ETH zürich

ETH Library

Structure-property relations in plain weft-knitted fabric reinforced composites (KFRCs) preparing for load bearing implants

experimental study and beam model approach

Doctoral Thesis

Author(s):
Haan, Johannes Wilhelmus <<de>>

Publication date:
1999

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-002063379

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Thesis ETH No 13042

STRUCTURE-PROPERTY RELATIONS IN PLAIN WEFT-KNITTED FABRIC REINFORCED COMPOSITES (KFRCs) PREPARING FOR LOAD BEARING IMPLANTS: EXPERIMENTAL STUDY AND BEAM MODEL APPROACH

Dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by

JOHANNES WILHELMUS DE HAAN

Dipl. Mech. Eng. TU Eindhoven
born April 25th, 1970
citizen of Oud-Beijerland, the Netherlands

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. E. Wintermantel, examiner
Prof. Dr. K. Friedrich, co-examiner
1999

SUMMARY

Textiles as reinforcement in composite materials offer structural variability. The flexibility, however, complicates the general understanding of their mechanical behaviour. Generalised models have been developed in order to predict the properties of all textile structures and, in many cases, lead to satisfactory results.

Knitted fabrics reinforced composites (KFRCs) offer a wide range of loop forms. The flexibility of the loop on one hand, enhances superior drapability, but, on the other hand, complicates the prediction of composite properties. The present study describes a large number of observations made on a range of short and long-term experiments. These observations recommend loop and bundle geometry based consideration of the mechanical behaviour. This resulted in the development of a curved beam model for predicting in-plane properties.

Experimental studies varying material and testing parameters were conducted in order to characterise the in-plane mechanical behaviour of KFRCs. The experiments focused on the tensile behaviour of carbon fibre/polyetheretherketone (CF/PEEK) and CF/polyamide 12 (CF/PA12), with CF/epoxy as a reference system. The experimental data were interpreted using frequently applied polymer composite principles. The experiments demonstrated that besides loop geometry, the mechanical properties are matrix directed: By increasing the temperature of CF/PA12 above the glass transition temperature of PA12 a modulus reduction in wale direction of 35 % was found. Further, identical properties in mono- and multilayer experiments indicated that multilayer interaction is limited.

Investigation of the fracture behaviour by SEM revealed that the fibre bundles were released from their environment during the fracture process. In CF/epoxy the bundles were released completely, whereas in CF/PEEK staple yarn specimens the bundles were only partly released resulting in a compact fracture area. Generally, bundles did not fail in transverse direction, although in some cases splitting was observed. The degree of splitting increased dramatically, however, after fatigue loading of the specimens.

The mechanical model developed to support the interpretation of the experimental observations emphasizes the central function of the fibre bundle with regard to the mechanical behaviour. Both the geometry of the loop and the dimension of the cross-section of the bundle are major structural parameters which determine the material response. The validity of the model was investigated for the wale direction. The correlation found between the presented model and experimental results was superior to those with models described in literature. Nevertheless, further development is necessary, integrating shear and compression stresses in the intermeshing fibre bundles.

KFRCs are fascinating materials with their damage tolerant behaviour and design flexibility. Combined with in-plane mechanical properties positioned between woven and short fibre materials and the implicit description of the mechanical behaviour with the beam model, they offer a reliable perspective for a large number of future applications.

ZUSAMMENFASSUNG

Textile Verstärkungsstrukturen weisen eine grosse strukturelle Variabilität auf. Diese Variabilität erschwert aber das allgemeine Verständnis ihres mechanischen Verhaltens. Generalisierende Modelle wurden entwickelt um die mechanischen Eigenschaften textiler Strukturen vorherzusagen und führten oft zu sehr befriedigenden Resultaten.

Die textile Verarbeitung ermöglicht die Herstellung unterschiedlichster Gestrickstypen. Die Flexibilität der Gestrickstruktur führt einerseits zu einer guten Drapierbarkeit, anderseits wird dadurch die Vorhersagbarkeit der mechanischen Eigenschaften erschwert. In der vorliegenden Arbeit werden Kurz- und Langzeitexperimente beschrieben. Die daraus gewonnenen Erkentnisse konnten mit den existierenden generalisierenden Modellen nicht ausreichend beschrieben werden. Aus diesem Grund wurde ein Biegebalken-Modell entwickelt um die planaren mechanischen Eigenschaften der untersuchten KFRCs vorherzusagen.

In einer Versuchsreihe wurden Strick- und Prüfparameter variiert. Als Werkstoff wurden Kohlenstoffaser-Polyetheretherketon (CF/PEEK) und CF/Polyamid (CF/PA12) und CF/Epoxy als Referenzmaterial untersucht. Die experimentell gefundenen Daten wurden mit Hilfe von klassischen Verbundwerkstoff-Charakterisierungsmethoden interpretiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die mechanischen Eigenschaften nicht nur von der Maschengeometrie, sondern auch von der Matrix abhängen: Bei einer Erhöhung der Temperatur über die Glasübergangstemperatur von PA12, reduzierte sich der E-Modul von CF/PA12 um 35 %. Weiterhin zeigten die Experimente, dass die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Gestrickslagen nur gering sein kann.

Die Untersuchung des Bruchverhaltens ergab, dass sich die Faserbündel während des Bruchprozesses vom umgebenden Verbund gelöst hatten: In CF/epoxy wurden die Bündel vollständig, in CF/PEEK aus Stapelgarnen nur teilweise freigelegt, was zu einer kompakteren Bruchfläche führte. Generell versagten die Bündel nicht in transversaler Richtung, obwohl in einigen Fällen Spaltbrüche festgestellt wurden. Nach Ermüdung der Proben, nahm die Anzahl der Spaltbrüche stark zu.

Ein Modell wurde entwickelt um die experimentellen Ergebnisse zu erklären und um das mechanische Verhalten von KFRCs vorhersagen zu können. Das Modell betont die zentrale Funktion des Faserbündels: die Geometrie der Masche und die Dimension des Bündelquerschnitts sind die entscheidenden Strukturparameter, welche die mechanischen Eigenschaften bestimmen. Die Gültigkeit des Modells wurde ausschliesslich für die Maschenrichtung des Gestricks überprüft. Es wurde eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Experimente gefunden. Eine Weiterentwicklung des Modells ist jedoch nötig um Scher- und Kompressionsspannungen, welche in der Verschlaufung auftreten, berücksichtigen zu können.

Gestrickverstärkte Verbundwerkstoffe haben mechanische Eigenschaften, welche zwischen denen von Geweben und Kurzfaserverstärkungen liegen. Zusammen mit ihrem schadenstoleranten Verhalten, der Konstruktionsflexibilität und dem geometrie-abhängigen Modell sind KFRCs eine faszinierende Perspektive für neue, innovative Anwendungen.