

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das Potenzial neuer Faser-Kunststoff-Verbunde auf Basis von Duromeren mit hybrider und interpenetrierender Struktur und Kohlenstofffasern analysiert. Die Motivation bestand darin, neue, innovative Harze im Hinblick auf ihren Einsatz als Matrixsysteme für Flüssigimprägnierverfahren zum Herstellen kontinuierlich kohlenstofffaserverstärkter Verbundwerkstoffe zu untersuchen. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Ausbildung der Faser/Matrix-Grenzschicht und deren Einfluss auf das gesamte Eigenschaftsprofil der Verbunde.

Als Matrixsysteme wurden ein Vinylester-Urethan-Hybridharz (VEUH), eine mit Flüssigkautschuk (ETBN) modifizierte Variante dieses Harzsystems und eine Verbindung zwischen Epoxid (EP) und Vinylester (VE) verwendet. Nach Charakterisierung der Reinharzsysteme und der Auswahl einer geeigneten Kohlenstofffaser wurden Lamine im Harzinjektionsverfahren sowie im Nasswickelverfahren gefertigt.

Es hat sich gezeigt, dass konventionelle, mikromechanische Testmethoden zur Charakterisierung der Faser/Matrix-Grenzschicht unter Verwendung dieser Materialien nur bedingt anwendbar sind und die damit erzielten Ergebnisse nicht ausreichen, um Korrelationen mit den makromechanischen Kennwerten aufzustellen. Vielmehr erwiesen sich Faserbündeltests als eine gute Alternative, um wichtige Informationen in Bezug auf die Bildung und Charakterisierung der Grenzschicht zu erlangen. Beispielsweise reagierte der Quersugfaserbündeltest (QFT) äußerst sensibel auf Änderungen in der Grenzschicht und ist nicht zuletzt aufgrund der Berücksichtigung mesomechanischer Aspekte besser geeignet, um makromechanische Tendenzen widerzuspiegeln. Aus diesem Grund und weiterhin mit dem Verdacht auf erheblich hohe Eigenspannungen in den VEUH-Verbunden wurde ein Makro/Mikro-Modell erstellt und mit Hilfe der Finiten Elemente Methode analysiert. Die Ergebnisse gaben sowohl Aufschluss über die Entwicklung der thermischen Eigenspannungen, als auch über Ort und Höhe der wirkenden Spannungskomponenten. Ein wichtiges Resultat war, dass über 75% der relevanten Spannungskomponenten bereits bei der Abkühlung durch die induzierten thermischen Eigenspannungen entstehen. Weiterhin standen die Ergebnisse im

Einklang mit experimentell ermittelten Daten und mikroskopisch beobachteten Ereignissen. So konnte gezeigt werden, dass die herrschenden Spannungszustände in guter Annäherung die auftretenden Versagensmechanismen beschreiben.

Des Weiteren wurden mehrere neue Ansätze zur Ergebnisinterpretation verschiedener Testmethoden verfolgt. Diese Vorgehensweisen lieferten ebenfalls Informationen über den Status der Faser/Matrix-Grenzschicht. Es wurde insbesondere bei den in dieser Arbeit untersuchten neuartigen Harzsystemen deutlich, dass bisher gewonnenes Fachwissen auf dem Gebiet der Faser/Matrix-Grenzfläche nicht zwingend auf neue Materialkombinationen übertragbar ist. Ferner verweisen die Ergebnisse auf die Ernsthaftigkeit der Grenzschichtproblematik in FKV, da deutlich herausgearbeitet wird, wie breit das Spektrum sein kann, über das sich der Einfluss der Faser/Matrix-Grenzschicht erstreckt.

Abstract

Within this study, the potential of new polymer composites based on thermosets with hybrid and interpenetrating structures and carbon fibres was analysed. The motivation was to investigate new, innovative resin systems with regard to their use as matrix materials for producing continuous fibre reinforced composites by liquid composite moulding techniques. Here, attention should be paid particularly on the formation of the fibre/matrix-interphase and its influence on the performance of the composites.

The matrix systems used were a vinylester-urethane-hybrid resin (VEUH), a liquid rubber (ETBN) modified VEUH and a combination of vinylester and epoxy (VE/EP), whereas the latter forms an interpenetrating network structure. After characterisation of the pure resins and the selection of a suitable carbon fibre, laminates were produced by resin transfer moulding (RTM) and filament wet winding technique.

It was found, that the application of conventional, micromechanical testing methods, normally used for characterisation of the fibre/matrix-interphase, did not deliver satisfying results in order to draw conclusions to the macromechanical behaviour of the laminates. However, fibre bundle tests were alternatively established, which should act as a “link” between micro- and macromechanics. Apparently, the transverse-tensile fibre bundle test (QFT) seemed to react rather sensitive to changes in the interphase as a result of taking mesomechanical aspects into consideration as well. The results reflected the tendencies obtained by the macromechanical tests.

In order to learn more about the location and the extent of the acting stresses in the QFT, and, additionally the evaluation of the thermal residual stresses, a macro/micro model was prepared for a finite element analysis. The general aim regarding macro/micro models for composite materials is to study the microstructure as part of the macro structure, i.e. to study the behaviour of the fibre-matrix microstructure as a segment of the macroscopic part. Studying the history of the developing stresses showed, that the larger fraction of the total stresses until failure occurs (up to 75%) was due to the implicated thermal residual stresses. Moreover, the FE-results were consistent with experimental data and experimentally observed events. The distribution of the acting shear stresses and normal stresses were in good agreement

with the failure mechanisms observed by fractographical analysis of tested specimens.

Furthermore, it has been followed several new approaches to interpret the results of different testing methods in relation to fibre/matrix-interphase characterisation. It became apparent, that the knowledge about the fibre/matrix interface gained up to now can not be compulsory transferred to new material combinations. Since it was highlighted, how broad the spectrum of the influence of the fibre/matrix-interphase can be, the outcome of this work emphasises the seriousness of interphase-phenomena in polymer fibre composites.