

Detektion und Bewertung von Delamination und Impact-Schäden an Faserverbundwerkstoffen

F. STARK*, T. KRELL**, C. GROSSE*, A. LAGO*

* Technische Universität München, Lehrstuhl Zerstörungsfreie Prüfung, Baumbachstraße 7, 81245 München

** Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe –
WIWEB, Institutsweg 1, 85435 Erding

Kurzfassung

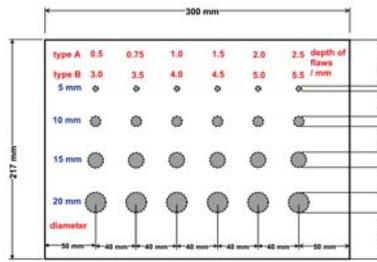
In der Luft- und Raumfahrt sowie im Automobilsektor stieg der Marktanteil von Faserverbundwerkstoffen in den letzten Jahren enorm, was zu neuen Herausforderungen in der Qualitätssicherung und Kontrolle dieser Werkstoffe und Bauteile führt. Ablösungen von Schichten (Delaminationen) in Verbundmaterialien, hervorgerufen durch einen Impact und/oder durch schadhafte Klebeverbindungen, stellen ein Problem dar und können aufgrund der Opazität und des anisotropen Aufbaus dieser Werkstoffe durch konventionelle zerstörungsfreie Prüfverfahren nur schwer oder gar nicht detektiert werden. Insbesondere die schnelle, bildgebende und quantitative Charakterisierung von Schäden in Faserverbundmaterialien als Grundlage von Reparaturmaßnahmen stellt eine besondere Herausforderung dar. In dieser Studie werden Untersuchungen an Faserverbundwerkstoffen mit kommerziell erhältlichen, bildgebenden Ultraschallprüfgeräten (Bondmaster[TM] und OmniScan[TM]) in unterschiedlichen Betriebsarten vorgestellt. Als Referenz zu den Ultraschallprüfungen wurden zusätzlich vergleichende thermographische Untersuchungen mittels Lock-in- und Puls-Phasen-Verfahren durchgeführt. Die Prüfungen erfolgten an verschiedenen Testkörpern (monolithische CFK-/GFK-Laminat bzw. CFK-/GFK-Sandwichstrukturen mit Wabenkern) mit künstlichen und natürlichen Fehlern. Als Testkörper dienten ebene Probenplatten mit Flachbodenbohrungen unterschiedlichen Durchmessers und Tiefe, um Auflösung, Nachweistiefe und Reproduzierbarkeit der Prüfungen mit den genannten Geräten in den verschiedenen Verfahrensvarianten zu beurteilen. Ferner wurden Proben mit Impact-Schäden definiert eingebrachter Schlagenergie untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der verwendeten Verfahren ein zuverlässiger Nachweis von technisch relevanten, oberflächennahen Schäden abhängig von Werkstoffaufbau und Fehlergröße in Tiefen von mehreren Millimetern bis Zentimetern möglich ist. Im Falle der Impact-Schäden in monolithischen Faserverbundwerkstoffen wurde festgestellt, dass die geschädigten Bereiche deutlich größer sind als die oberflächlich erkennbaren Schäden und sich die Delaminationen mit zunehmender Werkstofftiefe kegelförmig verbreitern. Die erzielte, quantitative Charakterisierung der geschädigten Bereiche bezüglich lateraler Ausdehnung und Tiefe bietet hierbei eine zuverlässige Grundlage für die gezielte Durchführung von klebtechnischen Reparaturen.



1. Einführung

Der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen führt zu neuen Herausforderungen in der Qualitätssicherung und Kontrolle dieser Materialien. Ablösungen von Faserlagen (Delaminationen) in Verbundmaterialien, hervorgerufen durch einen Impakt und/oder durch schadhafte Klebeverbindungen, stellen ein Problem dar und können aufgrund der Opazität und des anisotropen Aufbaus dieser Werkstoffe durch konventionelle zerstörungsfreie Prüfverfahren nur schwer oder gar nicht detektiert werden. Insbesondere die schnelle, bildgebende und quantitative Charakterisierung von Schäden in Faserverbundmaterialien als Grundlage von Reparaturmaßnahmen stellt eine besondere Herausforderung dar.

2. Prüfkörper



Referenzkörper mit Flachbodenbohrungen



Monolithische CFK-Probe mit Impakt-Schaden

3. Methodik

Bondmaster 1000e+



- Mechanische Impedanz Analyse (MIA)
- Pitch-Catch -Impuls
- Hochfrequenz -Mehrfrequenz
- Resonanz



Verwendete Sonden

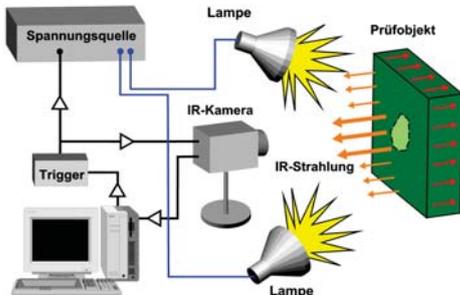
Omniscan MX



Ultraschall-Prüfung mit Gruppenstrahler-Prüfkopf 5MHz

Puls-Phasen-Thermografie

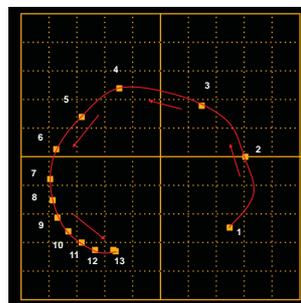
FLIR SC 7600 mit Blitz-Lampen 2 x 6 kJ



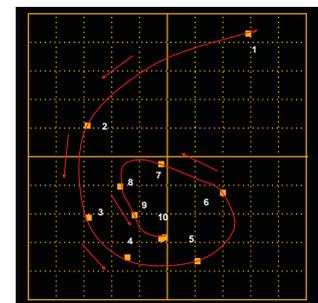
4. Ergebnisse

Impedanz-Diagramm der Resonanzmethode:

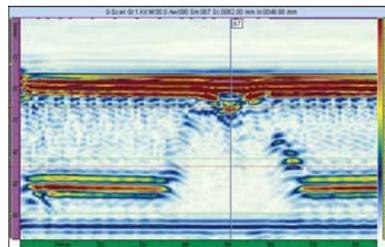
Unterschiedliche Strukturen des Verbundwerkstoffs führen zu verschiedenen Impedanzkurven für Fehleranzeigen mit zunehmender Tiefe



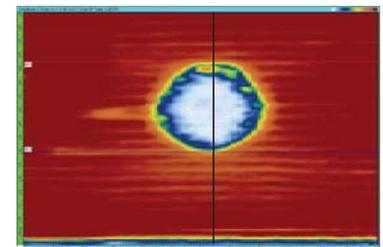
Impedanz-Kurve für unidirektionalen Lagenaufbau



Impedanz-Kurve für 2-dimensionale Gewebelagen

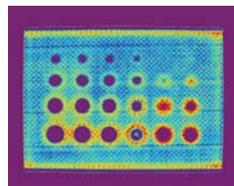


B-Bild des Impakt-Schadens: Ausfall des Rückwandechos im Bereich des Schadenskegels

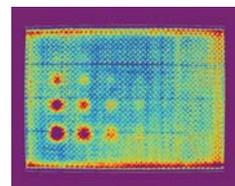


C-Bild darstellung des Impakt-Schadens; die Linie zeigt die Position des B-Bildes

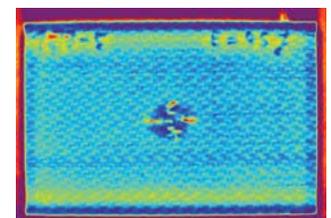
Referenzkörper Typ A



Referenzkörper Typ B



Phasenbild der Referenzkörper: Anzeigen für Flachbodenbohrungen mit verschiedenen Durchmessern und Tiefen



Phasenbild des Impakt-Schadens

5. Zusammenfassung - Ausblick

- Abhängig vom Werkstoffaufbau und Fehlergröße ist eine Detektion von Schäden in Tiefen von bis zu mehreren Millimetern bis Zentimetern möglich.
- Die geschädigten Bereiche von monolithischen Faserverbundwerkstoffen sind häufig signifikant größer als die oberflächlich erkennbaren Schäden.
- Delaminationen breitet sich kegelförmig mit zunehmender Werkstofftiefe aus, d. h. der Schaden ist an der Oberfläche kleiner als im Werkstoffinneren.
- Quantitative Charakterisierung der geschädigten Bereiche bezüglich lateraler Ausdehnung und Tiefe schaffen eine zuverlässige Grundlage für gezielte klebtechnische Reparaturen.

Kontakt:

Florian Stark: f.stark@tum.de
Technische Universität München
Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung
Baumbachstraße 7
81245 München

Thomas Krell: thomaskrell@bwb.org
Wehrwissenschaftliches Institut für
Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Institutsweg 1
85435 Erding