

## **Bibliografische Beschreibung**

Gleich, Sven:

Simulation des thermischen Verhaltens spanender Werkzeugmaschinen in der Entwurfsphase

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 2008.

163	Seiten
52	Abbildungen
20	Tabellen
5	Anlagen
89	Quellen

## **Referat**

Steigende Anforderungen an die Genauigkeit von Werkzeugmaschinen sind nicht mehr allein durch die Verbesserung des statischen und dynamischen Verhaltens zu erfüllen. Die Simulation des thermischen Verhaltens kann bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung entscheidende Hinweise zur Gestaltung des Maschinenentwurfes geben. Die Arbeit beschreibt die Methodik und Umsetzung eines Simulationswerkzeuges aufbauend auf Programmen der Finite-Elemente-Analyse. Neben der Modellierung von Antriebs- und Gestellkomponenten wird auf deren Kopplung eingegangen. Thermische Lasten durch Hauptantrieb, Nebenantrieb und Zerspanungsprozess werden dargestellt. Mit der Berücksichtigung konvektiver Randbedingungen als funktionaler Zusammenhang wird die Genauigkeit der Simulation gesteigert. Möglichkeiten zur Abbildung von Aufstellbedingungen und Temperaturschwankungen der Umgebung werden aufgezeigt. Hinweise zur Einbindung von thermischen Kompensationsmaßnahmen runden das Konzept ab. Anhand eines Demonstrators werden der theoretische und praktische Nachweis der Funktionsfähigkeit erbracht.

## **Schlagworte**

spanende Werkzeugmaschine, thermisches Verhalten, Finite-Elemente-Simulation, Simulationswerkzeug

## **Bibliographic Notes**

Gleich, Sven:

Simulation of the thermal behavior of cutting machine tools during the conceptual stage

Doctoral thesis at the Faculty of Machine Engineering at Chemnitz University of Technology, Institute of Machine Tools and Production Processes, Chemnitz, Germany, 2008.

163 pages  
52 figures  
20 tables  
5 appendices  
89 references

## **Abstract**

Greater demands in the accuracy of machine tools can no longer be achieved by improved static and dynamic functions alone. The simulation of thermal behavior can provide essential information for the machine's design concept at the earliest stages of product development. This thesis describes methodology and implementation of a simulation tool, based on software utilizing finite element analysis. In addition to the modeling of drives and base components, the work focuses on coupling different sub-components. Heat sources of the main drive, feed drives and cutting process are described. Greater accuracy is obtained by the implementation of convection as a functional process in the simulation. Methods of implementing working area conditions and temperature deviations in the environment are illustrated. Finally, steps for incorporation of a thermal compensation mechanism are included to complete the concept. The workflow applied to a demonstration structure validates the theoretical background and demonstrates the functionality of the thesis.

## **Keywords**

cutting machine tool, thermal behavior, finite element analysis, simulation tool

## Библиографическое описание

Gleich, Sven:

Моделирование температурных характеристик металлорежущих станков на этапе разработки

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, факультет машиностроения технического университета г. Кемниц, кафедра станков и производственных процессов, Кемниц, 2008.

163	страниц
52	иллюстрации
20	таблиц
5	Приложении
89	первоисточников

## Реферат

В настоящее время растущие требования к точности металлорежущих станков обеспечиваются не только улучшением их статических и динамических параметров. Моделирование температурных характеристик на ранних стадиях проектирования может задать определяющее направление для всего процесса разработки и производства металлорежущего станка. Данная работа описывает методику и реализацию средств симуляции, основанных на программе анализа конечных элементов. Кроме моделирования звеньев привода и неподвижных звеньев станка на них также наложены связи. Показаны температурные воздействия от главного и вспомогательного приводов, а также непосредственно от самого процесса резания. Введение учета конвекционных граничных условий как функциональной связи улучшает точность моделирования. Представлены способы для отображения начальных условий и температурных изменений среды. Концепцию завершают указания для учета термокомпенсации. Изложены доказательства теоретической и практической применимости.

## Ключевые слова

металлорежущие станки, температурные характеристики, конечно-элементное моделирование, средства симуляции

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>Kurzzeichenverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse</b>	<b>3</b>
2.1 Thermisches Verhalten von Werkzeugmaschinen . . . . .	3
2.2 Entwurfssysteme zur thermischen Simulation von Werkzeugmaschinen . .	6
2.3 Thermische Simulation von Baugruppen und Maschinen . . . . .	7
<b>3 Defizite und Zielsetzung</b>	<b>11</b>
<b>4 Entwicklung eines Simulationsbaukastens</b>	<b>15</b>
4.1 Grundlagen und Abgrenzung des Arbeitsgebietes . . . . .	15
4.1.1 Abgrenzung . . . . .	15
4.1.2 Wärmeübertragung . . . . .	15
4.1.3 Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften und Kennzahlen	19
4.1.4 Finite-Elemente-Methode . . . . .	23
4.2 Konzept . . . . .	27
4.3 Umsetzung . . . . .	30
4.3.1 Geometrie Komponenten des Maschinenentwurfes . . . . .	30
4.3.2 Management der Komponenten . . . . .	36
4.3.3 Thermische Randbedingungen und Lasten . . . . .	40
4.4 Zusammenfassung zum Simulationsbaukasten . . . . .	60
<b>5 Demonstrator</b>	<b>63</b>
5.1 Simulation . . . . .	63
5.1.1 Analyse und geometrischer Aufbau . . . . .	63
5.1.2 Kopplung der Komponenten . . . . .	64
5.1.3 Ersatzwärmeleitwerte . . . . .	66
5.1.4 Bewegungskopplung . . . . .	68
5.1.5 Zustandsabhängige Randbedingungen . . . . .	69
5.1.6 Lösungsschritt mit Lastzyklus und Randbedingungen . . . . .	70
5.1.7 Durchführung und Ergebnisse . . . . .	73
5.1.8 Berechnung der thermischen Deformation . . . . .	75
5.2 Experimentelle Untersuchung . . . . .	79
5.2.1 Versuchsplanung . . . . .	79

5.2.2	Versuchsdurchführung und Ergebnisse . . . . .	83
5.2.3	Fehlerabschätzung . . . . .	85
5.3	Vergleich zwischen Simulation und Experiment . . . . .	85
5.4	Empfindlichkeitsanalyse des Simulationsmodells . . . . .	88
5.4.1	Varierte Parameter und Randbedingungen . . . . .	88
5.4.2	Ergebnisse im Vergleich . . . . .	89
5.5	Wirkung eines detaillierten Bewegungszyklus für den Kugelgewindetrieb . . . . .	89
5.6	Verwendung von Superelementen . . . . .	91
5.6.1	Grundlegendes Vorgehen . . . . .	91
5.6.2	Integration, Vergleich und Ergebnis . . . . .	93
<b>6</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse der Arbeit</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>101</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>113</b>
A.1	Unterprogramme des Simulationsbaukastens . . . . .	115
A.2	Schema zur automatischen Zuweisung der Konvektionsart . . . . .	129
A.3	Berechnung der Wärmedurchgangszahlen für den Demonstrator . . . . .	130
A.3.1	Wälzlager im Festlager des Kugelgewindetriebes . . . . .	130
A.3.2	Wälzlager im Loslager des Kugelgewindetriebes . . . . .	130
A.3.3	Paarung Spindelmutter – Gewindespindel des Kugelgewindetriebes . . . . .	131
A.4	Simulationsskript des Demonstrators . . . . .	133
A.5	Beispiel zur Definition der Funktion einer konvektiven Randbedingung . . . . .	138