

Evaluierung neuer Füge-techniken für Organoblech- Hybridverbindungen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURSWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von

Christopher Budde, M.Sc.

aus Detmold

Tag des Kolloquiums: 06.09.2107

Referent: Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer

Korreferent: Prof. Dr. Thomas Tröster

Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Band 28/2017

Christopher Budde

**Evaluierung neuer Füge-
techniken
für Organblech-Hybridverbindungen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2017

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., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5550-4

ISSN 2196-2200

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

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) der Universität Paderborn in den Jahren 2011 bis 2015, die Fertigstellung nach meiner Zeit am KTP.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer für die Ermöglichung der Promotion und die kontinuierliche Unterstützung sowie die zahlreichen Diskussionen und Anregungen.

Für die Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Prof. Dr. Thomas Tröster.

Ferner gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für das hervorragende Arbeitsklima, die wertvollen Diskussionen und die Unterstützung bei der Bewältigung auftretender Problemstellungen. Auch danken möchte ich meinen studentischen Hilfskräften sowie den Studierenden durch deren Begleitung bei ihren Bachelor-, Studien- und Masterarbeiten ein reger wissenschaftlicher Diskurs ermöglicht wurde.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie, meiner Frau und meinen Freunden für den gebotenen Rückhalt und die dauerhafte Unterstützung bedanken.

Christopher Budde

Paderborn, im September 2017

Kurzfassung

In der vorliegenden Abhandlung werden neue Fügeverfahren für Organoblech-Hybridverbindungen entwickelt und untersucht. Aktuelle Fügeverfahren erfordern in der Regel eine Schädigung des Organoblechs zur Ausprägung der Verbindung. Dies führt zu Spannungskonzentrationen in der Fügezone, die die mechanischen Eigenschaften der Verbindung schwächen. Die neuen Fügeverfahren Spritznieten und Organoblechnieten adressieren dieses Problem und sollen ohne Schädigung bzw. mit minimaler Schädigung des Organoblechs anwendbar sein. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war das Aufzeigen der Potenziale der neu entwickelten Fügeverfahren sowie die grundlegende Charakterisierung der Prozesse.

Des Weiteren wurde das Hinterspritzen von Organoblechen mit dem Ziel untersucht, Handlungsempfehlungen und Einsatzgrenzen für die industrielle Anwendung zu erarbeiten. Der Fokus der Untersuchungen lag dabei auf einer grundsätzlichen Ermittlung der Einflüsse von Prozess- und Materialparametern auf die Verbundfestigkeit der hinterspritzten Probekörper.

Neben den eigentlichen Fügeprozessen wurde auch die notwendige Vorerwärmung der Organobleche untersucht. Ziel war es, mittels der Finite-Differenzen-Methode, den Aufheizvorgang, welcher durch Infrarotstrahlung induziert wird, berechnen bzw. simulieren zu können. Es wurde gezeigt, dass die Methode geeignet ist, aber physikalische Prozesse, die während der Erwärmung ablaufen, wie beispielsweise das Loften, berücksichtigt werden müssen, um gute Simulationsergebnisse zu erzielen.

Abstract

This paper investigates new joining methods for organic sheet hybrid joints. Current joining techniques generally require damaging of the organic sheet to form the joint. This leads to stress concentrations in the joining zone, which weaken the mechanical properties of the joint. The new joining processes injection-riveting and organic sheet riveting address this problem and should be applicable without relevantly damaging the organic sheet. Aim of the research was to demonstrate the potential of the newly developed joining techniques as well as the basic process characterization.

In addition, the backmolding of organic sheets was investigated in order to develop recommendations for processing as well as defining limits for industrial applications. Investigations were focused on a fundamental determination of the influences of process and material parameters on the bond strength of the backmolded test specimens.

In addition to the actual joining processes, the necessary preheating of organic sheets was investigated, too. Therefore the finite difference method was used to calculate or simulate the heating process, which is induced by infrared radiation. It has been shown that the method is appropriate, but physical processes that occur during heating, must be taken into account in order to achieve good simulation results.

Liste der Vorveröffentlichungen

E. MORITZER; C. BUDDE: *Wie Kurz- und Endlosfasern sich am besten vertragen Materialeigenschaften beeinflussen die Verbundfestigkeit zwischen Organoblech und angespritztem Thermoplast*. In: Kunststoffe, 03/2015, 2015

E. MORITZER; C. BUDDE: *Influence of Material Properties on the Bond Strength of a Hybrid Part Consisting of Composite Sheet and Short-Fiber Thermoplastic*. Symposium Verbundwerkstoffe 2015, Wien (Österreich), 2015

E. MORITZER; C. BUDDE: *Leichtbau mit hybriden Werkstoffen - Konstruktion eines innovativen Vorderachsträgers*. DVS Congress 2015, Nürnberg (Deutschland), 2015

E. MORITZER; C. BUDDE: *Hybrid Lightweight Construction of a Chassis Frame Structure*. Polymers and Energy Synthesis, engineering, characterisation and applications (Biannual meeting of the GDCh-Division of Macromolecular Chemistry), Jena (Deutschland), 2014

E. MORITZER; C. BUDDE; T. TRÖSTER; S. PÖHLER: *Parametereinfluss auf die Verbundfestigkeit einer Organoblech-Kurzfaservermoplast-Werkstoffkombination*. In: Joining Plastics, Heft 2, 2014

E. MORITZER; C. BUDDE: *Study of the bond strength of a combination consisting of composite sheet and short-fiber thermoplastic*. 72nd Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC), Las Vegas (USA), 2014

E. MORITZER; C. BUDDE: *Study of the Bond Strength of a Combination Consisting of Polypropylene Composite Sheet and Short-Fiber Thermoplastic*. Euro Hybrid Materials and Systems 2014 (EHMS), Stade (Deutschland), 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	Stand der Technik	4
2.1	Faserverbundkunststoffe.....	4
2.2	Verstärkungsfasern.....	5
2.2.1	Textile Glasfaser-Halbzeuge.....	8
2.2.2	Mehrschichtverbund.....	11
2.3	Organobleche.....	12
2.4	Matrix.....	13
2.4.1	Faser-Matrix-Haftung.....	17
2.5	Mechanische Fügeverfahren für Organoblech-Metall-Hybridverbindungen im Überblick.....	19
2.6	Thermoformen von endlosfaserverstärkten Thermoplasten.....	24
2.6.1	Partielles Thermoformen endlosfaserverstärkter Thermoplaste.....	25
2.7	Sonderverfahren: Hinterspritzen.....	26
2.8	Einführung und Anwendung von Infrarotstrahlung.....	28
3	Numerische Berechnung der Infraroterwärmung von Organoblechen mittels Finite-Differenzen-Methode	32
3.1	Grundlagen der Finite Differenzen Methode.....	32
3.1.1	Herleitung der Differenzenquotienten.....	34
3.1.2	Theoretische Grundlagen der Erwärmung durch Infrarotstrahlung.....	36
3.1.3	Anwendung der FDM auf die Wärmedifferentialgleichung.....	38
3.1.4	Anfangs- und Randbedingungen für die Simulation mittels FDM.....	39
3.2	Experimenteller Aufbau.....	41
3.3	Simulation der Temperaturentwicklung mittels eindimensionaler FDM.....	42
3.4	Simulation der Temperaturentwicklung mittels dreidimensionaler FDM.....	45

4	Hinterspritzen von Organoblechen	52
4.1	Experimenteller Aufbau	52
4.1.1	Materialien.....	55
4.2	Experimentelle Untersuchungen	56
4.2.1	Ergebnisse Schälprobekörper	58
4.2.2	Ergebnisse Xmod GB477HP + GMTex X111F40-4/1-0/90°	64
4.2.3	Ergebnisse Kopfzugprobekörper	67
4.2.4	Einfluss der Materialeigenschaften auf die Verbundfestigkeit	69
4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Hinterspritzen von Organoblechen.....	71
5	Spritznieten von Organoblechen mit Metallen	72
5.1	Experimenteller Aufbau	72
5.1.1	Spritznietwerkzeug	73
5.1.2	Materialien.....	74
5.2	Experimentelle Untersuchungen	75
5.3	Modellansatz zur Beschreibung der Prozessparametereinflüsse beim Spritznieten	85
5.4	Fazit Spritznieten.....	91
6	Organoblechnieten	92
6.1	Experimenteller Aufbau	93
6.2	Materialien.....	94
6.3	Experimentelle Untersuchungen	95
6.4	Ausblick Organoblechnieten.....	98
7	Zusammenfassung und Ausblick	99
8	Anhang	101
9	Literaturverzeichnis	111
10	Lebenslauf	117