



Masterarbeit

Untersuchungen zur Auswirkung von Materialinhomogenitäten und -fehlern auf das Schwingungsverhalten von Strukturen

(engl.: „Studies on the effect of material inhomogeneities and defects on structural vibration“)

Verdichter- und Turbinenlaufräder werden für einige Anwendungsbereiche oftmals integral gefertigt. Dabei wird im Gegensatz zur konventionellen Bauweise das gesamte Laufrad aus einem Stück gefräst bzw. gegossen, womit eine Montage der einzelnen Schaufeln an den Scheibenkörper vollständig entfällt. Auf Grund dieser fehlenden formschlüssigen Verbindung weisen diese sogenannten Blade Integrated Disks (Blisks) jedoch ein stark verringertes Dämpfungsniveau auf, da Reibeffekte am Schaufelfuß entfallen und die alleinwirkende Strukturdämpfung des Materials sehr gering ist. Zudem sieht man sich während des Betriebs infolge Mistunings mit Überhöhungen der Schwingungsamplituden gegenüber der Designidee mit identischen Schaufeln konfrontiert. In Kombination mit der geringen Dämpfung können sich diese negativen Auswirkungen zusätzlich verstärken. Die damit einhergehenden überhöhten Spannungen können teilweise über der Bauteilfestigkeit liegen, sodass es zu Beschädigungen, im schlimmsten Fall jedoch auch zu einem Bauteilversagen kommen kann.

Die Ursachen für Mistuning liegen einerseits in den geometrischen Fertigungsabweichungen, welche sich beim Fräsen bzw. Gießen des Bauteils ergeben, und somit in unterschiedlich stark schwingende Schaufeln resultieren. Aber auch Materialinhomogenitäten und Gefügefehler in Form von Lunkern, Rissen und Poren tragen vermutlich maßgeblich zu einem abweichenden dynamischen Verhalten des Bauteils bei.

Da die Erfassung geometrischen Mistunings mittels optischer Messtechnik verhältnismäßig einfach umzusetzen ist, wurden diesbezüglich bereits weitreichende Untersuchungen und Simulationen durchgeführt. Die Ursachen für Mistuning auf Grund von Materialinhomogenitäten und -fehlern sind in der Regel nur mit zerstörungsfreier (z.B. Röntgen) oder gegebenenfalls zerstörender Werkstoffprüfung durchführbar. Diese verhältnismäßig aufwendigen Verfahren sind nicht immer anwendbar und teilweise kostspielig. Im Rahmen dieser Masterarbeit soll mittels numerischer Methoden der generelle Einfluss sowie der relative Anteil von Materialinhomogenitäten und -fehlern am gesamten Mistuning untersucht werden.

Im Einzelnen sind folgende Punkte zu bearbeiten:

1. Erstellung einer Gliederung des Vorgehens und eines Zeitplans zur Durchführung der Masterarbeit.
2. Einarbeitung und Literaturstudium zu den folgenden Themen:
 - Numerische Simulation mittels FEM
 - Besonderheiten des Schwingungsverhaltens zyklisch symmetrischer Strukturen und Auswirkungen von Mistuning



- Ursachen und Ausmaß von Materialinhomogenitäten und -fehlern in Abhängigkeit von verschiedenen Fertigungsverfahren und deren Auswirkungen auf strukturdynamische Größen
- 3. Methodenentwicklung: Entwicklung einer Vorgehensweise/Routine zur realitätsnahen und zufälligen Einbringung verschiedener Materialinhomogenitäten und -fehler (Poren, Lunker etc.) in das Simulationsmodell
- 4. Numerische Studie: Untersuchung des Einflusses von Materialinhomogenitäten/ -fehlern auf modale Parameter (Eigenfrequenz, Eigenform) und Vergleich mit fehlerfreier Referenzgeometrie mittels FEM anhand:
 - a) eines Balkens
 - b) einer Platte
 - c) einer generischen Blisk
- 5. Kombination von Mistuning in Form von geometrischen Abweichungen sowie Materialinhomogenitäten/-fehlern zur Identifikation der jeweiligen Anteile an der Gesamtverformung.
- 6. Diskussion und Dokumentation der Ergebnisse in Schriftform.

Literaturempfehlung:

- [1] Hasse, S. *Guß- und Gefügefehler. Erkennung, Deutung und Vermeidung von Guß- und Gefügefehlern bei der Erzeugung von gegossenen Komponenten*. Berlin: Schiele und Schön, 1999.
- [2] Klein, B. *FEM. Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau*. 10., verbesserte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [3] Knothe, W.; Wessels, H. *Finite Elemente. Eine Einführung für Ingenieure*. 5. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, 2017.
- [4] Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L. *The Finite Element Method. Volume 1: The Basis*. 5th Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [5] Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L. *The Finite Element Method. Volume 2: Solid Mechanics*. 5th Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.

Bearbeitungszeitraum: SoSe 2023

Betreuer: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Beirow / M.Sc. Alex Nakos