

Forschungsberichte des Bremer Instituts für Messtechnik,
Automatisierung und Qualitätswissenschaft

Band 1

Peiran Zhang

**Qualitätsregelungssystem eines laser-chemischen
Ätzprozesses für die metallische Mikroproduktion**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2018

Kurzfassung	I
Symbolliste	III
Abkürzung	VI
1 Einführung	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielsetzung und Struktur der Arbeit.....	3
2 Stand der Forschung.....	7
2.1 Laserinduzierter chemischer Ätzprozess.....	7
2.1.1 LCM-Funktionsweise und Mechanismen.....	8
2.1.2 Einflüsse von Prozessparametern auf die Abtragsgeometrie.....	9
2.2 Qualitätsregelung.....	10
2.2.1 Regelungskonzepte für den nichtlinearen MIMO- Prozess.....	11
2.2.2 Regler für den zeitvarianten Prozess	12
2.2.3 Qualitätsregelungskonzept für die Prozesskette	13
2.2.4 Regler für die zeitdiskrete Regelung	16
2.3 Messtechnik	17
2.4 Zusammenfassung Stand der Forschung.....	18
3 Versuchsaufbau und Automatisierung für LCM	21
4 Regelungsstrategie	27
4.1 Struktur des Regelungssystems.....	27
4.2 Produktionsdiskretes Qualitätsregelungskonzept	30
4.3 Prozessnahes Qualitätsregelungskonzept	33
4.4 In-Prozess Qualitätsregelungskonzept	34
4.5 Fazit des Kapitels	37
5 Charakterisierung der Abtragsgeometrie	39
5.1 Vereinfachung der Abtragsgeometrie in Abtragskontur	39
5.2 Qualitätsmerkmale des Einzelabtragsprozesses	40
5.2.1 Gaußanpassung für den LCM-Abtrag im Querschnitt.....	41
5.2.1.1 Versuchsmatrix.....	41
5.2.1.2 Auswertung der Versuchen.....	43

5.2.2	Zuverlässigkeitsuntersuchung der Gaußanpassung	46
5.2.3	Annäherung der Abtragskontur durch modifizierte Gaußfunktion	47
5.2.4	Prozessparameter zum Erzeugen des gaußförmigen Abtrags	50
5.2.5	Erzielbare Formparameter innerhalb des LCM- Prozessfensters	54
5.3	Qualitätsmerkmale eines Bauteils	56
5.4	Fazit des Kapitels	58
6	Modellierung des einzelnen Abtragsprozesses	61
6.1	Architektur vom RBF-Netzwerk	61
6.2	RBF-Modell für einzelnen LCM-Abtragsprozess	63
6.3	Validierung des auf RBF-Netzwerk basierten Prozessmodells	68
6.4	Adaptives Prozessmodell	70
6.5	Fazit des Kapitels	71
7	Modellierung und Simulation der LCM-Prozesskette	73
7.1	Theoretische Überlagerung der Abtragsbahnen	73
7.2	Wechselwirkungen zwischen überlappenden Abtragsbahnen	75
7.2.1	Winkelabhängiger Flankeneinfluss	78
7.2.2	Einflüsse von verbleibender thermischer Energie der vorherigen Abtragsbahn	84
7.3	Abtrag von Kante oder Flanke	86
7.4	Fazit des Kapitels	89
8	Produktionsdiskrete Qualitätsregelung für den LCM	91
8.1	Entwicklung der produktionsdiskreten Regelung	91
8.1.1	Bahnplanung im 2D Querschnitt	92
8.1.2	Inverses Prozessmodell	94
8.1.3	Beobachter	95
8.1.4	Adaptiver Regler	95
8.1.4.1	Reglerentwurf	96
8.1.4.2	Verifizierung der Regler	97
8.2	Herstellung eines viereckigen Gesenks mit der produktionsdiskreten Regelung	99
8.2.1	Herstellung des viereckigen Gesenks	101

8.3	Herstellung einer Kantenrundung mit der produktionsdiskreten Regelung	104
8.3.1	Bahnplanung für die Kantenrundung	104
8.3.2	Herstellung der Kantenrundung	106
8.4	Fazit des Kapitels	108
9	Zusammenfassung und Ausblick	111
9.1	Zusammenfassung	111
9.2	Ausblick	114
9.2.1	Prozessnahe Qualitätsregelung.....	114
9.2.2	In-Prozess Qualitätsregelung	117
	Anhang 1 Versuchsmatrix und Ergebnisse	123
	Literatur	129
	Eigene Veröffentlichung	135