

Selbsteheilende, elektrische Isolationsschichten für Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC)

Modellierung der Schädigungsmechanismen und Optimierung von SOFC-Schichtsystemen

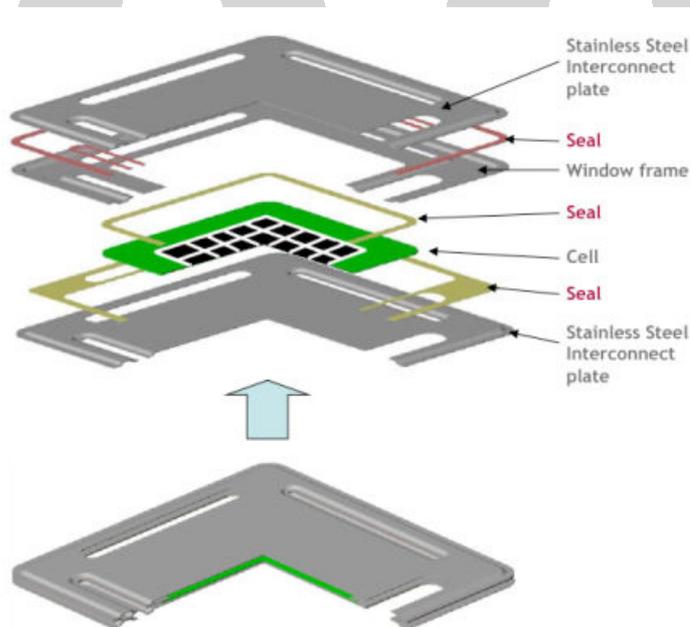
Projektbeginn: 01.04.2012

Projektende: 31.03.2015

Ziele

In diesem Projekt soll die Zuverlässigkeit von Hochtemperaturbrennstoffzellen (engl.: Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)) im Betrieb verbessert werden.

Die Einsatzbedingungen der Brennstoffzelle stellen aufgrund der thermischen Zyklierung mit ausgeprägter Aufheiz- bzw. Abkühlrate außerordentliche Anforderungen an das Material und das Bauteil insbesondere an die Langzeitbeständigkeit.



In Abbildung 1 ist der planare Aufbau der untersuchten Hochtemperaturbrennstoffzelle exemplarisch dargestellt. Die vollständige Brennstoffzelle besteht aus:

- Interkonnektor-Platten
- Fensterrahmen
- stromerzeugender Zelle (cell)
- Dichtsystem (engl.: seal)

Die Elemente sind über das Dichtsystem, das aus einem Keramik-Metall-Schichtverbund besteht, miteinander verbunden.

Abb. 1: Hochtemperaturbrennstoffzelle (planares Design)

[www.sae.org]

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen die Bildung und das Wachstum von Defekten, wie z.B. Risse, Poren oder Delaminationen im Dichtsystem. Diese Defekte können schließlich zum technischen Versagen der Brennstoffzelle führen.

Die einzelnen Komponenten werden aufgrund ihrer unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie den häufigen Temperaturzyklen bis zu Temperaturen von 800 °C

thermo-mechanisch beansprucht. Insbesondere die Dichtung zwischen den Interkonnektor-Platten wird hoch belastet.

Durch die Herstellung der Keramik-Schicht mittels Plasmasprühverfahren wird eine komplexe Mikrostruktur erzeugt. In Abbildung 2 ist die charakteristische Mikrostruktur einer plasmagesprühten Schicht zu sehen. Auffallend sind in dieser 200 μm -dicken Keramik-Schicht die Defekte wie Poren und Risse; diese können erhebliche Auswirkungen auf die Langzeitstabilität der Brennstoffzelle haben, weil sie zunehmend als Ausgangspunkte für die Bildung von Makrorissen in der Schicht fungieren.

Der Keramik-Metall-Schichtverbund übernimmt insbesondere zwei wichtige Aufgaben in der Brennstoffzelle:

- Medientrennung: das Brenngas (z.B. Wasserstoff) und die zur Reaktion benötigte Luft müssen räumlich voneinander getrennt werden.
- Isolationswirkung: die Schicht muss unter thermisch-zyklischer Belastung dauerhaft elektrisch isolierend sein, damit der erzeugte Strom nicht zu einem Kurzschluss innerhalb der Brennstoffzelle führt.

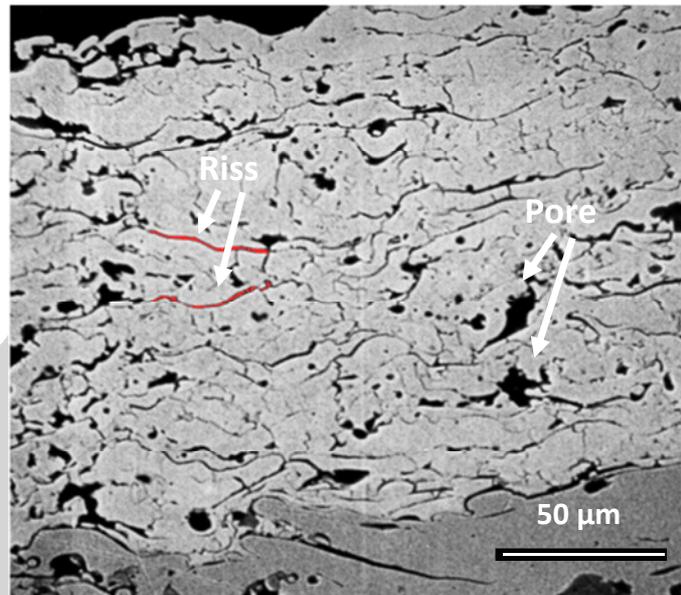


Abb. 2: Mikrostruktur einer plasmagesprühten Schicht [Nicholls et al. (2002)]

Ein Konzept ist die Entstehung neuer Risse zu reduzieren und das Wachstum von vorhandenen Rissen zu unterdrücken. Hierzu werden Selbstheilungseffekte ausgenutzt. Mit Hilfe der numerischen Simulation und mit Experimenten werden diese Effekte im Detail untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse führen zu einem besseren Verständnis des Selbstheilungseffekts.

Vorgehensweise

Die Simulation soll ein realistisches makroskopisches Modell liefern, welches es erlaubt, die verschiedenen kritischen Zustände im Bauteil darzustellen. Es soll der Schädigungsmechanismus des Keramik-Metall-Schichtsystems verstanden werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen dann zur Auswahl der Schädigungsmodelle.

Um genaue Ergebnisse zu erhalten, werden die thermo-mechanischen und die thermo-physikalischen Eigenschaften der Keramik-Schicht benötigt. Die Messungen der Eigenschaften werden zusätzlich beauftragt.

Schließlich soll der Schichtverbund unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung der Langzeitstabilität optimiert werden. Dazu zählt auch die Untersuchung der selbstheilenden Wirkung (Reduktion der Rissentstehung und Ausbreitung) der in das Schichtsystem eingebrachten selbstheilenden Komponente.

Mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) wird das Werkstoff- und Bauteilverhalten numerisch simuliert. Dafür kommen hauptsächlich der kommerzielle Solver ABAQUS und die Software Digimat zum Einsatz. Mit Unterstützung von Projektpartnern werden die mikrostrukturmechanischen Schädigungsmodelle auf das makromechanische Gesamtverhalten des Bauteils übertragen.

Im Einzelnen werden in diesem Teilprojekt folgende Punkte bearbeitet:

- Identifizierung der hauptsächlichlichen Schädigungsmechanismen
- Auswahl leistungsfähiger Schädigungsmodelle durch iterative Optimierung
- Mikrostrukturmechanische Simulation
- Optimierung der schädigungsmechanischen Eigenschaften des SOFC-Schichtsystems
- Abgleich der Ergebnisse mit Experimenten
- Kopplung und Anwendung angepasster Versagensmodelle auf unterschiedlichen Längenskalen in enger Abstimmung mit Industriepartnern

Partner

Das Projekt wird in Kooperation mit Partnern aus der Industrie und Forschung durchgeführt.

Danksagung

Das Forschungsprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziell gefördert. Wir danken für die Unterstützung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Vinzenz Guski

Tel.: +49 (0)711 685-67673

Fax: +49 (0)711 685-62635

E-Mail: vinzenz.guski@imwf.uni-stuttgart.de

Dr.-Ing. Ulrich Weber

Tel.: +49 (0)711 685-63055

Fax: +49 (0)711 685-62635

E-Mail: ulrich.weber@imwf.uni-stuttgart.de

Prof. Dr. rer. nat. Siegfried Schmauder

Tel.: +49 (0)711 685-62556

Fax: +49 (0)711 685-62635

E-Mail: siegfried.schmauder@imwf.uni-stuttgart.de