

Kurzfassung

Das Crashverhalten energieabsorbierender Strukturen aus faserverstärkten Kunststoffen, die während ihres Gebrauchs wechselnden Temperaturen ausgesetzt sind, wurde bislang nur wenig erforscht. Typische Anwendungstemperaturen in der Automobilindustrie, ausgenommen Bauteile, welche direkt mit dem Motor verbunden sind, bewegen sich zwischen -40 und 100 °C. Da ein polymeres Matrixsystem in diesem Temperaturbereich stark veränderliche Festigkeiten und Steifigkeiten aufweist, variieren auch die mechanischen Eigenschaften eines Faser-Kunststoff-Verbundes (FKV). Dies gilt insbesondere bei Druckbelastungen, da gerade hier die Fasern auf die Stützwirkung der Matrix angewiesen sind.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der experimentellen Untersuchung des Crashverhaltens gewebeverstärkter Thermoplaste und deren numerischer Simulation unter dem Einfluss der Umgebungstemperatur. Da Faser-Kunststoff-Verbunde beim Crashvorgang ein stark von der Belastungsgeschwindigkeit abhängiges Kraftniveau aufweisen, muss die Crashprüfung im relevanten Geschwindigkeitsbereich oberhalb ca. 4 km/h durchgeführt werden können. Hierzu wird die Crashanlage der Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) um eine Klimatisierungseinrichtung für Crashversuche erweitert.

Die Versuche werden erstmals an Strukturen aus glas- und kohlenstoffgewebeverstärkten technischen Thermoplasten (verschiedene Polyamide und Polycarbonat) im Temperaturbereich zwischen -30 und 90 °C durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Umgebungstemperatur einen deutlichen Einfluss auf das Crashverhalten hat und bei der Auslegung energieabsorbierender Strukturen berücksichtigt werden muss. Die hierfür verantwortlichen Materialparameter werden identifiziert, um eine Aussage über geeignete Faser-Matrix-Kombinationen für temperaturbelastete Bauteile treffen zu können.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit sind:

- Die Temperaturabhängigkeit des Schubmoduls der Matrix und die Crashkennwerte des Verbundes (Mittelkraft und spezifisch absorbierte Energie) stehen in direktem Zusammenhang. Dies gilt insbesondere beim Versagen des FKV im Laminatbiegemode.
- Teilkristalline Thermoplaste, auch hochtemperaturbeständige Thermoplaste wie PEEK, eignen sich wegen der starken Abhängigkeit des Schubmoduls von der Temperatur nur begrenzt als Matrixsystem für crashbelastete Strukturen.

- Amorphe Thermoplaste, deren Glasübergangstemperatur über der Einsatztemperatur des Absorbers liegt, zeigen nur einen geringen Abfall des Kraftniveaus bei zunehmender Temperatur und sind daher zu bevorzugen.

Die derzeit in FE-Programmen implementierten Materialmodelle ermöglichen nicht die gewünschte Prognosefähigkeit bei der Crashsimulation von Strukturen aus gewebeverstärkten Thermoplasten, da die komplexen Versagensmechanismen nicht erfasst werden. Am Beispiel von kohlenstoffgewebeverstärktem Polyamid 12 wird das Versagensverhalten der experimentell untersuchten Crashabsorber analysiert und die erforderlichen crashrelevanten Kennwerte ermittelt. Dabei ist das Nachversagensverhalten unter Druckbelastung von besonderer Bedeutung. Um dieses zu untersuchen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Druckversuch definiert und eine Vorgehensweise zur Bestimmung der erforderlichen Versagensparameter vorgestellt. Die erzielten Simulationsergebnisse korrelieren mit den experimentell ermittelten Werten im untersuchten Temperaturbereich sehr gut.

Abstract

The crash behaviour of energy absorbing structures made of fibre-reinforced plastics (FRP) is to the most part undetermined while they are exposed to extreme temperatures during service. Except engine mounted parts, automotive structures are designed for a temperature range from -40 to 100 °C. As the polymer matrix definitively shows a temperature dependency in strength and rigidity it is obvious, that also the FRP is influenced because the matrix supports the fibres especially at compression loads. As a result, the crash behaviour of a composite structure must be a function of temperature.

Within the frame of the present work, the crash test rig of the IVW Ltd. is expanded with an air conditioning equipment for crash test specimen. Composites show a crash force level depending on the load velocity. Thus, the crash behaviour of a composite structure under thermal load has to be determined under realistic and therefore high loading velocities.

The studies were carried out on glass and carbon fibre fabric reinforced thermoplastics, so-called organic panels, in a temperature range from -30 to 90 °C. The material parameters, which are relevant for the temperature dependent crash behaviour, are identified in order to find suitable temperature resistant fibre matrix combinations for energy absorbing structures.

The experimental studies, which are practised for the first time on FRP with technical thermoplastics as matrix (various nylons and polycarbonate), prove that crash behaviour is strongly temperature dependent. This has to be considered when designing crash loaded FRP structures. In spite of the temperature dependence, a considerably higher mass specific energy absorption was achieved with all tested thermoplastic FRPs at every testing temperature than with a high-strength aluminium used for comparison aims.

The essential results of this work are:

- The matrix modulus in torsion determines the mean force level under crash loads if failure is characterised through a lamina-bending mode.
- Semi-crystalline thermoplastics, even high temperature thermoplastics like PEEK, are not suited as a matrix material for crash elements on account of the strong decrease of the modulus in torsion with increasing temperature.

- Amorphous thermoplastics with a glass transition temperature above the required service temperature of the absorber enable a considerably more favourable load curve with only small drop of force at increasing temperature.

In order to enhance the accuracy of finite element crash simulations, the failure behaviour of carbon fabric reinforced polyamide examined experimentally in component crash tests is analysed to determine crash relevant characteristic values for the numeric simulation. A key to forecast the load curve of CRP is the knowledge of the post-failure behaviour under compression load. The NASA short block compression test was modified to determine the strength in the post failure regime and a method to determine the damage parameters implemented in LS-DYNA3D is introduced. This enabled simulation results of carbon fabric reinforced nylon 12 with a high accuracy within the examined temperature range.