Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **15**

2 Aufbau und Versagen von Wärmedämmschichten **21**
2.1 Thermische Beschichtungsverfahren 22
2.2 Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) 23
2.2.1 Oberflächenaktivierung 25
2.2.2 Anlagentechnik 27
2.2.3 APS-Brenner 27
2.3 Wärmedämmschichtsystem 30
2.3.1 Substrat 31
2.3.2 Haftvermittlerschicht 34
2.3.3 Wärmedämmschicht 36
2.3.3.1 Zirkoniumdioxid 37
2.3.3.2 Schichtmorphologie 41
2.3.3.3 Porositäten 43
2.3.4 Thermisch gewachsenes Oxid 45
2.4 Einflussfaktoren des Schichtversagens 49
2.4.1 Thermische Differenzdehnungen 52
2.4.2 TGO-Wachstum 53
2.4.3 Kriechen 54
2.4.4 Grenzflächenrauigkeit 56

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2.4.5 Segmentierungsrisse 60
2.4.6 Eigenspannungen 63
2.4.7 Weitere Effekte 65
2.5 Versagensmodelle 73
2.5.1 Stadien des Schichtversagens 73
2.5.2 Mikrorissbildung nach Padture 75
2.5.3 Versagensmodell nach Freborg 76
2.5.4 Versagensmodell nach Evans 80

3 Modellsystem und Methodik 83
3.1 Auswahl des Modellsystems 84
3.2 Probenmaterialien und -herstellung 87
3.2.1 Materialeigenschaften 89
3.2.2 Rauigkeitsklassen 95
3.2.3 Rillen-Proben 97
3.2.4 Scheibenproben 101
3.2.5 Versuchsaufbau Plasmaspritzen 102
3.2.6 Haftungsprobleme der WDS 107
3.3 Materialographische Probenpräparation 108
3.4 Versuchsaufbau Thermozykliertest 109
3.5 Infrarot-Impulsthermographie 112
3.6 Finite-Elemente Simulation 114

4 Zweidimensionale Spannungssimulation 125
4.1 Finite Elemente Modell 125
4.1.1 Modellgeometrie 127
4.1.2 Thermische Belastung 130
4.1.3 TGO-Wachstum 131
4.2 Spannungsbeeinflussende Effekte 133
4.3 Abkühlspannungen 137
4.3.1 Abkühlspannungen, elastisch 137

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.3.2 Abkühlspannungen, visko-plastisch . . . 147
4.4 Grenzflächenvariationen 154
4.4.1 Abkühlspannungen ohne TGO, elastisch 155
4.4.2 Abkühlspannungen mit TGO, elastisch . 159
4.4.3 Abkühlspannungen mit TGO, visko-plastisch 166
4.5 Wachstumsspannungen 171
4.6 Thermo-zyklische Belastung 176
4.7 Zusammenfassung 189

5 Dreidimensionale Spannungssimulation 193
5.1 Modellerzeugung 196
5.1.1 Grenzflächengeometrie 197
5.1.2 Erzeugung vollständige Modellgeometrie 201
5.1.3 Vernetzung und Randbedingungen . . . 204
5.2 Abkühlspannungen 206
5.2.1 Rillen- und Doppelsinus-Profilierung . . 207
5.2.2 Kreis-Profilierung 212
5.2.3 Ungleichmäßige TGO-Dicke 215
5.3 Zusammenfassung 216

6 Delaminationsrissbildung 219
6.1 Algorithmus des Risswachstums 220
6.2 Initiale Rissbildung 225
6.2.1 Variation der Kriechfestigkeit 226
6.2.2 Variation der Grenzflächenrauigkeit . . 232
6.3 Risswachstum 235
6.3.1 Rissfortschrittssimulation 238
6.3.2 Variation der Risskeime 243
6.3.3 Reibung auf den Rissflanken 246
6.4 Zusammenfassung 249

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

7 Segmentierungsrisse 251
7.1 Modellgeometrie 252
7.2 Segmentierungsrissbildung 255
7.2.1 Variation des Rissabstandes 256
7.2.2 Variation der Risstiefe 261
7.2.3 Elasto-plastisches Materialverhalten . . 266
7.2.4 Variation der Substratkriechfestigkeit . . 269
7.2.5 Variation des Substratradius 276
7.3 Interaktion Segmentierungen Delaminationen . 278
7.4 Zusammenfassung 284

8 Synthese 287
8.1 Initiale Mikrorissbildung 289
8.1.1 Einfluss der Grenzflächenrauigkeit . . . 289
8.1.2 Einfluss der Kriechrelaxation 294
8.2 Segmentierungsrisse 299
8.2.1 Segmentierungsrissbildung 299
8.2.2 Oxidation unter Segmentierungsrissen . 301
8.3 Interaktion Segmentierungen Delaminationen . 304
8.4 Makroskopische Delaminationen 308
8.5 Versagensszenario des Modellsystems 313

9 Zusammenfassung und Ausblick 319

A Parametervariationen 327
A.1 Konturplots der Grenzflächenvariationen 327
A.2 Parametervariationen der Delaminationsrisse . 330

B Internes Bildnummernverzeichnis 339

C Literaturverzeichnis 341

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.