Kurzfassung

Vor dem Hintergrund der angestrebten Reduzierung der CO_2-Emissionen finden Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) immer größere Bedeutung in allen Industriezweigen. In der Regel ermöglichen FKV gegenüber Metallwerkstoffen eine Gewichtsverringerung und die Entwicklung von ressourcen- und energieeffizienten Fertigungsprozessen. Gerade bei flächigen Bauteilen im Transportwesen und der Elektronik, wie z. B. Dachhimmel, Kraftstoffbehälter und Scheinwerfersysteme, liegt hohes Potenzial für Gewichtsreduktionen und Funktionsintegration. Diese Arbeit beschäftigt sich mit Sheet-Molding-Compounds (SMC), duroplastischen Fließpressmassen, die sich aufgrund ihrer Material- und Fertigungseigenschaften besonders für flächige Bauteile mit komplexen Versteifungsstrukturen und integrierten Funktionselementen, wie z. B. Heckklappen, Schaltschränken und Batteriegehäusen, eignen. Neben den konventionellen glasfaserverstärkten SMC (G-SMC) werden in den letzten Jahren auch vermehrt kohlenstofffaserverstärkte SMC (C-SMC) eingesetzt. Aufgrund der vorteilhaften mechanischen Eigenschaften der Kohlenstofffasern und des höheren Fasergehalts eignen sich C-SMC auch für Strukturbauteile, wie z. B. der Verstärkung der A-, B- und C-Säule im Automobil, sowie anderen Hochleistungsanforderungen. Für den breiten industriellen Einsatz ist heutzutage in vielen Branchen eine durchgängige Simulationsfähigkeit Voraussetzung für den Einsatz eines Werkstoffs. Für C-SMC ist diese Simulationsfähigkeit noch nicht gegeben, da das Materialverhalten aufgrund der großen Faserlängen und dem hohen Fasergehalt ein Mischverhalten zwischen einem fluiden Werkstoff und einem Festkörper während des Fließpressens zeigt. Dieses Mischverhalten wurde bislang nicht ausgiebig untersucht. Ziel dieser Arbeit ist es ein tiefergehendes Verständnis für das Material- und Prozessverhalten von C-SMC während des Verarbeitungsprozesses zu erlangen. Die Simulationsfähigkeit des Werkstoffes wird in Form eines neu entwickelten Materialmodells hergestellt, welches das Materialverhalten approximiert und im universellen Multi-Physics-Solver LS-DYNA® implementiert wird. Die grundlegenden Materialeigenschaften, die auch als Eingangsinformationen für das Materialmodell dienen, werden in Charakterisierungsversuchen mit einem den Fließpressprozess abstrahierenden Verfahren im Pressrheometer identifiziert und untersucht. Da die mechanischen Eigenschaften eines FKVs überwiegend über die Ausrichtung der Faserverstärkung definiert werden, wird zu deren Erfassung ein zerstö-

rungsfreies optisches Messverfahren in Form der Polarisationsbildgebung angewendet. Die Polarisationsbildgebung ermöglicht eine Untersuchung der oberflächigen Faserverteilung an fertigen Bauteilen, aber auch des Aufbaus der Textilstruktur des grundlegenden C-SMC-Halbzeugs in Echtzeit während der Produktion. Auf diese Weise entsteht eine realistische Digitalisierung eines C-SMC-Halbzeugs von der Produktion bis zum Abschluss des Fließprozesses und die Grundlage zur digitalen Unterstützung zukünftiger Produkt-, Material- und Prozessentwicklung im Bereich der C-SMC-Anwendung wird gelegt.

Abstract

With the background of the increasing need for the reduction in CO_2 emissions, fiber-reinforced plastic (FRP) composites are becoming increasingly important in all branches of industry. As a rule, FRPs enables a reduction in weight and the development of resource- and energy-efficient production processes in comparison to metal materials. There is great potential for weight reduction, especially for flat components in transportation and electronics, such as roof liners, fuel tanks and headlight systems. This work focuses on sheet molding compound (SMC) materials, which allows for the production of thin-walled components with complex reinforcement structures and integrated functional elements, such as tailgates, electric control cabinets and battery houses, due to their material and manufacturing properties. In addition to conventional glass-fiber reinforced SMC (G-SMC), carbon-fiber reinforced SMC (C-SMC) have also been increasingly used in recent years. Due to their higher mechanical properties based on the fiber type and the higher fiber content, C-SMCs are also suitable for structural components, such as the reinforcement of the A, B and C pillars in automobiles, and other high-performance requirements. In this work, the goal is to gain a better understanding of the material and process behavior of C-SMC during the manufacturing process of compression molding. A consistent simulation capability is a requirement for the use of a material in many industrial applications today. For C-SMC, this simulation capability is not yet given, since the material behavior shows a mixing behavior between a fluid material and a solid during compression molding due to the high fiber lengths and the high fiber content. This mixing behavior has not yet been extensively investigated. The aim of this work is to gain a deeper understanding of the material and process behavior of C-SMC during the manufacturing process. The simulation capability of the material is established in the form of a newly developed material model, which approximates the material behaviour and is implemented in the universal multi-physics solver LS-DYNA®. The basic material properties, which also serve as input information for the material model, are identified and investigated in characterization tests using a method that abstracts the compression molding process in the press rheometer. Since the mechanical properties of FRPs are mainly defined by the orientation of the fiber reinforcement, a non-destructive optical measurement technique in the form of polarization imaging has been used. Polarization imaging allows the examination of the surface fiber orientation distribution of finished components, but

also the in-situ build-up of the reinforcement structure of the C-SMC semi-finished product during production. This approach generates an accurate representation and digitalization of a C-SMC semi-finished product from its initial production to the end of the compression molding process and lays the foundation for digital support of future-products, materials and process development in the field of C-SMC applications.