

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen und aktueller Wissensstand der Forschung	3
2.1 Werkzeugstähle in der Fertigungstechnik	3
2.2 Amorphe Kohlenstoffschichten	8
2.2.1 Hybridisierungszustände des elementaren Kohlenstoffs	8
2.2.2 Strukturaufbau des amorphen Kohlenstoffs	10
2.2.3 Wachstumsmechanismen bei plasmagestützter Abscheidung	13
2.2.4 Mechanische Eigenschaften und Schichthaftung des amorphen Kohlenstoffs	16
2.2.5 Tribologisches Eigenschaftsprofil amorpher Kohlenstoffschichten	18
2.3 Elementmodifizierte amorphe Kohlenstoffschichten	23
2.3.1 Wirkung von Silizium auf die Struktur- und Schichteigenschaften	24
2.3.2 Wirkung von Wolfram auf die Struktur- und Schichteigenschaften	28
2.3.3 Wirkung von Silber auf die Struktur- und Schichteigenschaften	30
2.4 Synthese amorpher Kohlenstoffschichten mittels Kathodenzerstäubung	34
2.4.1 Funktionsweise der Magnetron-Kathodenzerstäubung	35
2.4.2 Art der Leistungseinkopplung der Magnetron-Kathoden	39
2.4.3 Zerstäubungsprozesse mit angelegter Biasspannung am Substrat	46
2.5 Plasma-basierte Substrat/Schichtverbunde mit amorphen Kohlenstoffschichten	49
2.5.1 Plasma-basierte Ätzvorbehandlung des Stahlsubstrats	50
2.5.2 Zwischenschichtsysteme zur Steigerung der Schichthaftung	56
2.5.3 Schichtarchitektur von tribo-funktionalen amorphen Kohlenstoffschichten	60
3. Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	65
3.1 Schlussfolgerung und Zielsetzung	65
3.2 Methodische Vorgehensweise	67
4. Plasmavorbehandlung und Schichtsynthese	70

Inhaltsverzeichnis

4.1	Substratwerkstoffe	70
4.1.1	Werkzeugstähle	70
4.1.2	Siliziumwafer	72
4.2	PVD-Anlage und Beschichtungssequenz.....	73
4.2.1	Plasmavorbehandlung der Werkzeugstähle	77
4.2.2	Synthese der Me_xC_y -Zwischenschicht	79
4.2.3	Synthese der a-C-basierten Funktionsschicht	82
5.	Analyse des Substrat/Schichtsystems.....	85
5.1	Analytik zur Untersuchung der strukturellen Eigenschaften	85
5.2	Analytik zur Untersuchung der mechanischen Eigenschaften.....	93
5.3	Analytik zur Untersuchung der tribologischen Eigenschaften	99
6.	Eigenschaftsprofil der unbeschichteten Werkzeugstähle	102
6.1	Struktur der eingesetzten Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle	102
6.1.1	Phasenzusammensetzung der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle	102
6.1.2	Gefüge der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle	104
6.1.3	Topographie und Rauheit der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle	107
6.2	Mechanische Eigenschaften der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle	110
6.2.1	Eigenspannungszustand der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle.....	110
6.2.2	Härte und E-Modul der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle.....	111
6.2.3	Dynamische Druckfestigkeit der Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle	112
6.3	Fazit zu den eingesetzten Werkzeugstählen.....	114
7.	Me_xC_y-Zwischenschicht für den Me_xC_y/a-C-Schichtaufbau.....	116
7.1	Strukturelle Eigenschaften der Me_xC_y - und Me_xC_y -Schichtsysteme	116
7.1.1	Morphologie der Me_xC_y - und Me_xC_y/a -C-Schichtsysteme.....	116
7.1.2	Chemisches Tiefenprofil der Me_xC_y/a -C-Schichtsysteme	118
7.1.3	Kristalline Phasenzusammensetzung der Me_xC_y -Zwischenschichten	120

7.1.4	Strukturaufbau des a-C-Netzwerks der Me_xC_y - und $Me_xC_y/a-C$ -Schichtsysteme	123
7.1.5	Topographie der Me_xC_y - und $Me_xC_y/a-C$ -Schichtsysteme.....	126
7.2	Mechanische Eigenschaften der Me_xC_y -Zwischenschichten.....	130
7.2.1	Eigenspannungen der Me_xC_y - und Me_xC_y -Schichtsysteme.....	130
7.2.2	Härte und E-Modul der Me_xC_y - und $Me_xC_y/a-C$ -Schichtsysteme.....	132
7.2.3	Schichthaftung der Me_xC_y - und $Me_xC_y/a-C$ -Schichtsysteme.....	134
7.3	Fazit zu den $Me_xC_y/a-C$ -Schichtstrukturen.....	147
8.	HiPIMS-Plasmavorbehandlung der Werkzeugstähle.....	149
8.1	Strukturelle Eigenschaften der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	149
8.1.1	Morphologie der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	149
8.1.2	Strukturaufbau der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	150
8.1.3	Topographie der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	153
8.2	Mechanische Eigenschaften der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	155
8.2.1	Härte und E-Modul der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	155
8.2.2	Schichthaftung der a-C(:H)-Dünnschichten auf den plasmavorbehandelten Werkzeugstählen.....	157
8.3	Fazit zur HiPIMS-Vorbehandlung.....	167
9.	Multilagige a-C/a-C:X-Funktionsschichten für tribologische Anwendungen.....	168
9.1.1	Chemische Zusammensetzung der a-C:X-Schichtlagen.....	168
9.1.2	Morphologie der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten.....	169
9.1.3	Kristalline Phasenzusammensetzung der a-C/a-C:X-Funktionsschichten.....	171

Inhaltsverzeichnis

9.1.4	Strukturaufbau des a-C-Netzwerks der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten	173
9.1.5	Topographie der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten.....	178
9.2	Mechanische Eigenschaften der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten	181
9.2.1	Eigenspannungen der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschicht.....	181
9.2.2	Härte und E-Modul der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschicht.....	182
9.2.3	Schichthaftung der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten	185
9.2.4	Dynamische Druckfestigkeit der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten	192
9.3	Tribologische Eigenschaften der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschicht	195
9.3.1	Reibverhalten der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschichten.....	195
9.3.2	Verschleißverhalten der multilagigen a-C/a-C:X-Funktionsschicht.....	197
9.4	Fazit zum multilagigen a-C/a-C:X-Schichtaufbau.....	202
10.	Zusammenfassung und Ausblick.....	206
	Literaturverzeichnis.....	214