

Mikromechanische Modellierung des mechanischen Verhaltens von Metall/Keramik-Gradientenwerkstoffen

SPP Gradientenwerkstoffe

Projektbeginn: 01.01.1997

Projektende: 31.12.1998

Ziele

Die Zielsetzung besteht darin, das mechanische und thermo-mechanische Verhalten von mittels Mikrowellensinterverfahren hergestellten metall-keramischen Gradientenwerkstoffen numerisch zu untersuchen. Die Untersuchungen dienen dazu, die makroskopischen mechanischen Eigenschaften mit den mikromechanisch ablaufenden Prozessen plastischer Verformung im gradierten Gefüge mit unterschiedlichen Phasenvolumenanteilen und –anordnungen in Verbindung zu bringen und ein hierfür geeignetes Rechenmodell zu erarbeiten. Auf der Grundlage dieser numerischen Modellierung wird die Gefüge/Eigenschaftsbeziehung von Verbundwerkstoffen mit Durchdringungsgefüge erfasst und erklärt. Dadurch kann ein entscheidender Beitrag zur Optimierung derartiger Werkstoffe geliefert werden.

Gradientenwerkstoffe

Gradientenwerkstoffe sind Werkstoffe, in denen durch einen gezielt eingestellten gradierten Gefügebau anwendungsrelevante Eigenschaften verändert werden, z. B. Keramik/Stahl-Gradientenwerkstoffe.

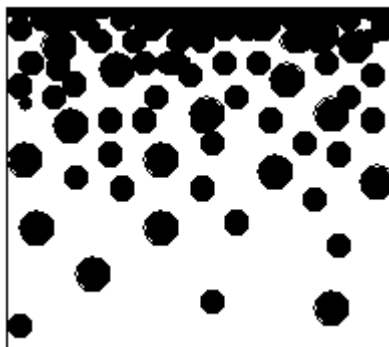


Bild 1: Gradiertes Übergang von einer Phase (dunkel) in eine zweite Phase (hell) (schematisch).

Mikromodell

Für die einzelnen Schichten des Mesomodells (s.u.) kann bei vorgegebenen Werkstoffeigenschaften der Phasen sowie der Gefügeparameter Volumenanteil und Matrizität mit Matrizitätsmodellen das thermomechanische Verhalten ermittelt werden.

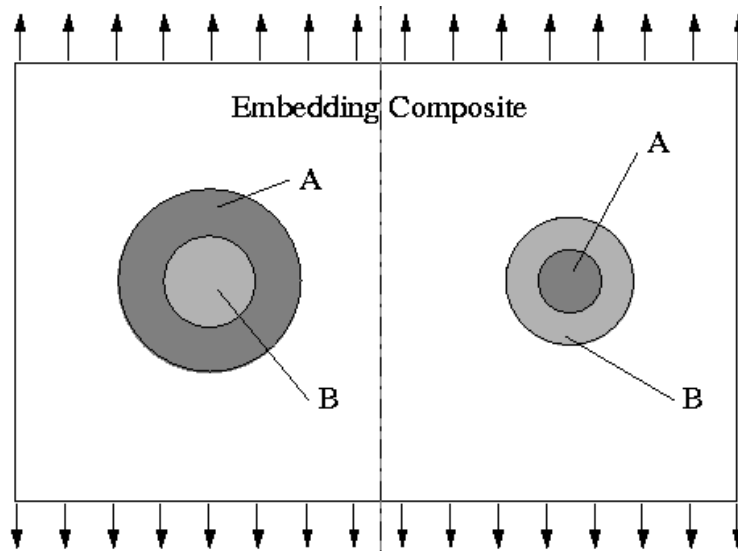


Bild 2: Berücksichtigung der gegenseitigen Umschließung der Phasen in Gradientenwerkstoffen über das Matrixitätsmodell.

Mesomodell

Schematisch lässt sich ein Gradientenwerkstoff näherungsweise als Schichtwerkstoff darstellen, wobei für alle Schichten eine, oder mehrere, unterschiedliche anwendungsrelevante Werkstoffeigenschaften auftreten. Mit den aus der Mikromodellierung gewonnenen Ergebnissen kann dann das thermo-mechanische Verhalten des gesamten Gradienten ermittelt werden. Dabei können Vorhersagen von lokalen und globalen mechanischen Eigenschaften im Hinblick auf

- Wärmeausdehnungskoeffizienten
- Spannungs-Dehnungs-Verhalten
- Spannungs- und Dehnungsverteilung in den Einzelphasen
- Einfluss von thermischen Eigenspannung

getroffen werden.

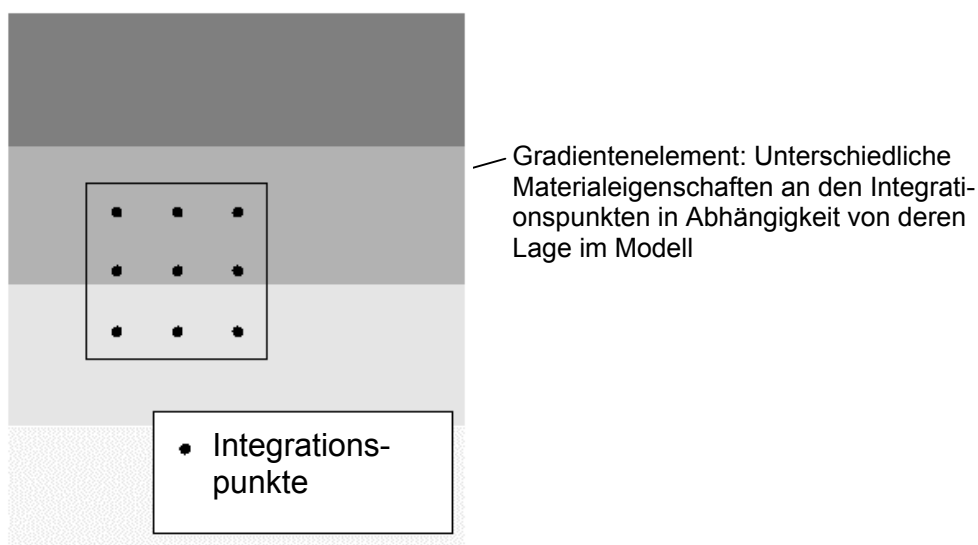


Bild 3: Schematischer Aufbau eines Gradientenwerkstoffs als Schichtwerkstoff.

Ergebnisse

Zur Beschreibung des thermo-mechanischen Verhaltens von 2-phasigen Durchdringungsgefügen (auch im plastischen Bereich) wurde ein mikromechanisches selbstkonsistentes Matrixitätsmodell entwickelt. Neben dem Volumenanteil der beiden Phasen wird ein weiterer Gefügeparameter eingeführt, welcher die gegenseitige Durchdringung der Phasen beschreibt. Dieser Parameter wird als Matrixcharakter einer Phase bezeichnet. Die Messung des Matrixcharakters von Durchdringungsgefügen erfolgt aus Schlibfbildern unter Zuhilfenahme eines Bildanalyse-systems.

Bei allen untersuchten Verbundwerkstoffen ($ZrO_2/NiCr$ 80 20, W/Cu und Fe/Cu) ergab sich ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Matrixcharakter M und Volumenanteil f einer Phase. Variiert man nun bei einer gegebenen Gefügezusammensetzung den Matrixcharakter, so beeinflusst dies wesentlich das Spannungs-Dehnungsverhalten des Werkstoffs im plastischen Bereich.

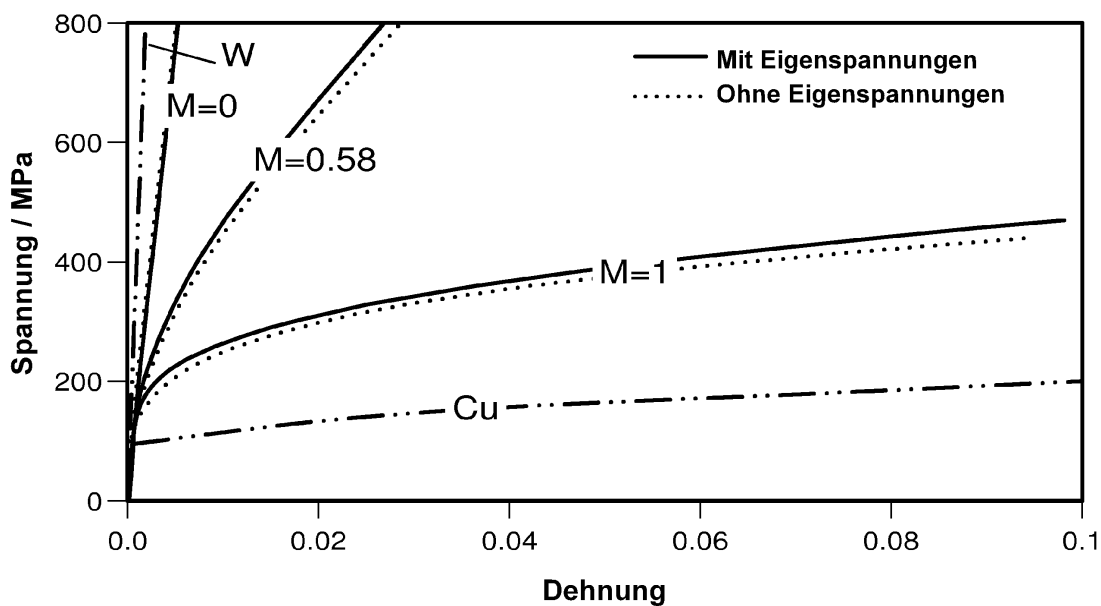


Bild 4: Einfluss des Matrixcharakters M (Kupferphase) auf das Spannungs-Dehnungsverhalten am Beispiel des Werkstoffs W/Cu (Kupferanteil = 50%).

Auf diese Weise ist es möglich, die Eigenschaften des Werkstoffs bei gegebenen Volumenanteilen der beiden Phasen an bestimmte Anforderungen anzupassen. Dazu sind jedoch entsprechende Entwicklungen auf dem Gebiet der Werkstoffherstellung notwendig.

Werden mehrphasige Werkstoffe zusätzlich auch thermisch belastet, so entstehen auf Grund von unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Phasen Eigenspannungen im Gefüge. Auch diese Problematik wird mit dem hier entwickelten Modell behandelt. Dabei hat sich gezeigt, dass Eigenspannungen im Wesentlichen nur das elastische Verformungsverhalten von Verbundwerkstoffen beeinflussen. Wird die Matrix vorab (z.B. während der Herstellung) durch Eigenspannungen plastisch verformt, so tritt bei anschließender mechanischer Belastung ein verändertes elastisches Verformungsverhalten des Gefüges auf. Nehmen die plastischen Dehnungen im Gefüge infolge mechanischer Beanspruchung weiter zu, so verringert sich der Einfluss der Eigenspannungen.

Der Vergleich mit experimentell ermittelten Fließkurven hat gezeigt, dass dieses Rechenmodell in der Lage ist, das elastisch-plastische Verformungsverhalten von Verbundwerkstoffen mit Durchdringungsgefüge sehr gut zu beschreiben.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter Schm-746/12-1 und 12-2 gefördert. Für die finanzielle Unterstützung sei gedankt.

Vorbereitende Publikation

M. Dong, S. Schmauder, „Modeling of Metal Matrix Composites by a Self-Consistent Embedded Cell Model“, *Acta metall. mater.* 44, pp. 2465-2478 (1996).

Liste der Publikationen aus diesem Projekt

S. Schmauder, M. Dong, P. Leßle, „Verbundwerkstoffe mikromechanisch Simuliert“, *Metall* 7-8/97, pp. 404-410 (1997).

P. Leßle, M. Dong, E. Soppa, S. Schmauder, „Selbstkonsistente Matrizitätsmodelle zur Simulation des mechanischen Verhaltens von Verbundwerkstoffen“, *Vortragstexte der Tagung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde*, Kaiserslautern, Hrsg.: K. Friedrich, DGM-Informationsgesellschaft Verlag, Oberursl, September 1997, S. 765-770 (1997).

S. Schmauder, M. Dong, P. Leßle, „Simulation von Verbundwerkstoffen mit Teilchen und Fasern“, *XXIV. FEM-Kongreß in Baden-Baden*, 17.-18. November 1997, *Tagungsband*, Hrsg.: A. Streckhardt, Kongreßorganisation, Ennigerloh, pp. 445-462 (1997).

Leßle, M. Dong, E. Soppa, S. Schmauder, „Simulation of Interpenetrating Microstructures by Self Consistent Matricity Models“, *Scripta mater.* 38, pp. 1327-1332 (1998).

M. Dong, P. Leßle, U. Weber, S. Schmauder: „Mesomechanical Modelling of Composites Containing FGM Related Interpenetrating Microstructures Based on Micromechanical Matricity Models“, *Materials Science Forum Vols. 308-311, „Functionally Graded Materials 1998“* (1999), pp. 1000-1005.

D. Dantz, Ch. Genzel, W. Reimers, U. Weber, S. Schmauder, „Analyse von Makro- und Mikroeigenstressen in Gradientenwerkstoffen (FGM)“, *Vortragstexte der Tagung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde*, Hamburg, Hrsg.: K. Schulte und K.U. Kainer, DGM-Informationsgesellschaft Verlag, Weinheim, Oktober 1998, S. 704-709 (1998).

P. Leßle, M. Dong, S. Schmauder, „Self Consistent Matricity Model to Simulate the Mechanical Behaviour of Interpenetrating Microstructures“, *Computational Materials Science* 15, pp. 455-465 (1999).

S. Schmauder, U. Weber, I. Hofinger, A. Neubrand, „Modelling the Deformation Behaviour of W/Cu Composites by a Self-Consistent Matricity Model“, *Technische Mechanik* 19, Heft 4, Hrsg.: Magdeburger Verein für Technische Mechanik, pp. 313-320 (1999).

S. Schmauder, U. Weber, „Modelling of Functionally Graded Materials by Numerical Homogenization“, *Arch. Appl. Mech.* 71, pp. 182-192 (2001).

Abschlußbericht zum DFG-Forschungsvorhaben „Mikro/Mesomechanische Modellierung des mechanischen Verhaltens von Metall/Keramik-Gradientenwerkstoffen“ im SPP Gradientenwerkstoffe under contract Schm 746/12-1 and Schm 746/12-2.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Ulrich Weber

Tel.: +49 / 711 685-3055

Fax: +49 / 711 685-2635

E-mail: ulrich.weber@mpa.uni-stuttgart.de