

**Inhaltsverzeichnis**

**1     Einleitung und Motivation ..... 1**

**2     Stand der Wissenschaft und Technik .....4**

2.1    TiAl-Legierungen .....4

2.1.1    Entwicklung, Eigenschaften und Anwendungen von  $\gamma$ -TiAl-Legierungen .....6

2.1.2    Oxidationsverhalten von  $\gamma$ -TiAl-Legierungen .....9

2.1.3    Maßnahmen zur Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit von  $\gamma$ -TiAl-Legierungen ..... 12

2.2    Prozesstechnische Grundlagen..... 19

2.2.1    Physical Vapour Deposition ..... 20

2.2.2    Hohlkathoden-Gasflusssputtern..... 21

2.2.3    High Speed Physical Vapour Deposition ..... 24

**3     Zielsetzung und Entwicklungskonzept .....28**

**4     Experimentelle Durchführung.....31**

4.1    Technische Details der HS-PVD-Beschichtungsanlage ..... 31

4.2    Probenpräparation und Beschichtungsprozess..... 32

4.3    Methoden zur Schichtcharakterisierung ..... 33

4.3.1    Untersuchung der Schichtdicke und -morphologie mittels REM..... 33

4.3.2    Bestimmung der chemischen Zusammensetzung mittels EDX, GDOES und ESMA ..... 34

4.3.3    Phasenanalyse mittels XRD ..... 36

4.3.4    Untersuchung der Schichtmikrostruktur mittels TEM..... 37

4.3.5    Abbildende Darstellung und Bestimmung der Rauheitswerte mittels CLSM..... 38

4.3.6    Thermische Analyse mittels DSC und TGA..... 38

4.4    Methoden zur Verbundcharakterisierung..... 39

4.4.1    Ermittlung der Verbundhaftfestigkeit mittels Rockwelleindringprüfung ..... 40

4.4.2    Bestimmung der Verbundhaftfestigkeit mittels Scratchtest ..... 40

4.5    Untersuchung des Oxidationsverhaltens ..... 41

4.5.1	Isotherme Auslagerung .....	41
4.5.2	Thermozyklische Auslagerung .....	42
<b>5</b>	<b>Prozessentwicklung mittels HS-PVD .....</b>	<b>44</b>
5.1	Prozessfensterentwicklung und Parametervariation .....	44
5.2	Ergebnisse und Diskussion der Schichtcharakterisierung .....	48
5.2.1	Chemische Analyse .....	48
5.2.2	Schichtabscheiderate und Morphologie .....	52
5.2.3	Phasenanalyse .....	58
5.3	Ergebnisse und Diskussion der Verbundcharakterisierung .....	62
5.4	Zusammenfassung der Prozessentwicklung .....	67
<b>6</b>	<b>Herstellung von Oxidationsschutzschichten für <math>\gamma</math>-TiAl-Legierungen mittels HS-PVD .....</b>	<b>68</b>
6.1	(Cr,Al)ON-Schichtsystem .....	68
6.1.1	Herstellung des (Cr,Al)ON-Schichtsystems .....	68
6.1.2	Ergebnisse der Schichtcharakterisierung (Cr,Al)ON .....	71
6.1.3	Ergebnisse der Oxidationsuntersuchung (Cr,Al)ON/ $\gamma$ -TiAl .....	80
6.1.4	Fazit für das (Cr,Al)ON-Schichtsystem .....	85
6.2	CrAl-Schichtsystem .....	86
6.2.1	Herstellung des CrAl-Schichtsystems .....	86
6.2.2	Ergebnisse der Schichtcharakterisierung CrAl .....	88
6.2.3	Ergebnisse der Oxidationsuntersuchung CrAl/ $\gamma$ -TiAl .....	91
6.2.4	Fazit für das CrAl-Schichtsystem .....	96
6.3	SiAl- und SiAlY-Schichtsystem .....	97
6.3.1	Herstellung des SiAl- und SiAlY-Schichtsystems .....	97
6.3.2	Ergebnisse der Schichtcharakterisierung SiAl und SiAlY .....	99
6.3.3	Ergebnisse der Oxidationsuntersuchung SiAl/ $\gamma$ -TiAl und SiAlY/ $\gamma$ -TiAl .....	100
6.3.4	Fazit für das SiAl- und SiAlY-Schichtsystem .....	111
6.4	SiAlY-Schichtsystem mit in situ-Wärmebehandlung .....	112
6.4.1	In situ-Wärmebehandlung der abgeschiedenen SiAlY-Beschichtungen .....	112

6.4.2 Ergebnisse der Oxidationsuntersuchung SiAlY/  $\gamma$ -TiAl mit in situ-  
Wärmebehandlung .....113

6.4.3 Fazit für das SiAlY-Schichtsystem mit in situ-Wärmebehandlung .....122

**7 Zusammenfassung und Ausblick .....123**

**8 Literaturverzeichnis .....126**

**9 Anhang .....142**