

Untersuchung zum Potential der Ultraschall-Phased-Array-Technik zur Charakterisierung von CFK-Klebverbindungen

Cornelius STÄHLE¹, Markus SCHWEIZER¹, Andreas OCKERT¹, Dieter MEINHARD¹,
Georgeta SCHÖN¹, Silvia SCHUHMACHER¹
¹ Hochschule Aalen - Technik und Wirtschaft, Aalen

Kurzfassung

Klebverbindungen gewinnen im Leichtbau mit Faserverbundkonstruktionen anhaltend höheren Stellenwert gegenüber herkömmlichen Fügeverfahren. Ein bedeutender Grund dafür ist die homogene Kraftübertragung durch die stoffschlüssige Fügeverbindung. Jedoch gibt es bei Klebverbindungen bisher keine gängigen Vorhersagemodelle für Lebensdauer und Ausfallverhalten. Die zerstörungsfreie Prüfung von geklebten Verbindungen ist weniger fortgeschritten im Vergleich zu anderen Fügeverfahren wie z.B. Nietverbindungen oder Schweißnähten. Ohne ein zuverlässiges zerstörungsfreies Prüfverfahren sind die Fügeflächen nach dem Verkleben nicht mehr einsehbar, weshalb bisher die einzige Qualitätskontrolle durch Prozessüberwachung realisiert werden kann.

In dieser Studie werden Untersuchungen zum Potential der Ultraschall-Phased-Array-Prüftechnik zur Charakterisierung von CFK-Klebverbindungen vorgestellt. Zur Verifikation der Erkenntnisse wurden Röntgen Computertomographie und Lichtmikroskopie hinzugezogen. Für die Herstellung der Klebverbindungen wurden 2 mm starke CFK-Proben mit unterschiedlicher Oberflächenbehandlung sowie zwei verschiedene Klebstoffarten verwendet. Untersucht wurden elastische CFK-Klebverbindungen mit einer Klebschichtdicke im einstelligen Millimeterbereich (Polyurethan-Klebstoff) sowie dünne (0,05 – 0,4 mm) strukturellen Klebungen (2-Komponenten Epoxidharzklebstoff). Der Einfluss des Klebstoffs und seiner Dicke auf die Ultraschallsignale werden zuerst untersucht. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Grenzflächen dünner struktureller Klebungen $\geq 0,3$ mm noch getrennt dargestellt werden können und eine Klebschichtdickenmessung bedingt realisierbar ist. Bei dünnen Klebschichten $\leq 0,2$ mm überlagern sich die Signale der Grenzflächen. Es zeigte sich die Tendenz, dass sich die Klebschichtdicke sowie die Vorbehandlung der Fügeflächen auf die Amplitudenhöhe des Ultraschallsignals auswirken. Dickenvariationen von 0,05 bis 0,15mm innerhalb der jeweiligen Klebeschichten konnten im Ultraschall-C-Scan qualitativ dargestellt werden. Des Weiteren konnten Fehler (Lufteinschlüsse) in der Klebschicht nachgewiesen werden.

Untersuchung zum Potential der Ultraschall-Phased-Array-Technik zur Charakterisierung von CFK-Klebverbindungen

Cornelius Stähle, Andreas Ockert, Dr. Georgeta Schön, Prof. Dr. Silvia Schuhmacher, Studiengang Oberflächentechnologie / Neue Materialien
Markus Schweizer, Dr. Dieter Meinhard, Institut für Materialforschung Aalen IMFAA
Hochschule Aalen – Technik und Wirtschaft; Studiengang; Beethovenstraße 1, 71430 Aalen

I. Einleitung

Klebverbindungen gewinnen im Leichtbau mit Faserverbundkonstruktionen anhaltend höheren Stellenwert gegenüber herkömmlichen Fügeverfahren. Die zerstörungsfreie Prüfung von geklebten Verbindungen ist weniger fortgeschritten im Vergleich zu anderen Fügeverfahren wie z.B. Nietverbindungen oder Schweißnähten. In dieser Studie werden Untersuchungen zum Potential der Ultraschall-Phased-Array-Prüftechnik zur Charakterisierung von CFK-Klebverbindungen vorgestellt. Zur Verifikation der Erkenntnisse wurden Röntgen Computertomographie hinzugezogen.

II. Vorgehen

- Herstellung von repräsentativen CFK-Klebverbindungen. Hierbei werden strukturelle Verklebungen auf Epoxidbasis und elastische Verklebungen aus Polyurethan unterschieden.
- Durchführung der Ultraschallmessungen mit dem Phased Array Messgerät *OmniScan MX 2* der Firma *Olympus*.
- Analyse der Ultraschall A-, B-, C- und D-Bilder im verklebten Bereich
- CT Aufnahmen der Verklebung und Verifizierung der Ultraschallmessdaten.

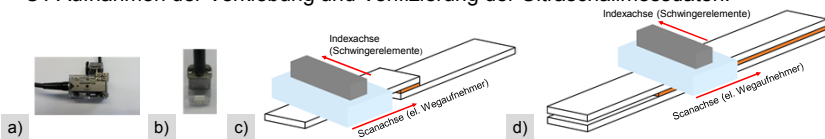


Abb. 1: Verwendete Prüfköpfe und Messanordnungen a) Prüfkopf 5L64; b) Prüfkopf 10L32; c) US-Messanordnung auf Single-Lap-Joint (SLJ) Zugprobe d) US-Messanordnung Double-Cantilever-Beam (DCB) Zugprobe

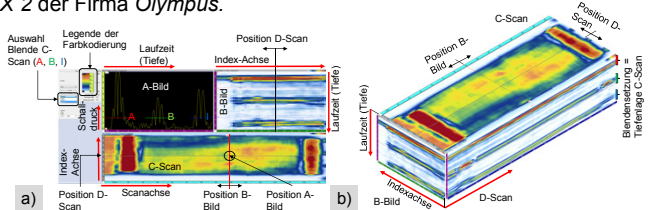


Abb. 2: Auswertung der Ultraschallmessung; a) Ansicht der Software Olympus TomoViewer; b) 3D-Ansicht der Ultraschalldarstellungen anhand einer Verklebung

III. Ergebnisse

Strukturelle Klebungen auf Epoxidharzbasis Klebschicht ≤ 200µm

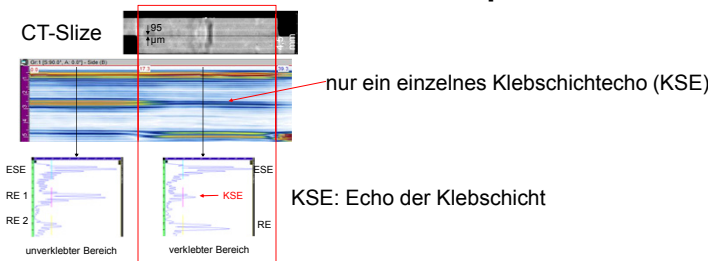


Abb. 3: Vergleich CT und US-Darstellung, Längsschnitt einer SLJ-Zugprobe Klebschicht < 200µm

Strukturelle Klebungen auf Epoxidharzbasis Klebschicht ≥ 300µm

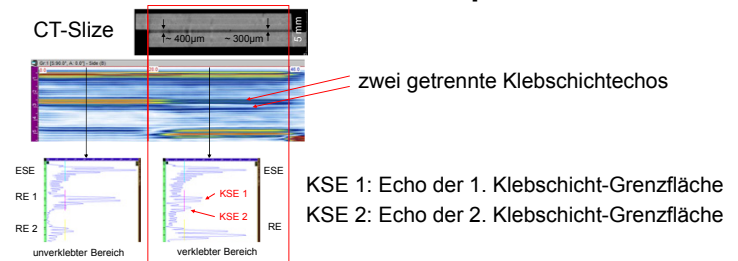


Abb. 5: Vergleich CT und US-Darstellung, Längsschnitt einer SLJ-Zugprobe Schicht > 300µm

Zusammenhang von US-Amplitudenhöhe des Klebschichtechos und der mit CT ermittelten Klebschichtdicke für Klebschichten ≤ 200 µm

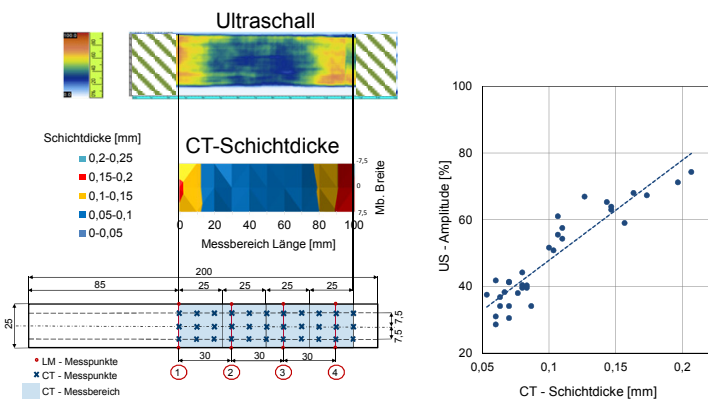
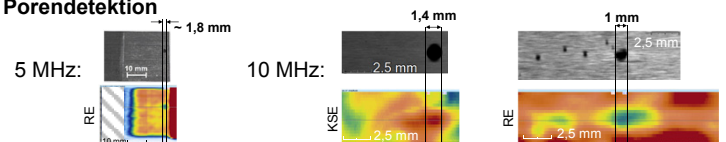


Abb. 4: Vergleich Ultraschall C-Scan mit Schichtdickenverteilung basierend auf CT-Messung, für DCB-Zugprobe (CT: 20 µm Voxelgröße)

Abb. 5: Zusammenhang US-Amplitudenhöhe mit Schichtdicke (aus CT-Messungen, Messanordnung Abb. 4 unten)

Porendetektion



Elastische Klebungen auf Polyurethanbasis

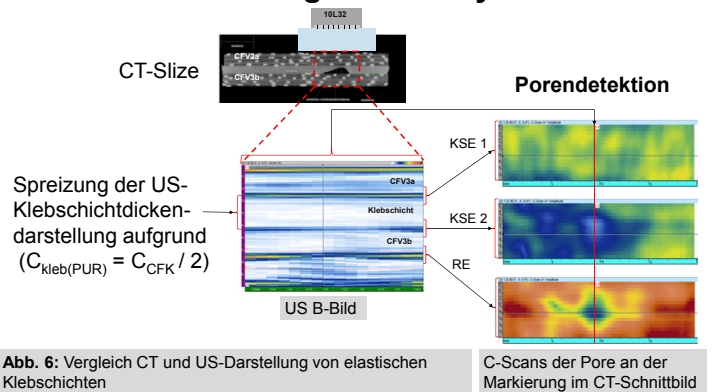


Abb. 6: Vergleich CT und US-Darstellung von elastischen Klebungen

IV. Fazit

Die Untersuchungen haben ergeben, dass bei dünnen strukturellen Klebschichten ≤ 0,2 mm die Ultraschallsignale der beiden Klebschichtgrenzflächen sich überlagern. Das resultierende US-Signal zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Amplitudenhöhe und Klebschichtdicke; Dickenvariationen von 0,05 bis 0,15 mm innerhalb der jeweiligen Klebschichten konnten mit US-Amplitudenauswertung dargestellt werden. Bei strukturellen Klebungen ≥ 0,3 mm können die Klebschichtgrenzflächen in 2 getrennten US-Echos dargestellt werden. Hier bietet sich die US-Laufzeitmessung zur Bestimmung der Klebschichtdicke an. Dies ist auch bei den elastischen Klebungen auf Polyurethanbasis der Fall, bei welchen der große Schallgeschwindigkeitsunterschied zu einer Spreizung der US-Klebschichtdickendarstellung führt. Des Weiteren konnten Poren (Luft einschüsse) in den Klebschichten nachgewiesen werden.