
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Erkenntnisse	3
2.1	Grundlagen der Mikrozerspanung	3
2.2	Mikrofräsen von Freiformflächen	4
2.2.1	Bearbeitungssituationen	4
2.2.2	Spanbildung	5
2.2.3	Prozesskinematik	8
2.2.4	Prozess- und Wirkgrößen	9
2.3	Vollhartmetall (VHM)-Mikroradiusfräser	18
2.3.1	Schneidstoffe und Beschichtungen	18
2.3.2	Grundaufbau und Werkzeuggeometrie	20
2.3.3	Anwendungsgebiete	25
2.4	Werkzeugabdrängung beim Mikrofräsen	26
2.4.1	Ursachen und Auswirkungen	26
2.4.2	Erfassung von Prozessinstabilitäten	28
2.4.3	Maßnahmen zur Reduzierung der Werkzeugabdrängung	34
2.5	Simulationsmethoden in der Zerspanung	36
2.5.1	Finite-Elemente-Methode	36
2.5.2	Molekulardynamische Modellierung	37
2.5.3	Geometrische und technologische Simulation	38
2.6	Fazit des Stands der Erkenntnisse	42
3	Ziele und Vorgehensweise	45
4	Analyse und Bewertung des Mikrofräsens	47
4.1	Marktforschungsstudie zum Mikrofräsen	47
4.1.1	Methodische Vorgehensweise	47
4.1.2	Umsetzung des Prozessmodells	48
4.1.3	Ergebnisse der Datenerhebung	50
4.1.4	Potenziale zur Optimierung des Mikrofräsens	52
4.2	Analyse charakteristischer Zerspanaufgaben	52
4.2.1	Auswahl und Analyse charakteristischer Zerspanaufgaben	53
4.2.2	Auswahl des Referenzwerkstoffs	54
4.3	Technologische Simulation ausgewählter Bearbeitungssituationen	55
4.3.1	Struktur der technologischen Simulation	55
4.3.2	Berücksichtigung der Prozesskinematik und des Werkstoffs	56
4.3.3	Modellierung der Werkzeuggeometrie	59
4.3.4	Modellierung der Strukturdynamik	60
4.3.5	Validierung des Simulationsmodells	62
4.3.6	Bewertung des Prozessverhaltens	66
4.3.7	Interpretation der Ergebnisse	74
5	Simulationsgestützte Optimierung des VHM-Mikroradiusfräasers	77
5.1	Optimierungsansatz und Ziele der Simulation	77

5.2	Aufbau eines parametrisierten Geometriemodells	81
5.3	Statisch-mechanische Analyse zur Optimierung des Werkzeugauslaufs und -kerns	83
5.3.1	Pre-Processing	83
5.3.2	Ansys DesignXplorer	84
5.3.3	Optimierung des Werkzeugauslaufs und -kerns	86
5.4	Verifizierung der numerischen Ergebnisse	90
6	Vorbereitung experimenteller Untersuchungen	95
6.1	Entwicklung eines Referenzwerkstücks für das Mikrofräsen von Freiformflächen	95
6.1.1	Vorgehen zur Entwicklung	95
6.1.2	Klassifikation und Segmentierung der geometrischen Werkstückgestalt mit dem Featureansatz nach Norm ISO 14649-10:2004(E)	96
6.1.3	Ableitung des Referenzwerkstücks	97
6.1.4	Festlegung der Bearbeitungs- und Hilfsparameter	99
6.2	Festlegung der Versuchswerkzeuge und technische Umsetzung	100
6.3	Versuchsmaschine, Mess- und Analysetechnik	104
7	Nachweis der reduzierten Werkzeugabdrängung	109
7.1	Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen	109
7.1.1	Erprobung auf Basis des entwickelten Referenzwerkstücks	109
7.1.2	Erprobung auf Basis von Nutenschnitten	113
7.1.3	Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse	121
7.2	Adaption der Ergebnisse auf weitere VHM-Mikroradiusfräser	122
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	129
8	Zusammenfassung und Ausblick	131
9	Summary and Outlook	135
10	Abkürzungsverzeichnis	137
11	Symbolverzeichnis	139
12	Abbildungsverzeichnis	143
13	Tabellenverzeichnis	149
14	Literaturverzeichnis	151
A	Anhang	159
A.1	Anhang zu Kapitel 4	159
A.1.1	Charakteristische Zerspanaufgaben	159
A.2	Anhang zu Kapitel 6	162
A.2.1	Entwickeltes Referenzwerkstück	162
A.2.2	Prüfprotokolle zu den Demonstratorwerkzeugen	163