



1

1 SCB (Single Cantilever Beam)
Versuch zur Bestimmung der
Interface Bruchzähigkeit

SCHADENSTOLERANZ VON CFK-SCHAUMSANDWICH- STRUKTUREN

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle (Saale)

Ansprechpartner
Dr.-Ing. Marianne John
Telefon +49 345 5589-283
marianne.john@imws.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Ralf Schlimper
Telefon +49 345 5589-263
ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de

www.imws.fraunhofer.de

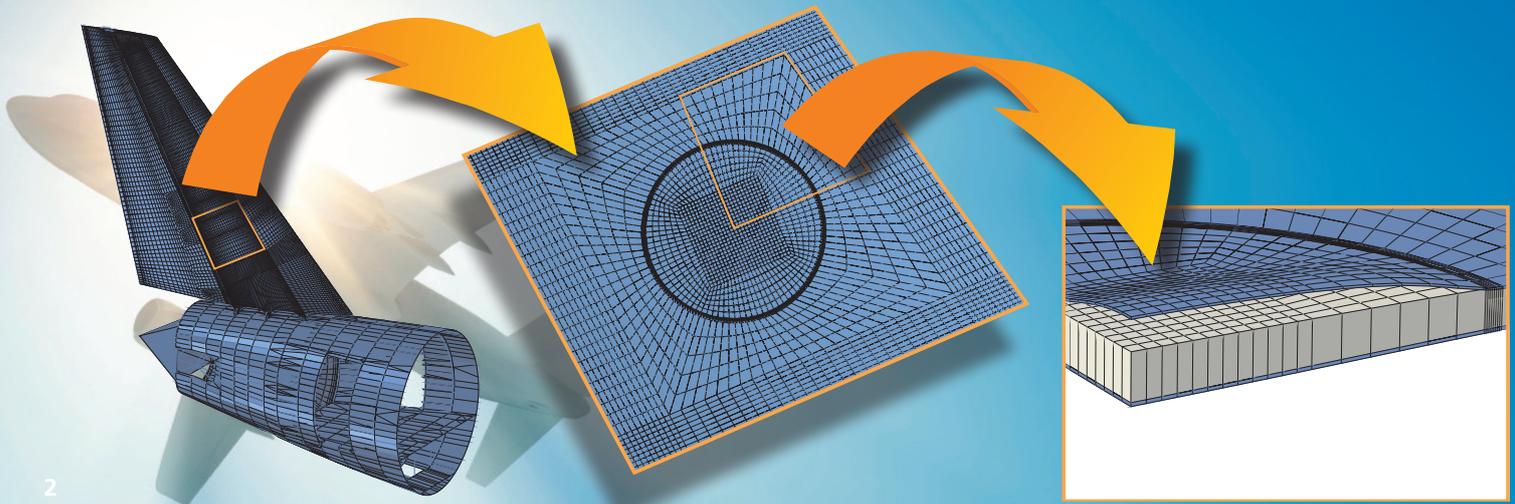
Motivation

Sandwichstrukturen weisen sehr hohe gewichtsspezifische Biegesteifigkeiten und -festigkeiten auf. Die Kombination von geschlossenzelligen Hartschäumen als Sandwichkern und faserverstärkten Kunststoffen als Deckschichtmaterial ermöglicht es, komplex geformte Sandwichstrukturen kostengünstig herzustellen. Ressourceneffiziente Sandwich-Leichtbaustrukturen werden daher zunehmend in der Luftfahrt, im Automotivbereich, im Schienenfahrzeugbau und in Windkraftrotorblättern eingesetzt. Eine fehlerhafte Anbindung der Deckschicht an den Kern (Delamination) kann die Stabilität einer Sandwichstruktur erheblich verringern. Derartige Fehler können bereits während der Herstellung, z.B. durch kontaminierte Halbzeuge, oder auch durch Schlagschäden im Betrieb entstehen. Sie sind oft von außen schlecht oder gar nicht sichtbar und nur

mithilfe zerstörungsfreier Prüfverfahren zu entdecken. Insbesondere für hochbelastete, tragende Sandwichstrukturen in Luftfahrzeugen besteht ein großes Interesse an der Bewertung kritischer Fehlergrößen in der Anbindung zwischen Deckschicht und Kern. Ziel ist die Vermeidung einer weiteren Schadensausbreitung im Betrieb, um Design-Richtlinien für die Auslegung und Inspektionsvorschriften für den Betrieb der Struktur zu definieren.

Aufgabenstellung

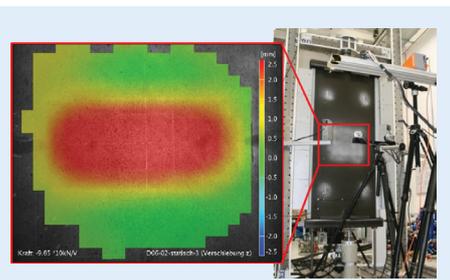
Im Airbus F&E-Projekt »Seitenleitwerk neue Generation (VTP-NG)« wird die Eignung der CFK-Schaumsandwich-Bauweise als Seitenleitwerksschale untersucht. Eine Teilaufgabe des Fraunhofer IMWS ist die Entwicklung einer ganzheitlichen Bewertungsmethodik zur Ermittlung kritischer Deckschichtablösungen in der Seitenleitwerksglobalstruktur.



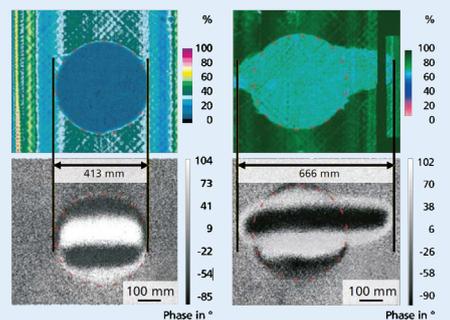
2

Charakterisierung des Deckschichtablöseverhaltens

Im Falle einer lokalen Deckschichtablösung erfolgt ein Risswachstum zumeist in beziehungsweise nahe der Grenzschicht zwischen der Deckschicht und dem Schaumkern. Deshalb wurde ein bruchmechanischer Bewertungsansatz gewählt. Im ersten Schritt erfolgte die bruchmechanische Charakterisierung des Deckschichtablöseverhaltens unter quasistatischer und zyklischer Belastung. Hierfür wurden Single Cantilever Beam (SCB) Tests (Abb. 1) und Cracked Sandwich Beam (CSB) Tests durchgeführt, um die Bruchzähigkeiten sowie die Ermüdungsrisskoeffizienten unter globaler Mode-I- und globaler Mode-II-Belastung zu ermitteln.



3



4

FEM-Berechnungsmethodik

Für die bruchmechanische Beanspruchungsanalyse der Delaminationsfront wird die Energiefreisetzungsrates mithilfe der Virtual Crack Closure Technique (VCCT) berechnet. Ausgehend von einer Anfangsdelamination wird mithilfe des Paris-Gesetzes das Rissfortschrittsverhalten unter Wechsellast sowie das Restfestigkeitsverhalten ermittelt.

Validierungsversuch

Für den Validierungsversuch wurde ein 2 x 1 Meter großer Schalenprüfkörper ausgelegt, dessen unsymmetrische Sandwichgeometrie der realen Struktur entspricht. In der Schalenmitte wurde ein künstlicher Anbindungsfehler zwischen Außendeckschicht und Kern eingebracht. Mithilfe von statischen und zyklischen Testreihen unter in-plane Druckbelastung wurde untersucht, wie sich die Delamination durch lokales Deckschichtbeulen ausbreitet (Abb. 3). Zur Erfassung der von außen nicht sichtbaren Schadensausbreitung kamen Ultraschall- und Thermographie-Verfahren zum Einsatz. Der Vergleich in Abb. 4 zeigt die Eignung beider zFP-Methoden. Die begleitenden numerischen Berechnungen ergaben eine gute Übereinstimmung mit dem experimentell ermittelten Rissausbreitungsverhalten.

Berechnungen am Globalmodell

Für die Berechnung von kritischen

Delaminationsgrößen am Globalmodell wurde eine automatisierte zweistufige Submodelltechnik entwickelt (Abb. 2). Basierend auf dem intakten Globalmodell (ohne Delamination) und dessen Verformungslösungen wird nach Vorgabe von Ort und Größe der zu untersuchenden Delamination eine nichtlineare Nachbeulrechnung am automatisch erzeugten Submodell durchgeführt. Schließlich wird mit einem weiteren Submodell die Beanspruchungsanalyse der Delaminationsfront ermittelt.

Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigten, dass die Schadenstoleranz der untersuchten Sandwichstruktur verhältnismäßig hoch und berechenbar ist. Mithilfe der vorgestellten Methode können kritische Schadensgrößen und Restlebensdauern zuverlässig voraus berechnet werden. Dies erhöht die Akzeptanz und Einsatzrelevanz derartiger Strukturen deutlich.

- 2 Automatisiertes FE-Submodell-Berechnungstool zur Ermittlung kritischer Deckschichtablösungen in der Seitenleitwerksstruktur
- 3 Schalenprüfstand auf dem Mehrzweckprüffeld
- 4 Ultraschall- (oben) und Thermographiemessung (unten) der Delaminationsfläche bei Versuchsbeginn (links) und nach 10 Millionen Lastwechseln (rechts)