

## ***Bibliografische Beschreibung***

Ihlenfeldt, Steffen:

Redundante Werkzeugmaschinenstruktur für die Komplettbearbeitung im Großwerkzeugbau – Modellbasierter Systementwurf und Prototyp

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse IWP, 2012

159 Seiten

100 Abbildungen

53 Tabellen

125 Literaturzitate

Referat:

Gegenstand der Arbeit sind wissenschaftlich-technische Untersuchungen zum mechatronischen Gesamtentwurf von Technologie und Maschine bei redundanten Achsen in Werkzeugmaschinen für den Großwerkzeugbau. Es wird eine Lösung beschrieben, mit der auf die unterschiedlichen Anforderungen nicht durch unterschiedliche Technologiemodule, sondern durch gezielte Nutzung der Möglichkeiten eines redundanten Systems reagiert wird. Systematische Untersuchungen führen zu einem Konzept, bestehend aus einer antriebsredundanten Parallelkinematik (Scherenkinematik) und einem seriellen, kinematisch redundanten Maschinenaufbau, der den großen Arbeitsraum einer seriellen Kinematik mit der hohen Dynamik von Parallelstrukturen verbindet und die Möglichkeit der elektronischen Verspannung bietet, die eine Spielfreiheit und einstellbare Gesamtsteifigkeit ermöglicht. Damit wird diese Maschine den Forderungen nach Wandelbarkeit und Agilität gerecht. Ergebnis ist der Nachweis der Anwendbarkeit des untersuchten Aufbaus als Komplettbearbeitungsmaschine für den Werkzeugbau. Die vorgestellte Lösung ist prinzipiell auf alle GroßteilmBearbeitungsmaschinen übertragbar. Für den Entwurf alternativer Maschinenlösungen für andere Technologiebereiche werden eine abgeleitete Entwicklungsmethode und die notwendigen Entwurfswerkzeuge zur Verfügung gestellt und Handlungsempfehlungen gegeben.

Schlagworte:

Werkzeugmaschine; Werkzeugbau; Redundanz; Parallelkinematik; Systementwurf; Mechatronik

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>11</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>15</b>
2.1 Übersicht	15
2.2 Bauweisen von GroßteilmBearbeitungsmaschinen	15
2.3 Zukunftsstrategien für Maschinen zur GroßteilmBearbeitung	20
2.3.1 Kleine Maschinen für große Werkstücke	20
2.3.2 Einsatz mechatronischer Komponenten	22
2.3.3 Agile und wandlungsfähige Fertigungssysteme	23
2.3.4 Multifunktionale Bearbeitungsmaschinen	26
2.3.5 Bearbeitungsmaschine mit redundanten Antrieben	26
2.4 Fazit	36
<b>3 Zielstellung und Vorgehensweise</b>	<b>39</b>
<b>4 Voruntersuchung und Konzeptfindung</b>	<b>43</b>
4.1 Übersicht	43
4.2 Ermittlung der Anforderungen	44
4.2.1 Handlungsfelder für den Werkzeugbau	44
4.2.1.1 Mechanische Bearbeitung Schruppen	44
4.2.1.2 Mechanische Bearbeitung Schlichten	45
4.2.1.3 Fertigungskonzepte im Werkzeugbau	45
4.3 Ableitung der Anforderungen an das neue Maschinenkonzept	47
4.3.1 Analyse der Gesamtbearbeitungszeit	47
4.3.2 Vergleichskonzept	49
4.3.3 Einfluss der Maschinendynamik auf die Hauptzeitanteile	49
4.3.4 Einfluss der Maschinendynamik auf die Nebenzeitanteile	57

4.4	Topologieanalyse der Gesamtmaschine	61
4.4.1	Übersicht	61
4.4.2	Ableitung des kinematischen Schemas	62
4.4.2.1	Einführung eines allgemeinen Beschreibungssystems	62
4.4.2.2	Integrationsmöglichkeiten und Entscheidungsregeln für die additive Kinematik	63
4.4.2.3	Beispielhafte Anwendung des Auswahlschemas	65
4.4.3	Maschinendynamische Zusammenhänge zur Bestimmung der additiven Kinematik	66
4.4.4	Festlegung des Technologiemoduls für die Komplettbearbeitung	68
4.4.5	Ermittlung der geeigneten Topologie	74
4.5	Struktursynthese für die additive Kinematik	74
4.5.1	Übersicht	74
4.5.2	Serielle Strukturen	76
4.5.3	Parallelstrukturen	76
4.5.4	Auswahl der Vorzugslösung	78
4.6	Kinematische Gesamtstruktur	79
<b>5</b>	<b>Konstruktive Gestaltung des Prototyps einer redundanten Werkzeugmaschine</b>	<b>83</b>
5.1	Übersicht	83
5.2	Grundlegende Modelle	84
5.2.1	Beschreibung des Systems	84
5.2.2	Kinematik und Starrkörperdynamik	86
5.2.2.1	Modell der Vorwärtskinematik und Vorwärtsstatik	86
5.2.2.2	Dynamisches Modell	88
5.2.3	Mechatronisches Modell	97
5.2.4	Modell zur Fehlerübertragung – Sensitivitätsanalyse	98

---

5.2.5	Anwendung auf die zu untersuchende Kinematik	101
5.2.5.1	Auswirkungen der Fehler der Parameter	101
5.2.5.2	Bestimmung der maximal zulässigen Parameterabweichungen bei einzuhaltendem Positionsfehler	102
5.3	Gestaltung prozessangepasster Komponenten	103
5.3.1	Beschreibung der Experimentalmaschine	103
5.3.2	Maßsynthese der Scherenkinematik	105
5.3.2.1	Festlegung des Bewegungsraums der Scherenkinematik	105
5.3.2.2	Festlegung der Koppellängen	107
5.3.2.3	Untersuchungen zur Koppelanordnung	108
5.3.2.4	Fehleranalyse	111
5.3.3	Gestaltung der Gelenke	114
5.3.4	Gestaltung der Koppeln	116
5.3.5	Gestaltung des Führungsrahmens	118
5.4	Dimensionierung der Antriebe	120
5.5	Untersuchung des Gesamtkonzeptes	127
<b>6</b>	<b>Umsetzung und Validierung</b>	<b>135</b>
6.1	Übersicht	135
6.2	Modulare Steuerungsstruktur für redundante Achsen	136
6.2.1	Anforderungen an die Steuerung	136
6.2.2	Transformationsmodul	137
6.2.3	Sicheres Einhalten von Ruck- und Beschleunigungsgrenzwerten	138
6.2.4	Überwachung der Maschinenpositionen	139
6.3	Algorithmen zur Bewegungsaufteilung	139
6.3.1	Problemstellung	139
6.3.2	Theorien zur Lösung des Problems	139
6.3.3	Implementierung der Bewegungsaufteilung	143

---

6.4	Entwicklung einer angepassten Regelungsstruktur	147
6.4.1	Problemstellung	147
6.4.2	Theorien zur Lösung des Problems	148
6.4.3	Implementierung der Regelungsstrategie	149
6.5	Erarbeitung eines Genauigkeitskonzeptes	154
6.6	Statische und Maschinendynamische Untersuchungen	160
6.6.1	Vorgehensweise	160
6.6.2.	Statische Untersuchungen	160
6.6.3	Maschinendynamische Untersuchungen in X-Richtung	161
6.6.4	Maschinendynamische Untersuchungen in Y-Richtung	164
6.6.5	Maschinendynamische Untersuchungen in Z-Richtung	167
6.6.6	Zusammenfassung	169
6.7	Technologische Untersuchungen	170
6.7.1	Schichten	170
6.7.1.1	Vergleich verschiedener Strategien zur Bewegungsaufteilung	170
6.7.1.2	Vergleich der Prototypmaschine mit einer Referenzmaschine	171
6.7.1.3	Grenzen der Steigerung der Vorschubdynamik	172
6.7.2	HPC Bearbeitung	173
6.8	Beurteilung der Einsatzfähigkeit des untersuchten Konzeptes für die Komplettbearbeitung	174
<b>7</b>	<b>Entwicklungsmethode</b>	<b>177</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>185</b>
	<b>Literatur</b>	<b>189</b>