

Schriftenreihe des Instituts für Werkstofftechnik Kassel

Jörg Bornemann

**Experimentelle und numerische Untersuchung
von EP-Klebstoffen im Hinblick auf die Modell-
bildung zur Berechnung geklebter Verbindungen**

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2004

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Maschinenbau – der Universität Kassel als Kasseler Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. M. Schlimmer

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. O. Hahn

Tag der mündlichen Prüfung: 22.01.2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3087-4

ISSN 1613-3498

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Zusammenfassung:

Mit zunehmendem Einsatz der Füge-technik Kleben, z. B. im Fahrzeugbau oder in der Mikroelektronik, werden auch Methoden für die numerische Berechnung der Beanspruchung und Beanspruchbarkeit geklebter Verbindungen sowie für die Simulation des Bauteilverhaltens gefordert. Wesentliche Probleme sind dabei einerseits die experimentelle Bestimmung berechnungsgerechter Klebstoffkennfunktionen und andererseits die Auswahl und Anwendung eines geeigneten, klebstoffgerechten Werkstoffmodells.

Das Ziel der Arbeit war die experimentelle Untersuchung von EP-Klebstoffen im Hinblick auf die mechanische Modellbildung zur numerischen Berechnung des mechanischen Verhaltens geklebter Verbindungen. Aus den Erkenntnissen der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurden Hinweise auf werkstoffmechanisch sinnvolle Grundversuche an In-situ-Proben zur Ermittlung berechnungsgerechter Klebstoffkennwerte und -kennfunktionen hergeleitet und die gegenwärtigen Möglichkeiten zur Berechnung geklebter Verbindungen aufgezeigt.

In einachsigen und kombinierten Grundversuchen an In-situ-Proben, stumpf geklebten Rohrproben angelehnt an ISO 11003-1 sowie Zugscherproben in Anlehnung an ISO 11003-2, wurden die mechanischen Eigenschaften der Versuchs-klebstoffe bestimmt. Ergebnisse der Versuche sind die elastischen bzw. pseudo-elastoplastischen Klebstoffkennwerte und Kennfunktionen sowie Beanspruchungsgrenzen.

Als werkstoffgerechte Versagens- bzw. Fließbedingung wurde ein aus dem allgemeinen plastischen Potential hergeleitetes Kriterium angewandt, das den an Rohrproben ermittelten Einfluss hydrostatischer Spannungsanteile berücksichtigt.

Erste Untersuchungen wurden für einen silbergefüllten elektrisch leitfähigen Klebstoff durchgeführt, der wegen seines hohen Anteils an Silberpartikeln bei Raumtemperatur ein annähernd linearelastisches Werkstoffverhalten besitzt. Durch Erweiterung der o. g. Versuchstechnik um eine Präzisionswiderstandsmessung konnte ein Zusammenhang zwischen mechanischem Beanspruchungszustand und gemessener elektrischer Widerstandsänderung einer geklebten Verbindung nachgewiesen werden.

An einem mechanisch durch 4-Punkt-Biegung beanspruchten elektronischen Bauteil wurde die Übertragbarkeit des linearelastischen Werkstoffmodells und der angewandten Anstrengungshypothese auf eine bauteilähnliche Klebverbindung gezeigt.

An einem modifizierten EP-Klebstoff für Metallklebverbindungen (Strukturklebstoff) wurden weitere experimentelle und numerische Untersuchungen zum nichtlinearen Werkstoffverhalten durchgeführt.

Die unter kombinierter Beanspruchung ermittelten Klebschichtfestigkeiten zeigen, dass die bisher in den FE-Programmen implementierten Anstrengungshypothesen nach Mises und Drucker-Prager auch für den untersuchten Strukturklebstoff nicht zutreffen. Die für den silbergefüllten Klebstoff als Versagensbedingung verifizierte Anstrengungshypothese beschreibt hingegen die experimentell ermittelte Fließortkurve des Strukturklebstoffs. Auf der Basis dieser Fließbedingung können die Spannung-Verformung-Zusammenhänge aus einachsigen und kombinierten Versuchen in einen einheitlichen Vergleichszustand überführt werden.

Wird mit den bereits in FE-Programmen implementierten Stoffgleichungen das Verformungsverhalten einer geklebten Rohrprobe bei Zug- und Schubbeanspruchung sowie das Verformungsverhalten einer Zugscherprobe berechnet, stimmt das numerische Ergebnis bei reiner Schubbeanspruchung mit dem experimentellen Befund überein. Treten hydrostatische Zugspannungsanteile auf, stimmt das numerische Klebschichtverhalten nur bei kleinen rein elastischen Deformationen mit dem Experiment überein.

Das experimentell ermittelte Verformungsverhalten einer überlappt geklebten bauteilähnlichen Verbindung, deren Klebschicht einer äußeren Zugscherbeanspruchung mit geringen Anteilen hydrostatischer Zugspannung unterliegt, konnte mit dem in ABAQUS implementierten modifizierten Drucker-Prager-Modell numerisch berechnet werden.