

Ein Beitrag zur schwingungssicheren Auslegung von radialen Turbomaschinen mit Fokus auf Mistuning und Dämpfung

Radiale Turbinen- und Verdichterräder bilden hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Effizienz und insbesondere Umweltverträglichkeit essenzielle Eckpfeiler moderner Verbrennungskraftmaschinen. Sie repräsentieren in vielfältigen technischen Anwendungen den Stand der Technik. Umweltrelevante Aspekte beeinflussen die Entwicklung der Verbrennungsmotoren und treiben somit die Entwicklung der Abgasaufladung voran. Im Allgemeinen sind hierfür besonders hohe Druckverhältnisse erforderlich, die die Struktur erheblich belasten.

Die hohen aerodynamischen Ansprüche erfordern filigrane Schaufelgeometrien. Immer dünnere Schaufeln, in Verbindung mit der geringen mechanischen Dämpfung infolge der Integralbauweise erschweren die schwingungssichere Auslegung von Turbomaschinen. Kleinste Imperfektionen, die bereits während der Fertigung entstehen, dominieren das dynamische Verhalten realer Komponenten. Die Abweichung vom ursprünglichen Design wird als Verstimmung (engl. Mistuning) bezeichnet. Die weitgehend zufällige Verstimmung reduziert die Lebensdauer der Komponenten, die durch Fliehkraft, Strömungsumlenkung, instationäre Druckschwankungen der Strömung sowie Temperaturgradienten dauerhaft hoch belastet sind.

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Beschreibung des Strukturverhaltens radialer Laufräder. Der Fokus der Arbeit liegt auf der Beschreibung der Radialturbine des Typs MAN TCR 18. Zusätzlich werden die Erkenntnisse dieses Laufrades mit weiteren radialen Laufrädern verglichen. Auf Grundlage von Messdaten, numerischen Berechnungsmodellen und Simulationsergebnissen gelingt es schließlich einen Leitfaden zur schwingungssicheren Auslegung von radialen Turbomaschinen mit dem Fokus auf Mistuning und Dämpfung bereitzustellen.

Die Arbeit kommt zu dem Schluss, dass die erzwungene Schwingungsantwort mithilfe der gezielten Schaufelverstimmung signifikant gesenkt werden kann.

A Contribution to the Vibration-Resistant Design of Radial Turbomachinery with Focus on Mistuning and Damping

Radial turbine and compressor wheels are significant components of modern internal combustion engines concerning economy, efficiency and, in particular, environmental compatibility. Environmentally relevant aspects influence the development of combustion engines and thus drive the development of exhaust gas charging. In general, this will require particularly high-pressure ratios, which lead to a highly loaded structure.

The high aerodynamic load requires filigree blade geometries. Thinner blades combined with low mechanical damping due to the integral design make the safety design of turbomachinery regarding vibration more difficult. The smallest imperfections, which already occur during production, dominate the dynamic behavior of real components. Deviations from the original design are known as mistuning. The mostly random detuning reduces the operational lifetime of the components, which are permanently highly stressed by centrifugal force, flow deflection, transient pressure fluctuations as well as temperature gradients.

This paper dedicates the description of the structural behavior of radial impellers. The focus of the work is on the description of the MAN TCR 18 radial turbine. Also, the findings of this

impeller are compared to other radial impellers. By measurement data, numerical calculation models and simulation results, it is finally possible to provide a guideline for the vibration-proof design of radial turbomachinery with a focus on mistuning and damping.

The thesis concludes that an intentional mistuning pattern can reduce the forced vibration response.