

Abstract

Micro- and fracture-mechanical failure modeling of thermal barrier coating systems

Thermal Barrier Coating (TBC) systems in gas turbines are exposed to considerable thermo-mechanical and oxidative loading. The residual stress fields induced by the thermal expansion mismatch and oxidation of the Bond Coat (BC) in the coating system are thoroughly investigated in this work using numerical methods. The finite element calculations performed consider fundamental aspects of the microstructure such as interface roughness, kinematics of the oxidation process and viscoplasticity of the bond coat. Based on the evaluation of the calculated residual stress fields and the experimental observations of cracking behavior, cracks are modeled in the TBC in the vicinity of the TBC/Thermally Grown Oxide (TGO) interface, in the TGO, and at the TGO/BC interface. In this work, results of the fracture mechanics assessment of the implemented cracks are presented. The modified crack closure integral (MCCI) method is used for postprocessing the finite element results to determine the mode-dependent energy release rate components. The crack propagation capability and crack propagation direction are then predicted using mixed mode failure criteria and critical material data in addition to the crack assessment results. The influence of crack configuration and of different geometrical parameters on the mode dependency of the crack growth is shown. Applying the fracture mechanics technique, different failure mechanisms of the TBC systems are investigated. Interactions between microstructure, growth of the TGO, viscoplasticity of the BC and the failure mode of the TBC system are shown. The performed investigations can be considered as basis for a fully numerical life time prediction model of TBC systems.

Kurzfassung

Wärmedämmschichtsysteme in Gasturbinen werden erheblichen thermomechanischen und oxidativen Beanspruchungen ausgesetzt. Die aufgrund der thermischen Fehlanpassung zwischen den Schichten und der Oxidation von der Haftvermittlerschicht induzierten Eigenspannungsverteilungen werden im Rahmen dieser Arbeit eingehend numerisch untersucht. Die durchgeführten finiten Elementberechnungen berücksichtigen grundlegende Aspekte der Mikrostruktur wie Rauheit der Grenzfläche, Kinematik des Oxidationsprozesses und Viskoplastizität der Haftvermittlerschicht. Basierend auf den numerisch ermittelten Eigenspannungsfeldern und den experimentellen Beobachtungen des Risswachstumsverhaltens werden Risse in der Wärmedämmschicht in der Nähe zur Grenzfläche mit der Oxidschicht, innerhalb der Oxidschicht und an der Grenzfläche zwischen Oxidschicht und Haftvermittlerschicht modelliert. Im Rahmen dieser Arbeit werden die numerischen Ergebnisse der bruchmechanischen Bewertung der implementierten Risse vorgestellt. Anhand der modifizierten Rissschließungsmethode werden die einzelnen Komponenten der Energiefreisetzungsrate durch Auswertung der FEM-Spannungsfelder an der Rissspitze bestimmt. Risswachstum und Risswachstumsrichtung werden anhand eines mehrachsigen Risswachstumskriteriums, experimentell bestimmter Risswiderstandswerte und der entsprechenden numerischen Rissbelastung ermittelt. Der Einfluss verschiedener Geometrieparameter und der Risskonfiguration auf die Modusabhängigkeit der Rissausbreitung wird aufgezeigt. Durch Anwendung des bruchmechanischen Ansatzes werden verschiedene Versagensmechanismen untersucht. Dabei wird die Wechselwirkung zwischen Mikrostruktur, Wachstum der Oxidschicht, Viskoplastizität der Haftvermittlerschicht und Versagensmodus des Wärmedämmschichtsystems gezeigt. Die durchgeführten Untersuchungen können als Grundlage für die Aufstellung eines vollständigen numerischen Modells zur Lebensdauervorhersage von Wärmedämmschichtsystemen dienen.