

# ZUVERLÄSSIGE AUSLEGUNG VON CMC-BAUTEILEN

## Norm für Biegeprüfung: Verbundprojekt „ELKE“ untersucht kurzfaserverstärkte keramische Verbundwerkstoffe

Die existierenden Normen zur mechanischen Prüfung von keramischen Verbundwerkstoffen sind auf kurzfaserverstärkte CMC nicht explizit anwendbar. Im Rahmen des BMWi Förderprogramms „Transfer von FuE-Ergebnissen durch Normung und Standardisierung“ soll daher eine Norm für die Biegeprüfung von kurzfaserverstärkten CMC entwickelt werden. Zu diesem Zweck wurde das Verbundprojekt „Energieeffizienz und Leichtbau mit Faserkeramiken durch zuverlässige Kennwertermittlung für die konstruktive Auslegung (ELKE)“ ins Leben gerufen. Die Projektpartner Fraunhofer IWM Freiburg, Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie am DLR in Stuttgart und Fraunhofer Zentrum Hochtemperaturleichtbau des ISC in Bayreuth arbeiten dabei eng mit Mitgliedern des Ceramic Composites e.V. und dem Deutschen Institut für Normung zusammen.

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Untersuchungen zu den Effekten von Probengeometrie und Prüfbedingungen auf die Biegefestigkeit zweier kurzfaserverstärkter C/SiC-Werkstoffe mit unterschiedlichen Faserlängen (3 mm bzw. 10 mm) durchgeführt. Zur Bestimmung der Faserverteilung wurden die vollständigen Volumen der Biegeproben vor den Versuchen mit Hilfe der Mikro-Computer Tomografie ( $\mu$ CT) mit einer Auflösung von 25  $\mu$ m untersucht. Dabei wurde die Orientierung der Kurzfaserbündel im Volumen ermittelt und die Verteilung quantitativ bestimmt sowie die lokale Faserverteilung im Bereich der maximalen Belastung ermittelt (Abb. 1). Als Prüfmethode zur Bestimmung der Festigkeit wurde der Vier-Punkt-Biegeversuch mit unterschiedlichen Auflagerabständen festgelegt. Die Biegefestigkeit des Werkstoffs mit 3 mm Faserlänge zeigt eine geringe Abhängigkeit von der Breite bzw. Dicke und eine relativ geringe Abhängigkeit vom Querschnitt der geprüften Proben. Allerdings sind Verteilung und Standardabweichung der Biegefestigkeit stark abhängig von Prüfquerschnitt und Probenlänge. Die besten Ergebnisse mit geringster Streuung und höchster Zuverlässigkeit zeigen Proben mit einer Mindestbreite von 9 mm, 6 mm Höhe und 90 mm Länge bei einem inneren Auflagerabstand von 20 mm und einem äußeren Auflagerabstand von 80 mm. In der verbleibenden Projektlaufzeit bis Ende 2014 werden Untersuchungen an Werkstoffen mit einer Faserlänge von 10 mm durchgeführt. Parallel zur Untersuchung von Probengeometrie und Prüfbedingungen wurden in einem zweiten Teilprojekt die Einflüsse der Probenpräparation auf ermittelte Werkstoffkennwerte von endlosfaserverstärkten CMC durchgeführt. Ziel war es, die in der Industrie zur Herstellung von Zug- und Biegeproben eingesetzten hochproduktiven Verfahren wie Wasserstrahl- und Lasertrennen zu bewerten. Zur Ermittlung der Schnittqualität wurde das vollständige Volumen der Proben durch  $\mu$ CT mit einer Auflösung von 25  $\mu$ m erfasst und die Oberfläche topologisch untersucht. Die Betrachtung des Querschnitts zeigt die teilweise ungleichmäßige

Schnittkante der Proben sowie Änderungen der Probenbreite aufgrund unterschiedlicher Trennverfahren (Abb. 2). In CMC-Biegeproben mit hoher Porosität, die durch Laser- oder Wasserstrahlschneiden hergestellt wurden, konnte überdies eine Materialschädigung mit Randdelaminationen im Bereich der Schnittkanten nachgewiesen werden. In einigen Fällen war die Schädigung so ausgeprägt, dass ein bearbeitungsbedingter Effekt auf die interlaminae Scherfestigkeit von Kurzbiegeproben nachgewiesen werden konnte. Die Biegefestigkeit von Langbiegeproben wurde für die untersuchten Materialien mit bis zu 35 Vol.-Prozent Matrixporosität in keinem Fall signifikant beeinflusst. Alle Projektergebnisse werden durch die Projektpartner in den DIN Arbeitsausschuss „Prüfung von Hochleistungskeramik – Keramische Verbundwerkstoffe“ eingebracht und sollen so zu einer zuverlässigen Auslegung von CMC-Bauteilen beitragen.

Weitere Informationen:

**Dr. Achim Neubrand,**

Fraunhofer IWM, Verbundwerkstoffe, Freiburg, Telefon +49 (0) 7 61/51 42-282, E-Mail: achim.neubrand@iwm.fraunhofer.de, www.iwm.fraunhofer.de

**Jan Marcel Hausherr,**

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL, Arbeitsgruppe HT-Design, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Bayreuth, Telefon +49 (0) 9 21/78 69 31-313, E-Mail: jan.hausherr@isc.fraunhofer.de, www.htl.fraunhofer.de

**Dipl.-Ing. Yuan Shi,**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie, Abteilung Keramische Verbundstrukturen, Stuttgart, Telefon +49 (0) 7 11/68 62-8050, E-Mail: yuan.shi@dlr.de, www.dlr.de/bt



Abb. 1: Bestimmung der Faserverteilung im Volumen einer Biegeprobe (90 mm x 9 mm x 6 mm). Oben: CT-Querschnitt einer Probe mit farbkodierter Faserorientierung; Unten: Histogramm mit der quantitativen Bestimmung der Faserbündelorientierung im gesamten Probenvolumen



Abb. 2: Einfluss der Trennverfahren auf den Probenquerschnitt: a) Nasstrennschleifen mit senkrechtem Seitenschnitt; b), c) Wasserstrahlschneiden mit etwa 5° Neigung der Flanken; d) Laserstrahlschneiden mit ungleichmäßiger und stark beschädigter Flanke durch Wärmeeintrag. a) und b) zeigen einen anderen Komposit als c) und d).