

Versuchsbeschreibung

Der Einfluss der Bearbeitungsgüte bei der Bohrbearbeitung auf das Festigkeitsverhalten von quasiisotropem CFK M21/T800S 268 g/m² unter statischer Kerbzug- und Kerbbiegebeanspruchung wurde untersucht.

Versuchsbedingungen

Material:

Quasiisotrope CFK-Gelege aus HexPly® M21/T800S 268 g/m² [0/45/90/-45]_{2s} hergestellt im Heißpressverfahren (HP).

Zerspanung

Die CFK-Proben wurden fest eingespannt und ohne Zugabe von Kühlschmiermittel auf CNC-Maschinen gebohrt. Unterschiedliche Bohrlochqualitäten wurden durch den Verschleißzustand der verwendeten Bohrwerkzeuge erzeugt und durch den flächengewichteten Delaminationsfaktor DF_A beschrieben.

Tabelle 1: Zerspanungsparameter für die Bohrbearbeitung.

Setup	Werkzeug	Hersteller	Spitzenwinkel	Schnittgeschwindigkeit	Vorschub
A	Spiralbohrer $\varnothing = 6,0$ mm	MAPAL Dr. Kress KG	$\theta = 90^\circ$	$n = 5000 \text{ min}^{-1}$ $v_c = 94 \text{ m/min}$	$f = 0,07 \text{ mm/U}$ $v_f = 350 \text{ mm/min}$
B	Stufenboher $\varnothing = 5,9$ mm	Klenk GmbH & Co. KG	$\theta = 85^\circ$	$n = 5305 \text{ min}^{-1}$ $v_c = 100 \text{ m/min}$	$f = 0,06 \text{ mm}^U$ $v_f = 318 \text{ mm/min}$

Mechanische Prüfung

Die mechanische Festigkeit wurde in wegkontrollierten Zug- (OHT) und Biegeversuchen (OHB) mit offenem Bohrloch an einer Universalprüfmaschine vom Typ Schenck RSA100 ermittelt und mit DF_A korreliert.

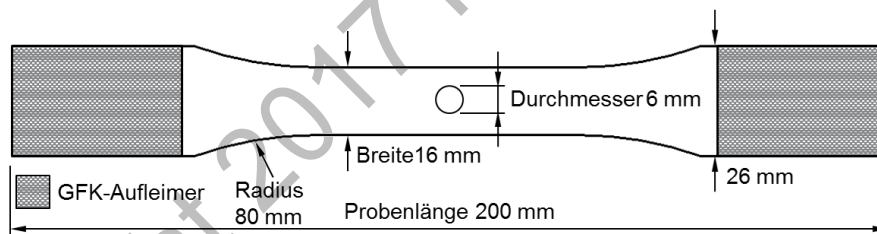


Abbildung 1: Probengeometrie der OHT-Versuche.

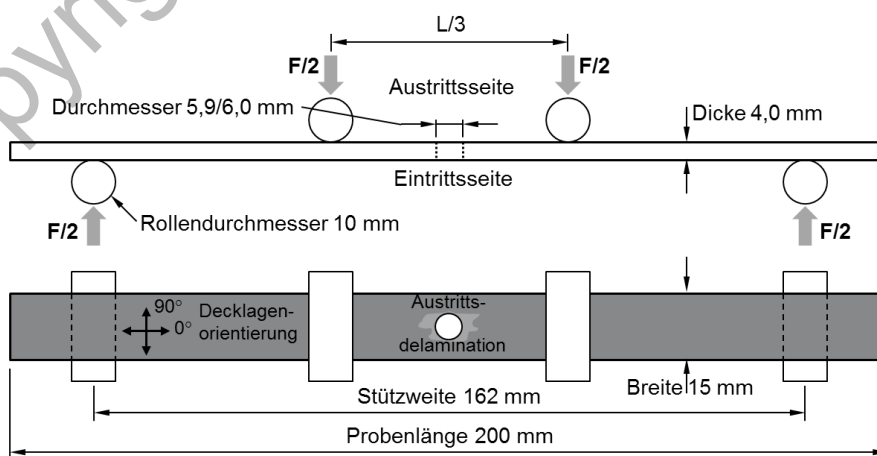


Abbildung 2: Versuchskonfiguration der OHB-Versuche.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Kerbzugfestigkeit zeigt keine Abhängigkeit von der Bearbeitungsqualität. Die ermittelten Festigkeiten schwanken unabhängig von der Delaminationsgröße um einen Mittelwert von rund 750 MPa. Unter Vierpunktbiegebeanspruchung zeigt sich bei einer Decklagenorientierung von 0° hingegen ein Abfall der Festigkeit mit zunehmender Delaminationsgröße, wenngleich die Korrelation mit dem Delaminationsfaktor aufgrund der großen Streuung recht schwach ist. Im Mittel fällt die Festigkeit von einem Niveau um 890 MPa auf rund 735 MPa ab, was einem Verlust von ca. 17 % entspricht. Diese Abhängigkeit konnte in weiteren Versuchsreihen bestätigt werden. Bei einer Decklagenorientierung von 90° zeigt sich wiederum keinerlei Zusammenhang zwischen Festigkeit und Delaminationsgröße.

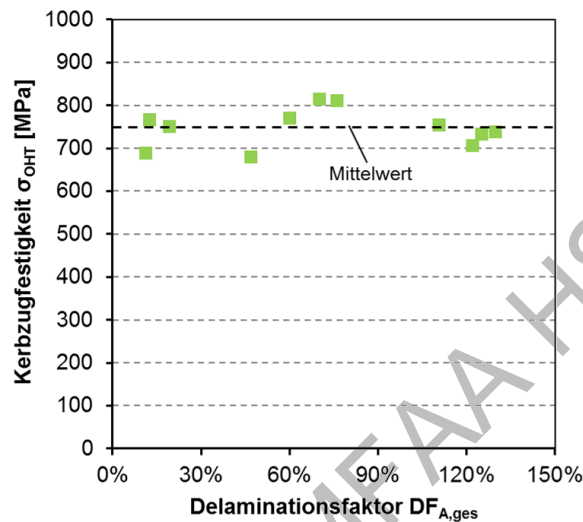


Abbildung 3: Kerbzugfestigkeiten in Abhängigkeit des Delaminationsfaktors DF_A (Ein- und Austrittsseite) von HP-CFK M21/T800S 268 g/m² [0/45/90/-45]_{2s}, Decklagenorientierung 0°.

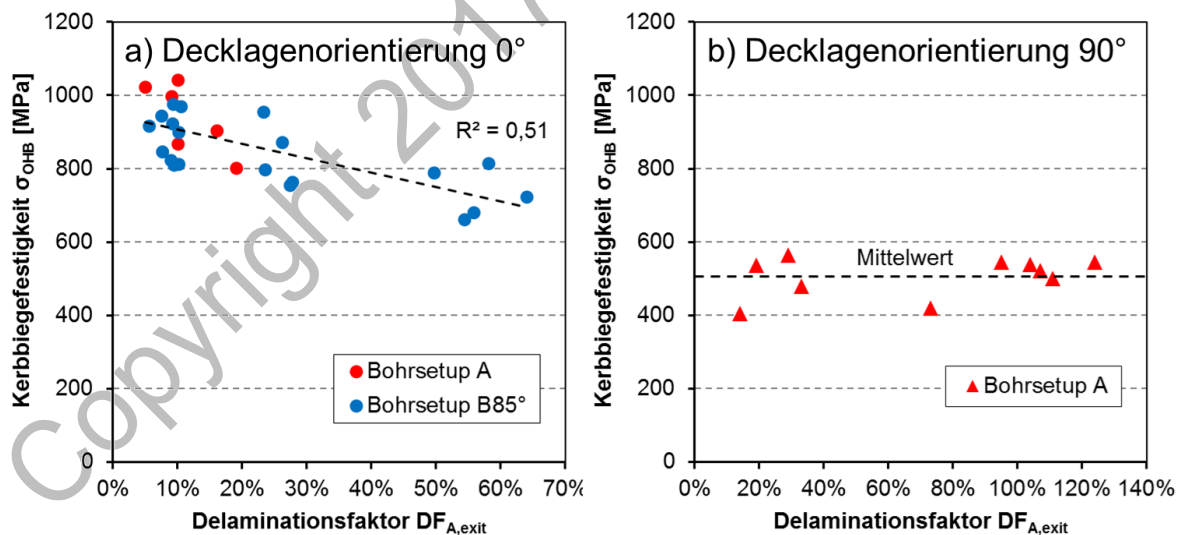


Abbildung 4: Kerbbiegefestigkeiten in Abhängigkeit des Delaminationsfaktors DF_A (Ein- und Austrittsseite) von HP-CFK M21/T800S 268 g/m² [0/45/90/-45]_{2s}, Decklagenorientierung a) 0°, b) 90°.

Schlussfolgerung

Die bearbeitungsinduzierte Delamination stellt in erster Linie eine Schädigung der Matrix dar. Die unter Zugbeanspruchung festigkeitsbestimmenden Fasern werden hingegen nicht nennenswert geschädigt, weshalb sich keine erkennbare Abhängigkeit zwischen der Bohrlochqualität und der Festigkeit zeigt. Das Bohrloch selbst stellt aufgrund der damit einhergehenden Faser-trennung und Kerbwirkung den größten Defekt in einem gebohrten Laminat dar.

Der Einfluss der Bearbeitung auf das Festigkeitsverhalten unter Biegebeanspruchung hängt im Wesentlichen vom Lagenaufbau der Lamine und der Belastungsrichtung ab. Nur wenn die bearbeitungsinduzierte Schädigung in hochbelasteten Lagen vorliegt, beeinflusst diese die resultierende Festigkeit der Lamine. Es sei angemerkt, dass gerade bei einer Decklagenorientierung von 0° in CFK-Gelegen, die Delamination nicht im Bereich des Probenversagens im Restquerschnitt vorliegt. Daher erlauben Delaminationsfaktoren generell nur eine eingeschränkte Vorhersage der Festigkeit, können aber als indirekte Schädigungs-kenngrößen für den Gesamtschädigungszustand des Bohrlochs herangezogen werden.

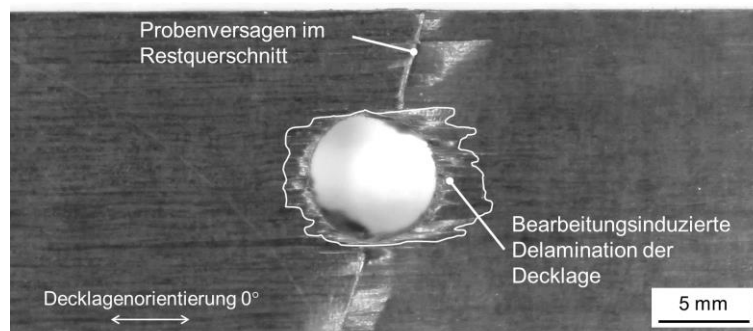


Abbildung 5: Druckspannungsseite (Bohrungsaus-tritt) einer gebrochenen OHB-Prob-e mit Push-down-Delamination

Weiterführende Dokumente

A. Haeger, *Einfluss herstellungs- und bearbeitungsinduzierter Fehlstellen auf das Festigkeitsverhalten kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe*, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (in Begutachtung)

A. Haeger, D. Meinhard, F. Lissek, M. Kaufeld, M. J. Hoffmann, G. Schneider, V. Knoblauch: *Interaction between laminate quality, drilling-induced delamination and mechanical properties in machining of CFRP*, Material Science Engineering Technology 47 (11), 2016

A. Haeger, G. Schoen, F. Lissek, D. Meinhard, M. Kaufeld, G. Schneider, S. Schuhmacher, V. Knoblauch: *Non-Destructive Detection of Drilling-induced Delamination in CFRP and its Effect on Mechanical Properties*, Procedia Engineering, Vol. 149, 2016