

Kurzfassung

In Zeiten rasant ansteigender Energiepreise wird die Energieeinsparung durch Gewichtsreduzierung bewegter Massen, z. B. im Automobilbau, zunehmend wichtiger. In immer mehr Bereichen des Automobilbaues werden Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) aufgrund ihrer geringen Dichte eingesetzt. Positive Aspekte einer Faserverstärkung von Kunststoffen sind Verbesserungen der Steifigkeit und der Festigkeit. Negativ wirkt sich die Faserverstärkung hingegen auf die Bruchdehnung aus. Je nach eingesetztem FKV kann durch die geringe Bruchdehnung bei einem Crash nur wenig Energie absorbiert werden und es kommt zum strukturellen Versagen. Wegen der günstigen Material- und Verarbeitungskosten werden im Automobilbau häufig langglasfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) verwendet. Diese können allerdings aufgrund ihrer suboptimalen Crasheigenschaften in vielen Bereichen des Fahrzeugbaues nicht eingesetzt werden. Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Verbesserung der Crasheigenschaften von LFT durch eine Verstärkung mit Metalltextilien. Ziel ist es, den Anwendungsbereich von LFT im Automobilbau zu erweitern. Aufgrund der Erfahrungen in vorangegangenen Arbeiten liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf den Eigenschaften eines mit Edelstahlschweißgitter (ESG) verstärkten LFT. Das Material wurde mit einer Vielzahl an Versuchen einer eingehenden mechanischen Charakterisierung unterzogen. Vor der Probenentnahme wurde die herstellungsbedingte Faserorientierung in Plattenebene untersucht. Dies geschah durch die Auswertung von Röntgen- und Durchlichtaufnahmen. Es wurde eine hochgradige Faserausrichtung in Fließrichtung festgestellt. Mit Hilfe der Computertomographie war eine qualitative Untersuchung der lokalen Faserorientierung möglich. Weiterhin konnte die Beeinflussung der Faserorientierung durch die Metalltextilverstärkung beobachtet werden. Aufgrund der Bedeutung der Interfaceigenschaften zwischen Stahl und LFT für den ESG-LFT-Verbund wurden die Scher- und Normalfestigkeit mit Hilfe von Drahtauszug- und Stirnabzugversuchen bestimmt. Die Interfaceigenschaften wurden für verschiedene Vorbehandlungsmethoden der metallischen Oberfläche untersucht. Eine Vorbehandlung durch Druckluftstrahlen der Oberfläche führte zu den besten Haftungseigenschaften. Als Strahlmittel wurden Korundpartikel eingesetzt. Neben metalltextilverstärkten LFT-Proben wurden auch unverstärkte LFT-Proben als Referenz

untersucht. Es wurden quasistatische Versuche unter Zug- und Schubbelastung durchgeführt. Wegen der Crashanwendung wurden die Zugversuche auch unter kurzzeitdynamischer Belastung durchgeführt. Zusätzlich wurden Durchstoßversuche durchgeführt, um den Einfluss auf die Energieabsorption beobachten zu können. Um die Verbesserung der strukturellen Integrität zu demonstrieren, wurden einfache Demonstratorbauteile unter Zugbelastung getestet. Dabei konnte neben einer Bestimmung wichtiger Materialparameter eine erhöhte Energieaufnahme und eine verbesserte strukturelle Integrität nachgewiesen werden. Zur Erweiterung der experimentellen Erkenntnisse wurde ein parametrisiertes Simulationsmodell auf Mikroebene entwickelt. Anhand des Mikromodells gelang es, einen detaillierten Einblick in den Spannungszustand und das Versagensverhalten von ESG-LFT zu erhalten. Des Weiteren war es damit möglich, den Einfluss verschiedener Geometrie- und Haftungsparameter auf die Verbundeigenschaften zu untersuchen. Die vorliegenden Erkenntnisse wurden zur Programmierung eines makromechanischen Simulationsmodells genutzt. Dieses zeigte, trotz der vorgenommenen Vereinfachungen, bereits gute Übereinstimmungen von Simulation und Experiment und konnte Hinweise für weiterführende Arbeiten liefern. Das entwickelte makromechanische Modell kann damit als Basis für die Weiterentwicklung dieses Materialmodells genutzt werden.

Abstract

In times of rising energy costs, saving of energy is gaining more and more importance. One option to influence energy consumption of moved masses is by reduction of structural weight. Therefore fiber reinforced plastics (FRP) are increasingly used in the automotive industry due to their low density and high mechanical properties. An improvement of the modulus of elasticity and increased strength are positive aspects of fiber reinforcement of plastics. However, a negative effect of fiber reinforcement is a reduction of the fracture strain of the composite. Depending on the FRP that is used, only very little energy can be absorbed during a crash. This is caused by the mostly brittle behavior and low fracture strain of FRPs. Because of this behavior, even structural failure may occur during a crash. Due to their good price performance ratio long glass fiber reinforced thermoplastics (LFRT) are often used in the automotive industry. However, these materials cannot be used in many areas of automotive engineering due to its suboptimal crash properties. LFRT are, therefore, mostly used for trim components and secondary structures. The study on hand therefore deals with the improvement of the crash properties of LFRT through reinforcement with metal textiles. The aim of this research project is to extend the application areas of LFRT in automotive engineering. Due to the results of previous research projects this study focuses on the properties of LFRT reinforced with a spot-welded mesh consisting of stainless steel. Therefore, this material was subjected to a multitude of experiments for detailed mechanical characterization. For specimen sampling, the in-plane fiber orientation caused by the production process was investigated via optical and x-ray fluoroscopy. A high-grade of fiber orientation in the extrusion direction was detected. Using computer tomography, a qualitative analysis of local fiber orientation was performed. Furthermore, the influence of the metal reinforcement on the glass fiber orientation could be observed. Based on the importance of interfacial properties between steel and LFRT, the shear strength and the normal strength were determined in fiber pull-out and normal adhesion tests. The properties of different pre-treatment methods for the metal surface were also investigated. Using corundum particles as abrasive material a compressed air blasting treatment showed the best results. Besides metal reinforced LFRT specimens, unreinforced LFRT specimens were also tested as a reference. Material

tests were performed under tension and shear load. Due to the crash application, the tensile tests were also performed under short-time dynamic load. Additional impact tests were conducted to investigate improvements in energy absorption. To demonstrate the improvement of structural integrity, simple demonstrator components were examined under tension load. In addition to the analysis of the mechanical material parameters it was possible to observe an increase of energy absorption and even an improvement of structural integrity. In order to expand the mechanical knowledge, a parametric simulation model on microscale level was developed. Based on the micro model, it was possible to gain insight of the state of stress and failure behavior of metal mesh reinforced LFRT. This model enabled the examination of the inner state of stress and the observation of the failure behavior of metal mesh reinforced LFRT. Furthermore it allowed the investigation of the influence of different geometric parameters and adhesion properties on the composite behavior. The available material data was used to program an user defined material model on the macroscale. Despite the simplification of the material model, the simulation results showed good agreement to the experimental data. Consequently the developed macro mechanical material model can be used as a basis for further development of this material model.