

Kurzfassung

Bei der Herstellung hochbelasteter Strukturbauteile aus Faser-Kunststoff-Verbund (FKV) wird verbreitet auf textile Halbzeuge wie Gewebe oder vernähte Biaxial-Gelege zurückgegriffen. Diese Halbzeuge zeigen im Verbund mit Kunststoffen periodische out-of-plane Rovingwelligkeiten. Die Größe der Welligkeiten hängt unter anderem von den Fertigungsparametern der trockenen Halbzeuge ab. Durch das Verständnis der effektiven Kausalitäten zwischen Rovingwelligkeiten und mechanischem Verhalten soll eine bessere rechnerische Abschätzung der Materialkennwerte erzielt werden.

In dieser Arbeit wurde unter anderem der Einfluss der Welligkeitsparameter Amplitude und Wellenlänge auf die faserparallelen Kennwerte an unidirektional verstärkten Proben untersucht. Dafür wurden gezielt unterschiedliche Amplituden und Wellenlängen mit Hilfe von unidirektionalen Geweben in die Probekörper eingebracht. Der Einfluss der Rovingwelligkeiten auf die Steifigkeiten war kleiner als auf die Festigkeiten. Bei Letzten war zu beobachten, dass die Druckfestigkeiten mehr von den Ondulationen beeinflusst wurden als die Zugfestigkeiten. Außerdem wurden die Welligkeiten und die mechanischen Kennwerte von textilen FKV-Geweben und -Gelegen bestimmt. Bei der Auswahl der untersuchten Halbzeuge war ein wichtiges Kriterium, dass diese auch in der Praxis Anwendung finden.

Im nächsten Schritt wurde ein vereinfachtes Finite-Elemente-Welligkeitsmodell entwickelt, welches es ermöglicht, die faserparallelen Kennwerte ohne zeit- und kostenintensive Materialversuche zu bestimmen. Speziell für Gewebe-Materialien mit großen Rovingwelligkeiten ist dieses Modell in der Lage, deutlich bessere Abschätzungen als vorhandene Methoden zu geben. Weiterhin wurde auf dieser Basis ein Regressionsmodell für unidirektional verstärkte Materialien abgeleitet, welches auch dem Konstrukteur ohne Erfahrungen im Umgang mit Finiten-Elemente-Programmen die Anwendung des Welligkeitsmodells ermöglicht.

Der Vorteil des entwickelten Welligkeitsmodells wurde in einem dreistufigen Validierungsprogramm nachgewiesen. Dieses beinhaltet den Übergang auf multidirektionale Lamine sowie komplexere Bauteilgeometrien. Die verbesserte Prognose mit Hilfe des Welligkeitsmodells zeigte sich vor allem bei Materialien mit großen Rovingwelligkeiten und bei Bauteilen die aufgrund eines Faserbruchs durch eine Druckbelastung versagten.

Abstract

For manufacturing of high-loaded structural components made of fiber reinforced plastics (FRP) the usage of textile semi-finished products such as woven or biaxial non-crimped fabrics is widespread. These semi-finished products are showing periodic out-of-plane roving waviness. Among other things, the magnitude of the waviness depends on the manufacturing parameters of the dry semi-finished. The understanding of the effective causalities between the roving waviness and the mechanical behavior should enable a better computational estimation of the material properties.

Therefore, the influence of the waviness parameters amplitude and wavelength on fiber-parallel properties was investigated in unidirectional reinforced specimens. For this purpose samples with different intentionally introduced amplitudes and wavelengths were fabricated by using unidirectional fabrics. The influence of roving waviness on the stiffness was less noticeable than on the strengths. In the latter case it was observed that the compressive strengths were more affected by the undulations than the tensile strengths. Furthermore, the undulations and the mechanical properties of textile FRPs were determined. An important criterion for the selection of the semi-finished products was that those are also found in practical applications.

In a next step a simplified finite element waviness model was developed, which allows determining the fiber-parallel properties without any cost- and time-expensive material tests. Especially for woven fabrics with high undulations this model is able to make significantly better estimates than existing methods. Additionally, a regression model for unidirectional reinforced materials was derived on this basis. This also provides access to the waviness model for engineers without any experiences in using finite element method.

The benefit of the developed waviness model was shown in a three-stage validation program. This includes the transition to multidirectional laminates as well as more complex component geometries. By using the waviness model an improved estimation was observed especially for materials with high undulations and for components that failed due to fiber breakage caused by pressure loading.