

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungen und Formelzeichen	XI
1 Einleitung	1
2 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2.1 Problemstellung	3
2.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	4
3 Grundlagen und Stand der Forschung	7
3.1 Gratbildung	7
3.1.1 Gratdefinition, Kenngrößen und Gratgeometrie	7
3.1.2 Mechanismen der Gratentstehung	10
3.1.3 Einflussgrößen und Gratminimierungsansätze beim Bohren	12
3.1.4 Einflussgrößen und Gratminimierungsansätze beim Fräsen	20
3.2 Entgraten	22
3.2.1 Ungezielt arbeitende Entgratverfahren	23
3.2.2 Gezielt arbeitende Entgratverfahren	28
3.3 Fazit zum Stand der Technik	35
4 Versuchseinrichtung und Auswertungsmethodik	37
4.1 Versuchseinrichtungen und Betriebsmittel	37
4.1.1 Maschinensystem Hermle C32 U	37
4.1.2 Versuchswerkstoffe und Werkstückgeometrie	38
4.1.3 Versuchswerkzeuge	39
4.1.4 Optisches Messsystem Alicona InfiniteFocus XL200 G5	40
4.2 Auswertemethodik	41
5 Analytische Modellierung zum Entgraten von Kreuzbohrungsverschneidungen	43
5.1 Konzeptioneller Entwurf und Voruntersuchungen	44
5.2 Deskriptive Modellierung der Verschneidungssituation für Zylinder-Zylinder- Verschneidungen	47

5.3	Berechnung der Werkzeugbahn mit definierter Eingriffstiefe in die Verschneidungskontur unter Vermeidung von Schaftkollisionen	54
5.3.1	Einführung des Werkzeugeingriffswinkels als Unterscheidungsmerkmal für das geeignete Bahngenerierungsmodell.....	54
5.3.2	Einführung des Bahnrechnungsmodells A „Winkelhalbierende“	58
5.3.3	Einführung des Bahnrechnungsmodells B „orthogonale Abbildung“	59
5.3.4	Synthetische Betrachtung der Teilmodelle A und B und Modellverifikation.....	61
5.3.5	Ermittlung geeigneter Schaftdicken	64
5.4	Ermittlung der zulässigen Werkzeuggröße	65
5.5	Simulation und experimentelle Validierung der Anwendungsfälle	74
5.6	Fazit zum analytischen Berechnungsmodell	83
6	Numerische Modellierung zum Entgraten von komplexen Bohrungsaustritten	85
6.1	Transfer der relevanten Geometriedaten von CAD nach Matlab zur Datenvorverarbeitung.....	87
6.2	Deskriptive Modellierung der Verschneidungssituation für Zylinder-Freiform- Verschneidungen	89
6.3	Modell für kontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidungen	93
6.3.1	Berechnung der Werkzeugbahn für kontinuierliche Zylinder-Freiform- Verschneidungen	93
6.3.2	Experimentelle Validierung für kontinuierliche Zylinder-Freiform- Verschneidungen	93
6.4	Modell für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit äußeren Ecken	94
6.4.1	Ausgangssituation zur Berechnung der Werkzeugbahn für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit äußeren Ecken	95
6.4.2	Einführung des Bahnrechnungsmodells C „verdrehter Eingriffsvektor“	97
6.4.3	Simulation und experimentelle Validierung für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit äußeren Ecken	99

6.5	Modell für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit inneren Ecken	101
6.5.1	Ausgangssituation zur Berechnung der Werkzeugbahn für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit inneren Ecken	103
6.5.2	Einführung des Bahnberechnungsmodells D „Reduzierung der Schneidenexposition“	107
6.5.3	Simulation und experimentelle Validierung für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit inneren Ecken	114
6.6	Fazit zum numerischen Berechnungsmodell.....	119
7	Handlungsempfehlungen und Qualitätsanalyse	121
7.1	Vergleichende Betrachtungen zu dem analytischen und dem numerischen Modell.....	121
7.2	Einfluss der Prozessparameter und der Bearbeitungsrichtung	123
7.2.1	Einfluss der Drehzahl und der Vorschubgeschwindigkeit bei einer Variation der Sollfasenbreite.....	124
7.2.2	Einfluss der Fräsrichtung Gleich- oder Gegenlauf und der Bearbeitungsrichtung durch Quer- oder Hauptbohrung	125
7.3	Einfluss der Interpolationsart auf die Entgratqualität und Bearbeitungsdauer	127
7.3.1	Bestimmung geeigneter Inkrementanzahlen für die Diskretisierung der Verschneidungskurve	127
7.3.2	Experimentelle Untersuchung und vergleichende Analyse	129
7.4	Einsatzgrenzen und Störgrößen des entwickelten Verfahrens	131
7.4.1	Simulative Modellgrenzen	132
7.4.2	Fertigungstechnische Grenzen durch Prozessstörgrößen.....	132
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	135
Anhang	137
Literaturverzeichnis	139
Lebenslauf	149