

Inhalt

NOTATION	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XVII
1. EINLEITUNG	1
2. GRUNDLAGEN UND STAND DER WISSENSCHAFT	3
2.1 Fügen von Keramik	3
2.1.1 Formschlüssige und kraftschlüssige Verfahren	4
2.1.2 Stoffschlüssige Verfahren	4
2.1.3 Hochtemperaturlöttechnik Keramik	5
2.1.3.1 Fügen mit Glasloten	8
2.1.3.2 Metallisieren der Keramik.....	8
2.1.3.3 Aktivlöten	9
2.1.3.4 Reaktivlöten an Luft	9
2.2 Sauerstoffleitende Hochtemperaturmembranen in Perowskitstruktur ...	13
3. MOTIVATION	17
4. ZIELSETZUNG	19
4.1 Hauptziel	19
4.2 Teilziele	19
4.2.1 Technologisches Verständnis	19
4.2.2 Materialwissenschaftliches Verständnis	19
4.2.3 Verständnis der Langzeitfestigkeit.....	20
4.2.4 Optimierte numerische Simulation.....	20
5. WERKSTOFFE UND METHODIK	23
5.1 Werkstoffe	23
5.1.1 BSCF.....	23
5.1.2 Stahl X15CrNiSi25-21	25

5.1.3	AgCu-Lot	27
5.1.3.1	Uniaxial gepresste Lottabletten	27
5.1.3.2	Lotfolie	28
5.2	Temperaturführung beim Löten.....	28
5.3	Probenherstellung	29
5.3.1	Tablettengeometrie	29
5.3.2	Stabgeometrie	30
5.3.3	Hülsegeometrie	31
5.4	Mechanische Charakterisierung von Metall-Keramik-Lotverbunden	32
5.4.1	Festigkeit von Keramik und Weibulltheorie	33
5.4.2	Fehlerbetrachtung	37
5.4.3	Der Zugversuch	38
5.4.4	Der 4-Kugel-Versuch	40
5.4.5	Der 4-Punkt-Biegeversuch	42
5.4.6	Fraktografische Untersuchung	44
5.5	Alterung	44
5.5.1	Theoretische Betrachtung	44
5.5.2	Bewertung	47
5.5.3	Durchführung der Versuche	47
5.6	Untersuchungen zum Einfluss des Fügedrucks	47
5.7	Finite Elemente Methode.....	48
5.8	Verfahren zur Werkstoffcharakterisierung	49
5.8.1	Dynamische Differenzkalorimetrie	50
5.8.2	Gefügeuntersuchungen	50
5.8.3	Korngrößenanalyse	51
5.8.4	XRD-Phasenanalyse	52
5.8.5	Dilatometrie	52
5.8.6	Nanoindentation	52
6.	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	55
6.1	Prozesstechnik	55
6.1.1	Thermische Analyse	55
6.1.1.1	Lot auf BSCF.....	55

6.1.1.2	Lot auf Stahl X15CrNiSi25-21	57
6.1.1.3	Lot im Gesamtverbund BSCF-X15CrNiSi25-21	58
6.1.2	Benetzungsversuche	59
6.1.2.1	Benetzbarkeit der Keramik	60
6.1.2.1.1	Benetzungswinkel	60
6.1.2.1.2	Dicke der Reaktionsschicht	62
6.1.2.2	Benetzbarkeit des Stahls X15CrNiSi25-21	65
6.1.3	Einfluss des Fügedrucks auf die Mikrostruktur	67
6.2	Mikrostrukturelle Untersuchungen	71
6.2.1	Reaktionsprodukte in der Keramik	71
6.2.2	Stahlseitige Reaktionsprodukte	80
6.2.3	Nachbildung der Reaktionsphasen und Kennwertermittlung	87
6.2.3.1	Reaktionsprodukte in der Keramik	87
6.2.3.1.1	Pulvermetallurgische Nachbildung	87
6.2.3.1.2	Dilatometermessungen	89
6.2.3.2	Stahlseitige Reaktionsprodukte	91
6.2.3.2.1	Pulvermetallurgische Nachbildung	92
6.2.3.2.2	Dilatometermessungen	93
6.2.3.3	Nanoindentormessungen	95
6.3	Mechanische Untersuchungen	95
6.3.1	Charakterisierung des BSCF	95
6.3.2	Charakterisierung der Verbunde	98
6.3.2.1	Zugfestigkeit	98
6.3.2.1.1	Raumtemperaturversuche	98
6.3.2.1.2	Hochtemperaturversuche	100
6.3.2.2	Biegefestigkeit	104
6.4	Alterung	109
6.4.1	Alterung des BSCF	109
6.4.1.1	Mikrostruktur	109
6.4.1.2	Biegefestigkeit bei Raumtemperatur	116
6.4.1.3	Biegefestigkeit bei 850 °C	118
6.4.2	Alterung der Verbunde	120
6.4.2.1	Mikrostruktur	120
6.4.2.1.1	Hülsegeometrie	121
6.4.2.1.2	Stabgeometrie	122
6.4.2.2	Zugfestigkeit bei Raumtemperatur	128
6.4.2.3	Biegefestigkeit bei Raumtemperatur	131

6.4.2.4 Biegefestigkeit bei 850 °C	136
6.4.3 Vergleich der Degradation.....	146
6.5 Finite Elemente Analyse.....	147
6.5.1 Vereinfachtes Modell.....	148
6.5.2 Erweitertes Modell.....	150
7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	153
LITERATUR	159
ANHANG.....	176