

Inhaltsverzeichnis

I. Abkürzungsverzeichnis 12

1. Einleitung..... 14

2. Stand der Technik..... 16

2.1 Tribologie bei industriellen Produktionswerkzeugen..... 17

2.2 Substratwerkstoffe..... 18

2.2.1 Werkzeugstähle..... 18

2.2.2 Hartmetalle..... 19

2.3 Nanokompositschichtsysteme 20

2.3.1 Entstehung und nanostruktureller Aufbau..... 20

2.3.2 Mechanische Eigenschaften 22

2.3.3 Thermische Beständigkeit 25

2.4 Ti-(Si,B,C,N) Nanokomposite 29

2.4.1 Ti-C-N 30

2.4.2 Ti-Si-N 31

2.4.3 Ti-B-N 37

2.4.4 Ti-B-C-N..... 40

2.4.5 Ti-Si-B-C 42

2.4.6 Ti-Si-C-N 43

2.4.7 Ti-Si-B-N 47

2.4.8 Ti-Si-B-C-N..... 48

2.5 Thermodynamische Grundlagen für 5-Komponenten-Systeme 50

3. Experimentelles Vorgehen 52

3.1 Probenvorbehandlung und Schichtabscheidung..... 52

3.1.1 Substratwerkstoffe 53

3.1.2 Reinigungsprozedur vor der Chargierung..... 53

3.1.3 Plasmafeinreinigung..... 54

3.1.4 Plasmanitrieren 56

3.1.5 PACVD-Beschichtungstechnologie 57

3.1.6 Duplex-Verfahren Plasmanitrieren & PACVD Beschichtung..... 59

3.2 Parametervariation 63

3.3 Analytische Untersuchungen..... 64

3.3.1 Kalottenschliff..... 64

3.3.2 Untersuchung von Schichtdicke, Mikro- und Nanostruktur..... 66

3.3.3 Untersuchung der Topographie durch taktile Rauheitsmessungen..... 68

3.3.4	Elektronenstrahlmikroanalyse und Glimmentladungsspektroskopie	68
3.3.5	Härtemessungen mit Nanoindenter.....	69
3.3.6	Eigenspannungsmessungen mittels Röntgendiffraktometrie.....	70
3.3.7	Raman Spektroskopie.....	70
3.3.8	Rockwell C Indentation zur Beurteilung der Schichthaftung.....	71
3.3.9	Auslagerung im Temperofen	72
3.3.10	<i>In-situ</i> Hochtemperatur Röntgendiffraktometrie.....	73
3.4	Anwendungstest Strangpressen von Kupfer	74
4.	Ergebnisse.....	75
4.1	Mikro- und Nanostruktur	75
4.2	Rauheitsmessungen.....	82
4.3	Chemische Zusammensetzung	82
4.4	Raman Spektrum	85
4.5	Eigenspannungsmessungen	87
4.6	Substrat- und Schichthärte.....	88
4.7	Schichthaftung.....	90
4.8	Hochtemperaturverhalten	94
4.8.1	Temperung in inerter Niederdruckatmosphäre	94
4.8.2	Temperung an Luft	96
4.8.3	Oxidationsverhalten von Ti-(Si)-B-(C)-N Schichten.....	99
4.8.4	Versuchsreihe Oxidationsbeständigkeit in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt.....	101
4.8.5	Korngrößen nc-Ti(C,N) und TiO ₂	105
4.9	Ergebnisse der Strangpressversuche.....	106
5.	Diskussion.....	108
5.1	Schichthaftung auf Werkzeugstählen.....	108
5.2	Beeinflussung der Schichtstruktur durch die Plasmaprozessführung.....	109
5.3	Nanostruktur	110
5.3.1	Größe und Zusammensetzung der nc-Körner	110
5.3.2	Aufbau der a-Matrix	111
5.4	Mechanische Eigenschaften	112
5.5	Thermische Beständigkeit	113
5.6	Einfluss von Prozessrückständen auf die Beschichtungen	114
5.6.1	Einfluss von Sauerstoffrückständen	115
5.6.2	Einfluss von Chlorrückständen	117
5.7	Anwendungseigenschaften als Verschleißschuttschicht	118
6.	Zusammenfassung.....	120

7. Fazit & Ausblick..... 122

Literaturverzeichnis..... 124

8. Anhang..... 128

8.1 Chemische Zusammensetzung & Härte 128

8.2 Prozessparameter Beschichtungsprozesse 129