

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	vii
Abstract.....	ix
Abbildungsverzeichnis.....	xi
Tabellenverzeichnis.....	xvii
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	xix
Eidesstattliche Erklärung	xxiii
Danksagung	xxv
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	3
2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1 Stand der Technik in der konventionellen Tiefziehtechnik.....	7
2.1.1 Verfahrensbeschreibung der Tiefziehtechnik	7
2.1.2 Reibung und Tribosystem	10
2.1.3 Schmierstoffe für die Tiefziehtechnik	14
2.2 Aktuelle Forschung im Bereich der Tiefziehtechnik	17
2.2.1 Schmierstoffseitige Maßnahmen.....	18
2.2.2 Werkstückseitige Maßnahmen	18
2.2.3 Werkzeugseitige Maßnahmen	19
2.3 Physikalische Grundlagen für die Tiefziehtechnik mit flüchtigen Schmierstoffen....	20
2.3.1 Triboochemische Reaktionen an metallischen Oberflächen.....	20
2.3.2 Reinigung von Werkstücken	22
2.3.3 Fluidströmung in Mikroinjektoren	25
2.3.4 Hartstoffbeschichtungen von Werkzeugen	33
2.3.5 Benetzung von Oberflächen.....	36
3 Materialien und Methoden.....	39
3.1 Verwendete Schmierstoffe und Werkstoffe	39
3.1.1 Mineralölbasierte Schmierstoffe	39
3.1.2 Kohlenstoffdioxid als flüchtiger Schmierstoff	40
3.1.3 Reinigungsmittel Tickopur	42
3.1.4 Werkstückwerkstoffe DC04, V2A und Aluminium	42
3.1.5 Werkzeugwerkstoff 1.2379.....	43
3.2 Prozessperipherie und Prozesscharakterisierung	43
3.2.1 Simulationssoftware Comsol Multiphysics	43

3.2.2	Programmiersystem LabVIEW	44
3.2.3	Hochgeschwindigkeitskamera	45
3.2.4	Methoden zur Oberflächencharakterisierung	45
3.2.5	Profilmessung	46
4	Versuchsanlagen	47
4.1	Lasersystem für die Herstellung von Mikroinjektoren	47
4.2	Streifenziehanlage für die Reibwertermittlung	49
4.3	Streifenziehanlage mit einer optischen Zugänglichkeit	52
4.4	ICP-Plasmaanlage für die Herstellung von Hartstoffbeschichtungen	53
4.5	Druckreaktor für die Untersuchung der Benetzung	55
5	Untersuchungen zur Vorbehandlung und Reinigung von Werkstücken	59
5.1	Versuchsdurchführung	59
5.1.1	Vorreinigung der Werkstücke	59
5.1.2	Beölung der Werkstücke	61
5.1.3	Reinigung der Werkstücke	62
5.2	Ergebnisse und Diskussion	63
6	Untersuchungen der Fluidströmung in Mikroinjektoren	67
6.1	Simulation der Fluidströmung in Mikroinjektoren	67
6.1.1	Temperaturmessungen im ausströmenden Fluid	68
6.1.2	Simulation der Fluidströmung mit Comsol	70
6.1.2.1	Implementierung einer konvergenten Düse	73
6.1.2.2	Implementierung einer zylindrischen Düse	74
6.1.2.3	Implementierung einer divergenten Düse	74
6.2	Ergebnisse und Diskussion	76
6.2.1	Fluidströmung in einer konvergenten Düse	76
6.2.2	Fluidströmung in einer zylindrischen Düse	80
6.2.3	Fluidströmung in einer divergenten Düse	83
6.2.4	Vergleich der Fluidströmungen bei unterschiedlichen Düsen	86
7	Untersuchungen zum Schmierstoffverhalten in der Wirkfuge	89
7.1	Versuchsdurchführung	89
7.2	Ergebnisse und Diskussion	90
8	Untersuchungen zur Beschichtung und Benetzung von Werkzeugoberflächen	103
8.1	Beschichtung von Werkzeugoberflächen	104
8.1.1	Versuchsdurchführung	104
8.1.2	Ergebnisse und Diskussion	105

8.2 Benetzung von Werkzeugoberflächen	107
8.2.1 Versuchsdurchführung.....	107
8.2.2 Ergebnisse und Diskussion	110
8.3 Reibwerte von unbeschichteten und beschichteten Werkzeugoberflächen.....	113
8.3.1 Versuchsdurchführung.....	113
8.3.2 Ergebnisse und Diskussion	114
9 Zusammenfassung und Ausblick	121
9.1 Zusammenfassung	121
9.2 Ausblick.....	124
10 Literaturverzeichnis	a
11 Anhang.....	i
11.1 Detailübersicht der Reinigungsversuche	i
11.2 Implementierung der Fluidströmung	s
11.3 Wechselplättchen im Streifenziehversuch	v
Lebenslauf	w
Wissenschaftliche Beiträge.....	y