

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Forschung	3
2.1 Hochdruckturbinenschaufeln	3
2.1.1 Aufbau von Flugzeugtriebwerken	3
2.1.2 Nickelbasis-Superlegierungen	4
2.1.3 Fertigung von Hochdruckturbinenschaufeln	6
2.2 Schleifprozesse	8
2.2.1 Systemgrößen als Randbedingung	9
2.2.2 Stell- und Kenngrößen der Spanbildung	12
2.2.3 Hocheffiziente Schleifverfahren	16
2.3 Modellierung von Schleifprozessen	18
2.3.1 Kraftmodellierung	18
2.3.2 Temperaturmodellierung	22
2.4 Simulation von Schleifprozessen	29
2.4.1 Kinematisch-geometrische Schleifsimulation	30
2.4.2 FEM-basierte Schleifsimulation	32
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	35
4 Experimentelle Rahmenbedingungen	39
4.1 Werkstoffe, Werkzeuge und Prüflinge	39
4.2 Maschinen	41
4.3 Messtechnik	43
5 Modellierung der mechanischen und thermischen Belastungen	49
5.1 Experimentelle Grundlagenuntersuchungen	49
5.1.1 Versuchsplanung	49
5.1.2 Versuchsaufbau und -durchführung	52
5.1.3 Aufbereitung der Messsignale	54
5.2 Ermittlung und Parametrisierung der Kraftmodelle	58
5.2.1 Normalkraft	58
5.2.2 Tangentialkraft	64
5.2.3 Axialkraft	70

5.3	Ermittlung und Parametrisierung eines Wärmeeintragmodells	72
5.3.1	FE-Modell für die Temperatur-Matching-Methode	72
5.3.2	Verteilung der Wärmestromdichte	77
5.3.3	Wärmeverteilungsfaktor	83
5.4	Einflussgrößenanalyse	87
5.4.1	Stellgrößen der Grundlagenstudie	88
5.4.2	Abrichtparameter	92
5.4.3	Systemgrößen	94
5.4.4	Fazit der Einflussgrößenanalyse	101
6	Simulationsgestützte Schleifprozessvorauslegung	103
6.1	Kenngrößenberechnung mittels Schleifprozesssimulation	103
6.1.1	Makroskopische Zerspansimulation	105
6.1.2	Implementierung der mechanischen Belastung	109
6.1.3	Implementierung der thermischen Belastung	114
6.2	Ermittlung limitierender Kenngrößen	115
6.2.1	Mechanische Grenzen	116
6.2.2	Thermische Grenzen	117
6.3	Inverse Ermittlung der Stellgrößen	121
6.3.1	Ermittlung basierend auf mechanischen Grenzen	121
6.3.2	Ermittlung basierend auf thermischen Grenzen	123
6.3.3	Darstellung der Grenzen	126
7	Validierung der Schleifprozesssimulation am Serienprozess	129
7.1	Validierung in seriennaher Testumgebung	129
7.1.1	Versuchsaufbau und -durchführung	129
7.1.2	Vergleich von Messung und Simulation	132
7.2	Übertragung der Modelle auf die Serienproduktion	135
7.2.1	Indirekte Kraftmessung	135
7.2.2	Anpassung der Kraftmodelle	138
7.3	Validierung in der Serienproduktion	139
7.3.1	Probenpräparation, Versuchsaufbau und -durchführung	139
7.3.2	Vergleich von Messung und Simulation	142
8	Zusammenfassung und Ausblick	149
A	Anhang	187
A.1	Versuchsplan Grundlagenstudie	188