

# Optimierung des R-Kurvenverhaltens von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> Schichtkeramiken mit oberflächennahen und internen Druckeigenspannungen

R. Bermejo, J. Pascual, T. Lube, R. Danzer

Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben, Österreich



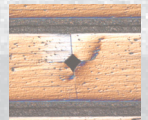
## Einleitung

Schichtkeramiken wurden vorgeschlagen, um die inhärenten Zähigkeit von Keramiken zu verbessern. Ein interessantes Konzept sind Verbunde mit Druckeigenspannungen in den Schichten. Diese können durch unterschiedliche Wärmedehnungen in den Schichten oder auch durch gezielte Phasenumwandlungen erreicht werden. Diese Druckspannungen, die entweder an der Oberfläche oder innerhalb der internen Schichten des Stückes herrschen, können den Risswiderstand erhöhen, während der Riss wächst (R-Kurvenverhalten).

In dieser Untersuchung wird der Risswiderstand von zwei Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> Materialien durch die bruchmechanische Gewichtsfunktionsanalyse berechnet und verglichen. Untersucht wird der Einfluss der elastischen Parameter, sowie der Geometrie der Schichtkeramik, i. e. Schichtanzahl und Schichtdicke.



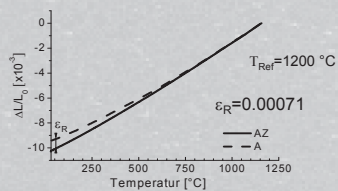
Erhöhung der Bruchenergie durch stufenweisen Bruchverlauf



Rißstopp an Schichten mit hohen Druckeigenspannungen

## Untersuchte Werkstoffverbunde

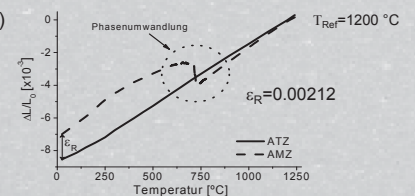
Laminat A/AZ/A/.../A/AZ/A (Folienguß)



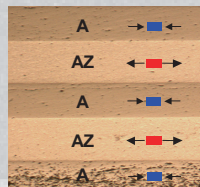
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A) ---  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-40%t-ZrO<sub>2</sub> (AZ) —

Oberflächenschichten ---  
Innere Schichten —

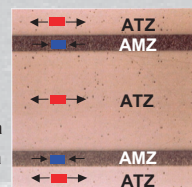
Laminat ATZ/AMZ/ATZ/.../ATZ/AMZ/ATZ (Schlickerguß)



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5%t-ZrO<sub>2</sub> (ATZ) ---  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-30%t-ZrO<sub>2</sub> (AMZ) —



E<sub>A</sub>=391 GPa  
E<sub>AZ</sub>=305 GPa  
E<sub>ATZ</sub>=390 GPa  
E<sub>AMZ</sub>=280 GPa

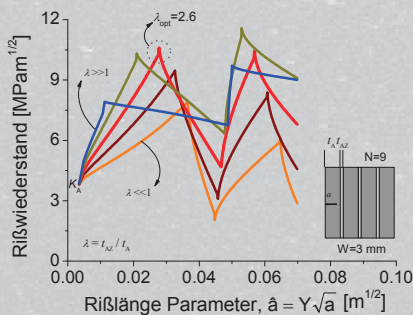


Die Phasenumwandlung von t → m Zirkonoxid verursacht Zugspannungen in den äußeren Schichten

Wegen des thermischen Dehnungsunterschiedes gibt es Druckeigenspannungen an der Oberfläche

## Rißwiderstandskurven (R- Kurven)

Optimierung der Verbundgeometrie für maximalen Rißwiderstand



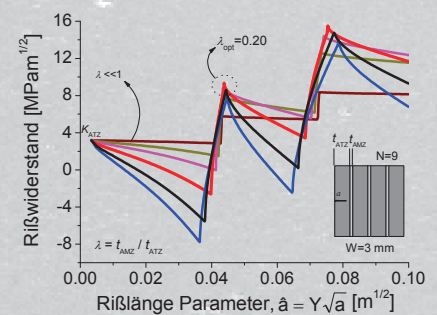
Analytische Näherung (Gewichtsfunktionsmethode)

$$K_{apt} = K_{Ic} - \int_0^a h(x, a) \sigma_{res}(x) dx$$

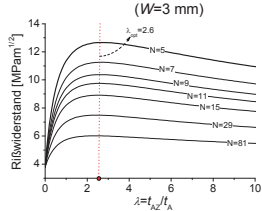
K<sub>apt</sub> ..... scheinbare Zähigkeit  
K<sub>Ic</sub> ..... Zähigkeit der Schichten  
h(x,a) ... Gewichtsfunktion  
a ..... Rißlänge  
σ<sub>res</sub> ..... Eigenspannungen = f(ε<sub>R</sub>, λ, E)  
λ ..... Schichtdickenverhältnis  
Y ..... Geometrieparameter  
N ..... Schichtanzahl

K<sub>Ic</sub>(A)=3.8 MPam<sup>1/2</sup>    K<sub>Ic</sub>(ATZ)=3.2 MPam<sup>1/2</sup>  
K<sub>Ic</sub>(AZ)=4.3 MPam<sup>1/2</sup>    K<sub>Ic</sub>(AMZ)=2.6 MPam<sup>1/2</sup>

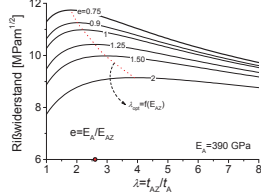
Optimierung der Verbundgeometrie für maximalen Rißwiderstand



Effekt der Schichtanzahl (W=3 mm)



Effekt der elastischen Parameter (W=3 mm, N=9 Schichten)



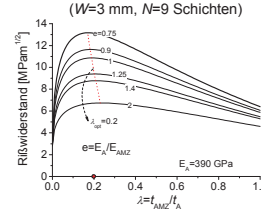
λ<sub>opt</sub> ≠ λ(N)

↓ E<sub>AZ</sub> → λ<sub>opt</sub> ↑

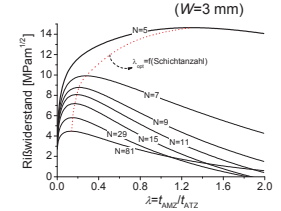
↓ E<sub>AMZ</sub> ≈ λ<sub>opt</sub> ↑

λ<sub>opt</sub> → λ(N)

Effekt der elastischen Parameter (W=3 mm, N=9 Schichten)



Effekt der Schichtanzahl (W=3 mm)



## Schlußfolgerungen

Im Material mit Druckspannungen an der Oberfläche, wird der maximale Rißwiderstand in der ersten externen Schicht erreicht. Das optimale Schichtdickenverhältnis wird durch die elastische Fehlpassung zwischen den Schichten beeinflusst, aber nicht durch die Schichtanzahl des Laminates.

Achtung!

Nicht alle Designvarianten (λ<sub>opt</sub>) können realisiert werden, da die Zugeigenspannungen so groß werden können, daß das Bauteil zerstört wird.

Im Material mit internen Druckspannungen, wird der maximale Rißwiderstand in der ersten internen Druckschicht erreicht. Das optimale Schichtdickenverhältnis erhöht sich, wenn die Zahl der Schichten sich verringert, während die Änderung im elastischen Modul der Schichten einen kleinen Einfluß hat.

## Referenzen

"Effective Fracture Toughness in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> laminates". T. Lube, J. Pascual, F. Chalvet, G. De Portu, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2007;27:1449

"Residual Stresses, Strength and Toughness of Laminates with Different Layer Thickness Ratios". R. Bermejo, Y. Torres, A.J. Sánchez-Herencia, C. Baudin, M. Anglada and L. Llanes, *Acta Mater.*, 2006;54:4745