



STEINBEIS TRANSFERZENTRUM
Die Werkstoffexperten

STZ Werkstoffe Korrosion
und Korrosionsschutz GmbH
Hermann-Metzger-Straße 5
88045 Friedrichshafen

TEL +49 7541 3858 324
FAX +49 7541 3858 314
EMAIL info@stz-werkstoffe.de

Mechanische Bewertung an CFK/ Aluminiumwaben-

Sandwichhybridstrukturen vor und nach Korrosionsbelastung

Benjamin Kröger, Reinhold Holbein,
Michael Niedermeier

*STZ Werkstoffe Korrosion und
Korrosionsschutz GmbH, Friedrichshafen*

David Ende, Thomas Waldenmaier
xperion Aerospace GmbH, Immenstaad





Mechanische Bewertung an CFK/Aluminiumwaben-Sandwichhybridstrukturen vor und nach Korrosionsbelastung

Motivation

Sandwichstrukturen gehören zu den klassischen Leichtbauelementen, deren Anwendung in der Raumfahrt bewährt und experimentell abgesichert ist. Ein Gefährdungspotential besteht jedoch elektrochemisch bedingt bezüglich des Korrosionsverhaltens beim Einsatz von Aluminiumwaben in Kombination mit CFK-Deckschichten. Die Verwendung eines Aluminiumwabenwerkstoffs in Kombination mit CFK in crash- und steifigkeitsrelevanten Strukturen im (Nutz-)Fahrzeugbau und in der Luftfahrt muss als äußerst kritisch betrachtet werden. Kenndaten und wissenschaftliche Erkenntnisse mit CFK/Aluminiumwaben Sandwichhybridstrukturen nach Korrosionsbelastung sind kaum publiziert. Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem STZ Werkstoffe, Korrosion & Korrosionsschutz GmbH Friedrichshafen und der xperion Aerospace GmbH Immenstaad, wurde eine exemplarische CFK/Aluminiumwaben Sandwichhybridstruktur korrosionstechnisch belastet, mechanisch im Vierpunktbiegeversuch bewertet und werkstoffkundlich analysiert.

Sandwichhybridstruktur/Probekörper

Die Sandwichhybridstruktur besteht aus folgenden Komponenten:

- CFK-Deckschicht: Cyanat-Ester-Matrix (954-3)/uni direktional, kontinuierlich verstärkt mit M55J-Kohlenstofffasern. Die Laminatdicke beträgt $t = 0,5$ mm.
- Aluminiumwabe EN AW-ALMg5 (Hexcel CRIII-3/16-5056-.0010P-3.1). Die Wabenstärke beträgt $c = 14$ mm.
- Epoxid Redux 312 zur Anbindung Wabe/Deckschichten.

Diese Sandwich-Werkstoffkombination hat sich in der Raumfahrt bestens bewährt. Die Fertigung der analysierten Sandwichhybridstruktur erfolgte im Autoklavenprozess. Aus dem Sandwichelement der Gesamtdicke $h = 15$ mm wurden mit der Diamantsäge Probekörper der Länge $L = 360$ mm und der Breite $b = 40$ mm vorbereitet [1].

Die CFK Schnittkanten wurden nicht versiegelt! Die Faserorientierung wurde quer zur Probenlängsrichtung angeordnet, um die Sensibilität des Korrosionseinflusses auf die Grenzschicht Wabe/Laminat zu verstärken.

Vierpunktbiegeversuch

Der Versuchsaufbau gemäß [4], ist in Bild 2 verdeutlicht. Als Kriterien zur Interpretation der Ergebnisse, dienen das Versagens-Biegemoment, die maximale Durchbiegung und die gemittelte Schubspannung im Wabenkern.

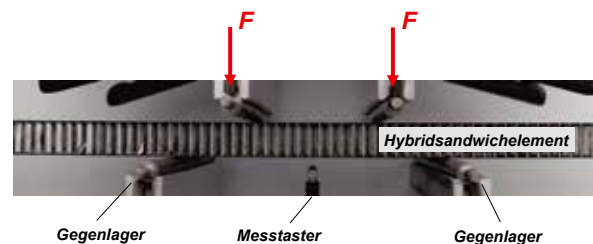


Bild 2: Vierpunktbiegeversuch gemäß [4] (optisch verzerrt)

Korrosionsversuche

Die Korrosionsversuche erfolgten in Anlehnung an zwei unterschiedliche Prüfmethode über eine Prüfdauer von 336 Stunden:

VDA233-102 Zyklische Korrosionsprüfung von Werkstoffen und Bauteilen im Automobilbau:

Dieser zeitlich geraffte Laborwechselklimatetest bewirkt Korrosionsvorgänge und erzeugt reproduzierbar Korrosionsbilder, welche mit denen im Fahrbetrieb und denen nach Freibewitterung (DIN 55665) entstehenden Ergebnisse korrelieren. Das aus realen, korrosiven Klimabedingungen abgeleitete Prüfverfahren liefert differenzierende Ergebnisse für eine große Anzahl von Anwendungen im automobilen Einsatz [wörtlich zitiert aus 1]. Abweichend zur VDA-Norm wurde eine 5%-ige Natriumchlorid-Lösung eingesetzt.



ISO 9227 Salzsprühnebeltest:

Durchgeführt wurde der neutrale Salzsprühnebeltest NSS mit einer 5%-igen Natriumchlorid-Lösung. Der pH-Wert wurde normgerecht zwischen 6,5 und 7,2 eingestellt. Durch die andauernde Einwirkung des Elektrolyten, wurde der NSS zur Schwachstellenanalyse des Korrosionsangriffs im Sandwichelement gewählt [gemäß 2].

DIN 50918 Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen [3]:

Die Messung der Elementstromdichte im Flächenverhältnis 1:1 (Kurzschlussstrom) erfolgte gemäß Bild 1. Die CFK- und die Aluminiumelektrode wurden aus dem „Realsandwichelement“ präpariert.

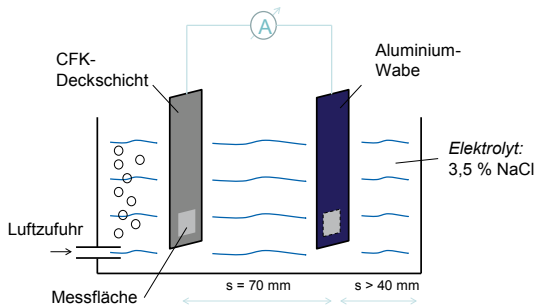


Bild 1: Prinzipische Skizze zur Messung der Elementstromdichte CFK-/Aluminiumwabe

Ergebnisse

Als besonders sensibel, um den Einfluss der Korrosion auf das mechanische Verhalten des Sandwichelementes zu interpretieren, zeigt sich das Versagensbiegemoment M_v , das gemäß [4, 5] aus der Bruchkraft und den Auflagergeometrien berechnet wurde. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Die Referenzprobe erzielte einen M_v -Mittelwert von 54064 Nmm mit einer sehr geringen Standardabweichung von 1548 Nmm, was einer ausgezeichneten Fertigungsqualität und Reproduzierbarkeit entspricht. Der M_v -Mittelwert der VDA233-102 (336 h Testzeit) beträgt 49792 Nmm mit

einer Standardabweichung von 2375 Nmm. Deutlich geringer stellt sich der M_v -Mittelwert der ISO9227 (336 h Testzeit) dar: dieser beträgt 34243 Nmm mit einer sehr hohen Standardabweichung von 5264 Nmm.

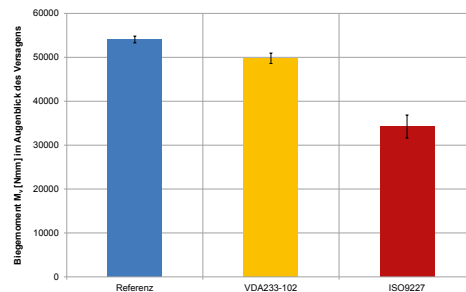


Bild 3: Versagensmoment der Sandwichproben: korrosionsunbelastete Proben im Vergleich zur VDA- und ISO-Korrosionsbelastung (Zeitdauer 336h)

Bild 4 zeigt die Stromdichtemessungen zwischen der CFK-Deckschicht und der Aluminiumwabe gemäß Versuchsaufbau Bild 1. Der Bereich um $0,01 \text{ mA/cm}^2$ ab ca. einer Stunde Prüfdauer ist als absolut kritisch anzusehen, was sich erwartungsgemäß durch den elektrochemisch edlen Charakter der CFK-Fasern erklären lässt. Die Streuung ist durch die Verteilung der Kohlenstofffasern in der als Isolator wirkenden Cyanat-Ester-Matrix bedingt.

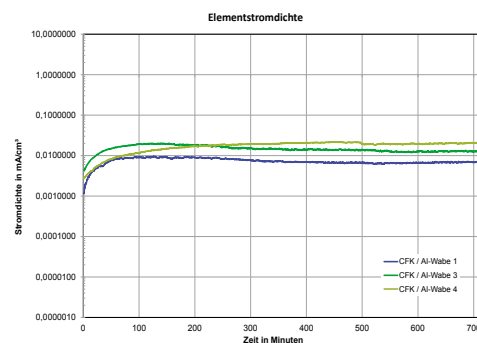


Bild 4: Resultate der Stromdichtemessungen gemäß Bild 1



Diskussion

Das Versagensmoment, ermittelt im Vierpunkbiegeversuch, reduziert sich bei den durch den Salzsprühtest ISO 9227 belasteten Proben um annähernd 20000 Nmm gegenüber der Referenz. Durch die Schnittflächen der Probenpräparation wird das Laminat und die Wabenzellstruktur geöffnet. Es entsteht ein direkter Kontakt zwischen Kohlenstofffaserfragmenten und dem AlMg5. Die elektrochemischen Messungen zeigen, dass der Korrosionsfortschritt erwartungsgemäß durch die Kontaktkorrosion getrieben wird und nicht nur durch die Eigenkorrosion des AlMg5. Dies erklärt auch gegenüber dem VDA 233-102 die stärker ausgeprägte Korrosion der Wabenzellenstruktur im Salzsprühnebeltest durch die dauerhafte Einwirkung des Elektrolyten. Im Salzsprühnebeltest ISO 9227 erfolgt ein Korrosionsangriff über die gesamte Wabenseitenfläche, während bei den VDA233-102 Proben die Korrosion lokalisiert „CFK-deckschichtnah“ verläuft. Es muss nochmals betont werden, dass die Schnitt-/Sägekanten des CFK-Deckschichtlaminates nicht wie in der Raumfahrt üblich versiegelt wurden! Die Untersuchungen machen nochmals deutlich, dass Anwendungen insbesondere außerhalb der Raumfahrt nur denkbar sind, wenn nachgewiesen wird, dass eine Versiegelung der Aluminium-Wabenstruktur eine ausreichende Sicherheit gegen Kontaktkorrosion gewährleistet. Nach Erfahrungen des STZ hat dabei auch die Art und Aufbau des Laminats einen maßgeblichen Einfluss auf die Gefährdung gegenüber Kontaktkorrosion. In weiteren Untersuchungen werden die Funktionalität und Sicherheit von verschiedenen Korrosionsschutzmaßnahmen für den Einsatz ähnlicher Sandwichhybridstrukturen im Bereich der Luftfahrt und (Nutz-) Fahrzeuge ermittelt.

Literatur

- [1] VDA233-102:2013, Zyklische Korrosionsprüfung von Werkstoffen und Bauteilen im Automobilbau
- [2] ISO9227:2012, Salzsprühnebelprüfungen, Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären
- [3] DIN 50918: 1978, Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen
- [4] DIN 53 293:1982, Biegeversuch
- [5] Stamm/Witte, Sandwichkonstruktionen, Springer Verlag 1974

Ansprechpartner

[Dipl.-Ing. \(FH\) Benjamin Kröger, M.Sc.](mailto:kroeger@stz-werkstoffe.de)

TEL +49 7541 3858 324
FAX +49 7541 3858 314
EMAIL kroeger@stz-werkstoffe.de
www.stz-werkstoffe.de

Steinbeis-Transferzentrum Werkstoffe
Korrosion & Korrosionsschutz GmbH
88045 Friedrichshafen Germany