

Kurzfassung

Im modernen Triebwerksbau repräsentieren Hochdruckverdichterlaufräder in integraler Bauweise den aktuellen Stand der Technik. Im Vergleich zum konventionellen gesteckten Schaufel-Scheibe-Verbund ist die Schaufelfuß-Scheibennut-Verbindung bei integralen Bauweisen nicht vorhanden, wodurch sich die wesentlichen Vorteile der Gewichtseinsparung und des höheren Wirkungsgrades ergeben. Diesen Vorteilen steht vor allem der Nachteil der geringen verbleibenden Material- und Strukturdämpfung entgegen. Um Schaufelüberlastungen infolge von aerodynamisch selbst- oder fremderregten Schwingungen im gesamten Betriebsbereich zu vermeiden, gewinnt die effiziente Bestimmung der aerodynamischen Dämpfung sowie der aerodynamischen Erregerkräfte bereits in frühen Entwicklungsphasen verstärkt an Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, einen automatisierten und effizienten Bewertungsprozess zu implementieren. Der Fokus liegt auf der Analyse des Einflusses von Entwurfsänderungen, basierend auf parametrisierten Schaufelblattbeschreibungen, und der Analyse der Auswirkungen von Fertigungsabweichungen, basierend auf optisch digitalisierten Realgeometrien, auf das aeromechanische und strukturelle Verhalten. Zunächst wird der Stand der Technik bezogen auf die Dynamik und die Aeroelastik von Turbomaschinenbeschaufelungen zusammengefasst. Anschließend wird der implementierte Bewertungsprozess detailliert vorgestellt. Darauf aufbauend wird anhand der Standardkonfiguration 10 sowie der Standardkonfiguration 11 und einer realen Verdichterstufe gezeigt, inwieweit der zeitlinearisierte Löser *Hydlin* zur Berechnung selbst- und fremderregter aerodynamischer Luftkräfte verwendet werden kann und ein Vergleich zu Ergebnissen des zeitgenauen Aeroelastiklösers *Au3D* gezogen. Abschließend werden die Ergebnisse von drei beispielhaften Analysen vorgestellt und diskutiert, welche mit dem implementierten Prozess durchgeführt werden können. Dazu zählen Sensitivitätsstudien bezüglich systematischer und zufälliger Variationen der geometrischen Parameter sowohl an einem vereinfachten Q3D-Mittelschnittmodell als auch am 3D-Modell eines realen integralen Verdichterrotors. Es wird ermittelt in welchem Maße sich Streuungen der geometrischen Parameter auf die aerodynamische Dämpfung, die aerodynamischen Erregerkraftamplitude und das Dauerbeanspruchungsniveau auswirken. Zudem wird der Einfluss von realen Fertigungsabweichungen auf wesentliche strukturmechanische, aerodynamische und aeroelastische Parameter untersucht und die Ermittlung wesentlicher dominanter Bestandteile mittels Hauptkomponentenanalyse aus den optisch gemessenen Abweichungen erläutert.

Abstract

The application of high pressure compressor rotors manufactured as integral rotors represents the state of art in modern jet engine designs. In comparison to the conventional design of a bladed disk assembly the connection between blade root and disk groove is not present anymore in integral structures, which leads to the major advantages of reduced weight and increased efficiency. The major disadvantage that comes along with the integral rotor design is the small remaining amount of material damping due to the loss of structural damping. To avoid an overload of the blades caused by both, aerodynamically self-induced and forced vibrations in the whole range of operation, the efficient estimation of aerodynamic damping and forces becomes more and more important already in early phases of the development process.

The present work aims at the implementation of an automatized and efficient assessment process. On the one hand the focus is on the analysis of the influence of design changes, based on parameterized blade definitions. On the other hand the effect of manufacturing deviations, based on optical digitalized real geometries, on structural mechanics and aeromechanics is analysed. First off all the state of the art regarding the dynamics and aeroelastics of turbomachine blading is summarized. After that the implemented assessment process is explained in detail. Subsequently it is shown on the basis of the standard configuration 10 and the standard configuration 11 as well as a real compressor stage, to what extend the time-linearized flow solver *Hydlin* can be used to calculate self-induced and forced aerodynamic excitation forces. Regarding the evaluation of the efficiency and the quality of the time-linearized flow solver a comparison to the time-accurate aeroelastic solver *Au3D* is presented. Finally the results of three exemplary analyses are presented and discussed, that can be performed using the implemented assessment process. In particular sensitivity studies regarding systematical and random variations of the geometrical parameters of a simplified Q3D-midsection model as well as a 3D-model of a real integral compressor rotor are considered. It is analysed to what extend variations of geometrical parameters affect the aerodynamic damping, the amplitudes of external aerodynamic forces and the endurance ratio. In addition the impact of real manufacturing deviations on essential structural, aerodynamic and aeroelastic parameters is analysed and the assessment of principal components based on optical measured manufacturing deviations is explained.