

Modellierung und Beurteilung des thermischen und dynamischen Verhaltens einer Werkzeugspindel

Studiengang: BSc in Maschinentechnik

Betreuer: Prof. Roland Rombach

Experte: Dr. Armin Heger

Industriepartner: FISCHER AG Präzisionsspindeln, Herzogenbuchsee

Steigende Herausforderungen für die Werkzeugmaschinenindustrie in der Effizienz und Präzision zwingen die Hersteller zur Optimierung ihrer Produkte. Die FISCHER AG Präzisionsspindeln entwickelt und produziert Spindeln für High-Speed-Cutting (HSC) und High-Performance-Cutting (HPC) Applikationen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine numerische Analyse einer Werkzeugspindel basierend auf einer Gesamtsystembetrachtung durchgeführt.

Ausgangslage

Eine Werkzeugspindel dient zur Aufnahme und Rotation von Werkzeugen und wird in Werkzeugmaschinen zur Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt. Das Spindelverhalten ist primär ein Resultat aus der Interaktion zwischen dem thermischen und dynamischen Verhalten der Spindel. Das thermische Verhalten wird durch die im System entstehenden Verlustleistungen und der in den Kühlkanälen abgeführten Wärme beeinflusst. Das dynamische Verhalten resultiert aus der Rotation und den vorhandenen Lagersteifigkeiten. Zusätzlich wird die Spindel dynamisch durch äussere Belastungen (in Form von Bearbeitungskräften oder Beschleunigungen) und durch die Rotorunwucht angeregt. Die Kopplung Thermo-Mechanik und Rotordynamik besteht durch die Verlustleistungen. Die Verlustleistungen sind ein Resultat aus den Kontaktkräften der jeweiligen Lager, welche sich durch thermische Dehnungs- und Bearbeitungslasten verändern. So entsteht ein gekoppeltes System zwischen der Thermomechanik und Rotordynamik (Abb. 1). Durch eine gekoppelte Gesamtsystembetrachtung können Optimierungen des Systems auf Systembasis durchgeführt werden und Auswirkungen von Einflussgrössen auf das Gesamtverhalten der Spindel erfasst werden.

Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit ist das thermo-mechanische und dynamische Spindelverhalten im Rahmen einer Fallstudie mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM) zu berechnen. Die FE-Modelle sind mit semi-analytischen

Modellen, welche in der vorgängigen Projektarbeit erarbeitet wurden, plausibilisiert und durch Messungen validiert.

Vorgehen

Die in der PA erarbeiteten Grundkenntnisse zu den Subsystemen einer Werkzeugspindel und die semi-analytischen Modelle dienten als Basis für die Bachelor-Thesis. In einem ersten Schritt wurden die semi-analytischen Modelle aufgearbeitet und gekoppelt. In einem zweiten Schritt folgten die FEM-Modelle:

- **Computational-Fluid-Dynamics (CFD)**-Modell zur Simulation des Strömungsverhaltens,
- ein **thermisch-stationäres-Modell** zur Simulation des Temperaturfeldes,
- ein **statisch-mechanisches-Modell** zur Simulation der Verformungen unter Rotations- und thermischer Last,
- eine **Modalanalyse**, womit die Eigenfrequenzen und Eigenmode bei einer bestimmten Drehzahl ermittelt werden und
- eine **voll-harmonische Analyse** zur Berechnung des Frequenzganges bei einer bestimmten Anregung.

In einem nächsten Schritt wurden die Modelle miteinander gekoppelt und mit den Messungen verglichen.



Adnan Rustemi

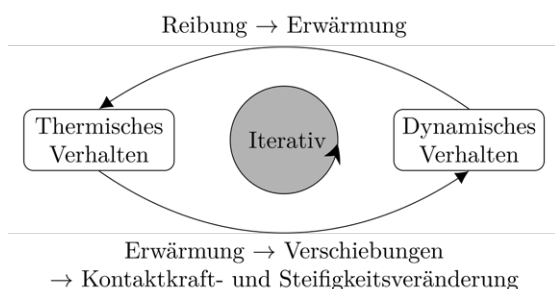


Abb. 1: Darstellung der Interaktion zwischen dem thermischen und rotordynamischen Verhalten einer Spindel.

Ergebnisse

Durch die Simulation konnte aufgezeigt werden, welche Wärmeverluste in welchem Bereich der Spindel den grössten Einfluss haben und wie sich die thermische Last und Rotationsgeschwindigkeit auf die Lagersteifigkeiten auswirken. Messungen und Berechnungen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung bei den Temperaturen. Die Arbeit liefert eine gute Basis für weitere Analysen in Spezialgebieten. Die Erarbeitung der Kopplung zwischen dem thermischen und mechanischen Modell kann für andere Applikationen verwendet werden, womit für die FISCHER AG ein effizienter Berechnungsprozess ermöglicht wird.