

Titel – englisch:

Numerical Models for the Vibration Response of High Pressure Compressor Rotors with Validation for Forced Response and Surge

Titel – deutsch:

Numerische Modelle für das Schwingungsverhalten von Hochdruckverdichterrotoren mit einer Validierung für Erzwungene Schwingungen und Verdichterpumpen

Kurzfassung – englisch

The following dissertation contributes to the numerical modelling of the vibration response of integral real high pressure compressor rotor blades. It aims to validate the chosen modelling techniques with available measurement data and to demonstrate its capability for industrial applications. In detail the present dissertation investigates two different scenarios of blade excitation. Within the first scenario the predicted blade response of an integral bladed rotor is compared to measurements with focus on the blade mistuning problem. The second scenario deals with vibration response of compressor rotor blades due to surge of a transonic high pressure compressor.

For the modelling purpose of the aeroelastic interaction a loose coupling technique is selected with a separate structural and flow model. The chosen structural model is based on the modal reduction technique published by Yang and Griffin, called subset of nominal system modes. The high accuracy of the model when reducing finite element models is discussed. It is shown, that the reduction algorithm is limited to mistuned modeshapes that can be expressed by a superposition of the tuned modeshapes of the rotor. The 3D Finite Volume Code AU3D, developed at Imperial College London, is used to model the steady and unsteady flow field. The flow solver is utilised to derive the external and motion induced aerodynamic forces for both investigated scenarios. To reduce the numerical effort an additional 1D flow solver is developed that allows the surge frequency and impulse loads for the compressor to be computed.

The presented comparisons between measured and predicted vibration responses for the integral resonance passing are in a high agreement. The remaining deviations are within the measurement accuracy. In addition, it is demonstrated that the applied model can also be used for model identification purposes from measurement data. It is found that the investigated surge can qualitatively be well explained by the impulse loads that are generated due to the fast change of the aerodynamic loads. The predicted vibration levels are quantitatively and qualitatively in good agreement to the measured data. It is shown that further analysis is required to understand the considerable scatter in vibration response of successive surge cycles.

Kurzfassung – deutsch:

Die vorliegende Dissertation umfasst die numerische Modellbildung des Schwingungsverhaltens von realen Hochdruckverdichterrotoren in integraler Bauweise. Die Arbeit zielt im Besonderen darauf ab, die eingesetzten Modellierungsstrategien im Hinblick auf Messdaten kritisch zu beurteilen und deren Einsatzfähigkeit für das industrielle Umfeld entsprechend nachzuweisen. Im Detail behandelt die vorliegende Arbeit zwei unterschiedliche Anregungsszenarien. Im ersten Szenario wird die vorhergesagte Schwingungsantwort von Hochdruckverdichterrotoren auf integrale Anregungen mit Fokus auf die Verstimmungsproblematik beleuchtet. Das zweite Szenario umfasst die Schwingungsantwort von Verdichterrotoren auf einen Pumpstoß in einem transsonischen Hochdruckverdichterprüfstand.

Für die Darstellung der aeroelastischen Wechselwirkung wird eine schwache Kopplung bestehend aus einem separaten Struktur- und Strömungsmodell gewählt. Das eingesetzte Strukturmodell basiert auf dem modalen Reduktionsansatz subset of nominal system modes von Yang und Griffin.

Die hohe Genauigkeit des gewählten Modells bei der Reduktion von FE-Modellen wird diskutiert. Dabei wird dargestellt, dass der Reduktionsansatz nur Gültigkeit besitzt, solange die Eigenmoden des verstimzten Systems sich als Superposition der unverstimzten Moden darstellen lassen. Zur Berechnung der stationären und instationären Strömung findet der 3D Finite Volumen Löser AU3D Verwendung, der am Imperial College in London entwickelt wurde. Es werden sowohl die bewegungsinduzierten als auch die externen Luftkräfte für beide untersuchten Szenarien ermittelt. Im Sinne der Modellreduktion wird zusätzlich ein 1D Finite Volumen Löser entwickelt, der es erlaubt die Impulslasten während eines Pumpstoßes sowie die Pumpfrequenz für einen Verdichter zu ermitteln.

Die gezeigten Vergleiche zwischen gemessenen und berechneten Schwingungsantworten für die integrale Resonanzantwort zeigen hohe Übereinstimmungen. Die auftretenden Abweichungen befinden sich innerhalb der Messgenauigkeit. Ebenso wird dargestellt, dass das verwendete Modell genutzt werden kann, um an die aufgezeichneten Messdaten angepasst zu werden. Der untersuchte Pumpstoß kann qualitativ sehr gut mit einer Impulsantwort der Struktur auf die schnellwechselnde aerodynamische Last erklärt werden. Quantitativ und qualitativ sind die vorhergesagten Schwingungsamplituden in guter Übereinstimmung zu den Messdaten. Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere die starke Varianz der gemessenen Schwingungsantworten zwischen den einzelnen Pumpstößen zukünftig weiterführende Analysen erfordert.