

Zerstörungsfreie Schichtdickenmessung an EBPVD-Wärmedämmschichten mit Hilfe der Terahertz-Messtechnik

Thomas COSACK¹, Fadi MAATOUK¹, Jens KLIER², S. KRIMI²,
Joachim JONUSCHEIT²

¹ MTU Aero Engines, München

² Fraunhofer IPM, Kaiserslautern

Hochdruckturbinenschaufeln sind hohen Oberflächentemperaturen (ca. 1250 °C) ausgesetzt und somit müssen sie mit einer keramischen Wärmedämmschicht geschützt werden. Dies geschieht im EBPVD-Verfahren (Electronic Beam Physical Vapor Deposition/ Elektronenstrahlverdampfen), bei dem Yttriumoxid-teilstabilisiertes Zirkonoxid (6-8 Gew.-% Y_2O_3 , Rest ZrO_2) verdampft und sich anschließend bevorzugt auf den Turbinenschaufelblätter als Hochleistungs-Wärmedämmschicht niederschlägt.

Die Schichtdicke der Wärmedämmschicht ist ausschlaggebend für die Effizienz der Schicht. Alle bisherigen Versuche, Schichtdicken an keramischen Wärmedämmschichten auf Turbinenschaufeln zerstörungsfrei zu ermitteln, sind gescheitert. D. h. eine exakte Messung ist bis jetzt nur zerstörend in der Metallografie möglich, indem Bauteile oder Proben zerschnitten und mikroskopisch ausgewertet werden.

Die Terahertz-Messtechnik bietet hier Möglichkeiten, sehr genau Schichtdicken an EBPVD-Wärmedämmschichten zu messen. Dazu wird ein Kurzpuls-Terahertz-System eingesetzt, bei dem die Reflexionen an der Schichtoberfläche und an der Grenzfläche zur Haftsicht über ihre unterschiedlichen Laufzeiten erfasst werden. Zirkonoxid-Wärmedämmschichten sind in diesem Frequenzbereich optisch nicht dicht bzw. opak. Auf Grund dieses physikalischen Effektes kann ihre Schichtdicke mit Hilfe der Terahertz-Messtechnik im Frequenzbereich $10^{11} - 10^{13}$ Hz (0,1 – 10 THz) ermittelt werden.

Im Rahmen einer Studie wurde die Terahertz-Messtechnik an einer Turbinenlaufschaukel (s. Bild) erprobt.



Hochdruckturbinenlaufschaukel mit einer EBPVD-Wärmedämmschicht

Bevor eine Messung stattfinden kann, muss die Korrelation zwischen der Laufzeit der Terahertz-Impulse und der in der Metallografie gemessenen Schichtdicke in Form einer Kalibrierung ermittelt werden. Diese Korrelationsbeziehungen wurden mit Messungen an zuvor fixierten Messpunkten an mehreren Turbinenschaufeln mit Hilfe der Regressionsanalyse statistisch erfasst. Anschließende Schichtdickenmessungen an einer neutralen Laufschaufel zeigten eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Terahertz-Messtechnik und der metallografischen Überprüfung.

Somit besitzt die Terahertz-Messtechnik ein hohes Potenzial, in Zukunft Schichtdicken an Wärmedämmschichten zerstörungsfrei messen zu können. In weiterführenden Untersuchungsreihen lassen sich gewisse Messungenauigkeiten noch verbessern, z. B. durch robotergeführte Messungen statt manueller Messeinstellungen.