

Abstract

Strategies for Optimizing the Tooth Root Load Capacity of High-Performance Gears

Keywords: planet gears, high-performance gearbox, tooth root load capacity, tooth root optimization, multi-objective optimization

In order to achieve greater efficiency, many modern applications such as geared turbofans require high-performance gearboxes with excellent reliability and low weight. The tooth root load capacity often is a limiting design criterion driving minimum face widths and hence the weight of gears. Consequently, strategies for optimizing the tooth root load capacity of gears are explored in this thesis.

Two methods for tooth root load capacity analysis – a maximum tensile stress method derived from ISO 6336 and a local fatigue approach taking into account mean stress influence – are introduced and compared to each other with respect to their applicability to optimization problems. A study with 2D finite element models of unidirectionally loaded sun gears reveals that the local fatigue analysis method should be preferred over the common approach of minimizing the maximum tooth root stress, since applying both methods as optimization targets results in different tooth root shapes and a vast overestimation of safety gains when only tensile stresses are considered.

Due to alternating loading, planet gears usually have a lower tooth root load capacity than other gears. Additionally, they are often designed with thin rims making the gear body lighter but also more elastic. Therefore, the tooth root shape of a thin-rimmed planet gear is optimized to explore possible interactions. The results show that overly thin rims negatively affect the maximization of tooth root safety. Hence, it is necessary to conduct multi-objective optimizations of planet gears, which maximize tooth root safety and minimize mass simultaneously by optimizing tooth root shape, rim geometry and face width. The efficacy of this approach is demonstrated for 3D gear simulation models of spur as well as double helical planet gears. Pareto-optimal designs show significant improvements compared to the baseline design. Moreover, investigations demonstrate the opportunity to vastly decrease the computational cost of multi-objective optimizations by scalarizing them and using the result to approximate parts of the Pareto front.

Kurzfassung

Strategien zur Zahnfußtragfähigkeitsoptimierung von Hochleistungsstirnrädern

Schlüsselwörter: Planetenräder, Hochleistungsgetriebe, Zahnfußtragfähigkeit, Zahnfußoptimierung, Mehrzieloptimierung

Viele moderne Anwendungen wie Getriebefans benötigen für weitere Effizienzsteigerungen ein Hochleistungsgetriebe mit höchster Betriebssicherheit und möglichst niedrigem Gewicht. Dabei ist die Zahnfußtragfähigkeit oft ein limitierendes Auslegungskriterium, das maßgeblich die Zahnbreite und folglich das Gewicht von Zahnradern bestimmt. Deshalb werden in der vorliegenden Arbeit Strategien zur Optimierung der Zahnfußtragfähigkeit von Stirnrädern erforscht.

Zwei Methoden zur Zahnfußtragfähigkeitsanalyse – eine von ISO 6336 abgeleitete Zugspannungsmethode und ein lokaler Festigkeitsansatz unter Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses – werden vorgestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf Optimierungen miteinander verglichen. Eine Untersuchung mit 2D FE-Modellen von Sonnenrädern zeigt, dass der lokale Ansatz gegenüber der Zugspannungsmethode zu bevorzugen ist. Die Anwendung beider Methoden für die Entwurfsevaluation in Optimierungen führt zu unterschiedlichen Zahnfußformen und zeigt eine deutliche Überschätzung der Sicherheitszuggewinne, wenn nur Zugspannungen berücksichtigt werden.

Aufgrund ihrer wechselseitigen Belastung ist die Zahnfußtragfähigkeit von Planetenrädern niedriger als bei anderen Stirnrädern. Zudem werden sie oft mit dünnen Zahnkränzen konstruiert, die den Radkörper leichter, aber auch elastischer machen. Entsprechend wird die Zahnfußform eines dünnkranzigen Planetenrads optimiert, um mögliche Wechselwirkungen zu untersuchen. Die Resultate zeigen, dass zu dünne Kränze die Zahnfußoptimierung negativ beeinflussen. Folglich ist es notwendig, eine Mehrzieloptimierung durchzuführen, die gleichzeitig Zahnfußsicherheit maximiert und Masse minimiert, indem Zahnfußform, Kranzgeometrie und Zahnbreite optimiert werden. Die Effektivität dieser Vorgehensweise wird mithilfe von 3D Simulationsmodellen geradverzahnter und doppeltschrägverzahnter Planetenräder nachgewiesen. Pareto-optimale Entwürfe weisen signifikante Verbesserungen im Vergleich zum Grunddesign auf. Zudem demonstrieren die Untersuchungen die Möglichkeit, den Rechenaufwand von Mehrzieloptimierungen durch Skalarisierung des Problems und anschließender Approximation von Teilen der Paretofront deutlich zu reduzieren.