



LEHRSTUHL FÜR TECHNISCHE MECHANIK
UNIVERSITÄT PADERBORN



20. Workshop
Composite Forschung in der Mechanik
Funktional Gradierte Werkstoffe
04. und 05. Dezember 2007
Paderborn, Liborianum

Prof. Dr.-Ing. R. Mahnken
o. Prof. em. Dr. rer. nat. K.P. Herrmann
Lehrstuhl für Technische Mechanik
Universität Paderborn
Warburger Straße 100
33098 Paderborn

Prof. Dr.-Ing. T. Böhlke
o. Prof. em. Dr.-Ing. E. Schnack
Kontinuumsmechanik im Maschinenbau
Institut für Technische Mechanik
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
76128 Karlsruhe



20. Workshop

Funktional Gradierte Werkstoffe sind hochentwickelte Materialien mit kontinuierlich veränderlichen Werkstoffeigenschaften, die spezielle an das Bauteil angepasste Anwendungen ermöglichen.

Als Beispiele sind Hochtemperaturbauteile mit kontinuierlich veränderlichen Beschichtungen oder Maschinenkomponenten mit kontinuierlich veränderlichen Härtegraden zu nennen. Auf Grund der zunehmenden technologischen Bedeutung haben Funktional Gradierte Werkstoffe in den letzten zwei Jahrzehnten in den Bereichen Prozess- und Werkstoffentwicklung sowie Modellierung erhöhte Aufmerksamkeit gewonnen.

Der 20. Workshop „Composite Forschung in der Mechanik“ behandelt als Schwerpunktthema aktuelle Aktivitäten zur Weiterentwicklung von Funktional Gradierten Werkstoffen.

Wie in den Vorjahren, finden aber auch Sektionen über Verbundwerkstoffe im Allgemeinen statt. Dabei stehen nicht nur methodisch grundlegende Fragestellungen der Modellierung im Vordergrund, sondern auch aktuelle Entwicklungen in der Prozess- und Werkstofftechnologie.

Damit wendet sich der Workshop an Mitarbeiter von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten und Universitäten, um ihnen die Gelegenheit zur Vorstellung neuer Ergebnisse sowie zu einem ausführlichen Erfahrungsaustausch zu geben.

Ermöglicht durch die freundliche Unterstützung
des DFG-Sonderforschungsbereichs
Transregio 30



Dienstag, 04. Dezember 2007**20. Workshop Composite Forschung**

9.00 Eröffnung**SEKTION I: Analytische und numerische Methoden**

(Chairman: W. H. Müller)

- 9.10-9.35 **I. V. Andrianov, Vladyslav V. Danishevs'kyi, Dieter Weichert**, Aachen: "Load-Transfer from a fibre to a half-space via an elastic coating for dilute and densely packed composites"
- 9.40-10.05 **V. Ebbing, J. Schröder, P. Neff**, Essen: "A framework for the construction of anisotropic polyconvex energy densities"
- 10.10-10.35 **T. A. Langhoff, T. Böhlke, E. Schnack**, Karlsruhe: "Über energetische Modelle für die Thermomechanik"

10.40-11.00 Kaffeepause**SEKTION II: Analytische und numerische Methoden**

(Chairman: R. Mahnken)

- 11.05-11.30 **Y. Lapusta, A.N. Samborskaya**, Aubiere: "Mathematical modeling of instabilities in composites"
- 11.35-12.00 **A. Shaban, R. Mahnken**, Paderborn: "Modelling of strength difference for polymers in finite thermoviscoplasticity"

12.15-14.00 Mittagspause

Dienstag, 04. Dezember 2007**20. Workshop Composite Forschung**

SEKTION III: Schädigung und Rissbildung in Composites

(Chairman: S. Schmauder)

- 14.00-14.25 **W. H. Müller**, Berlin: "Fracture risk assessment for interface flaws in microelectronic composites"
- 14.30-14.55 **V. E. Petrova**, Voronezh: "Modelling of an interface thermal fracture in a FGM/Homogeneous bimaterial with internal defects"
- 15.00-15.25 **R. Mahnken**, Paderborn: "Material forces for crack analysis of functionally graded materials in adaptively refined FE-Meshes"
- 15.30-15.55 **N. Konchakova**, Kaiserslautern: "Solution of shock loading problems of the composite material by the ray method"
- 16.00-16.25 Kaffeepause**

SEKTION IV: Mikrostrukturelle Untersuchungen

(Chairman: J. Schröder)

- 16.30-16.55 **T. Böhlke, K. Jöchen**, Karlsruhe: "Elastic and viscoplastic anisotropies of FCC polycrystals"
- 17.00-17.25 **K. Jöchen, T. Böhlke**, Karlsruhe: "Elastic properties of polycrystalline microspecimens under uniaxial tensile stress"
- 17.30-17.55 **W. Dreyer**, Berlin: "Hysterese und Phasenübergänge in wiederaufladbaren Lithium-Batterien"
- 18.00-18.25 **F. Duderstadt**, Berlin: "Diffusion induced inelastic deformation of a compound body"
- 19.00 W. H. Müller**, Berlin: "**Jubiläumskabbalistik**"
- 19.30 Abendessen im Liborianum**

Mittwoch, 05. Dezember 2007**20. Workshop Composite Forschung**

SEKTION V: Thermomechanische Werkstoffmodelle

(Chairman: T. Böhlke)

- 8.30-8.55 **S. Schmauder, U. Weber**, Stuttgart: "Functionally graded materials and homogenization"
- 9.00-9.25 **I. Schmidt**, Hamburg: "Bestimmung der effektiven Eigenschaften von mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen verstärkten Polymeren"
- 9.30-9.55 **T. Kayser, F. Parvizian, C. Horig, B. Svendsen**, Dortmund: "Thermomechanical modeling and simulation of aluminum alloy behavior during extrusion and cooling"
- 10.00-10.20 Kaffeepause**
- 10.20-10.45 **A. Schneidt, R. Mahnen**, Paderborn: "Modellierung der Umwandlungsplastizität und Viskoplastizität für einen Hybridumformprozess"
- 10.50-11.15 **F. Fritzen, T. Böhlke, E. Schnack**, Karlsruhe: "A model of latent energy storage processes with numerical examples"

SEKTION VI: Experimentelle Methoden

(Chairman: B. Svendsen)

- 11.20-11.45 **W. Zinn**, Kassel: "Eigenspannungsanalysen mit mechanischen und Diffraktionsverfahren"
- 12.15-13.30 Mittagessen im Liborianum**

Mittwoch, 05. Dezember 2007**20. Workshop Composite Forschung**

SEKTION VI: Experimentelle Methoden

(Chairman: B. Svendsen)

Fürstenbergraum

- 13.45-14.10 **F.-B. Gockel, F. Ferber, R. Mahnken**, Paderborn: "Prozesskette automatisierter Thermoschockversuche und Simulationen zum Hybridumformprozess"
- 14.15-14.40 **I. Koke, W. H. Müller, F. Ferber, H. Funke, R. Mahnken**, Paderborn: "Einsatz der Photogrammetrie zur Bestimmung der elastischen Konstanten in handlaminierten Faser-Kunststoff-Verbunden"
- 14.45-15.10 **J. Dau, W. Homberg , I. Koke, F. Ferber, H. Funke, R. Mahnken**, Paderborn: "Photogrammetrische Bestimmung des Werkstoffverhaltens typischer Leichtbauwerkstoffe"
- 15.15** **Schlußworte**
- 15.30-15.55** **Kaffeepause**

ABSTRACTS

LOAD-TRANSFER FROM A FIBRE TO A HALF-SPACE VIA AN ELASTIC COATING FOR DILUTE AND DENSELY PACKED COMPOSITES

I. V. Andrianov^a, V. V. Danishevs'kyi^b, D. Weichert^a

^a Institute of General Mechanics, TU Aachen, Germany

^b Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Dnipropetrovs'k, Ukraine

A new asymptotic approach [1] is proposed to study the load-transfer from a single fibre to an isotropic half-space matrix strip via an elastic coating. The input boundary value problem is asymptotically simplified using ratios of the elastic constants as small parameters. An analytical solution of the simplified problem is derived by means of integral transforms. Inverse transforms are expressed approximately through some elementary and special functions. Behaviour of the fibre-matrix interface is also analysed with a reference to the problem of stress singularities. Influence of all other fibres is taken into account by means of the three-phase model and energetic estimations for the effective behaviour of the composite are proposed. The obtained results can be used for a calculation of pull-out tests, as well as for a study of the composite's fracture. In Civil Engineering the analyzed model can be used for a simulation of a pile with a surrounding floor.

Literatur

- [1] Andrianov, I. V., Danishevs'kyi, V. V., Weichert, D., "Analytical study of the load transfer in fibre-reinforced 2D composite materials", International Journal of Solids and Structures, article in press.

ELASTIC AND VISCOPLASTIC ANISOTROPIES OF FCC POLYCRYSTALS

T. Böhlke, K. Jöchen

**Kontinuumsmechanik im Maschinenbau
Institut für Technische Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)**

Polycrystalline metals are random heterogeneous media the microstructure of which can be described by n-point probability functions (Torquato, 2002). If these functions are translationally invariant or rotationally invariant the material is either called statistically homogeneous or statistically isotropic. Anisotropies of the macroscopic mechanical behavior are caused by statistically non-isotropic microstructures. They are of significant importance in mechanical engineering as well as in material science. In the presentation we discuss the combination of the aforementioned statistical approach with classical concepts of continuum mechanics. Special emphasis is given to bounds and estimates of effective and apparent mechanical properties based on orientational averages (e.g., Böhlke, 2004, 2005). Both, elastic and inelastic properties are considered.

Literatur

- [1] Böhlke, T.: Application of the maximum entropy method in texture analysis. *Comp. Mat. Sc.*, 32, 276-283, 2005
- [2] Böhlke, T.: The Voigt bound of the stress potential of isotropic viscoplastic fcc polycrystals. *Archive of Mechanics*, 56, 423-443, 2004
- [3] Torquato, S.: *Random Heterogeneous Materials: Microstructures and Macroscopic Properties*, Springer, 2002

PHOTOGRAMMETRISCHE BESTIMMUNG DES WERKSTOFFVERHALTENS TYPISCHER LEICHTBAUWERKSTOFFE

J. Dau¹, W. Homberg¹, I. Koke², F. Ferber², H. Funke³, R. Mahnken²,

¹Lehrstuhl für Umformende und Spanende Fertigungstechnik,
Universität Paderborn

²Lehrstuhl für Technische Mechanik, Universität Paderborn

³Fachbereich Maschinenbau / Fahrzeugkonstruktion, FH Dortmund

Aktuelle Entwicklungen auf dem Rohstoffmarkt weisen immer deutlicher auf die Notwendigkeit hin, Produkte leichter zu machen und somit Ressourcen zu schonen. Aus diesem Grund wird vielfach auf so genannte „tailored materials“ zurückgegriffen, welche eng auf den Belastungsfall angepasste Werkstoffeigenschaften aufweisen. Unterschieden werden dabei homogene Werkstoffe/ Halbzeuge wie hochfeste Stähle, Aluminium etc. und solche mit heterogenen Werkstoffeigenschaften. Dazu zählen beispielsweise strukturierte Platinen, Plattierungen, Schichtverbunde wie Glare® und Verbundwerkstoffe.

Problematisch bei der Untersuchung des Verhaltens dieser Werkstoffe sind die lokalen Unterschiede sowie die ausgeprägte Anisotropie [1,2], welche beispielhaft an einer am LTM durchgeführten Untersuchung von glasfaserverstärkten Kunststoffen verdeutlicht wird. Derartige Effekte sind mit den weit verbreiteten mechanischen Messsystemen nur schwer erfassbar. Das ist dadurch bedingt, dass diese Messsysteme nur die gemittelten Daten eines vorab definierten Abschnitts aufzeichnen und somit Spannungs- bzw. Dehnungslokalisationen einglätten, oder sofern nicht im Messbereich liegend, außen vor lassen. Für die Untersuchung inhomogener Werkstoffeigenschaften bieten sich daher photogrammetrische Messsysteme wie z.B. das Aramis-System der Fa. GOM an. Aramis zeichnet während des Versuchs flächige Informationen auf, welche post experimental sowohl global, als auch lokal ausgewertet werden können und somit die Untersuchung inhomogener Materialeigenschaften begünstigen [2,3]. Es ist ein Ansatz erarbeitet worden, der die Möglichkeit bietet, qualitative Informationen über das Werkstoffverhalten und darauf aufbauend quantitative Materialkennwerte zu ermitteln.

Literatur

- [1] Michaeli W.; Wegener M.:
Einführung in die Technologie der Faserverbundwerkstoffe. Carl Hanser Verlag München 1990
- [2] Koke, I.; Ferber, F.; Mahnken, R.; Funke, H.; Müller, W. H.:
3D photogrammetric analysis of handmade glass fibre-reinforced composites. 19. Workshop Composite Forschung in der Mechanik, Abstracts, 26. - 27. November 2006, Bad Herrenalb, Schwarzwald (2006)
- [3] Koke, I.; Müller, W. H.; Ferber, F.; Mahnken, R.; Funke, H.:
Measuring mechanical parameters in glass fiber-reinforced composites: Standard evaluation techniques enhanced by photogrammetry. In: Composites Science and Technology (2007), accepted for publication

HYSTERESE UND PHASENÜBERGÄNGE IN WIEDERAUFLADBAREN LITHIUM-BATTERIEN

W. Dreyer

Weierstraß Institut für Angewandte Analysis und Stochastik

Mohrenstraße 39, 10117 Berlin

Email: dreyer@wias-berlin.de

Eine wiederaufladbare Lithium-Batterie basiert unter anderem auf folgendem Prinzip. Während der Entladung der Batterie wird ein Kristall auf seinen Zwischengitterplätzen mit Lithiumatomen aufgefüllt, und gibt diese bei der Aufladung wieder ab. Leider zeigt die Spannungsladungscharakteristik einer solchen Batterie eine unerwünschte Hystereseerscheinung. Es ist nämlich der Verlauf der momentanen elektrischen Spannung gegen die Gesamtladung beim Aufladungsprozeß ein anderer als bei der Entladung der Batterie.

Wir zeigen, dass diese Erscheinung verursacht wird von zwei mechanischen Phänomenen, die einen Phasenübergang begleiten, der bei der Zu- und Abfuhr von Lithium in den Kristall auftritt. Zum einen benötigen die Lithiumatome mehr Platz als ihnen von den Leerstellen des Zwischengitters zur Verfügung gestellt werden, was zu einer maximalen relativen Volumenänderung von 0,06 führt. Darüber hinaus gibt es eine Phasengrenze mit sehr großer Krümmung in der Größenordnung 10^8 m, welche einen Sprung der Normalkomponente der mechanischen Spannung an der Phasengrenze hervorruft.

Zur Simulation der Dynamik des Phasenüberganges und insbesondere der beobachteten Hysterese entwickeln wir ein neues Modell, welches mit dem Ziel eingesetzt wird die Mechanismen zu finden, die zur Erhöhung der Lebensdauer einer wiederaufladbaren Lithium-Batterie führen.

DIFFUSION INDUCED INELASTIC DEFORMATION OF A COMPOUND BODY

F. Duderstadt

**Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics Berlin
Mohrenstraße 39, 10117 Berlin**

We consider a compound body consisting of a liquid droplet which exists in a crystalline gallium arsenide matrix, and we study its evolution due to diffusion and deformation. The evolution is driven by a phase transition at the solid-liquid interface. The main focus of this lecture concerns the influence of the diffusion on the elastic St. Venant-Kirchhoff law, which results in an inelastic stress-deformation dependence. Thus we may speak of diffusion-induced inelasticity. The proposed model is thermodynamically consistent and satisfies exactly the conservation law of mass. Both properties are violated in most models that are available in the literature. For example, the most cited Gibbs free energy of a deformed solid, which is found in the textbook by Landau-Lifschitz, violates the second law of thermodynamics. Moreover, most attempts to describe the diffusion process rely on a diffusion equation that violates the conservation law of total mass, and thus cannot be used to describe the diffusion problem in gallium arsenide with sufficient accuracy.

A FRAMEWORK FOR THE CONSTRUCTION OF ANISOTROPIC POLYCONVEX ENERGY DENSITIES

V. Ebbing^a, J. Schröder^a, P. Neff^b

^a Institute of Mechanics, Department of Civil Engineering,
University of Duisburg-Essen,
Universitätsstr. 15, 45117 Essen, Germany
j.schroeder@uni-due.de

^b Fachbereich Mathematik, Technische Universität Darmstadt,
64289 Darmstadt, Germany

In order to guarantee the existence of solutions in large strain elasticity, the free energy function has to be sequentially weakly lower semicontinuous (s.w.l.s.) and coercive. Therefore, polyconvex functions which are always s.w.l.s. are usually considered, see [1]. For isotropic materials there exists a wide range of constitutive functions that satisfy the polyconvexity requirement. A variety of polyconvex energy densities in a transversely isotropic and orthotropic coordinate-invariant framework has been first proposed in [4,5]. Further extensions are given in [2,3].

The main goal of the talk is the construction of anisotropic polyconvex free energy functions for arbitrary anisotropy classes. The main idea is the introduction of an anisotropic metric tensor reflecting the anisotropies of the underlying crystal class. The constitutive functions constructed in terms of the right Cauchy-Green tensor and the metric tensor automatically satisfy the polyconvexity condition. Further details are documented in [6]. After giving a general introduction we focus on several model problems and present some numerical examples.

References

- [1] Ball, J.M., "Convexity Conditions and Existence Theorems in Non-Linear Elasticity," *Archive of Rational Mechanics and Analysis*, Vol. 63, pp. 337-403, 1977.
- [2] Balzani, D., "Polyconvex Anisotropic Energies and Modeling of Damage Applied to Arterial Walls," PhD-Thesis, Scientific Report of the Institute of Mechanics, University of Duisburg-Essen, Verlag Glückauf Essen, 2006.
- [3] Itskov, M., Aksel, N., "A Class of Orthotropic and Transversely Isotropic Hyperelastic Constitutive Models Based on a Polyconvex Strain Energy Function," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 41, pp. 3833-3848, 2004.
- [4] Schröder, J., Neff, P., "On the Construction of Polyconvex Anisotropic Free Energy Functions," *Proceedings of the IUTAM Symposium on Computational Mechanics of Solid Materials at Large Strains*, Eds. C. Miehe, Kluwer Academic Publishers Dordrecht, pp. 171-180, 2001.
- [5] Schröder, J., Neff, P., "Invariant Formulation of Hyperelastic Transverse Isotropy Based on Polyconvex Free Energy Functions," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, pp. 401-445, 2003.
- [6] Schröder, J., Neff, P., Ebbing, V., "Anisotropic Polyconvex Energies on the Basis of Metrics Reflecting Material Symmetries," submitted to *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2007.

A MODEL OF LATENT ENERGY STORAGE PROCESSES WITH NUMERICAL EXAMPLES

F. Fritzen, T. Böhlke, E. Schnack

**Kontinuumsmechanik im Maschinenbau,
Institut für Technische Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)**

It has first been found by [Taylor34] that not the entire work expended for the plastic deformation of polycrystalline materials is transformed into heat. A certain amount of the plastic work is stored by creation of dislocations and dislocation structures and interactions in the microstructure of the material. An extensive review on theoretical as well as experimental results on the topic is found in [Bever73]. The Taylor-Quinney factor determines the amount of the plastic power converted to heat. It strongly depends on the state of deformation, as has been found in experiments. At the on-set of plastic deformation it has been found by [Helm98,Olifurek04] that it may take values of 40 % and even up to 70 %.

We propose a novel model for the examination of the Taylor-Quinney factor which is suitable for numerical implementation. Thermodynamic consistency of our approach is guaranteed in the sense of the reduced Clausius-Duhem inequality which imposes restrictions on the set of admissible material responses.

Our approach is based on an energetic modelling of the thermo-plastic material response and particularly allows for large plastic deformations, thermo-mechanical coupling, arbitrary kinematic and isotropic hardening as well as for visco-plastic behaviour. The set of parameters needed for an implementation of the model can be reduced to a single value. Therefore the model can be used in industrial applications.

Numerical calculations of plane strain tension tests on a perforated plated and a notched specimen are presented to illustrate the effects of the proposed model in a strongly coupled thermo-mechanical analysis.

References

- [Taylor34] Taylor, G.; Quinney, M. Proc Roy Soc Lon A:**143**, 1934.
[Bever73] Bever, M. The stored energy of cold work. Pergamon Press, 1973.
[Olifurek04] Oliferuk, W. et al. Mat Sci Eng A:**374**, 2004.
[Helm98] Dirk, H. In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor P. Haupt, Institut für Technische Mechanik der Universität Kassel, 81-105; Eds: Hartmann, S. and Tsakmakis, C., 1998.

PROZESSKETTE AUTOMATISIERTER THERMOSCHOCK- VERSUCHE UND SIMULATIONEN ZUM HYBRIDUMFORMPROZESS

F.-B. Gockel, F. Ferber, R. Mahnken

Lehrstuhl für Technische Mechanik (LTM), Universität Paderborn

Thermoschock, gradierte Werkstoffe, Materialmodell, Simulation, Automatisierung

Die Thermoschockbelastung stellt eine in vielen technisch hochwertigen aber auch alltäglichen Anwendungen auftretende extreme Form der thermomechanischen Werkstoffbeanspruchung dar. Bei zyklischer Wiederholung kann dies beispielsweise an Krafftfahrzeugbrems scheiben, Gasturbinen oder automotiven Abgasanlagen zu Schädigungen führen. In Hybridumformprozessen, wie sie in dem Sonderforschungsbereich TR 30 zur Realisierung gradiertes Werkstoffeigenschaften behandelt werden, wird das formgebende Werkzeug zyklischer Thermoschockschädigung unterzogen, für das umzuformende Bauteil hingegen profitiert der Prozess von der integrierten schockartigen Wärmebehandlung für das Werkstück, wodurch sich gezielt nützliche funktionale Gefügestrukturen einstellen lassen. Für eine Produkt- oder Prozessentwicklung ist die Vorhersage der Lebensdauer bzw. der sich einstellenden Werkstoffgefügestruktur von besonderem Interesse. An dieser Stelle setzen ein gegenseitiger Optimierungsprozess und eine abzuarbeitende Prozesskette aus Experimenten, Auswertungen und Berechnungen ein. Materialmodelle werden auf der Grundlage von experimentellen Ergebnissen ausgewählt bzw. formuliert. Deren Parameter werden im Verifikationsverfahren aus dem Vergleich zwischen Versuchsdaten und der Simulation identifiziert und für die Übertragung auf ähnliche Aufgabenstellungen bereitgestellt. Die sich anschließende Validierung des gewonnenen Simulationsmodells bei der Anwendung der Simulation auf eine reale Aufgabenstellung zeigt im Vergleich zum Bauteilversuch die Qualität des Simulationsmodells. Der zum Teil erhebliche Arbeitsaufwand für die Abarbeitung dieser Prozesskette stellt für viele potentielle industrielle Anwender eine Hürde aus Fragen der Produktentwicklungszeit und der Personalressourcen dar. Erforderliche umfangreiche Versuchsreihen, die Ergebnisbereitstellung, Auswertung und Aufbereitung für die Folgeprozessschritte zur Modellbildung werden vielfach zu Lasten der Modellierungsqualität unterlassen oder erheblich vereinfacht. Die Automatisierung der Prozesskette mit einer Verkettung der Einzelwerkzeuge und einer Vernetzung der Ergebnisdaten sollen hier in Form einer übergreifenden Arbeitsplattform als Lösung für die zurückhaltende Anwendung aktueller Materialmodelle in Bauteilsimulationen angeboten werden. Konzepte einer lockeren Verbundstruktur der Einzelprozesse ermöglichen deren individuelle Weiterentwicklung und die langfristige Produktunterstützung. Die Arbeitsplattform stellt eine einem Betriebssystem ähnliche Organisation der verschiedenartigen Schnittstellen dar und organisiert auf der Benutzeroberfläche individuell zusammengestellte Prozessabläufe aus Versuchen, Auswertungen und Berechnungen einschließlich des Ergebnisdatenmanagements. Webbasierte Bedieneroberflächen und ein offenes individuell editierbares Hilfefkonzept ermöglichen dem Benutzer eine ortsungebundene und freizügige Anwendung und ein sich durch die Anwender potenzierendes Wissenspotential. Die strukturierte Automatisierung und Verkettung hoch entwickelter Einzelprozesse ist damit eine Antwort und zugleich Chance der Wissenschaft zur Qualitäts- und Effektivitätssteigerung. Die Erbringung praxisgerechter Dienstleistungen wissenschaftlicher Einrichtungen für Industrieanwendungen wird damit gestärkt und der so gewonnene gegenseitige Austausch hilft Industrie und Forschung beim Abbau der Hürden zur Anwendung aktueller Forschungsergebnisse.

ELASTIC PROPERTIES OF POLYCRYSTALLINE MICROSPECIMENS UNDER UNIAXIAL TENSILE STRESS

K. Jöchen, T. Böhlke

**Kontinuumsmechanik im Maschinenbau,
Institut für Technische Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)**

For the development of highly stressable micro-components for various applications, the structural behavior of such parts has to be examined with respect to an accurate prediction of the elastic and plastic characteristics. When simulating micro-parts, the biggest challenge is to capture the significant material heterogeneities. Those heterogeneities are the result of the small dimensions of the components being of the same order of magnitude as the grain size. For this reason the concept of effective properties fails and apparent properties have to be considered.

In this work the elastic properties of the alloy Stabilor-G, which mainly consists of Gold, are studied in order to estimate Young's modulus of an aggregate of cubic single crystals. Isotropic estimates like the Voigt and Reuss bounds [1,2] as well as the Hashin-Shtrikman bounds [3] are considered to assess the validity of their prediction for polycrystals.

Statistical simulations are carried out to identify the scattering and the anisotropy of Young's modulus for a varying but comparatively small number of grains in the micro component. Polycrystals are modeled as a periodic Voronoi mosaic in the FE model and a uniform distribution of crystal orientations is assumed.

Results of the simulations are compared with experimental findings [4] where casted micro tensile specimens were examined.

Literatur

- [1] Voigt, W., "Lehrbuch der Kristallphysik", Teubner Leipzig, 1910
- [2] Reuss, A., "Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung von Einkristallen, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik", 9, 1929
- [3] Hashin, Z. und Shtrikman, S., "A variational approach to the theory of the elastic behaviour of polycrystals", J. Mech. Phys. Solids, 10, 1962
- [4] Auhorn, M., Kasanick, B., Beck, T., Schulze, V. and Löhe, D., "Mechanical strength and microstructure of Stabilor-G and ZrO₂ microspecimens", Microsystems Technologies, 12, 2006

THERMOMECHANICAL MODELING AND SIMULATION OF ALUMINUM ALLOY BEHAVIOR DURING EXTRUSION AND COOLING

T. Kayser, F. Parvizian, C. Hortig, B. Svendsen

**Chair of Mechanics, University of Dortmund,
Leonhard-Euler-Str. 5, D-44227 Dortmund, Germany
Mail: t.kayser@mech.mb.uni-dortmund.de**

The purpose of this work is the initial modeling and simulation of the material behavior of aluminium alloys during extrusion, cooling and further forming. Such individual steps are often combined into integrated multi-stage processes in order to optimize the production process as a whole.

The advantages of aluminum and its alloys include high ductility (due to its fcc crystal structure), making it particularly suitable for complex extrusion processes. Additionally, the ideal ratio of the Young's modulus to density of Al makes it ideal for a wide range of application in automotive and aircraft manufacturing, as well as for lightweight construction in general. Here attention is focused on aluminum alloys of the 6000 series (Al-Mg-Si) and 7000 series (Al-Zn-Mg). Alloys of the 6000 series are especially designed to provide maximum ductility, whereas members of the 7000 series are less ductile but show better hardness properties.

In particular, since aluminum has a relatively high stacking fault energy, dislocation cross slip is energetically-favored over recrystallization. Therefore, the material behavior of these alloys at high temperature during extrusion is governed mainly by dynamic recovery and subgrain evolution, whereas static recrystallization is dominant during the following cooling process. Experimental results regarding the developing microstructure (e.g., texture, dislocation structures, etc.) provide information on how the process conditions such as extrusion rate, temperature and ram velocity affect its development.

The current material model is based on the role of energy stored in the material during deformation as the driving force for microstructural development. The concept of internal variables is used to describe state quantities such as dislocation density, average grain size and average grain misorientation. Constitutive equations for these quantities are formulated in a thermodynamically-consistent fashion as part of a thermo-elastic, visco-plastic model with heat conduction.

An efficient and robust numerical simulation of the very large deformations occurring during extrusion requires the use of mesh-refinement and remeshing methods. In this case python scripting drives the numerical simulation in the commercial finite-element program ABAQUS and the mesh refinement with an external remeshing software.

EINSATZ DER PHOTOGRAMMETRIE ZUR BESTIMMUNG DER ELASTISCHEN KONSTANTEN IN HANDLAMINIERTEN FASER-KUNSTSTOFF-VERBUNDEN

I. Koke^{a, b}, W. H. Müller^b, F. Ferber^a, H. Funke^c, R. Mahnken^a

^aLehrstuhl für Technische Mechanik (LTM), Universität Paderborn

^bLehrstuhl für Kontinuumsmechanik und Materialtheorie (LKM), TU Berlin

^cFachbereich Maschinenbau/ Fahrzeugkonstruktion, FH Dortmund

Faserverstärkte Kunststoffe erschließen ständig neue Anwendungsbereiche. Das ist nicht zuletzt auf ihr erstaunliches Leichtbaupotenzial zurückzuführen. Der Faser-Kunststoff-Verbund als solcher birgt jedoch eine gewisse Problematik, die sich gleichzeitig aus den Vorteilen ergibt, wird er als Konstruktionswerkstoff verwendet. In diesem Zusammenhang sind einerseits seine Richtungsabhängigkeit und andererseits das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten bei mechanischer oder thermischer Belastung zu nennen. Daher ist bei der Verwendung als Konstruktionswerkstoff darauf zu achten, dass bei gleichem Bauteilquerschnitt eine Stärkung der Struktur in der vorhergesagten Belastungsrichtung durch gezielte Einbringung von Fasern zu einer Schwächung derselben in den übrigen Raumrichtungen führen kann. Kommt nun aber noch die manuelle Herstellung des Verbundes hinzu, stellt sich die Frage nach der Vorhersagbarkeit des Verhaltens der Konstruktion, da dann Imperfektionen und lokale Abweichungen im Faser-Kunststoff-Verbund eine stete Begleiterscheinung sind.

Anhand von Laminaten glasfaserverstärkter Epoxidharze wurden verschiedene elastische Materialparameter wie Elastizitäts- als auch Schermoduli experimentell bestimmt [1,2,3]. Die ermittelten Verformungen basieren auf optischen Feldmessverfahren, welche sich der Methode der Photogrammetrie bedienen. Die experimentellen Resultate selbst wurden auf unterschiedlichen Wegen generiert: zum einen aus Abweichungen einzelner Punkte zueinander [4], zum anderen aus homogenisierten Flächeninformationen, sodass deren Aussagefähigkeit und Wahrheitsgehalt zu diskutieren sind. Dem gegenübergestellt werden wiederum Vorhersagen aus Berechnungen mit dem bereits im vergangenen Workshop vorgestellten Tool *LamiCens* [5] unter Berücksichtigung experimentell bestimmter Eingangsdaten zur Charakteristik des jeweiligen Probelaminats (z.B. Faservolumenanteil). Die generierte Datenbasis soll praktischen Anwendern als Anhaltspunkt für die Güte eines manuell gefertigten Laminats dienen. Erste Ergebnisse werden vorgestellt.

Literatur

- [1] Ferber, F.: „Numerische und experimentelle Untersuchungen rissbehafteter Strukturen, Berichte aus der Mikromechanik“, Shaker Verlag, Aachen, 2001.
- [2] Funke, H.: „Systematische Entwicklung von Ultra-Leichtbaukonstruktionen in Faserverbund-Wabensandwichbauweise am Beispiel eines Kleinflugzeuges“, Rheda-Wiedenbrück, 2001.
- [3] Koke, I.; Müller, W. H.; Ferber, F., Mahnken, R.; Funke, H.: Measuring mechanical parameters in glass fiber-reinforced composites: Standard evaluation techniques enhanced by photogrammetry. In: *Composites Science and Technology* (2007), for publication
- [4] Dau, J.: Diplomarbeit, LTM, Universität Paderborn, März 2007
- [5] Funke, H.: *LamiCens*, Software, R&G GmbH, Version 0.98, Dezember 2005.
- [6] Mahnken, R.: Identification of material parameters for constitutive equations, In: *Encyclopedia of Computational Mechanics*, (Eds. E. Stein, de Borst, Hughes, Wiley), 2004

SOLUTION OF SHOCK LOADING PROBLEMS OF THE COMPOSITE MATERIAL BY THE RAY METHOD

N. Konchakova

*Voronezh State University, Department of Applied Mathematics, Information Science and Mechanics, University Sq.1, 394006 Voronezh Russia
Kaiserslautern Technical University, Chair of Applied Mechanics, Gottlieb-Daimler-Straße, P.O.-Box 3049, 67653 Kaiserslautern Germany*

The composite material behaviour is analyzed in this work by the example of a micropolar half-space under applied mechanical and thermal shock loadings. The process of the shock waves distribution into the thermo-elastic microstructure half-space is simulated.

The dynamic problem of the heat shock impulse distribution into a microstructure half-space has been solved. The solution is presented as a series in the set of aggregate functions with carriers on a moving surface, separating an undisturbed space area from the disturbed, which is called wave frontier. The Heaviside Step Function is used as the aggregate function. The ray series for the solution of the framed problem is [1]:

$$f(s, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} [f_{, (k)}]_{t=\tau(s)} (t - \tau(s))^k H(t - \tau(s)),$$

[.] is a difference of the measures before and after the break surface, $H(t)$ is the

Heaviside Step Function, $f_{, (k)} = \frac{\partial^k f}{\partial t^k}$, $\tau(s) = \int_0^s \frac{ds}{G(s)}$, s is a coordinate, t is a

time, $G(s)$ is the normal velocity of the wave surface. The distributed wave velocity G and the density of the material at the different sides of the break surface, in the general case, are different. The coefficients of the ray series are determined with the help of the compatibility condition of the higher order [2]

$$G [f_{, i(k)}] = -[f_{, (k+1)}] v_i + \frac{\delta [f_{, (k)}]}{\delta t} v_i + G g^{\alpha\beta} [f_{, (k)}]_{, \alpha} x_{i, \beta}.$$

We have obtained recurrent k - order equations to specify ray series ratios, and we derived equations of the higher order for an anisotropic thermoelastic continuum of Cosserat, which is used for the numerical simulation of the behaviour of the composite material.

The solution for dynamic boundary problems shock loading is found by an asymptotic ray method and a numerical solution for a particular composite material such as aluminium shot in an epoxy matrix is derived. The dependencies of the stresses, moment stresses and the temperature on the coordinate are obtained. The influence of the thermo-mechanical parameters on the shock waves characteristics is revealed.

Literature

- [1] Baskakov V., Rossikhin Y., Shitikova M. "The Ray Method for solving a boundary-value problem connected with the propagation of thermoelastic shock waves of finite amplitude", Journal of Thermal Stresses, no.5, v.19, 1996.
- [2] Baskakov V., Bestuzheva N., Konchakova N. "Some Properties of the Dynamic Equations of a Thermoelastic Medium with Microstructure", Proceedings of the 3rd Int. Congress on Thermal Stresses, Krakow, Poland, 1999.

ÜBER ENERGETISCHE MODELLE FÜR DIE THERMOMECHANIK

T.-A. Langhoff, T. Böhlke, E. Schnack

**Kontinuumsmechanik im Maschinenbau,
Institut für Technische Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)**

In vielen mikrostrukturierten Materialien treten unter thermomechanischer Belastung Phasenübergänge auf, welche mit der Mikrostruktur auch die makroskopischen Eigenschaften verändern. Zur Beschreibung des Materialverhaltens wurden energetische Modelle für unterschiedliche Situationen (u.a. Versagen durch Sprödbruch, Formgedächtnislegierungen, Plastizität) entwickelt [1], die aufgrund der ableitungsfreien Formulierung geringere Voraussetzungen an die Regularität von Lösungen stellen. Gerade für Komposite sind solche Verfahren deshalb prädestiniert. Die große Mehrzahl dieser Modelle beschreibt rein mechanische Belastungen.

In diesem Beitrag werden Erweiterungen der energetischen Modelle für thermomechanische Belastungen vorgestellt [2]. Hierzu ist einerseits auf die gekoppelte Struktur der Thermomechanik einzugehen. Zum anderen werden Bedingungen an das Energiefunktional für die Existenz von Lösungen diskutiert [3]. Zusätzlich ist das rigoros abzuleitende homogenisierte Problem für die Materialantwort auf makroskopischer Skala im Rahmen der Γ -Konvergenz zu untersuchen [4].

Eine Anwendung liegt in der Modellierung des thermomechanischen Verhaltens kohlenstofffaserverstärkter Kohlenstoffe [5].

Literatur

- [1] A. Mielke, F. Theil, and V. I. Levitas, "A Variational Formulation of Rate-Independent Phase Transformations Using an Extremum Principle", Arch. Rational Mech. Anal. vol. 162, pp. 137-177, 2002
- [2] T.-A. Langhoff, E. Schnack, "Restrictions to the energy density in energetic models of carbon fibre reinforced carbon", Mechanics of Advanced Materials, accepted for publication
- [3] G. Francfort, A. Mielke, "Existence results for a class of rate-independent material models with nonconvex elastic energies", J. reine angew. Math. vol. 595, pp. 55–91, 2006
- [4] G. DalMaso, "An introduction to Gamma-Convergence", Birkhäuser, Basel 1993.
- [5] T.-A. Langhoff, E. Schnack, "Energetic modelling for carbon fibre reinforced carbon", PAMM vol. 6, pp. 495–496, 2006

MATHEMATICAL MODELING OF INSTABILITIES IN COMPOSITES

Y. Lapusta, A.N. Samborskaya

French Institute of Advanced Mechanics, IFMA-LAMI, Campus de Clermont-Ferrand / Les Cezeaux, BP 265, F-63175 Aubiere Cedex, France

Ternopil Ivan Pul'uj State Technical University, Ukraine, Rus'ka Str. 54, Ternopil, 46001, Ukraine

An analytical method for modeling the fiber instability in composites is discussed. A problem formulation is given for a row of long interacting fibers in an infinite elastic matrix subjected to a compressive load. We use a three-dimensional linearized theory [1] in this work and further developed results of [2]. The problem formulation accounts for the three-dimensional geometry and stress distribution around the fibers, and also the difference of properties between the composite's microconstituents. The latter are assumed to be ideally bonded. In a general case, they can be either isotropic or transversally isotropic. Solutions for possible buckling modes for the considered system fibers-matrix are constructed. These solutions account for the periodicity of the buckled system in two directions. The first one is the fiber direction. The other one lies in the plane of fiber axes and is inclined with respect to the direction orthogonal to the fibers. In this way, some shift between buckled neighboring fibers can be taken into account. All boundary conditions are satisfied exactly. The critical loading for the given problem parameters are determined as a minimum load causing one of the possible instability modes. Calculations are carried out for specific material models used to describe the behavior of the fibers and the matrix. Results are presented as normalized stress versus fiber-to-matrix stiffness ratio β for various dimensionless shifts between buckling modes of neighboring fibers, see e.g. Fig. 1. It is shown that these two parameters affect strongly the critical load. Some other parameters and factors, which can influence critical loads, are also discussed. In the conclusion, possible generalizations of the presented mathematical modeling are indicated.

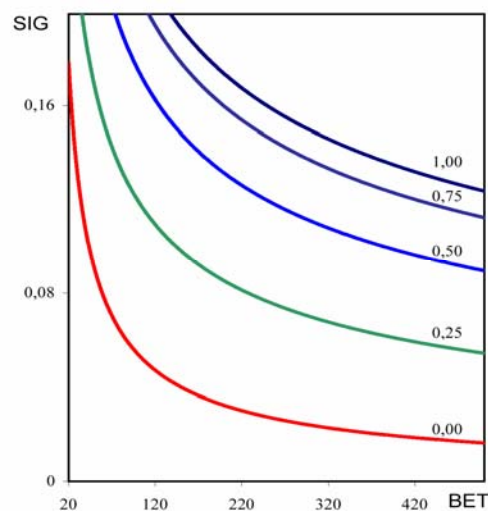


Fig. 1. Normalized stress versus β

Literatur

- [1] A.N. Guz, Fundamentals of the Three-Dimensional Theory of Stability of Deformable Bodies, Springer, 1999.
- [2] Guz A.N., Lapusta Y., and Samborskaya A.N, 3D model and estimation of fiber interaction effects during internal instability in non-linear composites, International Journal of Fracture, vol. 134(3-4), pp. L45-51, 2005.

MATERIAL FORCES FOR CRACK ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS IN ADAPTIVELY REFINED FE-MESHES

R. Mahnken

University of Paderborn, Chair of Engineering Mechanics (LTM),

E-mail: rolf.mahnken@ltm.uni-paderborn.de

This work describes the computation of fracture parameters in functionally graded materials (FGMs) with stationary and instationary cracks. To this end the continuum concept of material forces is used, such that the corresponding balance equation can be discretized with a standard Galerkin finite element procedure [1]. A domain-type formulation is used for evaluation of a vectorial J-integral, where in the practical implementation the material nodal forces of the finite element discretization are summed up in a finite region of the crack-tip. In this way the numerical calculation is completely independent from the alignment of the finite element mesh or any selected integration contour, which is most attractive for adaptively refined finite element meshes. For illustrative purpose the accuracy of the method is discussed for two examples based on comparison with available theoretical and numerical solutions [1]. Additionally, in 3-dimensional crack simulations the influence of inhomogeneity of functionally graded materials is investigated, see Fig.1.

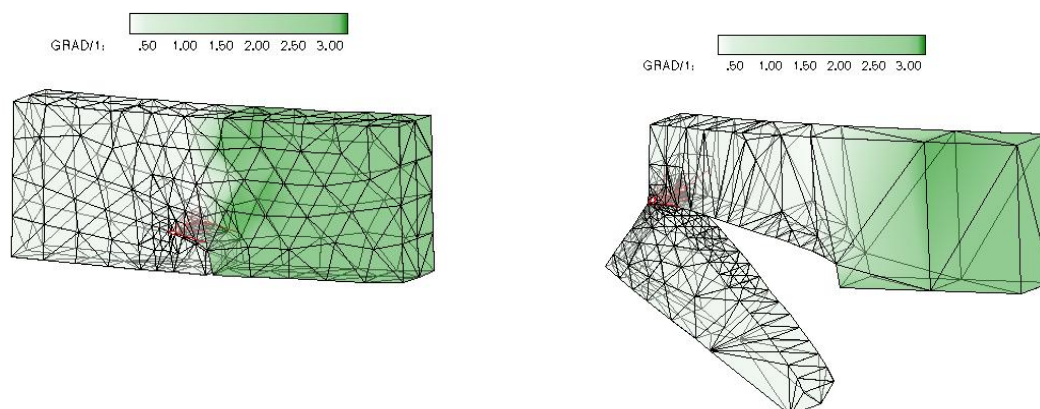


Fig. 1 Material forces for crack simulation in an inhomogeneous beam

Literature

- [1] Erdogan, F., Fracture mechanics of functionally graded materials, *Composit. Eng.*, 5:753-770, 1995
- [2] Steinmann, P.; Ackermann, D.; Barth, F. J., Application of material forces to hyperelastic fracture mechanics, Part II: Computational Setting, *Int. J. Solids and Structures*, 38:5509-552, 2001

FRACTURE RISK ASSESSMENT FOR INTERFACE FLAWS IN MICROELECTRONIC COMPOSITES

W. H. Müller *, T. Hauck **, I. Schmadlak**

*) LKM, TU-Berlin, Einsteinufer 5, 10587 Berlin

***) Halbleiter Deutschland GmbH, Schatzbogen 7, 81829 München

New dielectric materials and smaller length scales in CMOS technology development require updated design rules and effective methods to define them. Predictive engineering plays a major part during risk assessment of delamination in CMOS back end of line (BEOL) structures with the Cu/low-k interconnect systems.

An energy based fracture mechanics is applied for assessment of three- dimensional crack configurations, such as a penny shaped edge crack in the material interface [ref. Fig. 1].

Homogenization procedures and repetitive Finite Element unit cell models are used to represent the deformation and stress state at all relevant length scales of semiconductor package, CMOS chip and Cu/low-k interconnect system.

Initial flaws represent process induced imperfections. The flaws are considered in critical interfaces of the metal, via and dielectric layer stack.

Energy release rates (ERR) are calculated for a potential crack growth. An interface failure criterion is defined such that fracture occurs if the energy release rate exceeds the adhesion strength of a material interface.

The numerical procedure for ERR calculation was validated for 3D-crack configurations by means of analytical solutions (penny shaped and elliptical crack). The procedure is demonstrated for crack growth in the CMOS interconnect system. Self similar growth of flaws but also local advance of a crack front and methods for prediction of the potential crack growth direction were investigated.

The application of the interface fracture procedure is demonstrated for a typical design optimization task of the CMOS interconnect system. Circular flaws are used to assess various material interfaces and design features in a BEOL structure with Copper/low-k and Copper/ultra low-k interconnect systems.

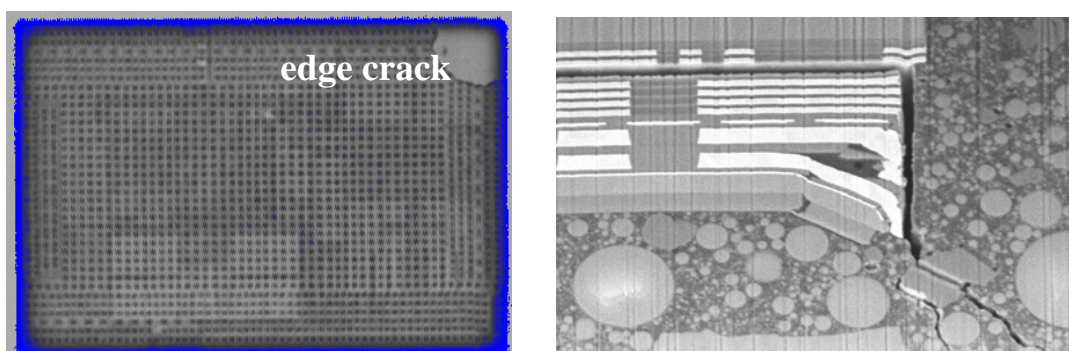


Fig 1: edge crack in Si-chip

a) scanning acoustic microscope picture, b) cross sectional view)

MODELING OF AN INTERFACE THERMAL FRACTURE IN A FGM/HOMOGENEOUS BIMATERIAL WITH INTERNAL DEFECTS

V. E. Petrova

Voronezh State University, Russia

The work is devoted to the thermal fracture at the interface in a bimaterial compound which consists of a functionally graded material (FGM) and a homogeneous material. The bimaterial contains internal defects such as cracks and dislocations and may contain an interface crack and is subjected to thermal loading.

FGMs are often used as thermal barrier coatings in different engineering structures and are tailored so that to decrease bimaterial mismatch and residual stresses at the interface and prevent delamination, debonding along the interface [1]. Besides, cracks and defects usually initiate and grow near interfaces. They are also cause additional residual stresses near the interface. So that interfaces, defects and their interactions play an important role in understanding the fracture behavior of multiphase solids [2], especially in FGM/homogeneous bimaterials [3].

In this work the problem of an interface crack and internal defects in a FGM/ homogeneous bimaterial under uniform heat flux normal to the interface is considered. The technique used in [4] is applied. The uncoupled, quasi-static thermoelastic theory is applicable to this problem so that the solution consists of the determination of the temperature distribution, and the determination of the thermal stresses. The cracks are supposed to be thermally insulated and traction free. The primary interest of the present study is the thermal problem as well as the antiplane problem because of they have the same formulations. Due to the superposition principle the initial problem decomposes into a series of sub-problems each of them has simple geometry and is solved separately. This allowed obtaining some fundamental solutions as well as an asymptotic analytical solution of the problem for some special cases. Parametric analysis of the problem was conducted including the effects of the location of the cracks and the material combination on the thermal and stress state at the interface and the interface crack in a FGM/ homogeneous bimaterial.

V. Petrova acknowledges the Russian Fund for Basic Research for a support by Grant 05-01-00749.

References

- [1] Noda, N., "Thermal stresses in functionally graded materials", Journal of Thermal Stresses, v. 22, 1999
- [2] Petrova V., Tamuzs V., Romalis N., "A survey of macro-microcrack interaction problems", Appl. Mech. Rev., v.53, 2000
- [3] N.Shbeeb, W.K. Binieda, K.Kreider, "Analysis of driving force for a generally oriented crack in a functionally graded strip sandwiched between two homogeneous half planes", Int. J. Fracture, v.104, 2000
- [4] Petrova, V., Herrmann, K., "Thermal crack problems for a bimaterial with an interface crack and internal defects", Int. J. Fracture, v. 128, 2004

FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS AND HOMOGENIZATION

S. Schmauder, U. Weber

Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IMWF),
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 32, D-70569 Stuttgart

In this contribution we discuss the possibility of deriving thermo-mechanical elastic-plastic properties of composite materials based on local microstructural features such as composition and arrangement of individual phases using the recently derived matrixity model [1-2]. Several examples are shown for which this concept has been successfully applied. The advantage of this concept is found to be useful especially for composites with strongly different phase behaviour [3].

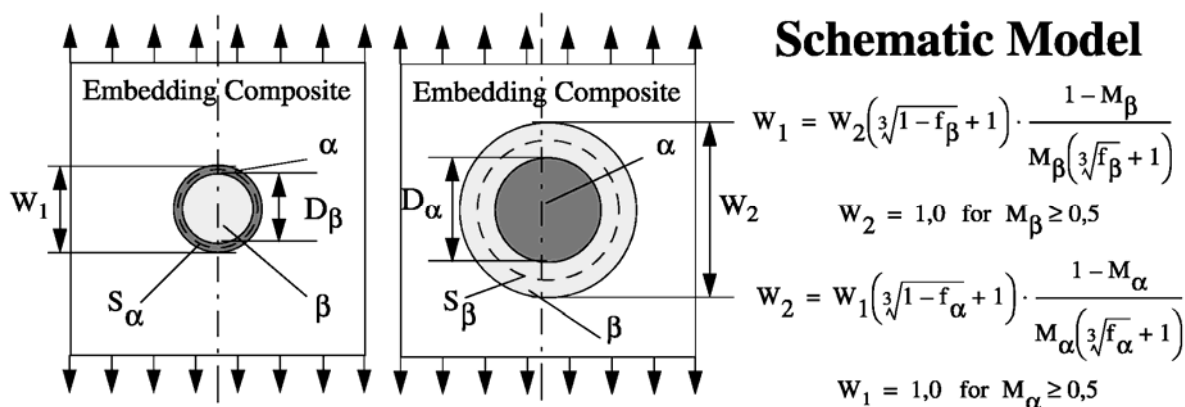


Fig. 1 The matrixity model takes the arrangement of phases in a two-phase material into account

Literature

- [1] P. Leßle, M. Dong, S. Schmauder, "Self-Consistent Matrixity Model to Simulate the Mechanical Behaviour of Interpenetrating Microstructures", *Computational Materials Science* **15**, pp. 455-465 (1999).
- [2] S. Schmauder, "Computational Mechanics", *Computational Mechanics, Annual Rev. Mater. Res.* **2002.32**, pp. 437-465 (2002).
- [3] S. Schmauder, U. Weber, I. Hofinger, A. Neubrand, "Modelling the Deformation Behaviour of W/Cu Composites by a Self-Consistent Matrixity Model", *Technische Mechanik* **19**, pp. 313-330 (1999).

BESTIMMUNG DER EFFEKTIVEN EIGENSCHAFTEN VON MIT KOHLENSTOFF-NANORÖHRCHEN VERSTÄRKTEN POLYMEREN

I. Schmidt

Institut für Mechanik, Helmut-Schmidt-Universität,
Universität der Bundeswehr Hamburg

Kohlenstoff-Nanoröhrchen gewinnen wegen ihrer außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften zunehmend an Bedeutung als Füllstoff für Verbundmaterialien. Einige experimentell gemessene Werte für die Steifigkeit eines solchen Kompositwerkstoffes liegen so hoch, dass sie sich mit mikromechanischen Modellen nicht abbilden lassen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass das Matrixmaterial in der Umgebung der Nanoröhrchen erheblich in seinen Eigenschaften verändert wird und damit zur Verstärkung beiträgt. Experimente zeigen, dass das Polymer so stark am Nanoröhrchen haften kann, dass aus einer Bruchfläche herausragende Nanoröhrchen von einer Polymerschicht umgeben sind. [1]

Eine mikromechanische Simulation von mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen verstärkten Polymeren muss daher eine zusätzliche Schicht zwischen Nanoröhrchen und Matrix berücksichtigen, deren Eigenschaften über den Radius veränderlich sein können.

Im Rahmen des Vortrages sollen verschiedene Ansätze zur Homogenisierung derartiger Probleme vorgestellt und verglichen werden [2]. Darüber hinaus wird ein Verfahren beschrieben, das existierende mikromechanische Modelle mit Finite-Elemente-Rechnungen kombiniert [3].

Literatur

- [1] W. Ding, A. Eitan, F.T. Fisher, X. Chen, D.A. Dikin, R. Andrews, L.C. Brinson, L.S. Schadler, R.S. Ruoff, "Direct observation of polymer sheathing in carbon nanotube-polycarbonate composites," *Nano Letters*, vol. 3, pp. 1593-1597, 2003.
- [2] L. Shen, J. Li, "Homogenization of a fibre/sphere with an inhomogeneous interphase for the effective elastic moduli of composites," *Proceedings of the Royal Society A*, Published online doi:10.1098/rspa, 2005.
- [3] R. D. Bradshaw, F. T. Fisher, L. C. Brinson, "Fiber waviness in nanotube-reinforced polymer composites—II: modeling via numerical approximation of the dilute strain concentration tensor," *Composites Science and Technology*, vol. 63, pp. 1705-1722, 2003.

MODELLIERUNG DER UMWANDLUNGSPLASTIZITÄT UND VSKOPLASTIZITÄT FÜR EINEN HYBRIDUMFORMPROZESS

A. Schneidt, R Mahnken

Universität Paderborn, Lehrstuhl für Technische Mechanik(LTM),
Warburger Str. 100, D-33098 Paderborn
E-mail: rolf.mahnken@ltm.upb.de

Bei dem Hybridumformprozess zur Einstellung gradierter Strukturen werden Kalt- und Warmumformung kombiniert. Dabei ist die gleichzeitige Umformung erwärmter und nicht erwärmter Bereiche verfahrensspezifische Besonderheit im Prozess. Durch die Einstellung eines vordefinierten Temperaturprofils werden Werkstücke mit gradierten und somit flexiblen Werkstoffeigenschaften erreicht [1]. Aufgrund der simultan auftretenden kalten und erwärmten Bereiche während des Hybridumformprozesses herrschen in dem Bauteil verschiedene Gefügestände vor. Es treten sowohl weiche perlitische und ferritische als auch harte martensitisch und bainitische Gefüge auf. Der Schwerpunkt unserer Arbeit wird auf die Austenit -Martensit Umwandlung gesetzt. Für die numerische Simulation wird das makroskopisch viskoplastische Materialmodell mit Berücksichtigung der Umwandlungsplastizität (TRIP) präsentiert. Mittels der Versuchsergebnisse von [2] wird das Materialmodell kalibriert und Materialparameter ermittelt. Aufgrund fehlender Experimente wird ein numerisches Homogenisierungsverfahren eingesetzt, um das Fließverhalten des Mischgefüges zu berücksichtigen. Auf der Basis dieses Ansatzes wird das Materialmodell erweitert.

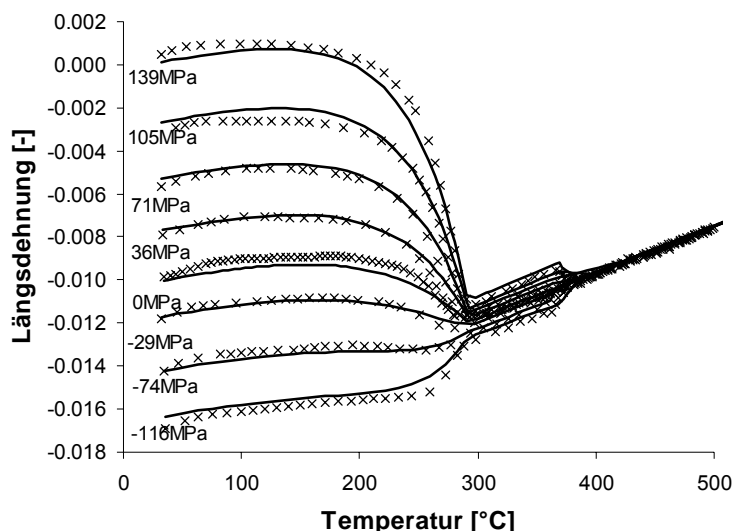


Abb. 1 Experiment-Simulationsvergleich der martensitischen Umwandlung

Literatur

- [1] Steinhoff, K.; Weidig, U.; Scholtes, B.; Zinn, W.: Innovative Flexible Metal Forming Processes based on Hybrid Thermo-Mechanical Interaction. steel research int. 76 (2005) 2/3, pp. 154-159
- [2] Ahrens, U. (2003) "Beanspruchungsabhängiges Umwandlungsverhalten und Umwandlungsplastizität niedrig legierter Stähle mit unterschiedlich hohen Kohlenstoffgehalten" Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn

MODELLING OF STRENGTH DIFFERENCE FOR POLYMERS IN FINITE THERMOVISCOPLASTICITY

A. Shaban, R. Mahnken

Chair of Engineering Mechanics (LTM), University of Paderborn

Glassy polymers such as polycarbonate exhibit different behaviours in different loading scenarios, such as tension and compression [1], see Fig. 1. For the simulation of these strength-difference effects we present a framework of thermoviscoplasticity at large strains. To this end a flow rule is postulated within a thermodynamic consistent framework in a mixed variant formulation which is decomposed into a sum of weighted stress mode related quantities. The different stress modes are chosen such that they are accessible to individual examination in the laboratory, where tension and compression are typical examples. The characterisation of the stress modes is obtained in the octahedral plane of the deviatoric stress space in terms of the Lode angle, such that stress mode dependent scalar weighting functions can be constructed [2]. Furthermore, the numerical implementation of the resulting set of constitutive equations is used in the finite element program ABAQUS to simulate the laser transmission welding process.

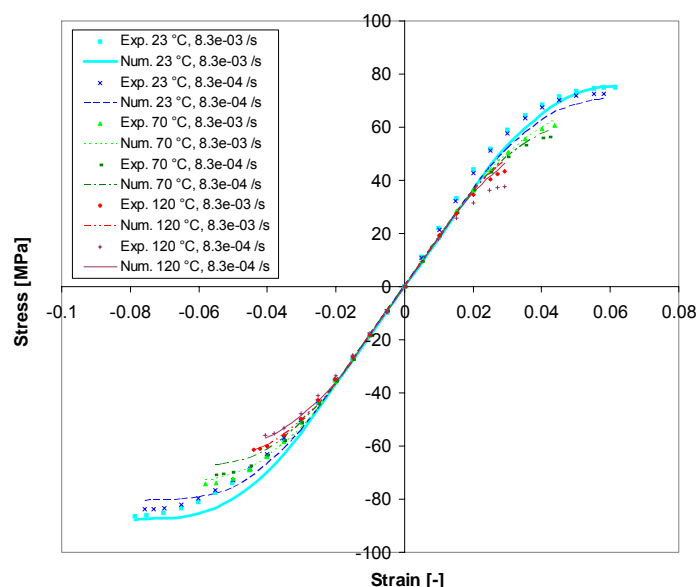


Fig. 1 Comparison between the experimental and numerical data of polycarbonate for different strain rates (8.3×10^{-03} , 8.3×10^{-04} /s) and temperatures (23, 70, 120 °C)

References

- [1] Shaban, A., Mahnken, R., Wilke, L., Potente, H., Ridder, H., "Simulation of Rate Dependent Plasticity for Polymers with Asymmetric Effects", International Journal of Solids and Structures, 44, 6148-6162, 2007
- [2] Mahnken, R., "Creep Simulation of Asymmetric Effects at Large Strains by Stress Mode Decomposition", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 194, 4221-4243, 2005

EIGENSPANNUNGSANALYSEN MIT MECHANISCHEN UND DIFFRAKTIONSVERFAHREN

W. Zinn

**Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik
Mönchebergstr. 3, 34125 Kassel
Mail: zinn@uni-kassel.de**

Es wird die Bohrlochmethode als mechanisches Eigenspannungsmessverfahren vorgestellt. Anwendungsbeispiele und Themen aktueller Forschungen werden gezeigt.

Als Vertreter der Diffraktionsverfahren werden die Grundlagen der röntgenographischen Eigenspannungsbestimmung dargelegt. Praxisbeispiele geben einen Einblick in die Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens. Auch hier werden kurz aktuelle Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Eigenspannungsforschung präsentiert. Die Forschungsarbeiten zum Bohrlochverfahren beleuchten Aspekte geometrischer Randbedingungen. Bei der Röntgenbeugung besteht Forschungsbedarf beim Vorliegen von Eigenspannungsgradienten innerhalb des Eindringbereichs der Röntgenstrahlung. Aktuelle Lösungsansätze werden präsentiert.

TEILNEHMERLISTE

Andrianov	Igor	Prof. Dr. Institute of General Mechanics RWTH Aachen Templergraben 64 52056 Aachen igor_andrianov@hotmail.com
Aretz	Holger	Dr. Hydro Aluminium Deutschland GmbH F&E Bonn Georg-von-Boeselagerstraße 21 53227 Bonn holger.aretz@hydro.com
Besel	Michael	Dipl.-Ing. Universität Kassel Institut für Werkstofftechnik Qualität und Zuverlässigkeit Mönchebergstr. 3 34109 Kassel m.besel@uni-kassel.de
Böhlke	Thomas	Prof. Dr.-Ing. Universität Karlsruhe (TH) Institut für Technische Mechanik Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Kaiserstr. 12 76131 Karlsruhe boehlke@itm.uni-karlsruhe.de
Caylak	Ismail	Dipl.-Ing. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Ismail.Caylak@ltm.uni-paderborn.de
Cochran	Sandra	Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Sandra.Cochran@ltm.uni-paderborn.de

Dau	Jens	Dipl.-Wirt.-Ing. Lehrstuhl für Umformende und Spanende Fertigungstechnik (LUF) Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn jd@luf.uni-paderbornde
Dirkmorfeld	Heinrich	Ing. grad. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Pohlweg 47-49 33098 Paderborn Heinrich.Dirkmorfeld@ltm.uni-paderborn.de
Dreyer	Wolfgang	PD Dr. rer. nat. Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik WIAS Mohrenstr. 39 10117 Berlin dreyer@wias-berlin.de
Duderstadt	Frank	Dr.-Ing. Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik WIAS Mohrenstr. 39 10117 Berlin dudersta@wias-berlin.de
Ebbing	Vera	Dipl.-Ing. Universität Duisburg-Essen Fakultät Ingenieurwissenschaften, Abt. Bauwissenschaften, Fachbereich Mechanik Universitätsstr. 15 45117 Essen vera.ebbing@uni-duisburg-essen.de
Ferber	Ferdinand	PD Dr.-Ing. habil. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Ferdinand.Ferber@ltm.uni-paderborn.de

Fortmeier	Manfred	Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Manfred.Fortmeier@itm.uni-paderborn.de
Fritzen	Felix	Dipl.-Ing. Dipl.-Math. techn. Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Institut für Technische Mechanik Universität Karlsruhe(TH) Kaiserstraße 12 76128 Karlsruhe fritzen@itm.uni-karlsruhe.de
Gockel	Franz-Barthold	Dipl.-Ing. Ulrich Rotte Anlagenbau und Fördertechnik GmbH Brockensklée 32 33154 Salzkotten-Niederntudorf gockel@ulrich-rotte.de
Hauck	Torsten	Dr.-Ing. Freescale Halbleiter Deutschland GmbH Schatzbogen 7 81829 München Torsten.Hauck@freescale.com
Hentrich	Manuel	Dipl.-Ing. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Pohlweg 47-49 33098 Paderborn Manuel.Hentrich@itm.uni-paderborn.de
Herrmann	Klaus Peter	o. Prof. em. Dr. rer. nat. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn rkherrmann@hotmail.com
Jöchen	Katja	Dipl.-Ing. Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Institut für Technische Mechanik Universität Karlsruhe (TH) Kaiserstr. 10 76131 Karlsruhe joechen@itm.uni-karlsruhe.de

Klapproth	Michael	Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn michael.klapproth@itm.uni-paderborn.de
Kayser	Tobias	Dipl.-Ing. Lehrstuhl für Mechanik Universität Dortmund Leonhard-Euler-Str. 5 44221 Dortmund t.kayser@mech.mb.uni-dortmund.de
Koke	Isabel	Dipl.-Wirt.-Ing., Dipl.-Verw. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn isabel.koke@itm.uni-paderborn.de
Konchakova	Natalia	Dr. Technical University Kaiserslautern Chair of Applied Mechanics Gottlieb-Daimler-Straße 67653 Kaiserslautern konchakova@rhrk.uni-kl.de
Langhoff	Tom-Alexander	Dr.-Ing. Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Institut für Technische Mechanik Universität Karlsruhe(TH) Kaiserstr. 12 76128 Karlsruhe langhoff@itm.uni-karlsruhe.de
Lapusta	Yuri	Prof. Dr. IFMA – LARAMA Campus de Clermont- Ferrand / Les Cezeaux BP 265, F-63175 Aubiere Cedex, France lapusta@ifma.fr
Linnenbrock	Klaus	Dr.-Ing. Prälat-Fischer-Str. 7 77815 Bühl klaus.linnenbrock@de.bosch.com

Mahnken	Rolf	Prof. Dr.-Ing. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Rolf.Mahnken@ltm.uni-paderborn.de
Müller	Wolfgang H.	Prof. Dr. Rer. nat. Lehrstuhl für Kontinuumsmechanik und Materialtheorie - LKM Technische Universität Berlin Sekretariat MS2 Einsteinufer 5 D-10587 Berlin Wolfgang.H.Mueller@TU-Berlin.de
Neumann	Stefan	Dr.-Ing. Hydro Aluminium Deutschland GmbH R&D Rolling Georg-von-Boeselager-Str. 21 53117 Bonn stefan.neumann@hydro.com
Noe	Alfons	Dr.-Ing. ZF Lemförder Fahrwerkstechnik AG&Co KG Virtuelle Tests und Simulation (F-D17) Postfach 1220 49441 Lemförde alfons.noe@zf.com
Parvizian	Farhad	Dipl.-Ing. Chair of Mechanics University of Dortmund Leonhard-Euler-Str. 5 44221 Dortmund f.parvizian@mech.mb.uni-dortmund.de
Petrova	Vera	Prof. Dr. Sci. Dept. Of Partial Differential Equations Faculty of Mathematics Voronezh State University University sq. 394006 Voronezh vera.petrova@math.vsu.ru

Piat	Romana	Dr. Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Institut für Technische Mechanik Universität Karlsruhe (TH) Kaiserstrasse 12 76131 Karlsruhe piat@itm.uni-karlsruhe.de
Potthast	Bernd	Dr.-Ing. SAP AG Systeme Neurott Str.16 69190 Walldorf
Sauerland	Kim-Henning	Dipl.-Ing. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Kim-Hennig.Sauerland@itm.uni-paderborn.de
Schmauder	Siegfried	Prof. Dr. rer. nat. Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre Universität Stuttgart Pfaffenwaldring 32 70569 Stuttgart Siegfried.Schmauder@mpa.uni-stuttgart.de
Schmidt	Ina	Dr.-Ing. Institut für Mechanik Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Institut für Mechanik Holstenhofweg 85 22043 Hamburg ina.schmidt@hsu-hh.de
Schneidt	Andreas	Dipl.-Ing. (FH) M.Sc. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Andreas.Schneidt@itm.uni-paderborn.de

Schröder	Jörg	Prof. Dr.-Ing. Institut für Mechanik Universität Duisburg-Essen Universitätsstraße 15 45117 Essen j.schroeder@uni-due.de
Schwarzer	Daniel	Dipl.-Ing. Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Institut für Technische Mechanik Universität Karlsruhe (TH) Kaiserstrasse 12 76131 Karlsruhe schwarzer@itm.uni-karlsruhe.de
Shaban	Ahmed	M.Sc. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Ahmed.Shaban@itm.uni-paderborn.de
Svendson	Bob	Prof. Dr. rer nat. habil. Lehrstuhl für Mechanik Maschinenbau Universität Dortmund Leonhard-Euler-Strasse 5 44227 Dortmund sekretariat@mech.mb.uni-dortmund.de
Tsotsova	Rumena	Dipl.-Ing. Kontinuumsmechanik im Maschinenbau Institut für Technische Mechanik Universität Karlsruhe (TH) Kaiserstrasse 12 76131 Karlsruhe tsotsova@itm.uni-karlsruhe.de
Wilmanns	Stefan	Dip.-Ing. Lehrstuhl für Technische Mechanik Fakultät für Maschinenbau Universität Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn Stefan.Wilmanns@itm.uni-paderborn.de

Zeismann	Frank	Dipl.-Ing. Institut für Werkstofftechnik Qualität und Zuverlässigkeit Universität Kassel Mönchebergstr. 3 34109 Kassel zeismann@uni-kassel.de
Zinn	Wolfgang	Dr.-Ing. Institut für Werkstofftechnik Metallische Werkstoffe Universität Kassel Mönchebergstr. 3 34109 Kassel zinn@uni-kassel.de

INFORMATION



KONTAKTADRESSE

Lehrstuhl für Technische Mechanik
Fakultät Maschinenbau
Universität Paderborn
Warburger Str. 100
33100 Paderborn

Tel.: +49-5251-60-2283 /-2284
Fax: +49-5251-60-3483
Email: Rolf.Mahnken@ltm.uni-paderborn.de
www: <http://mb-s1.upb.de/LTM/Workshop-AGC/>

TAGUNGSADRESSE

Liborianum Paderborn

An den Kapuzinern 5-7
33098 Paderborn

Tel.: +49-5251-121-3
Fax: +49-5251-121-4555
Tagungsbüro: +49-5251-121-4442
Email: liborianum@erzbistum-paderborn.de
www: <http://www.liborianum.de/>

INDEX

A

Andrianov · 3, 9, 32
Aretz · 32

B

Besel · 32
Böhlke · 3, 4, 5, 10, 15, 17, 21, 32

C

Caylak · 32
Cochran · 32

D

Danishevs'kyi · 3, 9
Dau · 6, 11, 33
Dirkmorfeld · 33
Dreyer · 4, 12, 33
Duderstadt · 4, 13, 33

E

Ebbing · 3, 14, 33

F

Ferber · 6, 11, 16, 19, 33
Fortmeier · 34
Fritzen · 5, 15, 34
Funke · 6, 11, 19

G

Gockel · 6, 16, 34

H

Hauck · 24, 34
Hentrich · 34
Herrmann · 3, 34
Homberg · 6, 11
Hortig · 5, 18

J

Jöchen · 4, 10, 17, 34

K

Kayser · 5, 18, 35
Klapproth · 35
Koke · 6, 11, 19, 35
Konchakova · 4, 20, 35

L

Langhoff · 3, 21, 35
Lapusta · 3, 22, 35
Linnenbrock · 35

M

Mahnken · 3, 4, 5, 6, 11, 16, 19, 23, 28,
 29, 36
Müller · 3, 4, 6, 19, 24, 36

N

Neff · 3, 14
Neumann · 36
Noe · 36

P

Parvizian · 5, 18, 36
Petrova · 4, 25, 36
Piat · 36
Potthast · 37

S

Samborskaya · 3, 22
Sauerland · 37
Schmadlak · 24
Schmauder · 4, 5, 26, 37
Schmidt · 5, 27, 37
Schnack · 3, 5, 15, 21
Schneidt · 5, 28, 37
Schröder · 3, 4, 14, 37
Schwarzer · 38
Shaban · 3, 29, 38
Svendsen · 5, 6, 18, 38

T**Tsotsova** · 38

W**Weber** · 5, 26**Weichert** · 3, 9**Wilmanns** · 38

Z**Zeismann** · 38**Zinn** · 5, 30, 39

NOTIZEN

