
Kurzfassung

Die Nähtechnik in Verbindung mit Harzinfusions- und -injektionstechniken eröffnet ein erhebliches Gewichts- und Kosteneinsparpotential primär belasteter Strukturbauteile aus Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffen. Dabei ist es unter bestimmten Voraussetzungen möglich, durch Vernähungen gezielte Steigerungen mechanischer Eigenschaften zu erreichen. Ein genaues Verständnis wirksamer Zusammenhänge bezüglich der Änderung mechanischer Kennwerte verglichen mit dem unvernähten Verbund ist unverzichtbar, um einen Einsatz dieser Technologie im zivilen Flugzeugbau voranzubringen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine breit angelegte experimentelle Parameterstudie zum Einfluss verschiedener Nähparameter auf Scheiben-Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften von kohlenstofffaserverstärkten Epoxidharzverbunden unter Zug- und Druckbelastung durchgeführt. Neben der Stichrichtung, der Garnfeinheit, dem Nahtabstand und der Stichlänge wurde auch die Belastungsrichtung variiert. Bei einigen Parametereinstellungen konnten keine Änderungen des Elastizitätsmoduls oder der Festigkeit in der Laminebene festgestellt werden, wohingegen in anderen Fällen Reduktionen oder Steigerungen um bis zu einem Drittel des Kennwerts des unvernähten Laminats beobachtet wurden. Dabei ist vor allem der Einfluss der Garnfeinheit dominierend.

Die Fehlstellenausbildung infolge eines Stichts in Abhängigkeit der gewählten Parameter und der Orientierung der Einzelschicht wurde anhand von Schlibbildern in der Laminebene untersucht. Ein erheblicher Einfluss der einzelnen Parameter auf die Fehlstellenausbildung ist festzustellen, wobei wiederum die Garnfeinheit dominiert. Anhand der Ergebnisse der Auswertung der Fehlstellenausbildung in den Einzelschichten wurde ein empirisches Modell generiert, womit charakteristische Fehlstellengrößen wie die Querschnittsfläche, die Breite und die Länge in Abhängigkeit der genannten Parameter berechnet werden können.

Darauf aufbauend wurde ein Finite-Elemente-Elementarzellenmodell generiert, mit welchem Scheiben-Elastizitätsgrößen vernähter Lamine abgeschätzt werden können. Neben der Berücksichtigung der genannten Nähparameter ist der zentrale Aspekt hierbei die Beschreibung eines Stichts in Form von Reinharzgebiet und Faserumlenkungsbereich in jeder Einzelschicht.

Abstract

Stitching technology in combination with Liquid Composite Molding techniques offers a possibility to reduce significantly weight and costs of primarily loaded structural parts made of Fiber Reinforced Polymers. Thereby, it is possible to enhance mechanical properties simultaneously. It is essential to understand effective correlations of all important parameters concerning changes in mechanical characteristics due to additional stitching if stitching technologies have to be established in the civil aircraft industry.

In this thesis, a broad experimental study on the influence of varying stitching parameters on the membrane tensile and compressive modulus and strength of carbon fiber reinforced epoxy laminates is presented. The direction of stitching, thread diameter, spacing and pitch length as well as the direction of testing had been varied. In some cases, no changes in modulus and strength could be found due to the chosen parameters, whereas in other cases reductions or enhancements of up to 30 % compared to the unstitched laminate were observed. Thereby, the thread diameter shows significant influence on these changes in mechanical properties.

In addition, the stitch and void formation in the thickness direction due to the stitching parameters was investigated by evaluating micrographs in each layer of the laminate. Again, the thread diameter showed an outstanding influence on the characteristics of matrix pure area (void) and fiber disorientation. A mathematical model was evaluated in order to predict in-plane characteristics of stitches and voids, from which the cross sectional area, the width and the length of a void due to the chosen stitching parameters can be derived.

Finally, a Finite Element based unit cell model was established to calculate elastic constants of stitched FRP laminates. With this model it is possible to consider a stitch as a matrix pure region and additionally an area of in-plane fiber disorientation depending on the stitching parameters as introduced above. The model was validated using the experimental data for tensile and compressive loading.

The outstanding flexibility of this FE unit cell approach is shown in a parametric study, where different void formations as well as stitching parameters were varied in a stitched, unidirectional laminate. It was found that three different aspects influence significantly the in-plane elastic constants of stitched laminates. First of all, the

stitching parameters as well as the laminate characteristics define the shape of the unit cell including the areas of the stitch and the fiber disorientation. Secondly, stitching changes the fiber volume fraction in all layers, which causes changes in elastic properties as well. Thirdly, the type and the direction of loading has to be considered, because each change in the architecture of the laminate results in different effects on the in-plane elastic constants namely tensile, compressive or shear moduli as well as the Poisson's ratios.