

# Bibliografische Beschreibung

Hackert, Matthias

Thema

Entwicklung und Simulation eines Verfahrens zum elektrochemischen Abtragen von Mikrogeometrien mit geschlossenem elektrolytischen Freistrahler

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 4. Juni 2009

Anzahl der Seiten	157
Anzahl der Abbildungen	92
Anzahl der Tabellen	9
Anzahl der Literaturzitate	187

Referat

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein mikrofertigungstechnisches Verfahren entwickelt, das auf dem elektrochemischen Abtragen basiert. Es wird belegt, dass es unter Verwendung eines geschlossenen elektrolytischen Freistrahlers möglich ist, hochgradig lokalisiert, bei extremen elektrischen Stromdichten, metallische Werkstücke formgebend anodisch aufzulösen. Das Potential der Applikation dieses Verfahrens für eine Herstellung von 3-D Mikrogeometrien kann der Arbeit zweifelsfrei entnommen werden. Für die Simulation des Verfahrens wurde ein FEM Modell entwickelt, das den Abtragprozess anhand von Modellgeometrien beschreibt.

Schlagworte

Mikrofertigungstechnik, elektrochemisches Abtragen, elektrolytischer Freistrahler, Jet-ECM, FEM Simulation, COMSOL Multiphysics, physikalisch bedingte Netzdeformation

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bibliografische Beschreibung</b>	<b>2</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>10</b>
1.1 Zielstellung . . . . .	10
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	11
<b>2 Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>12</b>
2.1 Aktuelle mikrofertigungstechnische Entwicklungen . . . . .	12
2.2 EC Abtragen von Präzisions- und Mikrogeometrien . . . . .	15
2.2.1 Prinzip der anodischen Metallauflösung . . . . .	15
2.2.2 EC Kammer- und Konturbearbeitung . . . . .	21
2.2.3 EC Senken . . . . .	23
2.2.4 EC Bohren . . . . .	24
2.2.5 PECM - Pulsed Electrochemical Machining . . . . .	26
2.2.6 ECF - elektrochemisches Fräsen . . . . .	29
2.2.7 Jet-ECM - Jet Electrochemical Machining . . . . .	31
<b>3 Handlungsbedarf</b>	<b>35</b>
3.1 Gegenüberstellung relevanter EC Verfahren . . . . .	35
3.2 Auswahl des zu qualifizierenden EC Verfahrens . . . . .	37
3.3 Planung der Vorgehensweise . . . . .	38
<b>4 Simulation des Abtrages</b>	<b>40</b>
4.1 Soft- und Hardware . . . . .	43
4.2 Geometrie und Vernetzung . . . . .	43
4.3 Elektrodynamik . . . . .	46
4.4 Netzdeformation . . . . .	50
4.4.1 Automatisches Neuvernetzen in COMSOL Multiphysics . . . . .	50
4.5 Simulationsergebnisse . . . . .	53
4.5.1 Variation der elektrischen Spannung . . . . .	57
4.5.2 Variation des Arbeitsabstandes . . . . .	58
4.5.3 Variation des Düsendurchmessers . . . . .	59

<b>5</b>	<b>Experimentelle Realisierung</b>	<b>62</b>
5.1	Generatorsystem . . . . .	64
5.2	Positioniersystem . . . . .	64
5.3	Elektrolytsystem . . . . .	66
5.4	Druckluftsystem . . . . .	67
5.4.1	Monoaxiale Luftzufuhr . . . . .	68
5.4.2	Koaxiale Luftzufuhr . . . . .	68
5.5	Prozesssteuerung . . . . .	69
5.6	Ablauf eines typischen Experiments . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Abtragen mit geschlossenem Freistrah</b>	<b>74</b>
6.1	Validierung des geschlossenen Freistrahles . . . . .	75
6.2	Verfahrensquantifizierung . . . . .	78
6.2.1	Punktabträge . . . . .	80
6.2.1.1	Geometrie von Punktabträgen . . . . .	81
6.2.1.2	Stromdichte und Stromausbeute bei Punktabträgen . . . . .	85
6.2.2	Linienabträge . . . . .	88
6.2.2.1	Geometrie von Linienabträgen . . . . .	89
6.2.2.2	Stromdichte und Stromausbeute bei Linienabträgen . . . . .	93
6.3	Bearbeitungsbeispiele . . . . .	95
6.3.1	Jet-EC Schneiden . . . . .	95
6.3.2	Jet-EC Bohren . . . . .	96
6.3.3	Jet-EC Trepanieren . . . . .	98
6.3.4	Jet-EC Fräsen . . . . .	99
6.4	Abtragen mit koaxialer Luftströmung . . . . .	103
6.4.1	Variation der Verfahrensgeschwindigkeit . . . . .	105
6.4.1.1	Geometrie . . . . .	107
6.4.1.2	Oberflächenrauheit . . . . .	111
6.4.2	Variation des Arbeitsabstandes . . . . .	116
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>121</b>
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>123</b>
	<b>Literatur</b>	<b>126</b>

---

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>143</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>147</b>
<b>A COMSOL Script Quellcode</b>	<b>148</b>
A.1 Neuvernetzen . . . . .	148
A.2 Ergebnisausgabe . . . . .	150
<b>B Konstruktionszeichnungen</b>	<b>151</b>
<b>Selbständigkeitserklärung</b>	<b>155</b>
<b>Curriculum Vitae</b>	<b>156</b>
<b>Danksagung</b>	<b>157</b>