

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung und Abstract	iv
Abkürzungen und Formelzeichen	xi
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	6
2.1 Umformtechnik	6
2.1.1 Tiefziehen	8
2.1.2 Tribologische Aspekte beim Tiefziehen	9
2.2 Oberflächentechnik im Bereich der Umformwerkzeuge . .	11
2.2.1 Oberflächenmodifikation	11
2.2.2 Oberflächenbeschichtung	13
2.3 Konturnahe thermisch gespritzte Verschleißschutzschichten	23
2.3.1 Verschleißschutzschichten	23
2.3.2 Thermisch gespritzte Dünnschichten	26
2.3.3 Störgrößen - Einflussfaktoren	28
2.3.4 Prozesstechnologische Grenzen	35
2.3.5 Steuergrößen und Strategien	43
2.4 Zusammenfassung des Standes der Technik	46

3	Zielsetzung und Vorgehensweise	49
3.1	Zielsetzung	49
3.2	Vorgehensweise	50
4	Experimentelle Untersuchungen	56
4.1	Mess- und Analysetechniken	57
4.1.1	On- und offline Partikeldiagnostik	57
4.1.2	Temperaturmessungen	58
4.1.3	Mikroskopie	59
4.1.4	Härtemessung	60
4.1.5	Topographieuntersuchungen	60
4.1.6	Phasen- und Elementanalyse	62
4.1.7	Eigenspannungsanalyse	65
4.1.8	Verschleißuntersuchungen	67
4.1.9	Einsatztests	68
4.2	Beschichtungsversuche	69
4.2.1	Spritzzusatzwerkstoff	69
4.2.2	Substrate	71
4.2.3	Hochgeschwindigkeitsflammspritzsystem	73
4.2.4	Robotik und Bahnplanung	76
5	Handhabungsparameter	79
5.1	Variation der Handhabungsparameter	80
5.1.1	Variation des Spritzabstands	81
5.1.2	Variation des Mäanderbahnabstands	88
5.1.3	Variation der Überfahrgewindigkeit	95
5.1.4	Fazit der Handhabungsparametervariation	99
5.2	Abscheidung dünner Schichten	101
5.2.1	Variation der Prozesskühlung	101
5.2.2	Variation der Überlaufanzahl	104
5.2.3	Zusammenfassung	109

5.3	Verschleißbeständigkeit dünner Schichten	110
5.3.1	Pin on Disk - Verschleißuntersuchungen	111
5.3.2	Zusammenfassung der Verschleißanalysen	123
5.4	Fazit	126
6	Bauteilgeometrie	130
6.1	Untersuchung von 180° Außenradien	132
6.2	Untersuchung von 90° Außenradien	137
6.3	Untersuchung von 90° Innenradien	141
6.4	Analyse der Ergebnisse	145
6.4.1	Footprintanalyse	147
6.4.2	Splatanalyse	162
7	Roboterdynamik	173
7.1	Ist-Zustand	175
7.2	Bauteilort und -orientierung	178
7.3	Bahnanpassungen	181
7.3.1	Vorzeitiges Umorientieren des Brenners	182
7.3.2	Umrechnungsfaktoren	184
7.4	Beschichtung von Wendestellen	188
7.4.1	Bauteil Wendestelle 30°	189
7.4.2	Bauteil Wendestelle 90°	192
7.5	Fazit	196
8	Konturgenaue Bauteilbeschichtungen	199
8.1	B-Säule	200
8.1.1	Verfahrstrategie	200
8.1.2	Beschichtungsergebnis	203
8.2	Tiefziehring	205
8.2.1	Verfahrstrategie	205

8.2.2	Beschichtungsergebnis	208
8.3	Fazit der Bauteilbeschichtungen	210
9	Einsatzverhalten im Tiefziehprozess	213
9.1	Umformversuche	214
9.2	Verschleiß der Ziehringoberflächen	217
9.2.1	Werkzeug aus Kaltarbeitsstahl	217
9.2.2	Beschichtetes Werkzeug	221
9.2.3	Beschichtetes und gewalztes Werkzeug	222
9.2.4	Beschichtetes und geschliffenes Werkzeug	224
9.2.5	Analyse der Verschleißerscheinungen	226
9.3	Fazit der Einsatztests	232
10	Zusammenfassung und Fazit	236
	Anhang	246