

Title: Geometry and Mounting Optimization of Lightweight Gearbox Components

Abstract :

This thesis sets out to establish an efficient optimization framework, the objective of which is to enhance the lightweight properties of geared components while improving gearbox dynamics, all without significantly compromising static properties.

Our approach encompasses a comprehensive numerical methodology, which includes benchmarking various gear contact analysis software tools. This extensive benchmarking evaluates their suitability for simulating transmission systems under diverse conditions, encompassing different gear types, macro and micro geometry definitions, isolated or full gearbox models, with and without misalignment, and standard or lightweight gears. These analyses play a crucial role in identifying the most suitable numerical models for addressing this complex issue, as well as in assessing the impact of solid lightweight gears on transmission error excitation.

To provide a more precise assessment of the effects of lightweight gear components, we construct a simplified single-stage gearbox. Through convergence analyses, we vary numerous meshing and modal reduction settings to establish a higher fidelity model primed for the optimization process. The gear weight reduction is executed in two stages: initially, the gear web and rim thicknesses undergo variation in random combinations and are subjected to single-tooth contact analysis, accounting for the absence of geometrical non-linearities in the blank.

Our study delves into the introduction of holes in gear blanks, leading to fluctuations in excitation and necessitating a full-rotation analysis that factors in excitation by the sidebands. The creation of perforated blanks is facilitated through a CAD-integrated randomized gear blank generator, and a random forest-based sensitivity analysis is executed on a range of randomized samples. This analysis assesses the influence of parameters defining the statistical distribution of the pattern, primarily on the vibrations induced in the housing.

Leveraging insights gleaned from the sensitivity analysis and random pattern generation, we introduce a dual-level Particle Swarm Optimization process. The first stage optimizes rim and web thicknesses, followed by the second stage which focuses on hole optimization. This process is optimized in terms of the optimization parameters, as well as the analyses and metrics used to measure the speed and reliability of results.

Depending on the specific objectives, the implementation of this data-driven optimization scheme consistently accomplishes weight reduction in components while concurrently enhancing the dynamic performance of the gearbox.

Key words:

Transmission systems, Gear design, Sensitivity analysis, Geometry optimization

Titre : Optimisation de la Géométrie et du Montage de Composants de Boîtes de Vitesses Légères

Résumé :

Cette thèse a pour but d'établir un cadre d'optimisation visant à améliorer la légèreté des composants d'engrenage et la dynamique de la boîte de vitesses sans compromettre leurs propriétés statiques.

Notre approche comprend une méthodologie numérique complète, incluant l'évaluation de divers logiciels d'analyse de contact des engrenages. Cette analyse approfondie permet d'évaluer leur aptitude à simuler différents systèmes de transmission, y compris divers types d'engrenages, de géométries, de modèles de boîtes de vitesses, avec ou sans désalignement, et des engrenages standard ou légers. Ces analyses sont essentielles pour identifier les modèles numériques les plus adaptés à cette question complexe et évaluer l'impact des engrenages légers sur les erreurs de transmission.

Pour évaluer plus précisément les effets des composants légers des engrenages, nous construisons une boîte de vitesses simplifiée à un étage. En utilisant des analyses de convergence, nous ajustons divers paramètres d'engrènement et de réduction modale pour obtenir un modèle prêt pour l'optimisation. La réduction de poids est réalisée en deux étapes : d'abord, les épaisseurs de l'âme et de la couronne de l'engrenage sont modifiées de manière aléatoire et soumises à une analyse de contact dentaire, en prenant en compte l'absence de non-linéarités géométriques.

Notre étude explore également l'introduction de trous dans le corps de la roue, ce qui entraîne des variations dans l'excitation et nécessite une analyse de rotation complète tenant compte de l'excitation par les bandes latérales. La création d'engrenages perforées est facilitée par un générateur de corps d'engrenages aléatoires intégré à la CAO, suivi d'une analyse de sensibilité basée sur le principe de forêt aléatoire. Cette analyse évalue l'influence des paramètres de la distribution statistique du motif, principalement sur les vibrations dans le boîtier.

En utilisant les enseignements de l'analyse de sensibilité et de la génération de motifs aléatoires, nous mettons en place un processus d'optimisation par essaimage de particules à deux niveaux. La première étape optimise les épaisseurs de la jante et de l'âme, tandis que la seconde étape se concentre sur l'optimisation des trous. Ce processus est optimisé en termes de paramètres d'optimisation, ainsi que d'analyses et de mesures pour assurer la rapidité et la fiabilité des résultats.

En fonction des objectifs spécifiques, cette approche d'optimisation basée sur les données permet de réduire le poids des composants tout en améliorant les performances dynamiques de la boîte de vitesses.

Mots clés:

Systèmes de transmission, conception des engrenages, analyse de sensibilité, optimisation géométrique, légèreté, vibrations.

