

Dipl.-Ing. Frigyes Szücs, Berlin

**Thermomechanische
Analyse und Modellierung
plasmagespritzter und
EB-PVD aufgedampfter
Wärmedämmschicht-
Systeme für Gasturbinen**

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe Nr. **518**

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung und Zielsetzung</i>	1
1.1	Anwendung von Coatings als Wärmedämmschicht-System	1
1.2	Motivation dieser Arbeit.....	3
2	<i>Grundlagen</i>	5
2.1	Zirkondioxid-Keramiken.....	5
2.2	Y ₂ O ₃ -stabilisiertes Zirkondioxid	6
2.2.1	Y-FSZ	7
2.2.2	Y-TZP	8
2.2.3	Y-PSZ	8
2.2.4	Eigenschaften von Y-TZP, Y-PSZ und Y-FSZ	11
2.3	Plasmagespritzte Wärmedämmschicht-Systeme.....	15
2.3.1	Plasmaspritzen	15
2.3.2	Plasmagespritzte Y-ZrO ₂ -WDS (PS-WDS).....	17
2.3.3	Plasmagespritzte Haftvermittlerschichten	26
2.3.4	Versagen im PS-WDS-System	29
2.4	Elektronenstrahlaufgedampfte Wärmedämmschicht-Systeme	33
2.4.1	EB-PVD-Herstellungsprozeß	34
2.4.2	EB-PVD Y-ZrO ₂ -WDS	37
2.4.3	EB-PVD Haftvermittlerschichten	40
2.4.4	Haftung und Versagen im EB-PVD-WDS-System	40
3	<i>Probenherstellung, Präparation und Nachbehandlung</i>	43
3.1	Plasmagespritztes WDS-System.....	43
3.2	Elektronenstrahlaufgedampftes WDS-System	44
3.3	ZrO ₂ -Keramiken	45
3.4	Probenpräparation.....	45
3.5	Probenbezeichnungen	47
4	<i>Untersuchungsmethoden</i>	48
4.1	Übersicht	48
4.2	Meßmethode und Meßparameter der Differenz-Dilatometrie.....	49
4.3	Meßmethode und Meßparameter der Krümmungsanalyse	50
4.4	Meßmethode und Meßparameter der Dynamisch-Mechanischen Analyse	51
4.5	Meßmethode und Meßparameter der Schichtverbundanalyse.....	53
4.5.1	Bestimmung von E _{WDS} im Schichtverbund	53
4.5.2	Spannungsabhängige Ermittlung von E _{WDS}	54
4.5.3	Auswertalgorithmus für Spannungsberechnungen	56
5	<i>Ergebnisdarstellung und Diskussion</i>	58
5.1	Das Composite-Beam-Deflection-Modell	58
5.1.1	Unbelastete Schichtverbundstäbchen	58
5.1.2	Belastete Schichtverbundstäbchen.....	64
5.2	Mikrostrukturelle Charakterisierung	67
5.2.1	Substratmaterialien	67
5.2.2	Plasmagespritztes Wärmedämmschichtsystem.....	68
5.2.3	Getemperte PS-WDS-Systeme	71
5.2.4	Thermozyklierte PS-WDS-Systeme	74
5.2.5	Infiltrierte PSWDS und PS-SV	75
5.2.6	Elektronenstrahlaufgedampftes Wärmedämmschicht-System	77
5.2.7	Getemperte EB-PVD-WDS-Systeme	80
5.2.8	Texturierte EBWDS	80

5.3 Bestimmung des thermischen Ausdehnungsverhaltens	82
5.3.1 Substratmaterialien	82
5.3.2 PSHVS und EBHVS.....	83
5.3.3 PSWDS und TZP	83
5.3.4 EBWDS	86
5.3.5 TGO	89
5.4 Bestimmung thermomechanischer Kennwerte	90
5.4.1 Substratmaterialien	90
5.4.2 PSHVS.....	93
5.4.3 EBHVS	94
5.4.4 TZP und FSZ	95
5.4.5 PSWDS.....	96
5.4.6 PS-SV	101
5.4.7 TZWDS und KGWDS.....	102
5.4.8 HFWDS	104
5.4.9 HF-SV und NH ₄ F-SV	105
5.4.10 EBWDS	107
5.4.11 EB/LPPS-SV	109
5.4.12 Texturierte EBWDS	111
5.5 Schichtverbundanalysen	115
5.5.1 PS-SV	115
5.5.2 EB-SV und EB/LPPS-SV	119
5.6 Analyse innerer Spannungen	125
5.6.1 PS-SV	125
5.6.2 EB-SV.....	130
6 Bewertung der Ergebnisse	136
6.1 Struktur- und Gefügedefekte	136
6.1.1 Strukturdefekte auf atomarer Ebene	136
6.1.2 Gefügedefekte auf mikroskopischer Ebene	137
6.1.3 Gefügedefekte auf makroskopischer Ebene	139
6.2 Das Mikrokontakt-Modell	141
6.2.1 Elastizität	141
6.2.2 Pseudo-Plastizität.....	145
6.3 Makromechanische Modellierung des Gesamtsystems	148
7 Zusammenfassung und Ausblick	150
Anhang	153
Literaturverzeichnis	160