

Auslegung von elastischen Klebverbindungen unter klimatischer Wechsel- beanspruchung

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik

Band 140

**Gerson Meschut
Sebastian Mailänder**

**Auslegung von elastischen Klebverbindungen
unter klimatischer Wechselbeanspruchung**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2019

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., 2018

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6484-1

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

Die Beplankung von metallischen Rahmenstrukturen mit Schubfeldern aus verschiedenen Werkstoffen, wie Faserverbundkunststoffen, Aluminium oder auch Glas, bietet im Automobil-, im Nutz- und im Schienenfahrzeugbau sowie im Bauwesen, eine kosteneffiziente Alternative zur Konstruktion von leichten und zugleich hochfesten Strukturen. Eine Herausforderung dabei ist es, die Einzelkomponenten mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten so zu verbinden, dass Relativverschiebungen, die durch Temperaturänderungen während der Nutzungsdauer auftreten, ausgeglichen werden. Besonders eignen sich dafür Dickschichtklebungen (1 - 6 mm) mit elastischen Polyurethanklebstoffen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Auslegungsmethode für elastische Klebverbindungen unter klimatischer Wechselbelastung entwickelt, die sowohl Hinweise zur Dimensionierung der Klebschicht, als auch eine Prüfvorschrift enthält. In umfangreichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die reale betriebsbedingte Relativverschiebung durch die Kombination von temperaturabhängigen quasistatischen Versuchen mit zeitabhängigen statischen Versuchen beschrieben werden kann. Durch eine in dieser Arbeit entwickelten Methode, lässt sich der Prüfaufwand zur Bestimmung des temperatur- und ratenabhängigen Schubmoduls durch die Nutzung von Daten aus der Dynamisch-Mechanischen-Analyse deutlich reduzieren. Mithilfe einer neuartigen Prüfmethodik, kann die reale $\Delta\alpha$ -Problematik im Labormaßstab abgebildet werden.

Abstract

The cladding of metal frame structures with planking of different materials, for example composite plastics, aluminium or glass, offers a cost-efficient alternative to the construction of lightweight, high-strength structures in the automotive sector and the utility and rail vehicles industry, as well as in the field of construction. It involves the joining together of materials with different thermal expansion coefficients in such a way that relative displacements occurring due to changes in temperature can be compensated for. Particularly suitable for this are thick adhesive bonds (1 - 6 mm) made with elastic polyurethane adhesives. Within the scope of this thesis, a design method for elastic adhesive bonds under climate cycling was developed. This method contains information on the dimensioning of the adhesive layer as well as a test specification. Through extensive testing, it was shown that the real-life, operation-related relative displacement can be documented by the combination of temperature-dependent quasi-static tests with time-dependent static tests. With the method developed in this work, the test effort for the determination of the shear modulus can be reduced to a minimum by the use of data from the Dynamic-Mechanical-Analysis. By means of an innovative test methodology, the real $\Delta\alpha$ -problem can be transferred to a laboratory scale.

Erklärung

Teile dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen:

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Thermoanalytical characterization of cold-curing polyurethane adhesives, Adhesion Society 2014, 37th Annual Meeting

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Experimentell basierte Auslegungs- und Qualifizierungsmethode für Montageklebverbindungen im Mischbau unter Berücksichtigung von Fertigungseinflüssen und Betriebsbedingungen, DVS-Berichte Band 309, 4. Doktorandenseminar Klebtechnik, S.17-21, 2015

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Experimentell basierte Auslegungs- und Qualifizierungsmethode für Montageklebverbindungen im Mischbau unter Berücksichtigung von Fertigungseinflüssen und Betriebsbedingungen, DVS-Berichte Band 313, 5. Doktorandenseminar Klebtechnik, S.76-80, 2016

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Auslegung von zyklisch belasteten, elastischen Klebverbindungen, DVS-Berichte Band 319, 6. Doktorandenseminar Klebtechnik, S.10-13, 2016

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Semi-structural adhesives as enabler for CFRP multimaterial design – challenges and opportunities, Joining in Car Body Engineering, Bad Nauheim, 2016

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Analytische Auslegung von elastischen Klebverbindungen, Seminar: Kleben und Dichten auf lackierten Oberflächen, Haus der Technik, Essen, 2017

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Analytical design of elastic adhesive bonds under climatic stress, Joining in Car Body Engineering, Bad Nauheim, 2017

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Relativverschiebungen elastisch ausgleichen, adhäsion KLEBEN & DICHTEN 7-8 | 2017, S. 14-17; Springer 2017

Meschut G.; Teutenberg D.; Mailänder S.: Kunststoffe erfolgreich kleben, S. 134 – 139, Springer 2017

Meschut G.; Mailänder S.: Temperaturbedingte Relativverschiebung von Dickschichtklebungen, adhäsion KLEBEN & DICHTEN 3 | 2018, S. 12-17; Springer 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
2	Stand der Forschung	13
3	Aufgabenstellung.....	19
4	Theoretischer Ansatz.....	21
5	Versuchswerkstoffe und -einrichtungen.....	29
5.1	Klebstoffe	29
5.2	Probekörper.....	34
5.3	Fügeteilwerkstoffe und Oberflächen.....	37
5.4	Prüfeinrichtungen und Messtechnik	38
6	Experimentelle Untersuchungen von Konstruktionsparametern	47
6.1	Einfluss der Klebschichtgeometrie	47
6.2	Einfluss von Fügeteilwerkstoff und Oberfläche	59
7	Experimentelle Untersuchungen verschiedener Betriebsfaktoren.....	63
7.1	Quasistatische Zugversuche bei verschiedenen Klimabedingungen.....	63
7.2	Ermittlung der Temperatur- und Frequenzabhängigkeit anhand der DMA .	70
7.3	Ermittlung des temperaturabhängigen Relaxationsverhaltens	74
8	Zyklische Zugversuche bei verschiedenen Temperaturen	83
8.1	Verformung-Steigerung-Versuche	83
8.2	Versuche zur Rückrelaxation	88
8.3	Untersuchung zu verschiedenen Verformungssignalen	90
9	Gekoppelte Temperatur-/Verschiebungsversuche	99
10	Auslegungsmethode.....	105
11	Zusammenfassung	115
12	Literaturverzeichnis	117