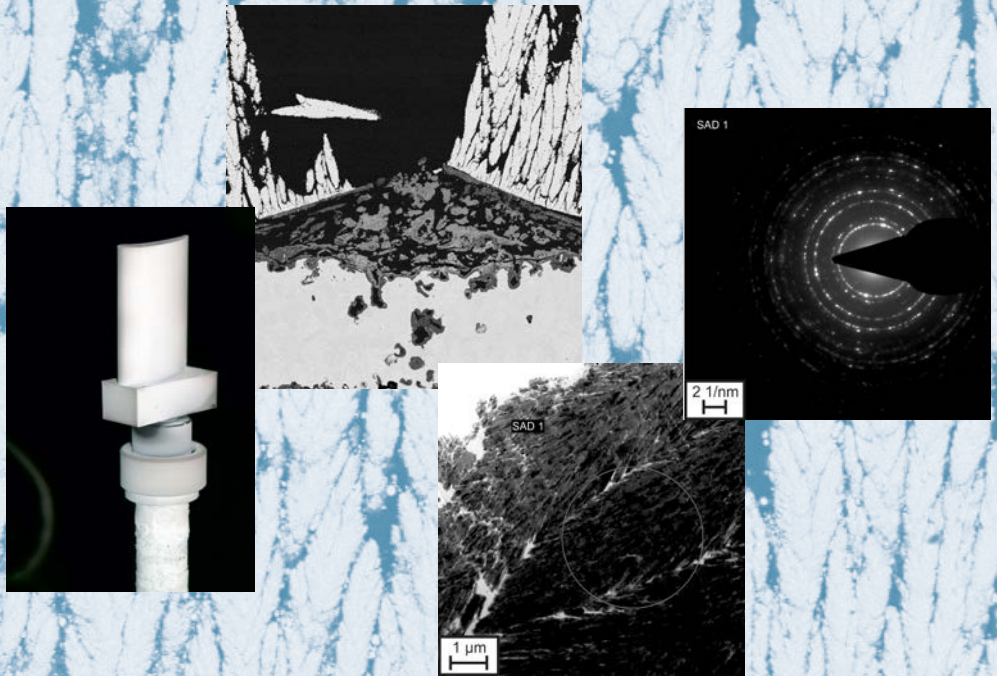


Abscheidung von Wärmedämmschichtsystemen mit dem Plasma Spray-Physical Vapor Deposition- (PS-PVD-) Prozess – Untersuchung des Prozesses und der hergestellten Schichten

Stefan Rezanka



Energie & Umwelt/
Energy & Environment
Band/ Volume 290
ISBN 978-3-95806-095-1

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

Abscheidung von Wärmedämmschichtsystemen mit dem Plasma Spray-Physical Vapor Deposition- (PS-PVD-) Prozess – Untersuchung des Prozesses und der hergestellten Schichten

Stefan Rezanka

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielsetzung der Arbeit.....	1
2.	Grundlagen zu Hochtemperaturbeschichtungen.....	3
2.1	Keramische Wärmedämmschichten (WDS).....	3
2.2	Schichtwerkstoffe und –Systeme.....	5
2.2.1	(Yttrium-teilstabilisiertes) Zirkoniumoxid (YSZ).....	5
2.2.2	Pyrochlore.....	6
2.2.3	Mehrlagensysteme.....	8
2.3	Haftvermittlerschichten.....	9
2.3.1	Oxidationsbeständigkeit.....	9
2.3.2	Gewährleistung der Anhaftung der keramischen WDS.....	11
2.4	Schädigungsmechanismen.....	12
2.4.1	Mechanische Spannungen.....	12
2.4.2	Bildung einer thermisch gewachsenen Oxidschicht.....	13
2.4.3	Phasenumwandlungen.....	14
2.4.4	Einfluss des Elastizitätsmoduls in der Schichtebene E_{π}	15
2.4.5	Verlust von Porosität und Dehnungstoleranz durch Sintern.....	16
2.4.6	Erosion der WDS.....	17
2.4.7	Hochtemperaturkorrosion durch Calcium-Magnesium-Alumino-Silikate (CMAS).....	17
3.	Grundlagen zu Beschichtungsverfahren.....	19
3.1	Thermisches Spritzen.....	19
3.1.1	Allgemeines.....	19
3.1.2	Atmosphärische Plasmaspritzprozesse.....	20
3.1.3	Plasmaspritzprozesse bei geringem Umgebungsdruck und definierter Atmosphäre.....	21
3.2	Der PS-PVD-Prozess.....	22
3.2.1	Einflüsse auf den Schichtaufbau im PS-PVD-Prozess.....	23
3.2.2	Plasma/Partikel-Wechselwirkungen im Plasmagenerator.....	23
3.2.3	Eigenschaften des laminaren Plasmastromes in größerem Abstand zum Plasmagenerator.....	26
3.2.4	Schichtwachstum in Abhängigkeit der auftreffenden Spezies und dem Ablaufen von Diffusionsprozessen.....	28
3.2.5	Reduzierende Eigenschaft des Plasmas und Sauerstoffzugabe.....	33
3.2.6	Auftreten des Spitting-Phänomens bei der Abscheidung in PS-PVD.....	34
3.2.7	Vergleich von PS-PVD mit anderen Plasmagetriebenen PVD-Prozessen.....	34
4.	Experimentelle Methoden.....	37
4.1	PS-PVD-Beschichtungen.....	37
4.1.1	PS-PVD-Anlage.....	37
4.1.2	Beschichtungsprozessparameter.....	37

4.1.3	Charakterisierung des Plasmastrahls und Messung der Substrattemperatur.....	38
4.1.4	Herstellung von Thermozyklrierproben für Lebensdaueruntersuchungen	39
4.1.5	Herstellung von Proben für Erosionstests	41
4.2	Schichtcharakterisierung.....	42
4.2.1	Materialographische Probenpräparation	42
4.2.2	Mikroskopie	42
4.2.3	Quantifizierung der Kolumnendichte	43
4.3	Lebensdaueruntersuchungen unter thermomechanischer Belastung.....	43
4.3.1	Thermozyklrierung unter Temperaturgradient	43
4.3.2	Thermozyklrierung in isothermen Ofenzykliertests.....	44
4.4	Beständigkeit gegen weitere mechanische und chemische Belastungen.....	45
4.4.1	Thermozyklrierung unter Temperaturgradient und CMAS-Angriff	45
4.4.2	Erosionsbeständigkeit	46
4.4.3	Bestimmung des Elastizitätsmoduls in der Schichtebene E_{π}	48
5.	Methoden zur Modellierung der Bildung von Clustern.....	53
6.	Ergebnisse und Diskussion	63
6.1	Optimierung der Lebensdauer von PS-PVD-beschichteten WDS	63
6.1.1	„Standard“ PS-PVD-Parameter ohne zusätzlichen Sauerstoff	63
6.1.2	YSZ-Doppellagensysteme.....	68
6.1.3	Einfluss der Abscheiderate zu Beginn der Abscheidung.....	72
6.1.4	Einfluss der Voroxidation der Bondcoatoberfläche	77
6.1.5	Mikrostrukturen optimierter PS-PVD-Schichten nach dem Versagen ..	80
6.1.6	Einfluss der Oberflächenrauigkeit	85
6.1.7	Einfluss der Bondcoatdicke	87
6.1.8	Einfluss der Plasmagaszusammensetzung.....	88
6.1.9	Doppellagensysteme mit dem neuen WDS-Werkstoff $Gd_2Zr_2O_7$	89
6.2	Beständigkeit von PS-PVD-beschichteten WDS gegen chemische und mechanische Schädigungen	99
6.2.1	Lebensdaueruntersuchungen unter Angriff von CMAS	99
6.2.2	Erosionsbeständigkeit von PS-PVD Schichten	112
6.2.3	Mikrostrukturen nach den Erosionstests	118
6.2.4	Vergleich der mechanischen Eigenschaften (Elastizitätsmoduli in Schichtebene) von APS und PS-PVD Schichten in verschiedenen Alterungszuständen.....	120
6.3	Beschichtungsergebnisse von Turbinenschaufelmodellen	129
6.4	Berechnungen von Teilchenbildungsprozessen und Wachstumsprozessen ..	135
6.4.1	Auskondensierende Spezies	135
6.4.2	Beschreibung des Plasmastrahls	137
6.4.3	Plasmastrahl-Substrat-Wechselwirkungen.....	141
6.4.4	Beeinflussung von Partikelbildung und -wachstum durch Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit und Anzahlkonzentration	146

6.4.5	Ablaufen von Keimbildungs- und Wachstumsprozessen in PS-PVD	154
6.4.6	Variation der Diskretisierung	156
6.5	Untersuchungen der Mikrostrukturen zum verbesserten Verständnis des Prozesses	158
6.5.1	Vergleich verschiedener mit dem PS-PVD-Prozess abgeschiedener kolumnarer Schichten mittels eines Linienschnittverfahrens	158
6.5.2	Transmissionselektronenmikroskopie	162
7.	Zusammenfassung und Ausblick	169
8.	Literaturverzeichnis	173
9.	Anhang	187
9.1	Abtragsraten bei halbautomatischem Schleifen von Bondcoats	187
9.2	Messungen der Pulverflussrate	189
9.3	Messungen der Schichtwachstumsrate	192
9.4	Einfluss der Beschreibung der Wiederverdampfung des kondensierenden Materials in den Berechnungen zu Partikelbildung und –wachstum	195
9.5	Weitere Ergebnisse aus TEM-Untersuchungen	199

Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band/ Volume 290
ISBN 978-3-95806-095-1

