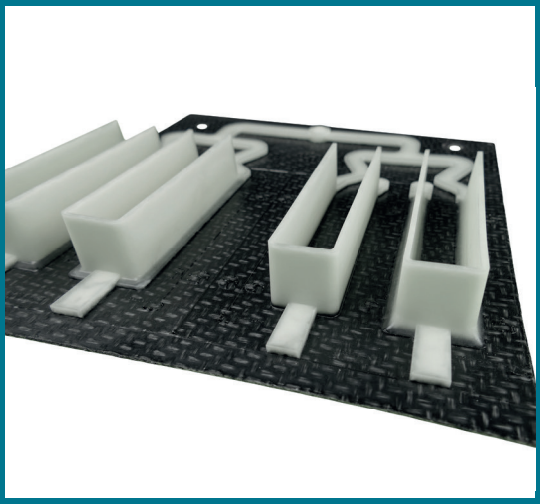
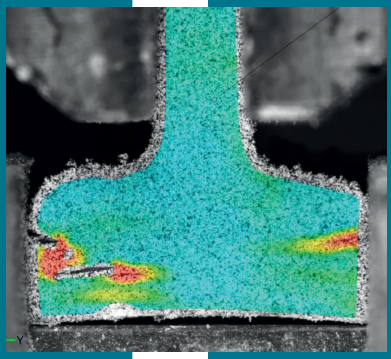
Das Kunststoff-Zentrum
Prüfung · Bildung · Forschung · Zertifizierung · Vernetzung

Textilverstärkte Thermoplast-Hybridstrukturen



© SKZ



© TU Dresden/ILK

Analyse der Eigenschaften der Verbindungszone

Kooperationspartner

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

SKZ: Thomas Zentgraf, Georg Schwalme, Thomas Hochrein, Martin Bastian
ILK: Alexander Liebsch, Jan Luft, Robert Kupfer, Hubert Jäger

Bildung & Forschung

www.skz.de

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

Textilverstärkte Thermoplast-Hybridstrukturen

Analyse der Eigenschaften der Verbindungszone



1. Auflage

SKZ – Forschung und Entwicklung

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)

Textilverstärkte Thermoplast-Hybridstrukturen

Analyse der Eigenschaften der Verbindungszone

Shaker Verlag
Düren 2021

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.

Die Autoren:

Dipl. -Ing. Alexander Liebsch (ILK)
Dipl. -Ing. Jan Luft (ILK)
Dipl.-Ing. Thomas Zentgraf (SKZ)
Dr.-Ing. Robert Kupfer (ILK)
Dipl.-Ing. Georg Schwalme (SKZ)
Dr. rer. nat. Thomas Hochrein (SKZ)
Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian (SKZ)
Prof. Dr.-rer. nat. Hubert Jäger (ILK)

Copyright Shaker Verlag 2021
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8291-3
ISSN 2364-754X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Das Vorhaben 19917 BG der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e.V. (FSKZ) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der Technischen Universität Dresden sowie die SKZ – KFE gGmbH danken dem BMWi und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung für die Unterstützung bei der Durchführung des Vorhabens. Darüber hinaus danken die Forschungsstellen den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für ihre Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes und für die konstruktiven Diskussionen bei den unterschiedlichsten Fragestellungen.

Kurzfassung

Bauteile aus thermoplastischen Faserkunststoffverbunden (FKV) mit angespritzten Funktionselementen wie Rippen, Schraubdomen oder Führungselementen haben sich in den letzten Jahren gerade im Automobilbereich etabliert. Ihre hohen spezifischen Festigkeiten und Steifigkeiten in Kombination mit sehr geringen Fertigungszeiten machen sie besonders für Großserienanwendungen attraktiv. Sowohl die strukturelle als auch die prozesstechnische Auslegung derartiger Bauteile gestalten sich derzeit jedoch sehr aufwändig und ebenso kostenintensiv, da hierfür ein hohes Maß an Erfahrung sowie spezielle Berechnungsprogramme und -modelle benötigt werden. Trotz ihrer Attraktivität werden hybride thermoplastische FKV-Bauteile daher nur vereinzelt von KMU eingesetzt. Diese Lücke zu schließen sowie eine KMU-gerechte Gestaltungsrichtlinie zu erarbeiten, waren Ziele des AiF-Forschungsprojektes EvHy.

Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Charakterisierung der für die Tragfähigkeit hybrider Bauteile oftmals entscheidenden Grenzfläche zwischen den Komponenten. In intensiven experimentellen Untersuchungen wurden dabei neben den bauteilspezifischen Einflüssen wie der Rippenfußgeometrie, der Organoblechdicke und der textilen Architektur des Organoblechs auch die Einflüsse der Prozessparameter auf die Verbindungseigenschaften eingehend evaluiert. Es konnten dadurch die prozesstechnischen Haupteinflussfaktoren identifiziert und Empfehlungen für passende Prozessfenster abgeleitet werden. Weiterhin zeigten sich deutliche Einflüsse der Rippenfußgeometrie auf die Verbindungsfestigkeit. Im Ergebnis konnten zwei besonders belastbare Rippenfüße identifiziert werden.

Neben den Arbeiten zur experimentellen Charakterisierung wurde in numerischen Studien evaluiert, inwieweit die berechneten Spannungen innerhalb der Verbindungszone durch die Übertragung der prognostizierten Bauteileigenschaften aus der Formfüllsimulation beeinflusst werden. Es konnten dabei klare Empfehlungen abgeleitet werden, welche Eigenschaften aus der Formfüllsimulation in die Struktursimulation übertragen werden müssen und ab welcher Modellierungstiefe kein zusätzlicher Nutzen bei der Bauteilauslegung mehr besteht.

Im Sinne einer umfänglichen Auslegungsstrategie wurde somit mit dem EvHy-Projekt der Grundstein für das Verständnis zur Interaktion der prozesstechnischen und bauteilspezifischen Einflussgrößen und der Verbindungsfestigkeit in hybriden Schale-Rippen-Strukturen für den Leichtbau geschaffen.

Abstract

Parts made from fiber composite based on engineering thermoplastics combined with functional elements such as ribs, screw bosses or guide units have established themselves in the automotive sector in recent years. Their high specific strengths and stiffnesses in combination with very short cycle times make them particularly attractive for mass production applications. However, both the structural and the process-related design of such parts are currently very complex as well as cost-intensive, since a high level of experience and special calculation tools and software are required for this. Despite their attractiveness, hybrid thermoplastic fiber composites are only used occasionally by SMEs. The aim of the AiF research project EvHy was to close this gap and to design guidelines suitable for SMEs.

The focus was on the characterization of the interface between the two components, which is often crucial for the load capacity of hybrid components. In addition to the part-specific influences such as the geometry of the rib base as well as the thickness and the textile structure of the organic sheet, the influences of the process parameters on the bond strength were also evaluated in intensive experimental investigations. This made it possible to identify process-related main influences and to derive recommendations for suitable process windows. Furthermore, there were significant influences of the rib base geometry on the bond strength. As a result, two rib base geometries, which are particularly resilient, could be identified.

In addition to the work on experimental characterization, numerical studies have been carried out to evaluate the influences of the transfer of the predicted part properties from the mold filling simulation on the calculated tensions within the interface area. It was possible to derive clear recommendations as to which results must be mapped from the mold filling simulations to the structure simulation and from which modelling depth there is no longer any additional benefit in part design.

In terms of a comprehensive design strategy, the EvHy project laid the foundation for understanding the interaction of process-related and part-specific influencing variables and the bond strength in hybrid shell-rib structures for lightweight construction.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 13

1.1 Anlass für dieses Forschungsvorhaben ... 13

1.2 Problemstellung ... 13

1.3 Zielsetzung ... 14

2 Stand der Technik ... 15

2.1 Organoblech-Spritzguss-Hybridstrukturen ... 15

2.2 Eigenschaften der Verbindungszone ... 16

2.3 Prozesssimulation ... 17

2.4 Prüfmethoden ... 19

3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels ... 21

4 Durchgeführte Arbeiten ... 23

4.1 Arbeitspaket 1: Ableitung von Grundlastfällen und Definition der Prüfkörpergeometrie ... 23

4.1.1 Definition praxisrelevanter Lastfälle für verrippte Organoblechschalenstrukturen ... 24

4.1.2 Simulationsgestützte Entwicklung geeigneter Prüfkörpergeometrien ... 28

4.2 Arbeitspaket 2: Simulationsgestützte Werkzeugentwicklung ... 33

4.2.1 Simulation des Werkzeugkonzeptes ... 34

4.2.2 Konstruktion und Bau des Spritzgusswerkzeuges ... 36

4.2.3 Validierung des Spritzgusssimulation ... 41

4.2.4 Konstruktion und Bau einer Vorwärmstation ... 50

4.3 Arbeitspaket 3: Entwicklung von Prüftechnik ... 52

4.4 Arbeitspaket 4: Herstellung von Prüfstrukturen unter Variation von Prozessparametern ... 54

4.4.1 Statistische Versuchsplanung ... 54

4.4.2 Herstellung der Prüfkörper ... 59

4.5 Arbeitspaket 5: Zerstörende und zerstörungsfreie Untersuchung der Verbindungszone ... 64

4.5.1 Zerstörungsfreie Prüfungen ... 64

4.5.2 Thermogravimetrische Analyse des Organoblechs ... 71

4.5.3 Zerstörende Prüfungen ... 71

4.6 Arbeitspaket 6: Ableitung von Gestaltungsrichtlinien ... 93

5 Zusammenfassung ... 98

5.1 Arbeitspaket 1: Ableitung von Grundlastfällen und Definition der Prüfkörpergeometrie 98
5.2 Arbeitspaket 2: Simulationsgestützte Werkzeugentwicklung 98
5.3 Arbeitspaket 3: Entwicklung von Prüftechnik 99
5.4 Arbeitspaket 4: Herstellung von Prüfstrukturen unter Variation von Prozessparametern 99
5.5 Arbeitspaket 5: Zerstörende und zerstörungsfreie Untersuchung der Verbindungszone 100
5.6 Arbeitspaket 6: Gestaltungshinweise zur Auslegung von Hybridstrukturen 100
6 Literaturverzeichnis 101
7 Anhang – Versuchsergebnisse 106
7.1 Einfluss der Fließweglänge 106
7.1.1 Kopfzug 106
7.1.2 Schub I 107
7.1.3 Schub II 108
7.2 Einfluss der textilen Architektur 109
7.2.1 Kopfzug: Einfluss unidirektionale Faserausrichtung 109
7.2.2 Schub I: Einfluss unidirektionale Faserausrichtung 110
7.2.3 Schub II: Einfluss unidirektionale Faserausrichtung 111
7.2.4 Kopfzug: Einfluss Organoblechdicke bei kleinen Rippen 112
7.2.5 Schub I: Einfluss Organoblechdicke bei kleinen Rippen 113
7.2.6 Schub II: Einfluss Organoblechdicke bei kleinen Rippen 114
7.2.7 Kopfzug: Einfluss Organoblechdicke bei ±45° Faserorientierung 115
7.2.8 Schub I: Einfluss Organoblechdicke bei ±45° Faserorientierung 116
7.2.9 Schub II: Einfluss Organoblechdicke bei ±45° Faserorientierung 117
7.2.10 Kopfzug: Einfluss Organoblechdicke bei 0/90° Faserorientierung 118
7.2.11 Schub I: Einfluss Organoblechdicke bei 0/90° Faserorientierung 119
7.2.12 Schub II: Einfluss Organoblechdicke bei 0/90° Faserorientierung 120
7.3 Einfluss der Nachdruckhöhe 121
7.3.1 Kopfzug 121
7.3.2 Schub I 122
7.3.3 Schub II 123
7.4 Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit 124
7.4.1 Kopfzug 124
7.4.2 Schub I 125

7.4.3 Schub II 126
7.5 Einfluss der Organoblechtemperatur 127
7.5.1 Kopfzug 127
7.5.2 Schub I 128
7.5.3 Schub II 129
7.6 Einfluss der Formmassentemperatur 130
7.6.1 Kopfzug 130
7.6.2 Schub I 131
7.6.3 Schub II 132
7.7 Einfluss der Werkzeugtemperatur 133
7.7.1 Kopfzug 133
7.7.2 Schub I 134
7.7.3 Schub II 135

Abkürzungsverzeichnis

ADCB	Asymmetric-Double-Cantilever-Beam
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CT	Computertomografie
DCB	Double-Cantilever-Beam
FE	Finite Elemente
FKV	Faserkunststoffverbunde
IR	Infrarot
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
PTFE	Polytetrafluorethylen
TGA	thermogravimetrische Analyse
UD	Unidirektional