



WGL

WISSENSCHAFTSGEMEINSCHAFT
GOTTFRIED-WILHELM-LEIBNIZ

15. Workshop

Composite Forschung in der Mechanik 18. – 20. November 2002 TU Berlin, WIAS

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang H. Müller
Technische Universität Berlin
Fakultät V
Institut für Mechanik, Sekr. MS2
Einsteinufer 5- 7
D- 10587 Berlin

Priv. Doz. Dr. rer. nat. Wolfgang Dreyer
Weierstraß- Institut für Angewandte
Analysis und Stochastik im
Forschungsverbund Berlin e.V.
Mohrenstraße 39
D- 10117 Berlin



AG Composite

18. - 20. November 2002

Dienstag, 19. November 2002

09.00- 09.15 Eröffnung

(Chairman: Dreyer, Müller)

SEKTION I: Mikromechanik von Werkstoffen

(Chairman: Becker)

09.15- 09.45 **Popov**, TU Berlin

Titel: Numerical simulation of localized plastic flow and cracking in coated materials

09.50- 10.20 **Duderstadt**, WIAS

Titel: Spannungsanalyse dünner GaAs-Platten unter lokal begrenzten Lasten

10.25- 10.55 **Dreyer**, WIAS

Titel: Über die Bildung flüssiger Tröpfchen in einer kristallinen Matrix

11.00- 11.15 Pause

SEKTION II: Numerisch- analytische Berechnung von Spannungs- Dehnungsfeldern in Kompositen

(Chairman: Schnack)

11.15- 11.45 **Kashtalyan**, Paderborn

Titel: "Damage- induced anisotropy in composite laminates with intra- and interlaminar cracks"

11.50- 12.20 **Mittelstedt**, Siegen

Titel: „Geschlossen- analytische Untersuchung des Spannungsfeldes an kräftefreien Ecken ebener Laminat“

12.25- 14.00 Mittagspause

SEKTION III: Experimentelle Untersuchungen bei Verbundwerkstoffen

(Chairman: Ferber)

- 14.00- 15.30 **Nguyen**, Paderborn
Titel: „Zur Identifikation und Optimierung von Materialparametern inelastischer Lotwerkstoffe“
- 15.35- 16.05 **Vogliano**, TU Berlin
Titel: Experiment und FE- Analyse Hand in Hand: Erzeugung phasengemittelter Last-Verformungs-Kurven durch Nanoindentation und Simulation des Nanoindenter- Eindruck- Vorgangs durch das FE- Programm ABAQUS
- 16.10- 16.25 Pause
- 16.25- 16.55 **Krombholz**, Halle/ Saale
Titel: „Bestimmung der kritischen Energiefreisetzungsrate an C/SiC-Laminaten mittels eines Chevron- Tests“
- 17.00- 17.30 **Hauck**, Motorola
Titel: Festigkeitsanalyse metallischer Durchkontaktierungen in Leiterplatten

Mittwoch, 20. November 2002

SEKTION IV: Damage und Höhere Gradiententheorien

(Chairman: Noe)

09.00- 09.30

Sadowski, Lublin

Titel: "Time- dependent mechanical responses of polycrystalline materials with internal structure"

09.35- 10.05

Müller, TU Berlin

Titel: Toward quantitative modeling of morphology changes in solids with phase field theories: Atomistic arguments for the determination of higher gradient coefficients

10.10- 10.25

Pause

SEKTION V: Homogenisierungsverfahren in Verbundwerkstoffen

(Chairman: Hauck)

10.25- 10.55

Duschlbauer, TU Wien

Titel: „Die Berechnung von Faserspannungen in Composites mit nicht ausgerichteten Fasern basierend auf der Mori- Tanaka Methode“

11.00- 11.30

Hohe, Siegen

Titel: „Analyse des effektiven mechanischen Verhaltens zellulärer Festkörper bei grossen Deformationen“

11.35- 12.05

Piat, Karlsruhe

Titel: "Damage in pyrolytic carbon with different texture degrees"

ABSTRACTS

DIE BERECHNUNG VON FASERSPANNUNGEN IN COMPOSITES MIT NICHT AUSGERICHTETEN FASERN BASIEREND AUF DER MORI- TANAKA METHODE

D. Duschlbauer, H.J. Böhm, H.E. Pettermann

**Institut für Leichtbau und Flugzeugbau,
TU Wien**

Benvenistes Formulierung der Mori- Tanaka Methode wird verwendet, um die lokalen Faserspannungen (Mikrospannungen) von Composites mit nicht ausgerichteten Fasern zu bestimmen. Die Methode wird derart modifiziert [1], um die Spannungszustände in einzelnen Fasern aufgrund globaler mechanischer und thermischer Belastung in Abhängigkeit der Faserorientierung zu berechnen. Resultate für SiC/Al Composites werden präsentiert, wobei 3D-zufallsverteilte Faseranordnungen und verschiedene axisymmetrische Faserverteilungsfunktionen berücksichtigt werden. Weiterhin werden die Vorhersagen der analytischen Mori-Tanaka Methode mit jenen von numerischen Einheitszellenuntersuchungen verglichen.

Literatur:

1. D. Duschlbauer, H.J. Böhm, H.E. Pettermann: Mori-Tanaka Based Evaluation of Inclusion Stresses in Composites with Nonaligned Reinforcements. *Scripta Materialia*, (2002) in print

ANALYSE DES EFFEKTIVEN MECHANISCHEN VERHALTENS ZELLULÄRER FESTKÖRPER BEI GROSSEN DEFORMATIONEN *J. Hohe und W. Becker*

Universität Siegen, Institut für Mechanik und Regelungstechnik

Zelluläre Medien spielen in vielen technischen Anwendungen, insbesondere im Leichtbau, eine zunehmende Rolle. Der wesentliche Vorteil dieser Medien ist zunächst ihr geringes spezifisches Gewicht. Daneben lassen sich durch gezielte Gestaltung der Mikrostruktur in vielen Fällen Werkstoffe mit für den jeweiligen Anwendungsfall optimierten Eigenschaften gestalten. Das Deformationsverhalten von Materialien mit zellulärer Mikrostruktur unterscheidet sich signifikant vom entsprechenden Verhalten homogener Materialien oder schwach inhomogener Composites. Bedingt durch das große Hohlraumvolumen können sich vergleichsweise leicht große makroskopische Deformationen einstellen. Bei metallischen Zellstrukturen handelt es sich hierbei um große plastische Deformationen, während Polymerschäume große elastische Deformationen erfahren können.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist eine analytisch-numerische Untersuchung des effektiven Deformationsverhaltens hyperelastischer Festkörperschäume bei großen Deformationen. Zur Ermittlung des effektiven Materialverhaltens wird ein verzerrungsenergiebasiertes Homogenisierungskonzept verwendet (Hohe und Becker [2]). Das Konzept definiert die kontinuumsmechanische Äquivalenz von realer Mikrostruktur und effektivem Medium dadurch, dass sich bei äquivalenter makroskopischer Deformation eines repräsentativen Volumenelements für die gegebene Mikrostruktur und eines gleichartigen, aus dem effektiven Medium bestehenden Volumenelements, in beiden dieselbe mittlere Verzerrungsenergiegedichte ergeben muss. Die zum jeweiligen effektiven Deformationszustand gehörenden effektiven Spannungen lassen sich dann durch partielle Ableitung der Verzerrungsenergiegedichte nach dem korrespondierenden Verzerrungsmaß bestimmen. Ein ähnliches Konzept wurde auch bereits von Ponte Castañeda und Suquet [3] vorgeschlagen.

In einer Reihe von Parameterstudien wird im Anschluss das Verhalten hyperelastischer fester Schäume analysiert und der Einfluss der mikrostrukturellen Parameter diskutiert. Aus Gründen der numerischen Effizienz wird hierzu ein zweidimensionales Modell verwendet. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auch dieses vereinfachte Modell die wesentlichen Effekte bei der Deformation zellulärer Medien adäquat beschreibt. Es zeigt sich, dass das Deformationsverhalten fester Schäume bei großen Zugdeformationen in starkem Maße durch die Ausrichtung der Zellwände in die jeweilige Belastungsrichtung geprägt ist, während sich bei effektiver Druckdeformation auf der mikrostrukturellen Ebene komplexe Stabilitätsphänomene beobachten lassen. In beiden Fällen können sich ausgeprägte deformationsinduzierte Anisotropien einstellen. Da diese Effekte mit den auf der linearisierten Theorie aufbauenden Standardverfahren (vgl. Gibson und Ashby [1]) nicht abgebildet werden können, ist die Einbeziehung geometrisch nichtlinearer Effekte bei der Analyse zellulärer Medien unter finiter Deformation essentiell notwendig.

Literatur:

1. Gibson, L.J. and Ashby, M.F: *Cellular Solids - Structure and Properties*, Cambridge University Press, Cambridge 1997
2. Hohe, J. and Becker, W: *Effective mechanical behavior of hyperelastic two-dimensional model foams at finite strain*, (zur Publikation eingereicht)
3. Ponte Castañeda, P. and Suquet, P: *Nonlinear composites*, Adv. Appl. Mech. 34 (1998) 171-302

DAMAGE IN PYROLYTIC CARBON WITH DIFFERENT TEXTURE DEGREES

R. Piat, E. Schnack

Institut für Technische Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)

The mechanical properties of pyrolytic carbon as function of the texture degree of layer planes were calculated by means of a homogenization method. The microstructure of pyrolytic carbon is modeled as a system of ellipsoidal graphite single crystals embedded in an infinite homogeneous matrix with unknown effective overall parameters.

A probability density function is introduced to simulate spatial orientation of single crystals. The full width at half maximum values of the azimuth intensity distribution of ring-shaped (00 ℓ) reflections extracted from selected area electron diffraction patterns are used as reference points for calculations. The overall elasticity tensor C is numerically calculated for different texture modifications of the pyrolytic carbon and after that the influence of the texture degree on technical constants is studied.

A system of parallel cracks is embedded in this brittle homogenized material. The overall elasticity \hat{C} for the material with a set of collinear cracks is obtained for different cases of crack orientations and crack density functions and the fourth-order damage tensor D is calculated:

$$D = I - \hat{C} : C^{-1}.$$

The results are compared with those for pure graphite and experimental data as well.

Literatur:

1. Piat, R.; Schnack, E., Andrä, H.: Entwicklung des hierarchischen Material-modells von CVI-CFC-Werkstoffen. Proc. Appl. Math. Mech., 1, (2001), Wiley Interscience (www.interscience.wiley.com).
2. Piat R., Schnack E. Mechanical Properties and Damage Processes of Pyrolytic Carbon. Fifth Congress on Computational Mechanics, Vienna, Austria, July 7th-12th, 2002, ISBN 3-9501554-0-6.
3. Reznik, B.; Gerthsen, D.; Hüttinger, K.J.: Micro- and nanostructure of the carbon matrix of infiltrated carbon fiber felts, Carbon, 39, (2001), 215-219.
4. Reznik B., Hüttinger K.J. On the terminology for pyrolytic carbon. Carbon, 40, (2002), 621--624.
5. Nemat-Nasser, S.; Hori, M.: Micromechanics: overall properties of heterogeneous materials, second ed. North-Holland, Amsterdam, (1999).
6. Lemaitre J.: A course on damage mechanics. Springer-Verlag, (1992).

DAMAGE-INDUCED ANISOTROPY IN COMPOSITE LAMINATES WITH INTRA- AND INTERLAMINAR CRACKS

Maria Kashtalyan and Costas Soutis

Department of Aeronautics,
Imperial College London, UK

When a multidirectional composite laminate is subjected to in-plane static or fatigue tensile loading, intralaminar damage in the form of matrix cracks parallel to the fibres appears in the off-axis plies long before catastrophic failure. Matrix cracking causes changes in mechanical properties of the laminate, including a reduction in stiffness and a change in thermal expansion coefficients. It also triggers development of interlaminar damage in the form of delaminations growing from the tips of matrix cracks.

The present paper is concerned with the theoretical modelling of damage-induced anisotropy in multidirectional composite laminates. Of particular interest here are laminates which are orthotropic in the undamaged state, without coupling between extension and shear. When matrix cracking occurs, such laminates become unbalanced and therefore exhibit shear-extension coupling.

In this paper, a new approach based on the Equivalent Constraint Model of the damaged ply and an improved 2-D shear lag method is applied to analysis of laminates with matrix cracks in the mid-layer and delaminations at their tips [1, 2]. Cracks are assumed to be spaced uniformly and to span the whole width of the laminate, and crack tip delaminations to be strip-shaped. Crack and delamination surfaces are assumed to be stress-free. Due to periodicity and symmetry, the analysis is carried out over the representative segment of the laminate containing one crack and two crack tip delaminations. The in-plane stresses in the damaged ply are determined from a system of two coupled ordinary differential equations and used to calculate the In situ Damage Effective Functions [3], which describe the changes in the stiffness properties due to damage.

Dependence of shear-extension coupling coefficients on crack density, delamination area and ply orientation angle will be examined for glass/epoxy and carbon/epoxy laminates. It will be shown that in orthotropic laminates matrix cracking can induce significant shear-extension coupling and delaminations along matrix cracks further increase this damage-induced anisotropy.

References:

1. Kashtalyan M, Soutis (2000) Modelling stiffness degradation due to matrix cracking in angle-ply composite laminates. *Plastic, Rubber and Composites* **29**(9), 482-488
2. Kashtalyan M, Soutis (2002) Analysis of local delamination in composite laminates with angle ply matrix cracks. *International Journal of Solids and Structures* **39**(6), 1515-1537.
3. Zhang J, Fan J, Soutis (1992) Analysis of multiple matrix cracking in $[\pm\theta_m/90_n]_s$ composite laminates Part 1: In-plane stiffness properties. *Composites* **23**(5), 291-298

GESCHLOSSEN-ANALYTISCHE UNTERSUCHUNG DES SPANNUNGSFELDES AN KRÄFTEFREIEN ECKEN EBENER LAMINATE

C. Mittelstedt, W. Becker

Fachbereich Maschinentechnik, Institut für Mechatronik, Universität Siegen

Der Laminatrandeffekt – also das Auftreten lokaler dreidimensionaler singulärer Spannungsfelder im Interfacebereich von kräftefreien Rändern mechanisch und / oder thermisch belasteter ebener Laminare, hervorgerufen durch den lagenweisen Wechsel der elastischen und thermischen Eigenschaften der Einzelschichten – ist seit geraumer Zeit der Gegenstand ausführlicher Untersuchungen (s. z.B. [1]). Eine ähnliche, jedoch deutlich kompliziertere Problematik findet sich im Bereich von kräftefreien Ecken ebener Laminare. Hier ist der Spannungszustand ebenfalls vollständig dreidimensionaler und singulärer Natur. Eine erste anschauliche Erklärung ist die Superposition zweier Randeffekte, die sich im Eckenbereich zu einem „Eckeneffekt“ überlagern. Im Laminatinneren sind die Randstörungen dann abgeklungen, es liegen dort die Gegebenheiten der klassischen Laminattheorie vor.

Numerische Analysen von Spannungslokalisierungen in ebenen Laminaten sind oft mit erheblichem Aufwand verbunden. Umso mehr sind deshalb geschlossen-analytische Berechnungsmöglichkeiten von Interesse. Im vorliegenden Beitrag wird ein spannungsbasiertes Näherungsverfahren entwickelt, indem ein schichtweises Inplane-Spannungsfeld der Form

$$\sigma_{11}^{(k)} = (-e^{-\varphi x_1} - \varphi x_1 e^{-\varphi x_1} + 1)(\lambda_1 e^{-\lambda_2 x_2} + 1)(A_1^{(k)} x_3 + A_2^{(k)}), \quad (1a)$$

$$\sigma_{22}^{(k)} = (\phi_1 e^{-\phi_2 x_1} + 1)(-e^{-\eta x_2} - \eta x_2 e^{-\eta x_2} + 1)(A_3^{(k)} x_3 + A_4^{(k)}), \quad (1b)$$

$$\sigma_{12}^{(k)} = (1 - e^{-\psi_1 x_1})(1 - e^{-\psi_2 x_2})(A_5^{(k)} x_3 + A_6^{(k)}), \quad (1c)$$

angenommen wird. Integration des dreidimensionalen Spannungsgleichgewichts liefert bei Beachtung der gegebenen Rand- und Übergangsbedingungen die folgenden schichtweisen interlaminaeren Spannungen:

$$\sigma_{13}^{(k)} = -(\varphi^2 x_1 e^{-\varphi x_1})(\lambda_1 e^{-\lambda_2 x_2} + 1)(\frac{1}{2} A_1^{(k)} x_3^2 + A_2^{(k)} x_3 + B_1^{(k)}) - (1 - e^{-\psi_1 x_1})(\psi_2 e^{-\psi_2 x_2})(\frac{1}{2} A_5^{(k)} x_3^2 + A_6^{(k)} x_3 + B_5^{(k)}), \quad (2a)$$

$$\sigma_{23}^{(k)} = -(\phi_1 e^{-\phi_2 x_1} + 1)(\eta^2 x_2 e^{-\eta x_2})(\frac{1}{2} A_3^{(k)} x_3^2 + A_4^{(k)} x_3 + B_3^{(k)}) - (\psi_1 e^{-\psi_1 x_1})(1 - e^{-\psi_2 x_2})(\frac{1}{2} A_5^{(k)} x_3^2 + A_6^{(k)} x_3 + B_5^{(k)}), \quad (2b)$$

$$\sigma_{33}^{(k)} = (\varphi^2 e^{-\varphi x_1} - \varphi^3 x_1 e^{-\varphi x_1})(\lambda_1 e^{-\lambda_2 x_2} + 1)(\frac{1}{6} A_1^{(k)} x_3^3 + \frac{1}{2} A_2^{(k)} x_3^2 + B_1^{(k)} x_3 + B_2^{(k)}) + (\phi_1 e^{-\phi_2 x_1} + 1)(\eta^2 e^{-\eta x_2} - \eta^3 x_2 e^{-\eta x_2})(\frac{1}{6} A_3^{(k)} x_3^3 + \frac{1}{2} A_4^{(k)} x_3^2 + B_3^{(k)} x_3 + B_4^{(k)}) + (\psi_1 e^{-\psi_1 x_1})(\psi_2 e^{-\psi_2 x_2})(\frac{1}{3} A_5^{(k)} x_3^3 + A_6^{(k)} x_3^2 + 2B_5^{(k)} x_3 + B_6^{(k)}). \quad (2c)$$

Freie Ansatzparameter werden aus dem Prinzip vom Stationärwert des Komplementärpotentials gewonnen:

$$\bar{\Pi} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2} \iiint_{\Omega^{(j)}} \underline{\sigma}^{(j)T} \underline{S}^{(j)} \underline{\sigma}^{(j)} d\Omega^{(j)} + \iiint_{\Omega^{(j)}} \underline{\sigma}^{(j)T} \underline{\alpha}_t^{(j)} \Delta T^{(j)} d\Omega^{(j)} \right] = Min. \quad (3)$$

Die gegenwärtige Analysemethode stellt eine erweiterte Form des Verfahrens nach Becker et al. [2] dar, ist einfach in der Handhabung und kommt mit angenehm geringem Berechnungsaufwand aus. Sie fordert keinerlei Beschränkung im Lagenaufbau, schichtweises monotropes Materialverhalten ist darstellbar. Die geschlossen-analytischen Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit begleitenden FEM-Berechnungen. Einige wesentliche Merkmale des Laminateneckeneffektes werden herausgestellt, Parameterabhängigkeiten werden diskutiert.

Literatur

1. Herakovich, C.T.: Free Edge Effects in Laminated Composites, in: Handbook of Composites, Vol. 2 – Structure and Design (1989), S. 187-230, Editors: Herakovich, C.T. / Tamopol'skii, Y.M., Elsevier Science Publishers B.V.
2. Becker, W. / Jin, P.P. / Neuser, P.: Interlaminar Stresses at the Free Corners of a Laminate, Composite Structures, Vol. 45 (1999), S. 155-162

ZUR IDENTIFIKATION UND OPTIMIERUNG VON MATERIALPARAMETERN INELASTISCHER LOTWERKSTOFFE

K.P. Herrmann, W.H. Müller**, V.S. Nguyen**

- * **Laboratorium für Technische Mechanik, Universität Paderborn**
- ** **Institut für Mechanik, Technische Universität Berlin**

Miniaturisierte Halbleiterbaugruppen erfahren durch Ein- und Ausschaltprozesse ständig wechselnde Temperaturen. Dabei führen die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der einzelnen Komponenten einer solchen Baugruppe zu mechanischen Beanspruchungen wie Alterung und Versprödung, die ein Versagen im Bereich der Lotverbindungen bewirken können [1]. Für eine zuverlässige Modellierung der Alterung und der Schädigung des in SMT- Baugruppen (Surface Mount Technology) verwendeten Lotmaterials und der damit verbundenen Lebensdauervorhersage für den Lotwerkstoff und das gesamte mikroelektronische Bauteil, ist die genaue Kenntnis aktueller mechanischer Werkstoffparameter von entscheidender Bedeutung. Dabei enthalten die Lotwerkstoffmodelle oft eine Vielzahl von sowohl elastisch-plastischen als auch viskoplastischen Materialparametern. Anhand von Small- Punch- Testversuchen [2] wird die Parameteridentifikation an Lotwerkstoffen demonstriert. Da die Materialparameter nicht direkt aus der gemessenen Kraft-Weg-Kurve messbar bzw. mathematisch nicht geschlossen darstellbar sind, stellt die Identifikation der Parameter die inverse Problemstellung dar. Zur Lösung des inversen Problems werden nichtlineare Optimierungsverfahren verwendet. Es handelt sich um die Fehlerminimierung zwischen experimentell bestimmten Messkurven und simulierten Kurven.

Literatur:

1. Darveaux R.; Banerji K.; Mawer A.; Dody G.: Reliability of Plastic Ball Grid Array Assembly, Chapter 13, in Ball Grid Array, J. H. Lau (editor), McGraw Hill, pp. 379-442, New York (1995).
2. v.S. Nguyen, K.P. Herrmann, W.H. Müller: Small Punch Test zur Bestimmung mechanischer Modellparameter von bleihaltigen und bleifreien Lotwerkstoffen. 33. Tagung des DVM-Arbeitskreises „Bruchvorgänge“, DVM-Bericht 232, pp. 63-72, Paderborn (2001).

EXPERIMENT UND FE-ANALYSE HAND IN HAND: ERZEUGUNG EXPERIMENTELLER LAST-VERFORMUNGS-KURVEN DURCH NANOINDENTATION UND SIMULATION DES NANOINDENTER-EINDRUCK-VORGANGS DURCH DAS FE-PROGRAMM ABAQUS

A. Vogliano und W.H. Müller

**Institut für Mechanik
Technische Universität Berlin**

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit der Erforschung des Materialverhaltens von Zwei-Phasen-Composite-Loten auf Nanometer-Ebene. Dabei stehen die bisher weitestgehend unerforschten bleifreien, eutektischen Legierungen SnBi und SnZn im Vordergrund des Interesses.

Die aktuellen Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf vier Einzel-Schwerpunkte:

- 1) Die experimentelle Untersuchung der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Materialverhaltens durch Aufnahme von Last-Dehnungs-Kurven am Nanoindenter an mehreren, über das Gefüge rasterförmig verteilten, Eindruckpositionen mit insgesamt drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Lastaufbringung. Die Messungen beschränken sich momentan, ausstattungsbedingt, noch auf den Bereich der Raumtemperatur.
- 2) Die Zuordnung der einzelnen Last-Verformungs-Kurven zu der jeweiligen Eindruckposition bzw. Gefügezugehörigkeit durch optische Untersuchung der Proben unter dem Lichtmikroskop.
- 3) Die Mittelung der einzelnen, experimentell ermittelten Last-Verformungs-Kurven zu resultierenden Last-Verformungs-Kurven für die drei unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten. Zur Verarbeitung der erhaltenen Messdatensätze wurde dazu ein Programm-File in Mathematica erstellt, das zukünftig auf phasengerechte Mittelungen erweitert werden soll.
- 4) FE-Simulation des Nanoindenter- Eindruckversuchs durch ein in Abaqus erstelltes Programm-File.

Als *Endziel* der Forschungsvorhaben steht die Anpassung der FE-Material-Parameter an das tatsächliche Materialverhalten durch Angleich der mit FE erzeugten Last-Verformungs-Kurven an die Ergebnisse aus den Experimenten. Damit können in der Praxis zukünftig teure und langandauernde experimentelle Erprobungen durch numerische Untersuchungen und Simulationen ersetzt werden.

BESTIMMUNG DER KRITISCHEN ENERGIEFREISETZUNGSRATE AN C/SiC-LAMINATEN MITTELS EINES CHEVRON-TESTS

A. Kromholz, H. Maschke, R. Schäuble

Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik Halle

Für die bruchmechanische Bewertung Delaminationsriss- behafteter Faserverbundbauteile, müssen die Bruchwiderstände oder äquivalente bruchmechanische Größen bekannt sein. Anisotrope Werkstoffe wie C/SiC-Lamine aus UD-Tapes zeigen eine Abhängigkeit der bruchmechanischen Kennwerte von der Orientierung der Rissfront und der Faserorientierung zu beiden Seiten der Delamination.

Als eine geeignete Prüfmethode zur Bestimmung relevanter bruchmechanischer Materialkenngrößen wurde ein modifizierter Chevron-Test qualifiziert. Dieser reduziert den experimentellen Aufwand und minimiert den Messfehler, da bei der Versuchsdurchführung nur die maximal auftretende Kraft zu bestimmen ist. Die genaue Kenntnis der Länge des scharfen Anrisses ist nicht notwendig. Der Vorteil der Chevron Probe besteht einerseits in der Selbstinitiierung eines scharfen Anrisses infolge der hohen Spannungskonzentration an der Kerbspitze und andererseits in einem stabilen Risswachstum bis zu einer Risslänge, bei der ein Minimum der Energiefreisetzungsrates auftritt. In diesem Minimum wird die Maximalkraft im Versuch gemessen. Mittels der gemessenen Maximalkraft F_{\max} und der Kenntnis der Energiefreisetzungsrates G als Funktion der Risslänge a , ist man in der Lage, die kritische Energiefreisetzungsrates zu bestimmen.

Die Funktion $G(a)$ erhält man aus FE- Simulationsrechnungen. Zur Berechnung der Energiefreisetzungsrates wird die Virtual- Crack- Closure- Integral- Methode angewandt.

Literatur:

1. J.H. Crews Jr., K.N. Shivakumar and I.S. Raju. Strain energy release rate distribution for double cantilever beam specimens. AIAA J., 29:1686-1691, 1991.
2. E.F. Rybicki and M.F. Kanninen. A finite element calculation of stress intensity factors by a modified crack closure integral. Eng. Fracture Mech.,19:931-938, 1977.
3. S.S.Wang and I.Choi. The interface crack between dissimilar anisotropic composites under mixed-mode loading. J. Appl. Mech.,50:169-183, 1983.

FESTIGKEITSANALYSE METALLISCHER DURCHKONTAKTIERUNGEN IN LEITER- PLATTEN

Torsten Hauck, Jörg Strogies, Rita Tepfenhart, Tanja Aulbach

Motorola GmbH, München

Metallische Durchkontaktierungen in Leiterplatten sind ein überaus kritisches Konstruktionselement einer elektronischen Baugruppe. Temperaturwechsel verbunden mit der thermischen Fehlpassung der Metallisierung und des Leiterplattenmaterials können zum frühzeitigen Versagen führen. Als mechanisches Modell der Durchkontaktierung kann man sich eine Hülse mit isotropen Eigenschaften eingespannt in einer unendlichen ausgedehnten transversal isotropen Matrix vorstellen. Setzt man thermoelastisches Verhalten für Hülse und Matrix voraus, dann stellt sich für die Spannungsanalyse ein rotationssymmetrisches Elastizitätsproblem.

Im Vortrag wird hierfür eine analytische Lösung zur Diskussion gestellt. Die analytischen Spannungen werden mit Ergebnissen aus Finite Element Berechnungen und experimentellen Schadensanalysen verglichen.

TIME-DEPENDENT MECHANICAL RESPONSE OF POLYCRYSTALLINE MATERIALS WITH INTERNAL STRUCTURE

Tomasz Sadowski

Polycrystalline brittle or semi-brittle materials have a non-linear and complex overall response to applied load due to development of limited plasticity and internal micro-, meso- or macrodefects. Experimental results show that cracks develop mainly intergranularly and cause inhomogeneity and induced anisotropy of the solid.

Constitutive modelling of such materials involves description of the elastic and plastic deformations and those connected with cracks development. The following constitutive equations for time dependent material response can be proposed:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}(\boldsymbol{\sigma}, \dot{\boldsymbol{\sigma}}, \mathbf{D}, \dot{\mathbf{D}}) = \dot{\mathbf{S}}(\boldsymbol{\sigma}, \mathbf{D}) : \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{S}(\boldsymbol{\sigma}, \mathbf{D}) : \dot{\boldsymbol{\sigma}} \quad (1)$$

where $\boldsymbol{\varepsilon}$, $\boldsymbol{\sigma}$ and \mathbf{D} are second order tensors of the total strain, stress and damage, respectively.

Following of the „hypothesis of stress equivalence” one can postulate an evolution equation in the form

$$\dot{\mathbf{D}} = - \frac{\text{Inv}(\dot{\boldsymbol{\varepsilon}})}{\text{Inv}(\boldsymbol{\varepsilon})} \mathbf{D} + \frac{\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^d}{\text{Inv}(\boldsymbol{\varepsilon})}$$

(2)

where function $\text{Inv}(\boldsymbol{\varepsilon})$ denotes invariant of $\boldsymbol{\varepsilon}$. (e.g. mean strain), $\boldsymbol{\varepsilon}^d$ - is the strain obtained after purely elastic unloading. Taking into account kinetics of the deformation process (evolution of microfissures, dynamically extending interface cracks etc.) one can describe the whole deformation process by (1) and specify damage parameter \mathbf{D} with the help of (2).

In relation to energy release rate the dynamic crack growth criteria were proposed for the case dynamic crack propagation. As a numerical example the isothermal deformation process of magnesium oxide ceramic was discussed.

TOWARD QUANTITATIVE MODELING OF MORPHOLOGY CHANGES IN SOLIDS WITH PHASE FIELD THEORIES: ATOMISTIC ARGUMENTS FOR THE DETERMINATION OF HIGHER GRADIENT COEFFICIENTS

W.H. Müller, W. Dreyer

TU Berlin- Fakultät V, WIAS

This paper concentrates on open problems regarding recently published work [1-3] in the field of modeling micromorphological changes in ceramics using phase field theories of the Cahn-Hilliard and Allen-Cahn type. A specific example will be MgO Partially Stabilized Zirconia (PSZ). After a short review of the phenomenology involved equations will be set up that describe the state of stress, the mass distribution and the state of order in these alloys. The numerical procedures required for solution of these equations are briefly explained and examined regarding stability and convergence. Examples of simulations will be given and a comparison between our approach and the work by the group of Khachaturyan will also be performed.

A particular emphasis will be on the reliability of the materials data required, in particular the available data for the so-called higher gradient coefficients (HGC). In order to obtain relevant HGC data an atomistic point-of-view is proposed. To this end an atomistic interpretation of the Gibbs free energy of a binary alloy is presented and, by comparison with a phenomenological Redlich-Kistler Ansatz, as well as data for the compressibility and for the sublimation energy of the alloy the Lennard-Jones potentials of all participating atomic species are determined. These in turn allow to numerically obtain the gradient energy coefficients through summation w.r.t. nearest and higher neighbor interactions. Deviations to the classical theory as outlined in the seminal paper by Cahn and Hilliard are also discussed, various other higher gradient terms for the extended diffusion flux are derived, and their influence on microstructural development is assessed quantitatively. All steps and procedures involved are demonstrated explicitly and evaluated numerically for the special cases of PSZ showing pronounced ordering and coarsening behavior.

Literatur:

1. Dreyer, W., Müller, W.H. (2000). A Study of the Coarsening in Tin/Lead Solders, *Int. J. Sol. Struct.*, 37 (28), pp. 3841-3871.
2. Dreyer, W., Müller, W.H. (2001). Modeling Diffusional Coarsening in Eutectic Tin/Lead Solders: A Quantitative Approach, *Int. J. Sol. Struct.*, 38 (1), pp. 1433-1458.
3. Dreyer, W., Müller, W.H. (2001). Computer Modeling of Micromorphological Change by Phase Field Models: Applications to Metals and Ceramics. *Journal of the Australasian Ceramic Society*, 36 (1), pp.83-94.

AG Composite

18. - 20. November 2002

ÜBER DIE BILDUNG FLÜSSIGER TRÖPFCHEN IN EINER KRISTALLINEN MATRIX
W. Dreyer

WIAS

SPANNUNGSANALYSE DÜNNER GaAs PLATTEN UNTER LOKAL BEGRENZTEN LASTEN

F. Duderstadt und W. Dreyer

WIAS-Berlin

In der Halbleiterindustrie werden dünne Kreisplatten zur Homogenitätsanalyse Biegetests unterworfen. Im Test sind die Platten am Rand frei drehbar gestützt. Die Lastaufbringung erfolgt konzentrisch durch eine Druckkugel, deren Radius in der Größenordnung der Plattendicke liegt. Die Größe der Kontaktfläche und die Höhe der axialen Randspannung wird durch Lösung eines Kontaktproblems vorab bestimmt. Je nach Höhe der maximalen Durchbiegung lässt sich das Verschiebungsfeld unter Verwendung der Kirchhoffschen oder der von Kármánschen Plattentheorie berechnen. Die berechneten Verschiebungen zeichnen sich durch hohe Genauigkeit in Bezug auf experimentelle Daten aus. Ein Vergleich der in der Kontaktfläche gegebenen Axialspannungen mit den Werten der Radialspannungen zeigt jedoch, dass in einer kleinen Umgebung der lokal begrenzten Kontaktfläche wesentliche Annahmen der Plattentheorie verletzt sind.

Um die Auswirkung dieses Phänomens zu studieren, ist ein Vergleich mit dem vollständigen 3D-Problem nötig. Da das Phänomen auch bei kleinen Verschiebungen, die nach der Kirchhoffschen Plattentheorie berechnet werden, auftritt, leiten wir die zugehörige analytische 3D-Lösung nach der linearisierten Elastizitätstheorie her. Der Vergleich bestätigt, dass für dünne Platten das Verschiebungsfeld ausreichend genau berechnet wird. Liegt die Kontaktfläche in der Größenordnung der Plattendicke, weichen die maximalen Zugspannungen in beiden Theorien um 5% ab. Ist die Kontaktfläche jedoch deutlich kleiner als die Plattendicke, erhalten bis Abweichungen für die maximale Zugspannung bis zu 20%.

NUMERICAL SIMULATION OF LOCALIZED PLASTIC FLOW AND CRACKING IN COATED MATERIALS

R.R. Balokhonov¹, V.A. Romanova¹, V.L. Popov²

²TU Berlin, Institut für Mechanik, Sekr. C8-4, 10623 Berlin

Numerical simulations of the mechanical behavior of test piece surface hardened by both diffusion boriding and electronic beam facing (EBF) techniques are performed to investigate the effect of stress concentration on the mesoscale plastic-deformation and cracking pattern. Experimental evidence shows that the diffusion boriding technique allows high-strength coatings to be produced with a "toothed" shape of the borided layer – steel base interface, while high adhesive properties was used to apply the EBF coating.

The computer simulations under review employ St3 type steel as a base material with both FeB and Fe-Ni-Cr alloy serving as a surface – hardened layers. The computations are performed for different configurations of the borided layer – base material interface. The calculations for the mesovolume, where there is an intermediate sublayer, were carried out under tension test. The sublayer is situated between the substrate and coating and has an average mechanical characteristics.

Mechanical behaviour of the mesovolumes with real experimentally observed structure was investigated under compression, while plastic strain localizes in the base material and single cracks propagate in FeB and Fe-Ni-Cr coatings.

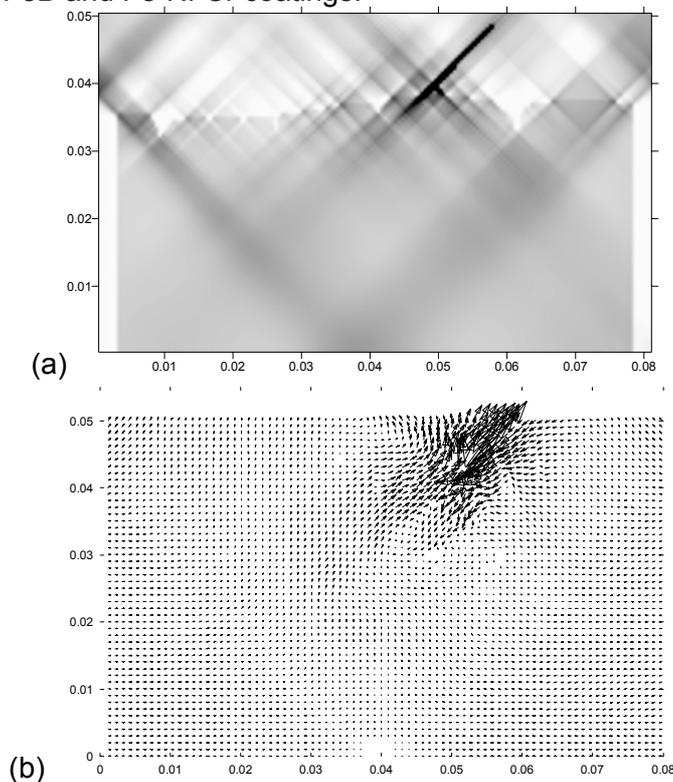


Fig. 1. Plastic strain intensity pattern, while single crack forms in Fe-Ni-Cr coating (a) and corresponding velocity field (b). Compression. Total strain $\approx 0.4\%$.

The calculated data obtained lead us to conclude that:

- The model taking into account strain hardening and imitation of cracking allows to investigate numerically mechanical behavior of the coated test-pieces.
- The areas of highest stress concentrations locate near FeB tooth bases, where cracks in the FeB coating and shear bands in the base material start to form as loading continues.
- "Steel base - intermediate layer" interface plays determining role in the localization of plastic flow.
- During fracture of EBF coated steel test piece the main crack propagates along one of the band of localized plastic deformation (Fig.1).