

Bruchzähigkeit von 3Y-TZP-Keramik – Messung mit der CNB-Methode

Prof. Bogna Stawarczyk (Ludwig-Maximilians-Universität München), Prof. Jürgen Geis-Gerstorfer (Universitätsklinikum Tübingen), Dr. Sabine Begand

Bei der Charakterisierung der Bruchzähigkeit (K_{Ic}) von feinkörnigen Zirkoniumdioxid-Polykristallen werden verschiedene genormte, mechanische Messmethoden eingesetzt, z. B. die Verfahren Single-Edged Precracked Beam (SEPB), Single Edge V-Notched Beam (SEVNB), Surface Crack in Flexure (SCF) und Chevron-Notch Beam (CNB). Literaturdaten zeigen, dass die Bruchzähigkeit von 3Y-TZP (mit 3 Mol-% Y₂O₃-dotiertes tetragonales polykristallines Zirkonoxid) im Bereich von 4,4–6,6 (13,6) MPa√m gemessen wurde, wobei die Unterschiede in Standardabweichung und Varianz zu groß sind [1]. Bisher fehlt also eine robuste Testmethode zur Bestimmung der Bruchzähigkeit der feinkörnigen Dentalkeramik 3Y-TZP. Aus diesem Grund beteiligte sich das Fraunhofer IKTS als eines von zehn Testlaboren an einem Ringversuch, der die Robustheit der CNB-Testmethode und die Auswirkung von Verarbeitungs- und Testvariationen auf die Bruchzähigkeit einer 3Y-TZP Keramik untersuchte. Bei der CNB-Methode wird der Testkörper mit einer Kerbe versehen, um dann mit zunehmender Belastung den zu untersuchenden Bruch zu erzeugen. Der Ringversuch wurde gemäß ISO 24370:2005 unter Verwendung einheitlicher 3Y-TZP-Probekörper mit den Abmessungen 3 x 4 x 45 mm³ durchgeführt. Die teilnehmenden Labore legten ein Standardarbeitsverfahren mit engen Verarbeitungstoleranzen fest und die Daten wurden mittels Einweg-ANOVA und anschließendem Tukey-HSD-Test analysiert. Es wurden 95 %-Konfidenzintervalle (CI) berechnet ($p < 0,05$). Ein vorausgehender Ringversuch, an dem das IKTS auch beteiligt war, betrachtete bereits weitere Variationen der Prüfbedingungen hinsichtlich der CNB-Kerbung, der Lagerungsbedingungen und des Prüfmediums.

Im Ergebnis aller Labore konnte die Bruchzähigkeit von 3Y-TZP mit $K_{Ic} = 4,48 \pm 0,11$ MPa√m für die Standardverarbeitungstoleranz gemessen werden. Die Anwendung des Standardarbeitsverfahrens erhöhte die Anzahl der gültigen Tests und verringerte die Standardabweichung. Präparationsparameter wie Kerbversatz und -geometrie hatten einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse. Auch das verwendete Prüfmedium beeinflusste den K_{Ic} -Wert. So wurde unter Wasser eine reduzierte Bruchzähigkeit von $3,71 \pm 0,52$ MPa√m gemessen.

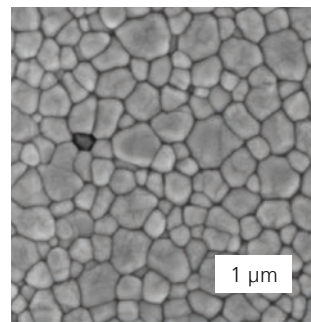


Bild 1: REM-Aufnahme einer 3Y-TZP Keramik.

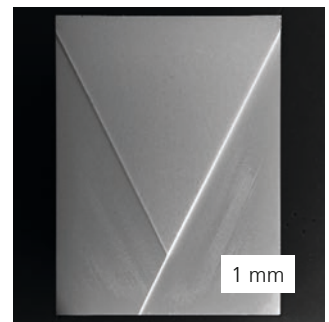


Bild 2: REM-Aufnahme eines gebrochenen Chevron-Kerbs.

Durch definierte Toleranzen bei der Präparation und Prüfung und die enge Anlehnung an das Verfahren nach ISO 24370:2005 ist eine hochpräzise Bewertung der Bruchzähigkeit von 3Y-TZP mit geringen Datenschwankungen möglich. Zudem zeigen die Versuche, dass eine standardisierte Kerbform mit definierter Vorspannung wichtig ist und als Prüfmedium Öl spezifiziert werden sollte, um jeglichen Einfluss von Fremdstoffen zu vermeiden. Die übereinstimmenden Ergebnisse der Labore des Ringversuchs zeigen, dass die CNB-Methode bei Einhaltung der Prüfparameter ein zuverlässiges Verfahren der Bruchzähigkeitsprüfung von 3Y-TZP ist. [2]

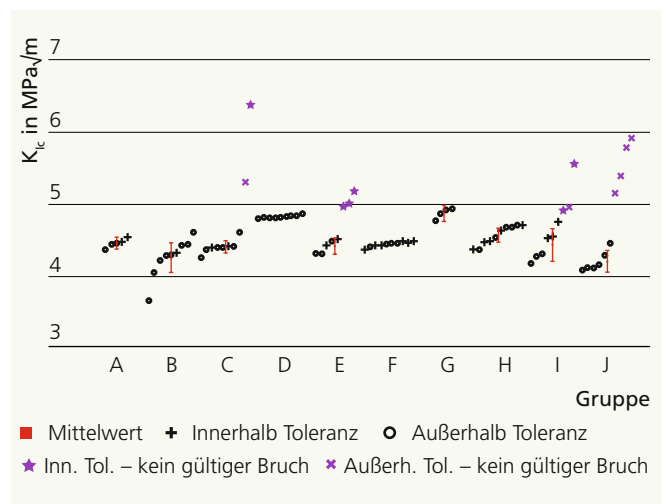


Bild 3: K_{Ic} in Öl, Einzelwerte und Mittelwert.

Literatur

- [1] R. Belli et al. (2018): Fracture toughness testing of biomedical ceramic-based materials using beams, plates and discs, 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.08.012.
- [2] S. Begand et al. (2022): Fracture toughness of 3Y-TZP ceramic measured by the Chevron-Notch Beam method: A round-robin study, 10.1016/j.dental.2022.05.001.