
Inhaltsverzeichnis

1 Motivation und Zielsetzung	7
2 Grundlagen und Stand der Technik	10
2.1 Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFCs)	10
2.1.1 Funktions- und Bauweisen	10
2.1.2 Dichtungskonzepte und Fügeverfahren	12
2.2 Stoffschlüssiges Fügen von Metall und Keramik	16
3 Lösungsansatz	22
4 Werkstoffe, Verfahren und Methoden	23
4.1 Substrate und Beschichtungen	23
4.1.1 Metallsubstrate	23
4.1.2 Oxidkeramische Substrate	25
4.1.3 Oxidkeramische Beschichtungen	27
4.2 Metalllotsysteme	31
4.3 Lötverfahren	33
4.4 Analyse- und Charakterisierungsmethoden	36
4.4.1 Physikalische und Makrostruktur-Analysen	36
4.4.1.1 Rheometrie	36
4.4.1.2 Simultane Thermische Analyse (STA)	36
4.4.1.3 Dilatometrie	36
4.4.1.4 Polychromatische Lichtstreuung	38
4.4.1.5 Oberflächentaster	38
4.4.1.6 Mikroröntgen und Stereomikroskopie	38
4.4.2 Phasen- und Mikrostruktur-Analysen	38
4.4.2.1 Glimmentladungsspektroskopie (GDOES)	38
4.4.2.2 Querschliffpräparation und Lichtmikroskopie	39
4.4.2.3 Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM mit EDX, WDX und EBSD)	40
4.4.2.4 Transmissions-Elektronen-Mikroskopie (TEM mit FIB-Präparation)	41
4.4.2.5 Mikromechanische Eigenschaften	42
4.4.3 Charakterisierung der funktionalen Eigenschaften	43
4.4.3.1 Gasdichtigkeit	44
4.4.3.2 Elektrische Leitfähigkeit	45
4.4.3.3 Scherzug- und Schälversuch	46
4.4.3.4 Gekerbter 4-Punkt-Biegeversuch (nach Charalambides)	48
4.5 Korrosions- und Temperaturwechselversuche	49

5 Auswahl des Metalllotsystems.....	52
5.1 Schmelzmetallurgische und ökonomische Kriterien.....	52
5.2 Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit.....	54
5.3 Untersuchungen zur thermische Ausdehnung und Duktilität.....	55
5.4 Bewertung der untersuchten Metalllotsysteme.....	57
6 Entwicklung von Nickelreaktivlot / Oxidkeramik – Fügungen	58
6.1 Grundlegende Untersuchungen	58
6.1.1 Interaktion Ni102+TiH ₂ / Oxidkeramiken.....	58
6.1.2 Interaktion Ni102+TiH ₂ / ferritische Chromstähle.....	63
6.1.3 Auslegung der Fügegeometrie	67
6.2 Reaktivelement Titan.....	70
6.2.1 Reaktivlot-Pastemischung Ni102+TiH ₂	70
6.2.2 Überschichtung von Ni102- und CuTi-Lotpasten	79
6.2.3 TiO- oder TiO/Cu-Metallisierungen mit Ni102-Lotpaste	84
6.2.4 Vergleich und Bewertung.....	86
6.3 Reaktivelement Zirkon	87
6.4 Bewertung der titan- und zirkonaktivierten Ni102-Lotsysteme	90
6.5 Optimierung der Reaktivelementgehalte	91
6.6 Optimierung des Lötprozesses	94
6.6.1 Fügekräfte.....	94
6.6.2 Fügetemperatur und Haltezeiten.....	95
6.6.3 Verbessertes Hochvakuum und Molybdänheizung.....	99
6.6.4 Alternative Wasserstoff-Atmosphäre	101
6.7 Optimierung der Isolationsbeschichtungen	102
6.8 Bewertung der Optimierungsansätze.....	105
6.9 Herstellung erster SOFC-Stackbauteile	106
7 Nickellot / MgO-Fügungen als isolierendes SOFC-Dichtungskonzept	108
7.1 Hochtemperatureigenschaften.....	108
7.2 Korrosionsverhalten.....	109
7.3 Temperaturwechselbeständigkeit	116
7.4 Bewertung der Eignung zum Einsatz als SOFC-Dichtungskonzept.....	117
8 Zusammenfassung und Ausblick	118
9 Literaturverweise.....	123
10 Abkürzungsverzeichnis, Lebenslauf und Danksagung.....	134
