

Kurzfassung

Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) sind in der Luftfahrt etabliert, wohingegen andere Branchen diese aufgrund der hohen Kosten nur zögerlich einsetzen. Die hohen Betriebskosten von Flugzeugen, die sich vorrangig durch Leichtbau reduzieren lassen, erlauben kostenintensivere Lösungen als die Kostenstrukturen in anderen Branchen. Die Mehrkosten sind neben dem Leichtbau der entscheidende Faktor für den Einsatz von FKV-Strukturen außerhalb der Luftfahrtbranche. Während in der Luftfahrtbranche üblicherweise Niete zur Krafteinleitung eingesetzt werden und diese nur eine Demontage eines Bauteils durch Aufbohren zulassen, genügen Niete den Ansprüchen anderer Branchen nicht, da ein hoher Demontageaufwand durch das Aufbohren hohe Kosten mit sich zieht. Aus diesem Grund erfordert es preisgünstige und qualitative Lösungen, die eine lösbare Verbindung ermöglichen. In den meisten Branchen werden daher, im Gegensatz zur Luftfahrt, traditionell reibschlüssige Schraubenverbindungen für metallische Bauteile verwendet. Für reibschlüssige Schraubenverbindungen, die zur Krafteinleitung in FKV-Strukturen genutzt werden, sind dem Stand der Forschung nach kaum Erkenntnisse vorhanden.

Daher ist es Gegenstand dieser Arbeit aufzuzeigen, wie durch eine Erhöhung des Reibwerts bei reibschlüssigen Krafteinleitungen in FKV-Bauteilen eine Verbesserung der statischen und zyklischen Verbindungsfestigkeit erreicht werden kann. Um den zuverlässigen Einsatz von reibschlüssigen Schraubenverbindungen zu ermöglichen, werden außerdem die maximal zulässige Flächenpressung und der Vorspannkraftverlust an FKV-Proben ermittelt. Dabei bilden experimentelle Ergebnisse eine Basis, anhand derer aufgezeigt wird, inwieweit analytische Modelle genutzt werden können, um die reibschlüssige Krafteinleitung in FKV abzubilden.

Zunächst wird der Haftreibwert zwischen Stahl und FKV experimentell untersucht, um Konzepte zur Steigerung des Reibwerts zu quantifizieren. Durch die experimentelle Ermittlung einer maximal zulässigen Flächenpressung für die verwendeten FKV-Materialien werden Schädigungen infolge zu hoher Vorspannkraft vermieden. Dazu werden FKV-Proben mit einem Stempel belastet und mit Hilfe der Schallemissionsmethode Schädigungen detektiert, zu dem Zweck eine Belastungsgrenze zu definie-

ren. Versuche zur Bestimmung des Vorspannkraftverlusts an FKV-Proben zeigen, dass die Vorspannkraft durch Setzen und Kriechen zwar reduziert wird, dies aber in vertretbarem Maße. Darüber hinaus lässt sich in den Versuchen beobachten, dass das Setzen deutlich von der Oberflächenbeschaffenheit bestimmt wird. Um die Einflüsse des Matrixwerkstoffs, des Reibwerts, der Passung und der Vorspannkraft auf die Kraftübertragung in der Schraubverbindung zu prüfen, werden außerdem doppellaschige Zugscherversuche durchgeführt.

An geklemmten FKV-Bauteilen im Fahrradbau lassen sich Defizite bei der Auslegung dieser Bauteile und ihrer Anbindungstechnologie feststellen. Da der Verbindung zwischen Vorbau und Gabelschaft besondere sicherheitsrelevante Bedeutung zukommt, wird eine marktübliche Gabelschaft-Vorbau-Klemmung im Rahmen dieser Arbeit experimentell und numerisch auf die Belastungen durch die Montage sowie im Betrieb untersucht. Es kann dargelegt werden, dass ein komplexer Belastungszustand in der genannten Klemmverbindung vorliegt, der numerisch abgebildet werden kann. Auf Basis des validierten Finite-Element-Modells kann gezeigt werden, dass die Steigerung des Reibwerts ein deutliches Potential aufweist um die Werkstoffanstrengung zu reduzieren. Zur experimentellen Absicherung dieser Beobachtung, werden quasi-statische und zyklische Untersuchungen an Vorbau-Gabelschaft-Baugruppen durchgeführt, bei denen der Reibwert durch die Applikation von Schmierfett und Carbonmontagepaste variiert wird. Durch die Verwendung von Carbonmontagepaste bzw. bei einem höheren Reibwert steigt sowohl die quasi-statische Festigkeit als auch die Lebensdauer im Vergleich zum Einsatz von Schmierfett deutlich an.

Abstract

Fiber reinforced plastics (FRP) are well established materials in the aviation industry, whereas in other industries these materials are not yet this commonly used due to the comparatively high costs. The high operating costs of aircrafts can be reduced primarily through lightweight design, which allows the choice of more expensive solutions than in other industries. The additional costs are beside the weight savings the deciding factor for the use of FRP structures beyond the aviation sector. Since normally rivets are used in the aviation industry to join components, the dismantling of these riveted structures needs drilling. Hence rivets are insufficient for the demands of other sectors due to the high disassembly costs caused by the high disassembly effort. For this reason affordable solutions that permit an easy disassembly procedure are essential for a wider application of FRP structures. Therefore – in most sectors – preloaded bolted joints are used for the assembly of metallic components, in contrast to aviation. For preloaded bolted joints in combination with FRP structures almost no information is available by the current state of scientific knowledge

Therefore in this work it is investigated how an improvement of the static and cyclic connection strength can be achieved by increasing the coefficient of friction at preloaded bolted joints on FRP components. To enable a reliable application of preloaded bolted joints the maximum allowable surface pressure and the loss of the preload force of FRP specimens are determined. Therefore experimental results provide the basis to study if analytical computation can be used to describe bolted joints on FRP structures.

The coefficient of friction between steel and FRP is experimentally investigated in order to quantify concepts that aim to increase the coefficient of friction. An experimental determination of the maximum permissible surface pressure of the used FRP materials avoids damage by excessive bolt preload. Therefore FRP specimens are tested and a simultaneous detection of damage is performed by using the acoustic emission method.

An experimental investigation of the loss of bolt preload shows that the preload is reduced by embedding and material relaxation but in an acceptable manner. In addi-

tion it can be observed that the embedding of the contact surfaces is significantly dependent on the surface condition of the specimens. To analyze the influence of the matrix material, the coefficient of friction, the clearance and the bolt preload to a bolted joint, double lap tensile shear tests are performed.

Clamped FRP components used on bicycles show shortcomings in the design of these components and their connection technology. Since the connection between stem and steerer has a significant impact on safety, a standard stem/steerer connection is investigated both experimentally and numerically considering the stresses during the assembling as well as during operation. It can be demonstrated that this connection has a complex load condition and a finite element analysis can describe this connection sufficiently. Based on the validated finite element model it can be shown that an increasing coefficient of friction has a significant potential for the reduction of the material effort of the FRP steerer.

To validate these theoretical observations, quasi-static and cyclic tests on stem/steerer assemblies are carried out. Thereby the coefficient of friction is varied by the application of grease and carbon assembly paste. By the use of carbon assembly paste (high coefficient of friction) both the quasi-static strength as well as the operating life increases in comparison to the use of grease (low coefficient of friction).