

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1: EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
KAPITEL 2: SCHRIFTTUMSÜBERSICHT	7
2.1 WÄRMEDÄMMSCHICHTSYSTEM	7
2.1.1 <i>Vorbemerkung</i>	7
2.1.2 <i>Der einkristalline Substratwerkstoff CMSX-4</i>	7
2.1.3 <i>Beschichtungsverfahren</i>	9
2.1.4 <i>Keramischer Werkstoff</i>	10
2.1.5 <i>Eigenschaften von Wärmedämmschichten</i>	11
2.2 HAFTVERMITTLERSCHICHTEN	13
2.2.1 <i>Allgemeine Anforderungen</i>	13
2.2.2 <i>MCrAlY-Schichten</i>	15
2.2.3 <i>Diffusionsschichten</i>	18
2.2.4 <i>Einfluss der Temperatur auf das Gefüge</i>	19
2.2.5 <i>Physikalische und mechanische Eigenschaften von Haftvermittlerschichten</i>	22
2.2.6 <i>Zeitabhängige Verformung von Haftvermittlerschichten</i>	27
2.2.7 <i>Einfluss der Haftvermittlerschicht auf die Schädigung von TBC-Systemen</i>	31
2.2.8 <i>Eigenschaften der Phasen von Haftvermittlerschichten</i>	33
2.3 VERSAGEN DES WÄRMEDÄMMSCHICHTSYSTEMS IM LABORVERSUCH	36
2.3.1 <i>Vorbemerkung</i>	36
2.3.2 <i>Oxidationsversuche</i>	37
2.3.3 <i>Mechanische Versuche</i>	39
2.3.4 <i>Versuche mit Temperaturgradient</i>	42
2.4 THERMISCH-MECHANISCHE ERMÜDUNG	43
2.4.1 <i>Beurteilung von Versuchen zur Simulation der Belastungsbedingungen in der Gasturbine</i>	43
2.4.2 <i>Versuchskonzept</i>	44
2.4.3 <i>Einstellen der Probertemperatur</i>	46
2.4.4 <i>Versagen unter thermomechanischer Belastung</i>	47
KAPITEL 3: VERSUCHSBESCHREIBUNG UND ERGEBNISSE	51
3.1 SCHICHTSYSTEM	51
3.1.1 <i>Werkstoffauswahl und Herstellung</i>	51
3.1.2 <i>Mikrostruktur der Haftvermittlerschicht</i>	53
3.2 SPEZIELLE ANALYSEMETHODEN	58
3.2.1 <i>Bestimmung von Phasenanteilen in der Haftvermittlerschicht</i>	58
3.2.2 <i>Schallemission</i>	59
3.2.3 <i>Thermografie</i>	61
3.3 SCHERVERSUCHE	61
3.3.1 <i>Entwicklung und Aufbau der Versuchsapparatur</i>	61
3.3.2 <i>Herstellung der Proben</i>	64
3.3.3 <i>Vorversuche</i>	65
3.3.4 <i>Auswertungsverfahren und Versuchsdurchführung</i>	69

Inhaltsverzeichnis

3.3.5	<i>Ergebnisse</i>	72
3.3.6	<i>Untersuchung der mikrostrukturellen Änderungen im γ, β-Mischgefüge nach der Verformung</i>	83
3.3.7	<i>Quantitative Auswertung der Ergebnisse</i>	87
3.4	BIEGEVERSUCHE ZUR SCHÄDIGUNGSANALYSE DES SCHICHTSYSTEMS	93
3.4.1	<i>Versuchsbeschreibung</i>	93
3.4.2	<i>Bestimmung der Dehnung aus der Durchbiegung</i>	95
3.4.3	<i>Bruchverhalten der Haftvermittlerschicht</i>	97
3.4.4	<i>Analyse der Schädigung mit Hilfe von Schallemission und in-situ Kamerabeobachtungen</i>	102
3.4.5	<i>Beginn der Schädigung in der Wärmedämmschicht</i>	105
3.4.6	<i>Schichtversagen – Delamination</i>	109
3.4.7	<i>Rissverläufe</i>	111
3.5	ANISOTHERME DEHNWECHSELVERSUCHE	115
3.5.1	<i>Entwicklung der Versuchsanordnung</i>	115
3.5.2	<i>Versuchsdurchführung</i>	118
3.5.3	<i>Ergebnisse</i>	120
KAPITEL 4: DISKUSSION		127
4.1	VERFORMUNGSVERHALTEN DER HAFTVERMITTLERSCHICHT	127
4.1.1	<i>Datensatz für die Formulierung der Verformung</i>	127
4.1.2	<i>Bewertung der Ergebnisse aus den Scherversuchen</i>	130
4.2	SCHÄDIGUNG IM BIEGEVERSUCH	133
4.3	SCHÄDIGUNG IM TMF-VERSUCH	135
KAPITEL 5: ZUSAMMENFASSUNG		139
KAPITEL 6: LITERATURVERZEICHNIS		143