

DFG-Projekt Schm 746/16-3,4

## **FE-Modellierung des Verformungs- und Schädigungsverhaltens von Verbundwerkstoffen in Verbindung mit dem Experiment**

im Rahmen der DFG-Forschergruppe FOR 258

### **Untersuchungen des Verformungsverhaltens heterogener Werkstoffe mittels enger Verbindung von Experiment und Rechnung**

Projektbeginn: 01.01.2000

Projektende: 31.10.2003

*Fortsetzungsprojekt „Einfluss des Ausscheidungszustandes in der Al-Matrix auf die Verformungsentwicklung und Schädigungsinitiierung in Al(6061)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Verbundwerkstoffen“ wurde genehmigt.*

### **Ziele und Vorgehensweise**

In dieser (zweiten) Phase des Projektes wurden in Zusammenarbeit mit den Partnern in der Forschergruppe Vergleiche der experimentell/numerischen Untersuchungen an Metall/Keramik- und exemplarisch an Metall/Metall-Verbundwerkstoffen mit dem Ziel durchgeführt, ein mikrostrukturbasiertes Verständnis für die im Gefüge auftretenden Verformungsvorgänge und Schädigungsvorgänge zu schaffen. Dabei ist die Problematik der Schädigungsinitiierung (Ablösungen der Teilchen von der Matrix und Teilchenbruch) von besonderem Interesse. Es geht darum, anhand geeigneter FE-Methoden und Schädigungskriterien, die in das Modell implementiert wurden, die Rissinitiierung und den Rissverlauf in Übereinstimmung mit dem Experiment simulieren zu können. Die, der Modellierung zugrunde liegenden Gefügeausschnitte wurden aus einer größeren Umgebung ausgeschnitten und der Einfluss der Nachbarschaft wurde durch experimentell bestimmte Randbedingungen (Verschiebungen am Rande des Modells) berücksichtigt. Außerdem wurden die FE-Rechnungen oft stufenweise auf immer kleiner werdenden Ausschnitten durchgeführt, um eine Längenskalenverknüpfung zu ermöglichen. Eine gute Übereinstimmung von Verformung und Brucheinleitung zwischen Experiment und Modellrechnung wurde in Gefügebereichen erzielt, in denen nur elastisch verformbare Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel das Verformungsmuster (Scherbandbildung) bestimmen (hoher Partikelanteil). Lokale Unterschiede in den Dehnungs- und Spannungsverteilungen, besonders in teilchenarmen Bereichen, resultieren demnach aus unterhalb der Oberfläche liegenden Phasenbereichen und aus Kornorientierungsunterschieden. Darüber hinaus wurde der Einfluss der Schädigung unter Einbeziehung der herstellungsbedingten Eigenspannungen auf die entstehenden Verformungskonzentrationen (Dehnungs- und Spannungsmuster) sowie das makroskopische Verformungsverhalten des Werkstoffs studiert. Eine realistische Abbildung der Werkstoffvorgänge bei äußerer Belastung erfordert eine Weiterentwicklung der Methoden und die enge Verzahnung von Experiment und Simulation (bei gleichzeitiger Einbeziehung aller relevanten Effekte wie z. B. von Eigenspannungen, Bruch etc.).

Von besonderer Bedeutung ist hierbei die realitätsgetreue Nachbildung der Verformungsvorgänge bis hin zur Schädigungseinleitung bei in der Praxis auftretenden unterschiedlichen Ausscheidungs Zuständen in der Matrixphase.

In dem Projekt wurden folgende Punkte untersucht:

- Verformungsverhalten in Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit und ohne Schädigung
- Modellierung des Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikelbruchs
- Modellierung des Risses entlang der Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Phasengrenze (Debonding)
- Einfluss der herstellungsbedingten Eigenspannungen auf die Spannungs- und Dehnungsmuster im Gefüge
- Verbindung der unterschiedlichen Längenskalen bei der FE-Modellierung
- Dreidimensionale FE-Rechnungen an Ag/Ni-Teilchenverbundwerkstoffen

*Link: Arbeitsberichte 1. und 2. Phase*

## **Werkstoffe**

Für die dreidimensionale Modellierung wurde ein Ag/Ni(55vol%) - Verbundwerkstoff mit groben, kugeligen Ni-Teilchen in der Ag-Matrix ausgewählt. FE-Simulationen der herstellungsbedingten Eigenspannungen und der Einfluss der Schädigung auf die Spannungs- und Dehnungsmuster wurden für Al(6061)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bzw. AlMg3/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> durchgeführt.

## **Partner**

Dr. Gottfried Fischer, Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF e.v.): „in situ“ Zugversuche im REM, Bereitstellung der REM-Bilder, Binärbilder der realen Gefügeauschnitte, Verschiebungen als Randbedingungen für die FE-Berechnungen sowie Auswertung der lokalen Dehnungen mittels des Objektraster-Verfahrens.

## **Danksagung**

Die Untersuchungen werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter der Bezeichnung Schm 746/16-3,4 gefördert. Für die finanzielle Unterstützung sei gedankt.

[Arbeitsbericht 1](#)

[Arbeitsbericht 2](#)

## **Ansprechpartnerin**

Dr. rer. nat. Ewa Anna Soppa

Tel.: +49 / 711 685-3056

Fax.: +49 / 711 685-2635

Email: [ewa.soppa@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:ewa.soppa@mpa.uni-stuttgart.de)

## Liste der Publikationen aus diesem Projekt (Schm 746/16 1-4)

- 1 S. Schmauder, E. Soppa, "Verformung und Bruch von Metallen mit nichtmetallischen Einschlüssen", 7. Symposium Nichtmetalle in Metallen '98, Hrsg.: Dieter Hirschfeld, GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik Clausthal-Zellerfeld, Institut für Physikalische Chemie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster pp. 31-38 (1998).
- 2 E. Soppa, S. Schmauder, G. Fischer, "Numerical and Experimental Investigations of the Influence of Particle Alignment on Shear Band Formation in Al/SiC", in: *Proc. 19<sup>th</sup> Risø International Symposium on Materials Science, Modelling of Structure and Mechanics of Materials From Microscale to Product*, 7.-11. September 1998, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, Eds.: J.V. Carstensen, T. Leffers, T. Lorentzen, O.B. Pedersen, B.F. Sørensen, G. Winther, pp. 499-504 (1998).
- 3 G. Fischer, E. Soppa, S. Schmauder, Y.-L. Liu, "Modelling of Strain Localization in Real Microstructural Areas of the Particle Reinforced Metal-Matrix Composite Al 6061 – 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", in: *Proc. 19<sup>th</sup> Risø International Symposium on Materials Science, Modelling of Structure and Mechanics of Materials From Microscale to Product*, 7.-11. September 1998, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, Eds.: J.V. Carstensen, T. Leffers, T. Lorentzen, O.B. Pedersen, B.F. Sørensen, G. Winther, pp. 261-266 (1998).
- 4 E. Soppa, S. Schmauder, "Numerical Investigations of the Influence of Particle Alignment on Shear Band Formation in Al/SiC", in: *Proc. XXV. Int. FEM-Congress*, 16.-17. November 1998, Baden-Baden, Hrsg.: A. Streckhardt, Kongreßorganisation, Ennigerloh, pp. 149-160 (1998).
- 5 E. Soppa, S. Schmauder, G. Fischer, J. Thesing, R. Ritter, "Influence of the Microstructure on the Deformation Behaviour of Metal Matrix Composites", in: *Simulationstechniken in der Materialwissenschaft*, Hrsg.: P. Klimanek, M. Seefeldt, *Freiberger Forschungshefte, B 295 Werkstoffwissenschaft, Werkstofftechnologie*, S. 1-13 (1999).
- 6 E. Soppa, S. Schmauder, G. Fischer, J. Thesing, R. Ritter, „Influence of the microstructure on the deformation behaviour of metal matrix composites“, *Journal for Computational Materials Science* 16 pp. 323-332 (1999).
- 7 D. Xu, S. Schmauder, E. Soppa, "Influence of Geometry Factors on the Mechanical Behavior of Particle- and Fiber-Reinforced Composites", *Computational Materials Science* **15**, pp. 295-301 (1999).
- 8 S. Schmauder, E. Soppa, U. Weber, L. Mishnaevsky, O. Mintchev, "Virtueller Blick ins Gefüge, Simuliertes Verformungs- und Bruchverhalten hilft beim Optimieren von Keramik-Metall-verbunden“, *Maschinenmarkt Nr. 12* pp. 54-58 (2000).
- 9 H.-A. Crostack, G. Fischer, E. Soppa, S. Schmauder, Y.-C. Lin, "Localization of Strain in Metal-Matrix Composites", ICCE/6, Sixth Annual International Conference on Composites Engineering, June 27-July 3, Orlando, Florida, pp. 223-229 (1999).
- 10 .Y. Smolin, E. Soppa, S. Schmauder, P.V. Makarov, "Two-dimensional simulation of mesolevel plastic deformation in the matrix of a cermet composite: evaluation of the stress states and calculation methods", *Physical Mesomechanics*, Vol. 3, Number 1 (2000) pp. 17-21.
- 11 E. Soppa, S. Schmauder, G. Fischer, J. Brollo, U. Weber, „Deformation and Damage in Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>“, *Computational Materials Science 2002 (akzeptiert)*.
- 12 E. Soppa, U. Weber, S. Schmauder, G. Fischer, „Spannungs- und Dehnungskonzentrationen in Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –Verbundwerkstoffen verursacht durch Schädigungsprozesse“, 14. Symposium "Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde" (2003) Wien.

13 T. Wiesendanger, „Zwei- und dreidimensionale FE-Modellierung des Verformungsverhaltens eines Modell-Teilchenverbundwerkstoffes“; Diplomarbeit (2001).