

Inhaltsverzeichnis

Content

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik in Forschung und Industrie	5
2.1 Wesentliche Komponenten einer Fräsmaschine	5
2.2 Schwingungserscheinungen an Werkzeugmaschinen	6
2.3 Modellierung des Fräsprozesses	10
2.3.1 Berechnung der Zerspankraft	10
2.3.2 Beschreibung der Werkzeug-Werkstück-Durchdringung	13
2.3.3 Spannungsdickenmodulation während des Fräsprozesses	14
2.4 Modelle zur Beschreibung der Strukturdynamik	15
2.4.1 Modale Transformation	16
2.4.2 LAPLACE- und FOURIER-Transformation	19
2.4.3 Modale Superposition	21
2.4.4 Modalanalyse	23
2.4.5 Berechnungen im Zeitbereich	25
2.4.6 Messung von Nachgiebigkeitsfrequenzgängen	29
2.4.7 Vergleich von Schwingungsmoden und Frequenzgängen	36
2.5 Grundlagen der Substrukturkopplung	38
2.5.1 Reduktionsmethoden	38
2.5.2 Kopplung von Komponentenmodellen	40
2.6 Anwendungen der experimentellen Substrukturkopplung	44
2.6.1 Anwendung im Labormaßstab	45
2.6.2 Ankopplung von Werkzeugen	45
2.7 Berechnung von Werkzeugmaschinen-Strukturmodifikationen	46
2.7.1 Allgemeine Strukturmodifikationen	47
2.7.2 Einfluss der Achspositionen	48
3 Zielsetzung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise	49
4 Adaption der Kopplungsrechnungen für Werkzeugmaschinen	51
4.1 Identifikationsverfahren für modale Parameter	51
4.1.1 Ermittlung der Polstellen und der modalen Partizipationsfaktoren	51
4.1.2 Ermittlung der Eigenvektoren	57
4.1.3 Benchmark des Identifikationsverfahrens	58
4.2 Messtechnische Ermittlung des Response-Modells	60
4.2.1 Vergleich der Schwingungserreger	60
4.2.2 Einfluss der Sensorposition	63
4.2.3 Weitere Anmerkungen zur Messung von FRF	64
4.3 Formulierung von Mehrpunktzwangsbedingungen	65
4.3.1 Fixation	66
4.3.2 Flächenkontakte	66

4.3.3	Knoten-zu-Elemente-Kontakte.....	68
4.3.4	Berücksichtigung von Translationen und Rotationen	71
4.4	Modellreduktion gedämpfter Komponentenmodelle	73
4.4.1	Berücksichtigung der Komponentendämpfung.....	74
4.4.2	Ermittlung der Starrkörpermoden.....	76
4.4.3	Ermittlung der dynamischen Verformungsmoden bei freier Koppelstelle.....	77
4.4.4	Ermittlung der kraftbasierten statischen Korrekturmoden zur Beschreibung der Restnachgiebigkeit	77
4.4.5	Kopplung mehrerer reduzierter Komponenten zur Baugruppe.....	79
5	Kopplungsrechnungen für Prüfstands-Baugruppe	83
5.1	Vorstellung des betrachteten Einachsprüfstands	83
5.2	Modellierung der Prüfstandskomponenten	84
5.2.1	Modellierung des Schlittens	85
5.2.2	Modellierung des Zwischengestells	96
5.2.3	Modellierung des Gestells.....	98
5.2.4	Trägheitseigenschaften.....	100
5.3	Kopplung im physikalischen Bereich	100
5.3.1	Frequenzgänge und Schwingungsmoden des Prüfstands	101
5.3.2	Sensitivitätsanalyse bezüglich der Koppelmenteigenschaften ...	103
5.4	Kopplung im Frequenzbereich.....	106
5.4.1	Analytisch-analytische Kopplung	107
5.4.2	Analytisch-experimentelle Kopplung.....	113
6	Effizient konfigurierbares Maschinenmodell	117
6.1	Berechnung der Maschinen-Datenbank	118
6.2	Werkstück- und Werkzeug-Datenbank	119
6.3	Simulationsstrategie	119
6.4	Zerspankraftkoeffizienten	121
6.5	Modifikation von Werkstück oder Werkzeug.....	123
6.6	Modifikation der Achsposition	125
7	Zusammenfassung und Ausblick	129
8	Literaturverzeichnis.....	133
	Veröffentlichungen als Autor und Koautor	143
A	Realisierung einer Kopplungsumgebung	A-1
A.1	Entwicklung eines Messmoduls	A-2
A.2	Entwicklung eines Kopplungsmoduls	A-3
A.2.1	Komponenten.....	A-3
A.2.2	Baugruppen.....	A-8
A.2.3	Simulationen	A-11