

# Untersuchungen zu suspensionsplasmagespritzten Wärmedämmschichtsystemen

Nadin Schlegel



Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 305  
ISBN 978-3-95806-118-7

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IEK-1)

# Untersuchungen zu suspensionsplasmagespritzten Wärmedämmschichtsystemen

Nadin Schlegel

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 305

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-118-7

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Plasmaspritzen	3
2.1.1	Atmosphärisches Plasmaspritzen	3
2.1.2	Suspensionsplasmaspritzen	10
2.1.3	Vakuumpasmaspritzen	13
2.2	Wärmedämmschichtsysteme in Gasturbinen	13
2.2.1	Funktionsweise einer Gasturbine	13
2.2.2	Funktionsweise einer Wärmedämmschicht	14
2.2.3	Aufbau von WDS-Systemen in Gasturbinen	15
2.2.4	Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid als WDS-Material und seine Einsatzgrenzen	17
2.3	Suspensionsplasmagespritzte Wärmedämmschichten	18
2.3.1	Lamellare SPS-Wärmedämmschichten	19
2.3.2	Hochsegmentierte SPS-Wärmedämmschichten	19
2.3.3	Säulenartige SPS-Wärmedämmschichten	19
<b>3</b>	<b>Experimentelle Methoden</b>	<b>23</b>
3.1	Plasmaspritzen	23
3.2	Thermische Belastungstests	24
3.2.1	Probengeometrie	24
3.2.2	Thermozyklierung	24
3.2.3	CMAS-Test	25
3.2.4	Ofentest	26
3.2.5	Berechnung der Grenzflächentemperaturen	26
3.3	Materialographische Probenpräparation	27
3.4	Mikrostruktur- und Oberflächenanalyse	27
3.4.1	Rasterelektronenmikroskopie	28
3.4.2	Stereomikroskopie	30
3.5	Phasenanalyse und chemische Analyse	31
3.5.1	Röntgenbeugung	31
3.5.2	Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma	31
3.6	Plasmacharakterisierung durch optische Emissionsspektroskopie	32
<b>4</b>	<b>Verwendete Pulver und Suspensionen</b>	<b>35</b>
4.1	Herstellung der Pulver	35
4.2	Charakteristika der Pulver	36
4.3	Herstellung der Suspensionen	36
4.4	Charakteristika der Suspensionen	37
<b>5</b>	<b>SPS-YSZ-Schichten für die Anwendung als Wärmedämmschichten</b>	<b>39</b>
5.1	Durchgeführte Beschichtungen	39
5.2	Prozessoptimierung – Festlegung von Beschichtungsparametern	40
5.2.1	Einfluss des Beschichtungsabstandes	40
5.2.2	Einfluss des Massenanteils des Pulvers in der Suspension	46
5.2.3	Einfluss des Verhältnisses Zerstäuberluftdruck/Suspensionsförderdruck (ZLD/SFD)	48

5.2.4	Einfluss der Plasmagaszusammensetzung	50
5.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse und Festlegung des Parametersatzes	52
5.3	Charakteristika der Schichten im Ausgangszustand	53
5.4	Verhalten unter zyklischer Temperaturbelastung mit Abkühlung auf unter 100 °C	55
5.5	Zusammenfassung und Ausblick	60
<b>6</b>	<b>SPS-Mg-Al-Spinell-Schichten für die Anwendung als Wärmedämmschichten</b>	<b>61</b>
6.1	Durchgeführte Beschichtungen	62
6.2	Charakteristika der Schichten im Ausgangszustand	63
6.3	Verhalten unter zyklischer Temperaturbelastung mit Abkühlung auf circa 500 °C	68
6.4	Zusammenfassung	72
<b>7</b>	<b>SPS-GZO-Schichten für die Anwendung als Wärmedämmschichten</b>	<b>73</b>
7.1	Durchgeführte Beschichtungen	75
7.2	Charakteristika der Schichten im Ausgangszustand	75
7.3	Verhalten unter zyklischer Temperaturbelastung mit Abkühlung auf unter 100 °C	80
7.4	Zusammenfassung und Ausblick	83
<b>8</b>	<b>SPS-LAMT-Schichten für die Anwendung als Wärmedämmschichten</b>	<b>85</b>
8.1	Durchgeführte Beschichtungen	86
8.2	Charakteristika der Schichten im Ausgangszustand	86
8.3	Verhalten unter zyklischer Temperaturbelastung mit Abkühlung auf circa 500 °C	89
8.4	Verhalten unter zyklischer Temperaturbelastung mit Abkühlung auf unter 100 °C	92
8.5	Verhalten unter zyklischer, isothermer Temperaturbelastung mit Abkühlung auf Raumtemperatur	95
8.6	Verhalten unter zyklischer Temperaturbelastung im CMAS-Test mit Abkühlung auf unter 100 °C	97
8.7	Zusammenfassung und Ausblick	101
<b>9</b>	<b>Einflussfaktoren auf die Mikrostruktur der hergestellten Schichten</b>	<b>103</b>
9.1	Einfluss des Massenanteils in der Suspension	104
9.2	Einfluss der Suspensionstropfengröße	104
9.3	Einfluss des Pulvermaterials im Suspensionstropfen	105
9.4	Einfluss der Plasmagastemperatur	105
9.5	Diskussion	106
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>113</b>
11.1	Verwendete Chemikalien	113
11.2	Übersicht über die Proben für die thermischen Belastungstests	114
11.2.1	YSZ-Thermozyklrierproben	114
11.2.2	Mg-Al-Spinell-Thermozyklrierproben	116
11.2.3	GZO-Thermozyklrierproben	117
11.2.4	LAMT-Thermozyklrierproben	118
11.3	Berechnung der Nettoleistung des Plasmagasbrenners	124
11.4	Berechnung des Auftragswirkungsgrades	126
11.5	Berechnung der Wärmemenge, die zum Verdampfen von Ethanol und zum Schmelzen von Pulver notwendig ist	126
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>129</b>

**Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 305  
ISBN 978-3-95806-118-7**

