

Versuchsbeschreibung

Der Einfluss der Bearbeitungsgüte bei der Bohrbearbeitung auf das Ermüdungsverhalten von quasiisotropem CFK M21/T800S 268 g/m² unter dynamischer 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 Kühlschmiermittel auf einer CNC-Maschine vom Typ DMC 64 V (DMG Mori GmbH) gebohrt. Es wurde ein unbeschichteter Hartmetall-Stufenbohrer der Fa. Klenk GmbH & Co. KG mit einem Spitzenwinkel von 85° verwendet. Unterschiedliche Bohrlochqualitäten wurden durch den Verschleißzustand des Bohrers erzeugt und durch den Delaminationsfaktor DF_A charakterisiert.

Biegemüdigungsversuche

Die Biegemüdigungsversuche wurden analog zu den statischen OHB-Versuchen (vgl. Beitrag 4.4) in einer Exzenterbiegevorrichtung durchgeführt. Die Proben wurden durchbiegungsgeregelt bei maximalen Durchbiegungen von 8,0/8,5/9,2 mm mit einer Prüffrequenz von 5 Hz schwelend beansprucht ($R=0,1$). Zur indirekten Detektion der Ermüdungsschädigung wurde der Steifigkeitsverlust der Proben bis $\Delta S = 20\%$ aufgezeichnet.

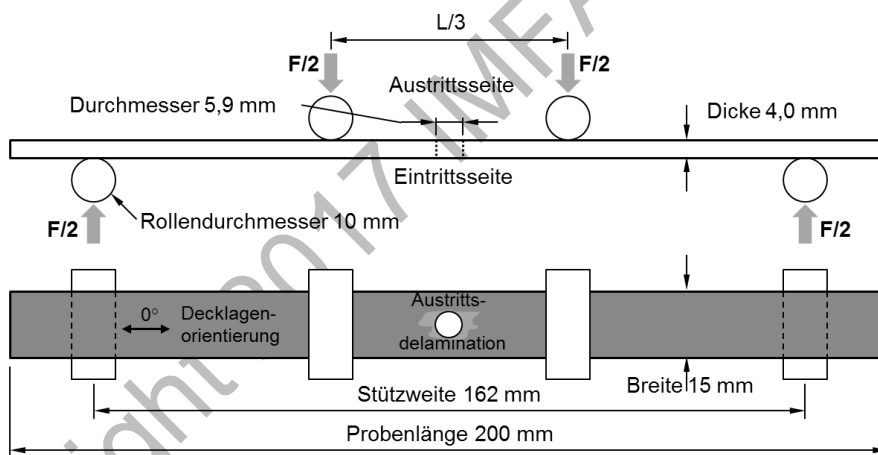


Abbildung 1: Versuchskonfiguration der dynamischen OHB-Versuche.

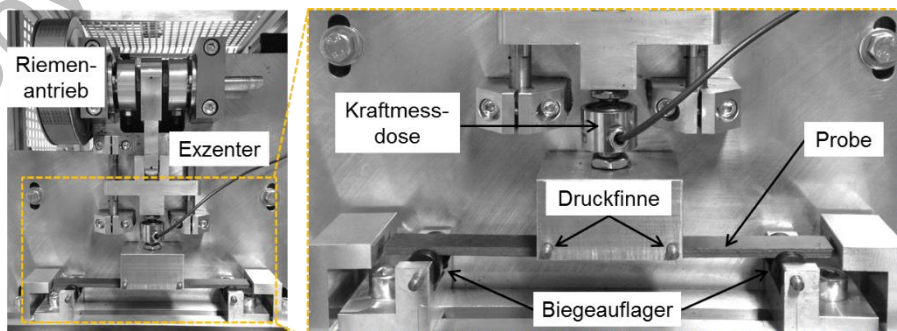


Abbildung 2: Exzenterbiegevorrichtung

Zusammenfassung der Ergebnisse

Unabhängig vom Belastungsniveau erfahren Proben mit einem Bohrloch niedriger Qualität im Mittel einen stärkeren initialen Steifigkeitsverlust (bis $\Delta S = 10\%$). Mit weiteren Verlauf der Ermüdungslebensdauer geht dieser Trend jedoch verloren. Bei der Biegeermüdung gebohrter CFK-Gelege treten im Wesentlichen zwei unterschiedliche Versagensarten auf: Das Multilagenversagen (MLV) bei hoher und das Delaminationsversagen (DV) bei niedriger Beanspruchungshöhe, sowie Mischformen dieser Typen. Im Falle von DV-dominiertem Versagen wird der Einfluss der Bearbeitung durch eine Vergrößerung der bearbeitungsinduzierten Schädigung in der Decklage unter Belastung deutlich.

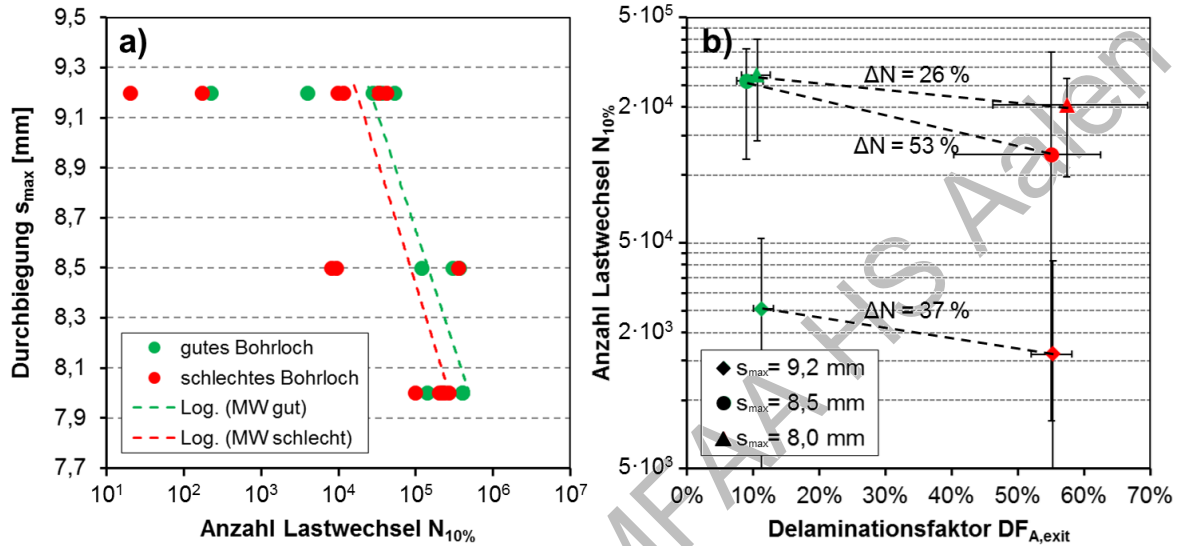


Abbildung 3: Ermüdungslebensdauer bis zu einem Steifigkeitsverlust von $\Delta S = 10\%$ „gutes“ vs. „schlechtes“ Bohrloch:

a) Wöhlerdiagramm Lastwechsel vs. Durchbiegung, b) Mittelwertauftragung der Lastwechsel über dem Delaminationsfaktors DF_A (Austrittsseite) von HP-CFK M21/T800S 268 g/m² [0/45/90/-45]₂₅.

Tabelle 1: Ergebniszusammenfassung – Unterschiede mittlere Lebensdauer

Durchbiegung s_{max}	Unterschiede mittlere Lastwechselzahl gutes vs. schlechtes Loch			
	$\Delta S = 5\%$	$\Delta S = 10\%$	$\Delta S = 15\%$	$\Delta S = 20\%$
9,2 mm	44 %	37 %	-29 %	>17 %
8,5 mm	50 %	53 %	17 %	36 %
8,0 mm	55 %	26 %	-7 %	-33 %

Tabelle 2: Einordnung der Versagensarten nach der Lebensdauer und Durchbiegung

$N_{20\%}$	Versagensart	s_{max} [mm]
$\leq 10^4$	reines Multilagenversagen (MLV)	9,2 / 8,5
10^4 bis 10^5	MLV-dominiertes Mischversagen (MLV/DV)	9,2 / 8,5
10^5 bis 10^6	DV-dominiertes Mischversagen (DV/MLV)	8,5 / 8,0
$\geq 10^6$	reines Delaminationsversagen (DV)	8,5 / 8,0

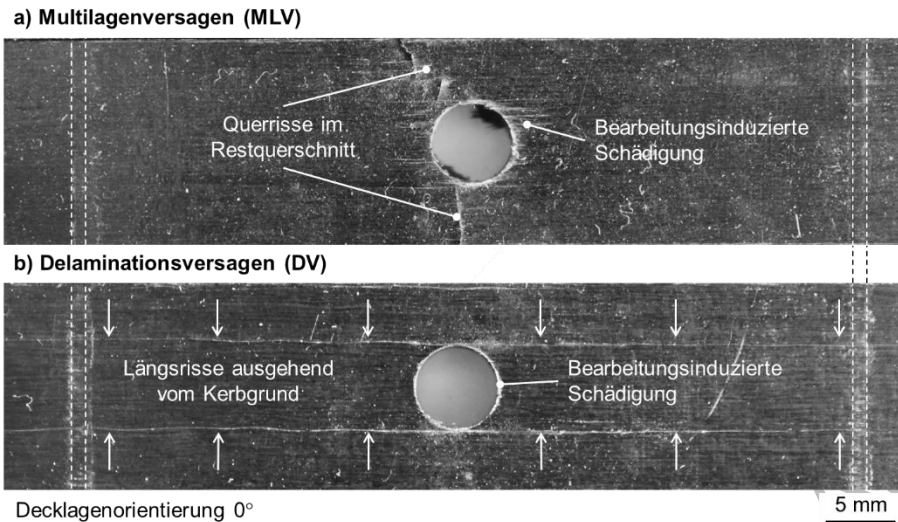


Abbildung 4: Makroskopisches Erscheinungsbild der Versagensarten MLV und DV

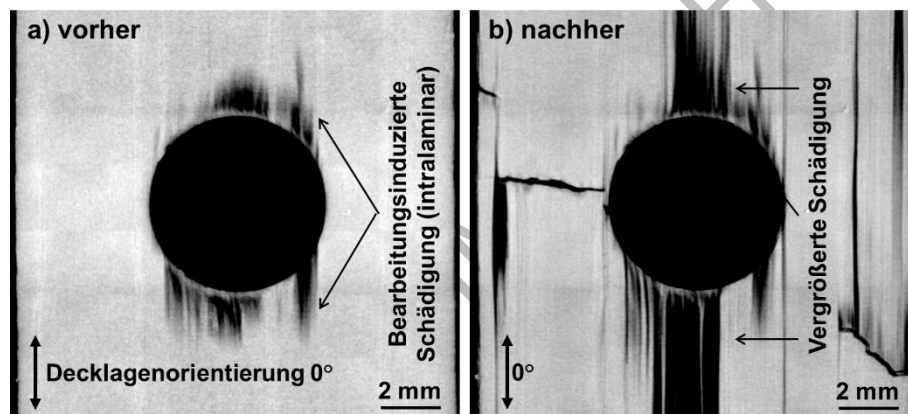


Abbildung 5: Veränderung der bearbeitungsinduzierten, intralaminaren Schädigung in der Decklage (Austrittsseite) durch die dynamische Biegeschwellbeanspruchung, „schlechtes Bohrloch“, $\Delta S = 20\%$, $s_{max} = 8,5$ mm, DV/MLV.

Schlussfolgerung

Das Ermüdungsverhalten unter dynamischer Biegeschwellbeanspruchung gebohrter CFK-Lamine wird durch die Bohrlochqualität mitbeeinflusst. Die Mechanismen der Ermüdungsschädigung werden mehr durch die Beanspruchungshöhe als durch die Präsenz bearbeitungsinduzierter Delaminationen beeinflusst. Aufgrund der starken Streuung in der Lebensdauer bedarf es probabilistischer Ansätze, wie die Betrachtung der Überlebenswahrscheinlichkeit, um die Zuverlässigkeit der gebohrten Lamine unter dynamischer Beanspruchung zu bewerten. Es werden weitere hochzyklischer Ermüdungsversuche (VHCF) bei geringeren Beanspruchungen benötigt, um die kritische Wirkung bearbeitungsinduzierter Materiaschädigung unter anwendungsnahen Bedingungen unter Beweis zu stellen.

Weiterführende Dokumente

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

A. Haeger, M. Grudenik, V. Knoblauch, *Effect on drilling induced damage on the flexural fatigue of CFRP*, International Journal of Fatigue (in Vorbereitung)