

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik

Band 116

**Gerson Meschut
Martin Kaßner**

**Entwicklung einer Methodik zur Simulation
der Lebensdauer von Klebverbindungen
mit Polyurethan-Klebstoffen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4210-8

ISSN 1434-6915

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

Hochfeste, zähmodifizierte Epoxid-Klebstoffe (EP-Klebstoffe) haben sich in der Automobilindustrie als Fügeverbindung im metallischen Rohbau etabliert. Um zukünftig weitere Leichtbaupotenziale erschließen zu können, stehen aktuell Multi-Material-Bauweisen im Blickpunkt der Entwicklung, woraus auch neue Herausforderungen an die Füge-technik im Allgemeinen und die Klebtechnik im Speziellen resultieren. In einer Multi-Material-Struktur aus metallischen Werkstoffen und faserverstärkten Kunststoffen ist der Einsatz von EP-Klebstoffen aus verschiedenen Gründen nur noch in begrenztem Umfang zielführend. Stattdessen bieten Polyurethan-Klebstoffe (PU-Klebstoffe) an dieser Stelle eindeutige Vorteile, wie zum Beispiel eine größere Nachgiebigkeit beim Fügen von Werkstoffen mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Eine wichtige Dimensionierungsgröße während der Fahrzeugauslegung stellt die Betriebsfestigkeit dar. Allerdings stehen derzeit noch keine Simulationsmethoden zur Verfügung, um die Lebensdauer für PU-Klebstoffe, mit ihrem nicht linear-elastischen, gummiähnlichen Materialverhalten, numerisch zu bestimmen.

Auf Basis bruchmechanischer Ansätze wird deshalb eine Methodik für die Lebensdauerberechnung von PU-Klebstoffen entwickelt. Die Kenngrößen für die Materialcharakterisierung können dabei mit Hilfe weniger standardisierter Versuche, wie dem Risswachstumsversuch, bestimmt werden. Schlussendlich erlaubt es die Methodik, eine Aussage über die zu erwartende Lebensdauer von PU-Klebsverbindungen unter verschiedenen Beanspruchungsarten und Spannungsverhältnissen zu treffen.

Abstract

Development of a methodology for simulating the lifetime of bonded joints with polyurethane adhesives

High-strength, toughness-modified epoxy-adhesives (EP) have established in the automotive industry as joint connection for the body-in-white. To raise further lightweight potentials in the future, currently multi-material constructions are in the focus of development, resulting in new challenges for the joining technology in general and the bonding technology in particular. In a multi-material structure of metallic materials and fiber-reinforced plastics, the use of EP-adhesives is from different reasons only effective in a limited amount. Instead, polyurethane adhesives (PUR) offer at this point clear advantages, such as greater flexibility when joining materials with different coefficients of thermal expansion.

An important dimension size during the vehicle design is the durability. However, there are currently no simulation methods available to numerically determine the lifetime for PUR-adhesives, with their non-linear elastic, rubber-like material behavior.

Therefore, a methodology for the calculation of the lifetime of PUR-adhesives is developed on the basis of fracture mechanics approaches. The parameters for the characterization of the material can thereby be determined using less standardized tests, such as the crack growth test. Finally, the methodology allows a statement about the expected lifetime of PUR-adhesive bonds, respecting different types of stress state and stress ratio.

Teilergebnisse dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen:

Kaßner, M.; Zhang, S.; Kögl, M.; Meschut, G.: *Numerische Simulation des Materialverhaltens von Klebverbindungen mit Polyurethan-Klebstoffen unter zyklischer Laststeigerung*. In: Tagungsband: 14. Kolloquium – Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, 18.-19. Februar, Frankfurt am Main, S. 31-36, 2014.

Kaßner, M.; Zhang, S.; Kögl, M.; Dölle, N.; Meschut, G.; Richard, H. A.: *Entwicklung einer Methodik zur numerischen Lebensdauerabschätzung von Stahl-Klebverbindungen mit Polyurethan-Klebstoffen*. In: VDI-Berichte 2224, 17. Kongress SIMVEC – Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung 2014, 18.-19. November, Baden-Baden, S. 529-540, 2014.

Inhalt

1	Einleitung.....	8
2	Stand der Technik.....	9
2.1	Eigenschaften des betrachteten Polyurethan-Klebstoffes.....	10
2.2	Berechnung von Klebverbindungen in der Statik.....	12
2.3	Lebensdauerberechnung von Klebverbindungen	13
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	16
4	Grundlagen der numerischen Lebensdauerberechnung für Klebverbindungen mit Polyurethan-Klebstoffen	18
4.1	Auswahl eines geeigneten Beschreibungsansatzes.....	18
4.2	Theoretische Grundlagen	21
4.2.1	Bestimmung der Gesamtlebensdauer	21
4.2.2	Ermittlung der numerischen Eingabegröße.....	24
4.2.3	Ermittlung der analytischen Eingabegrößen	29
5	Verwendete Werkstoffe.....	33
6	Beschreibung des Materialverhaltens unter quasi-statischer Beanspruchung und schrittweiser Laststeigerung	35
6.1	Experimentelle Untersuchungen.....	35
6.1.1	Versuche zur Identifikation der Eingabegrößen	35
6.1.2	Versuche zur Verifikation des Berechnungsmodells	40
6.1.3	Versuche zur Validierung des Berechnungsmodells.....	45
6.2	Numerische Untersuchungen.....	50
6.2.1	Erstellung der Abaqus-Materialkarten zur Simulation des Laststeigerungsversuchs	50
6.2.2	Numerische Simulation des Identifikationsversuchs.....	54
6.2.3	Numerische Simulation der Verifikationsversuche	56
6.2.4	Numerische Simulation der Validierungsversuche.....	61
6.2.5	Zwischenfazit und Schlussfolgerung	66
7	Beschreibung des Materialverhaltens unter Schwingbeanspruchung	68
7.1	Experimentelle Untersuchungen.....	68
7.1.1	Versuche zur Identifikation der Eingabegrößen	68
7.1.2	Versuche zur Validierung des Berechnungsmodells.....	73
7.2	Numerische Lebensdauerberechnung.....	80
7.2.1	Detaillierte Betrachtung der experimentellen Ergebnisse	80

7.2.2	Modifizierung der analytischen Lösung zur Berechnung der Gesamtlebensdauer	84
7.2.3	Implementierung der Berechnungsroutine für die Lebensdauerermittlung	93
7.2.4	Numerische Simulation der dynamisch schwingenden Versuche.....	94
8	Anwendung der entwickelten Methodik in der technischen Praxis	116
9	Zusammenfassung.....	119
	Literaturverzeichnis.....	121
	Anlagenverzeichnis.....	127