

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Kurzfassung	V
Abstract	VII
Inhaltsverzeichnis.....	VIII
Abkürzungen und Formelzeichen.....	XIII
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen und Stand der Technik.....	4
2.1 Metalldrücken	4
2.1.1 Einteilung	4
2.1.2 Laserunterstütztes Drücken.....	5
2.1.3 Reibdrücken.....	6
2.2 Grundlagen des Thermischen Spritzens	10
2.2.1 Verfahrensprinzip	12
2.2.1.1 Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS)	14
2.2.2 Schichtbildungsprozess	16
2.2.2.1 Schichthaftung.....	17
2.2.2.2 Schichtstruktur.....	21
2.2.3 Wärmedämmschichten	22
2.2.3.1 Zirkoniumoxid	24
2.2.3.2 Aluminiumoxid.....	26
2.2.3.3 Haftvermittler.....	27
2.2.4 Nachbehandlung von thermisch gespritzten Schichten.....	28
2.2.4.1 Mechanische Nachbehandlung - Polieren	28
2.2.4.2 Thermische Nachbehandlung - Laserumschmelzen.....	29
2.3 Grundlagen der PVD-Technik	34
2.3.1 Verfahrensprinzipien.....	35
2.3.1.1 Thermisches Verdampfen (Evaporation).....	36
2.3.1.2 Kathodenzerstäubung (DC-Sputtern)	37
2.3.2 Substratvorbehandlung.....	44

2.3.2.1	Mechanische Vorbehandlung	44
2.3.2.2	Plasmanitrieren	45
2.3.2.3	Plasmaätzen	49
2.3.3	Schichtbildungsprozess	51
2.3.3.1	Schichthaftung.....	51
2.3.3.2	Schichtwachstum.....	55
2.3.3.3	Schichtstruktur.....	58
2.3.3.4	Schichtarchitekturen.....	61
2.3.4	Hochverschleißfeste temperaturbeständige Schichten.....	65
2.3.4.1	Titanbasierte Verschleißschutzschichten	67
2.3.4.2	Chrombasierte Verschleißschutzschichten	72
2.4	Kombination von PVD-Technik und thermischem Spritzen.....	76
2.4.1	PVD-Schicht auf HVOF-Schicht	77
2.4.1.1	CrN- bzw. TiN-Schicht auf WC-Co-Schicht.....	77
2.4.2	PVD-Schicht auf APS-/RPS-Schicht	79
2.4.2.1	DLC- auf ZrO ₂ -Schicht	80
2.4.2.2	DLC- bzw. MoS ₂ -Schicht auf TiO ₂ - bzw. Al ₂ O ₃ -Schicht.....	80
2.4.2.3	TiN- auf Ti/TiN-Schicht	81
3	Problemstellung und Zielsetzung	83
4	Experimentelles	85
4.1	Vorgehensweise	85
4.2	Substratwerkstoffe.....	86
4.3	Thermisches Spritzen	87
4.3.1	Verwendete thermisch gespritzte Schichten/Spritzpulver	87
4.3.2	Substratvorbehandlung.....	89
4.3.3	APS-Anlagentechnik.....	89
4.3.3.1	Beschichtung von Rundproben.....	90
4.3.3.2	Beschichtung von Reibdrückwerkzeugen.....	93
4.3.4	Nachbehandlungsverfahren	94
4.3.4.1	Thermische Nachbehandlung.....	94

4.3.4.2	Mechanische Nachbehandlung.....	97
4.4	PVD-Technik.....	99
4.4.1	Verwendete PVD-Schichten.....	99
4.4.2	Substratvorbehandlung.....	100
4.4.2.1	Schleifen und Polieren.....	100
4.4.2.2	Substratnitrierung.....	101
4.4.3	Sputter-Anlagentechnik.....	102
4.5	Reibdruckversuche.....	104
4.6	Methoden zur Schichtcharakterisierung.....	106
4.6.1	Schichtmorphologie.....	106
4.6.1.1	Lichtmikroskopie.....	107
4.6.1.2	Rasterelektronenmikroskopie.....	108
4.6.2	Schichthärte.....	112
4.6.2.1	Vickers-Härteprüfung.....	112
4.6.2.2	Nanoindentation.....	112
4.6.3	Thermische Kennwerte.....	113
4.6.4	Oberflächentopographie.....	114
4.6.5	Verschleißbeständigkeit.....	114
4.6.6	Schichthaftung.....	117
4.6.7	Phasenanalyse.....	119
4.6.8	Eigenspannungsanalyse.....	120
5	Ergebnisse der thermisch gespritzten Schichten.....	122
5.1	Schichtmorphologie und -topographie.....	122
5.2	Schichthärte.....	124
5.3	Wärmeleitfähigkeit.....	124
5.4	Probennachbehandlung.....	125
5.4.1	Mechanische Nachbehandlung.....	125
5.4.2	Thermische Nachbehandlung.....	127
5.4.2.1	ZrO ₂ -8Y ₂ O ₃	128
5.4.2.2	Al ₂ O ₃	137

5.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerung der Ergebnisse.....	143
5.5.1	Mechanische Nachbehandlung.....	143
5.5.2	Thermische Nachbehandlung.....	144
6	Ergebnisse der PVD-Schichten	146
6.1	TiAlSiN	146
6.1.1	Schichtentwicklung.....	146
6.1.1.1	Targetkonfiguration.....	146
6.1.1.2	Variation der Bias- und Sputtermodi.....	150
6.1.1.3	Variation der Biasspannung	154
6.1.1.4	Variation des Al/Ti-Verhältnisses.....	155
6.1.1.5	Zusammenfassung.....	156
6.1.2	Schichthärte.....	157
6.1.3	Schichtmorphologie und -topographie	158
6.1.4	Schichteigenspannungen	160
6.1.5	Schichthaftung.....	161
6.1.6	Verschleißbeständigkeit	163
6.2	CrAlSiN.....	167
6.2.1	Schichtentwicklung.....	167
6.2.1.1	Targetkonfiguration.....	168
6.2.1.2	Variation des Al/Cr-Verhältnisses	168
6.2.2	Schichthärte.....	169
6.2.3	Schichtmorphologie und -topographie.....	170
6.2.4	Schichteigenspannungen	172
6.2.5	Schichthaftung.....	172
6.2.6	Verschleißbeständigkeit	173
6.3	Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse	177
7	Ergebnisse der kombinierten Schichtsysteme.....	180
7.1	Einfluss der Vorbehandlungsmethoden auf die Substrateigenschaften	180
7.2	TiAlSiN	182
7.2.1	Schichthaftung.....	182

7.2.1.1	Schichtdickenreduzierung	185
7.2.1.2	Plasmaätzprozess.....	186
7.2.1.3	Metallische Zwischenlage.....	188
7.2.2	Schichttopographie	190
7.2.3	Schichtmorphologie.....	192
7.3	CrAlSiN.....	195
7.3.1	Schichthaftung.....	195
7.3.1.1	Plasmaätzprozess.....	196
7.3.1.2	Metallische Zwischenlage.....	197
7.3.2	Schichttopographie	199
7.3.3	Schichtmorphologie.....	201
7.4	Schichthärte	202
7.5	Verschleißbeständigkeit.....	204
7.6	Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse.....	206
7.6.1	Substratvorbehandlung.....	206
7.6.2	TiAlSiN	207
7.6.3	CrAlSiN	208
8	Anwendungsversuche im Reibdruckprozess	211
8.1	Beschichtung von Reibdruckwerkzeugen	212
8.1.1	Thermisches Spritzen.....	212
8.1.2	Mechanische Nachbehandlung.....	214
8.1.3	PVD-Beschichtung	214
8.2	Anwendungsversuche	216
8.2.1	Temperaturentwicklung.....	216
8.2.2	Materialanhaftungsverhalten	218
8.2.3	Werkstückqualität	220
8.3	Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse.....	222
9	Zusammenfassung und Ausblick	225
10	Literaturverzeichnis	230