

Inhalt

Kurzfassung	VII
Abstract	IX
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau und Ziele der Arbeit	3
2 Zerspanprozesse und einfache Prozessmodelle	6
2.1 Einordnung von Zerspanprozessen	7
2.2 Zerspankraftmodellierung	9
2.2.1 Berechnung der Zerspankraft beim Drehen	10
2.2.2 Die Berechnung der Zerspankraft beim Fräsen	12
2.3 Prozessmodelle mit wenigen Freiheitsgraden	15
2.3.1 Eindimensionale Drehprozessmodelle	15
2.3.2 Drehmodell mit zwei Freiheitsgraden	16
2.3.3 Fräsmo­dell mit zwei Freiheitsgraden	16
3 Drehbearbeitung eines elastischen Werkstücks	19
3.1 Das Drehen eines dünnwandigen Zylinders	20
3.2 Modellierung der Elastizitäten mit der Methode der Finiten Elemente	21
3.3 Modellierung des Bearbeitungszustands durch lokale Anpassung der FE-Matrizen	23
3.3.1 Näherungen und Annahmen für den Algorithmus	25
3.3.2 Berechnung des Materialabtrags	25
3.3.3 Aktualisierung der Knotenkoordinaten	27
3.4 Implementierung eines veränderlichen Kraftangriffspunkts	29

3.5	Ergebnisse	31
3.5.1	Vergleich der FE Implementierung in <i>Matlab</i> mit <i>Ansys</i>	31
3.5.2	Rechenzeit für die Knotenaktualisierung	35
3.5.3	Einsatz des Modells im Rahmen einer Formfehlerkompensation	35
3.6	Modellierung als elastisches Mehrkörpersystem	38
4	Modellreduktion für Zerspanprozesse	41
4.1	Grundlagen	42
4.1.1	Modellreduktion durch Projektion	43
4.1.2	Abschätzung des Reduktionsfehlers	44
4.2	Berechnung der Projektionsmatrizen	45
4.2.1	Reduktion mit Eigenmoden	47
4.2.2	Ergänzung der Basis der Eigenmoden durch Statikmoden	48
4.3	Parametrische Modellreduktion	48
4.3.1	Das Verfahren nach Panzer	51
4.4	Anwendung der parametrischen Modellreduktion	53
4.4.1	Präprozessing der lokalen Modelle	53
4.4.2	Simulation als elastisches Mehrkörpersystem	55
4.4.3	Analyse des Reduktionsfehlers im Frequenzbereich	56
4.4.4	Abschließende Bewertung und Grenzen des Verfahrens	59
5	Analyse der dynamischen Stabilität	62
5.1	Dynamische Instabilität aufgrund des regenerativen Ratterns	63
5.2	Grundlagen zur Lösung totzeitbehafteter Differentialgleichungen	64
5.3	Übersicht über Stabilitätsanalyseverfahren für totzeitbehaftete Prozesse	66
5.4	Analyse im Zeitbereich	67
5.5	Lösung als zeitdiskretes System	69
5.5.1	Problemdefinition	70
5.5.2	Systemdiskretisierung und Berechnung einer lokalen Lösung	71
5.5.3	Aufbau der Transitionsmatrix	74
5.6	Berechnung von Stabilitätsdiagrammen	78

5.7	Effizienzvergleich der Verfahren	79
5.8	Abschließende Bemerkungen	83
6	Regelstrategien für Zerspanprozesse	87
6.1	Adaptronische Werkzeughalter	88
6.2	Kollozierte Regelung	89
6.3	Der frequenzgewichtete Linear-Quadratische-Regler	91
6.4	Die \mathcal{H}_∞ -optimale Regelung	92
6.5	Zwischenergebnisse	95
6.6	Modellbasierte prädiktive Regelung	99
6.7	Untersuchungen der prädiktiven Regelung mit Störungsschätzung	105
6.7.1	Simulation im Zeitbereich	106
6.7.2	Stabilitätsanalyse	107
6.8	Abschließende Bemerkungen	110
7	Analyse von Zerspanprozessen mit Unsicherheiten	113
7.1	Fuzzy-Arithmetische Analyse von Unsicherheiten	114
7.1.1	Unschärfe Zahlen	115
7.1.2	Fuzzy-Arithmetik	117
7.1.3	Einflussmaße	118
7.2	Berechnung von unscharfen Stabilitätsdiagrammen	119
7.3	Anwendungsbeispiele	121
7.3.1	Zweidimensionales Fräsmo- dell mit unsicherem Zerspankraftgesetz	122
7.3.2	Modellprädiktive Regelung mit unsicherer Störungsschätzung	124
7.4	Abschließende Bemerkungen	127
8	Zusammenfassung	129
	Literatur	133