolutions des conditions de fonctionnement dans le processus d'usure, une méthodologie de cumul de l'usure a été adoptée et adaptée aux besoins de la simulation. Il est alors possible d'étudier la cinétique et l'intensité de l'usure sur les différentes phases de vol afin d'en déterminer les plus sévères.

Le second objectif fait écho au premier. Après avoir cerné la problématique de l'usure, l'optimisation des paramètres quasi-statiques de l'engrenage à voile mince est mise en place. Cette optimisation, basée sur la recherche d'une micro-géométrie idéale, a pour vocation de réduire les causes potentielles de ces avaries, notamment les surpressions de contact ou le facteur de grippage d'Almen. Le problème étant qualifié de complexe, l'algorithme MO-TRIBES d'optimisation multivariables et multicritères est mis en place. De nombreux exemples d'optimisation sont proposés afin d'améliorer le comportement de cet engrenage à voile mince : réduction des fluctuations des signaux d'erreur de transmission sous-charge, des pressions maximales de contact, des facteurs de grippage, en simple et en multi-objectifs. Le choix des corrections de denture et de leur forme est aussi abordé. Finalement, grâce à ce module d'optimisation, il est possible de réduire l'arrachement de matière afin d'allonger la durée de vie de l'engrenage.

Mots-clés : transmission de puissance, engrenages, quasi-statique, usure abrasive, avaries, loi d'Archard, cycles AMT, optimisation multi-objectifs, méta-heuristique, algorithme d'optimisation par essaim particulière, MO-TRIBES, corrections de denture, surface de correction.

Abstract

Powers transmissions are commonly used in many areas, including aeronautics. The studied system in this thesis is a helicopter gearbox. Its purpose is to transmit the power generated by the turbine engine to the main gearbox and to adapt the rotational speed of the input shaft. Aeronautical gears are light weight in order to maximize the power to weight ratio of the system. With thin rims, the mass of the system is reduced but its flexibility is increased. These types of gears, subjected to large number of revolutions and severe operating conditions, are more likely to be exposed to failures such as abrasive wear, scoring or micro-pitting.

The first objective of this PhD thesis is the understanding and the simulation of the abrasive wear process for spur and helical gears. The material removal calculation is based on the well-known Archard equation, adapted to lubricated contacts. During the different phases of flight (take-off, landing, hover flight), the specific working conditions change. Consequently, the quasi-static gearing behaviour, the lubrication and therefore the quantity of wear need to be adapted. To this end, a new methodology is proposed to accumulate wear depths over several and different working conditions. This methodology makes it possible to analyze the kinetics and the intensity of the abrasive wear process and deduce the most severe phases of flight.

The second goal echoes the first one. Following the identification of the problem of abrasive wear, a multi-objective optimization of the quasi-static behaviour of the thin rimmed gear is proposed. The goal of this optimization, based on the search of optimal tooth modifications, is to reduce potential sources of gear failures, in particular localized overpressures on tooth flanks or the Almen factor governing scuffing. Due to the complexity of the problem, a meta-heuristic multi-variable optimization algorithm (MO-TRIBES) is introduced. Multiple mono- and multi-objective gear optimization examples are provided in order to improve the quasi-static behaviour of the aeronautical gear : minimization of fluctuations of the transmission error under load, reduction of the maximal contact pressures, decrease of the scuffing risk factors. The ideal type of tooth modifications is discussed. Finally, by using the optimization module, the amount of wear is significantly reduced and a comfortable lifetime extension for the studied gear is provided.

Keywords : power transmission, gears, quasi-static, abrasive wear, gear failures, Archard's equation, AMT cycles, multi-objective optimization, metaheuristic, particle swarm optimization, MO-TRIBES, gear tooth modifications, topography modification.