



Philipp Seiler (Autor)

Versagensmechanismen eines Modellsystems von Wärmedämmschichten



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6651>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



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



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



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-plas- tisch	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



7	Segmentierungsrisse	251
7.1	Modellgeometrie	252
7.2	Segmentierungsrisssbildung	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 Mikrorisssbildung	289
8.1.1	Einfluss der Grenzflächenrauigkeit . . .	289
8.1.2	Einfluss der Kriechrelaxation	294
8.2	Segmentierungsrisse	299
8.2.1	Segmentierungsrisssbildung	299
8.2.2	Oxidation unter Segmentierungsrisssen .	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