

Prüfung der Verklebung von Stegen mit Gurten bei Rotorblättern, Modelluntersuchungen

Einleitung

Bei der Herstellung von Rotorblättern werden in der Regel zwei separat gefertigte Halbschalen zusammengeklebt. Die Klebstellen zwischen den Gurten und Stegen sind nach dem Zusammenfügen nicht mehr einsehbar. Die zerstörungsfreie Überprüfung der Klebstellen auf Lufteinschlüsse von außen ist mit herkömmlichen Verfahren der ZfP, wie z.B. Ultraschallprüfung, schwierig bzw. nicht möglich. Hier wird an einem Modell gezeigt, dass diese Prüfung mit Mikrowellen gut möglich ist.

Aufbau des Modells

Bild 1 zeigt das Modell. Der Gurt wird durch ein Sandwich von 39 mm dickem Balsaholz mit zwei 2 mm dicken Schichten aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFRP) nachgebildet sowie der Fuß des zu verklebenden Steges durch eine 10 mm dicke GFRP-Platte und der dazwischenliegende Kleber durch 3D-gedruckte PLA-Platten mit verschiedenen eingebrachten Flachbodenvertiefungen.

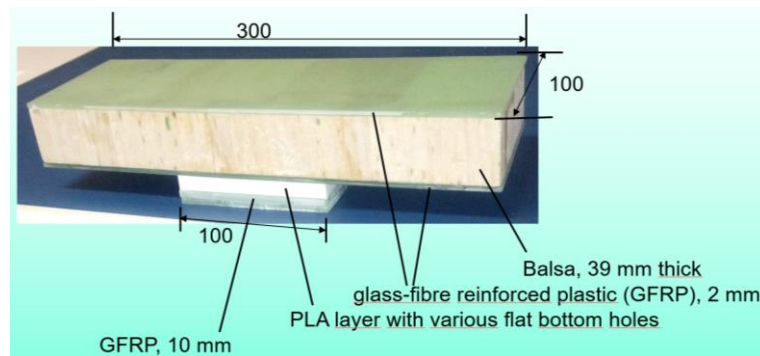


Bild 1: Modell von Gurt (Balsa und 2x GFRP) und Fuß des Stegs (GFRP, 10 mm) mit dem Kleber (PLA layer) dazwischen.

Die handelsübliche Balsa-Schicht besteht dabei wie üblich aus einzelnen miteinander verklebten Blöcken, die holztypisch auch Jahresringe aufweisen. Bild 2 zeigt eine Draufsicht.

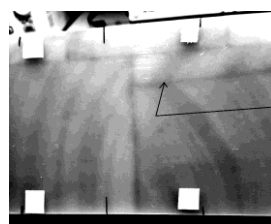


Bild 2: Draufsicht mit verstärktem Kontrast auf den GFRP/Balsa/GFRP-Sandwich. Durch die obere GFRP-Schicht hindurch sind die Grenzen der einzelnen Balsablöcke und ihre Jahresringe zu erkennen.

Test und Ergebnisse

Es wird im scannenden Reflexionsverfahren von oben durch das GFRP/Balsa/GFRP-Sandwich hindurch getestet, um Lufteinschlüsse im darunter liegenden PLA-Layer zu erkennen. Die Herausforderung ist dabei, die Anzeigen zu unterdrücken, die aus den natürlichen Unregelmäßigkeiten im Balsa-Bereich stammen. Dafür wurde eine linsenähnliche Mikrowellenantenne verwendet, die auf die Tiefenlage der PLA-Schicht fokussiert. Die Antenne ist an ein Reflektometer angeschlossen, das bei der ISM-Frequenz 24,125 GHz arbeitet. Die Signalauswertung erfolgt auf einem PC.

Bild 3 zeigt die verschiedenen PLA-Platten, die verwendet wurden. Die Größen der Flachbodenvertiefungen mit rechteckigen und runden Querschnitten stehen unter den Bildern. Bei den Tests liegen ihre Vertiefungen zur Stegnachbildung (GFRP, 10 mm) hin.

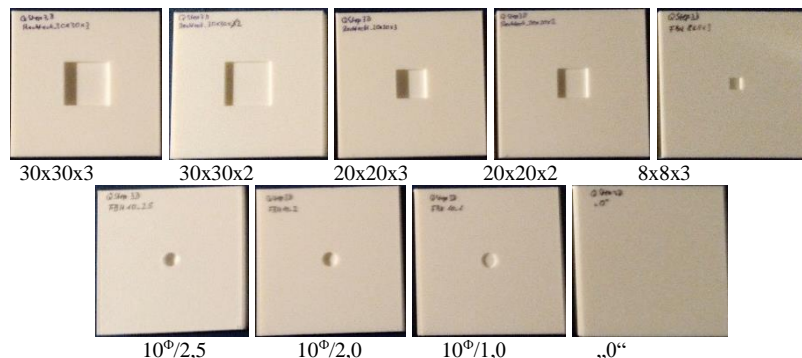


Bild 3: Fotos der PLA-Platten mit Flachbodenvertiefungen. Die Größen der Flachbodenvertiefungen sind in mm angegeben

Für einen Scanbereich von 100 mm x 60 mm zeigt Bild 4 die Ergebnisse als vollständige Anzeigen, jeweils mit automatischer Skalierung, und als Anzeigen mit einem beispielhaften Schwellenwert von $3,3 \times 10^{-3}$, der knapp über dem Pegel der verbliebenen Anzeigen aus dem Balsaholz liegt.

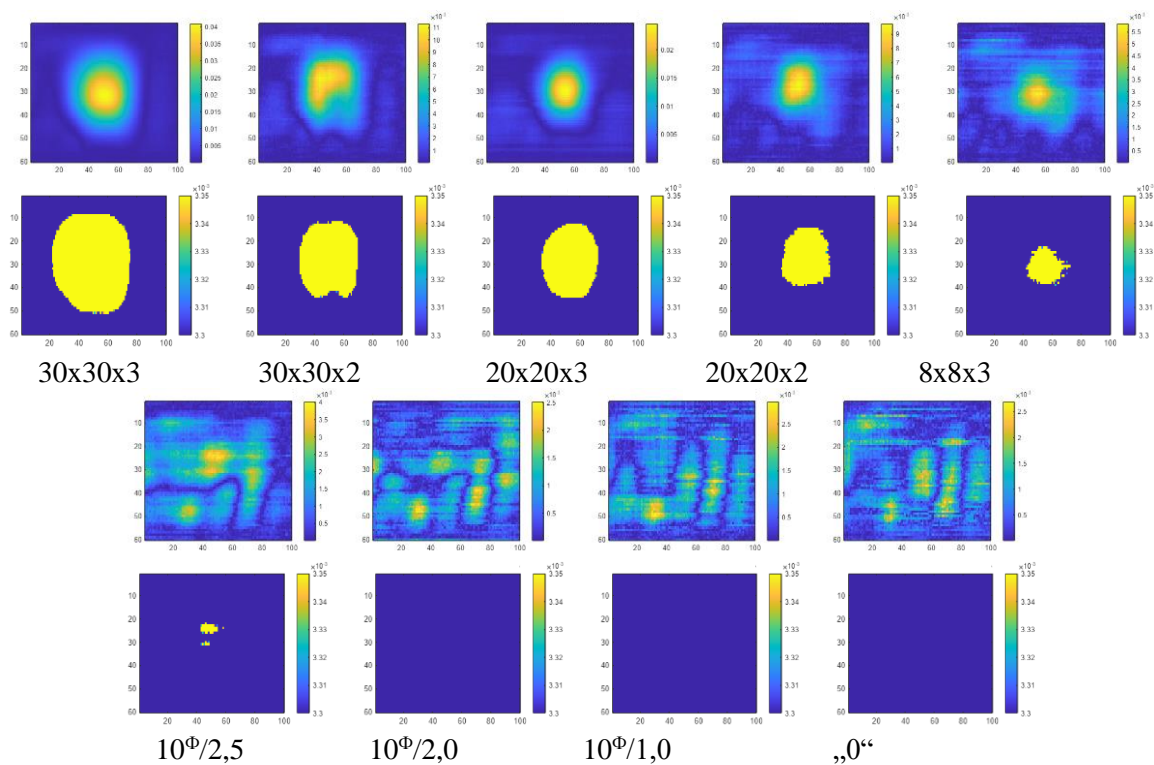


Bild 4: Scanergebnisse als vollständige Anzeigen mit automatischer Skalierung und als Anzeigen mit einem beispielhaften Schwellenwert von $3,3 \times 10^{-3}$.

Schluss

Es wurde gezeigt, dass mit monofrequenter Mikrowellenprüfung Lufteinschlüsse in Klebeschichten unter dicken GFRP/Balsa/GFRP-Sandwichstrukturen erkannt werden können. Die Größe der noch erkennbaren Lufteinschlüsse hängt von der Gleichmäßigkeit des Balsaholzes ab. Im vorliegenden typischen Fall können flächige Lufteinschlüsse mit Abmaßen 20 mm x 20 mm x 2 mm sicher erkannt werden. Aber auch Einschlüsse mit kleineren Flächen sind erkennbar, wenn sie nur geringfügig dicker sind, z.B. mit Abmaßen $10 \text{ mm}^{\Phi}/2,5 \text{ mm}$.

Es sei darauf hingewiesen, dass aus folgenden Gründen das bewusst gewählte Model einen „Worst Case“- Fall für die Mikrowellenprüfung darstellt:

- Der Balsabereich wurde hier sehr dick gewählt. In der Praxis ist er häufig dünner. Damit werden die parasitären Anzeigen aus dem Balsabereich weniger und der Abstand von der Antenne bis zum gesuchten Lufteinschluss kleiner. Beides wird zu einer Verkleinerung der erkennbaren Lufteinschlüsse führen.
- In der Praxis wird zumeist ein Epoxidharzkleber verwendet. Dieses Material hat eine höhere Permittivität als das hier verwendete PLA. Die Lufteinschlüsse in Epoxidharz haben daher einen höheren Mikrowellenkontrast als in PLA und geben damit stärkere Anzeigen.
- Die PLA-Platten wurden so angeordnet, dass die Lufteinschlüsse zum Fuß des Steges (GFRP, 10 mm) zeigen. Wenn sie, was auch in der Praxis vorkommt, im Kleber oder an der Grenze zum Sandwich liegen, ist ihre Entfernung zur Antenne kleiner, und damit sind ihre Anzeigen stärker.

In den meisten praktischen Fällen werden daher noch kleinere Lufteinschlüsse erkannt werden können als oben beschrieben.