

HERSTELLUNG VON FASERVERBUNDBAUTEILEN DURCH DIE KOMBINATION VON PREPREG UND INFUSION AM BEISPIEL EINER HUBSCHRAUBER-TANKABDECKUNG

C. Wellhausen¹, S. Kunze¹, D. Preissler¹, J. Schuller¹, C. Weimer¹, K. Drechsler²

¹ Eurocopter Deutschland GmbH, 85521 Ottobrunn, Deutschland

² Institut für Flugzeugbau, 70569 Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

In der Luftfahrtindustrie werden heutzutage hauptsächlich zwei Verfahrenstypen für die Herstellung von Faserverbund-Strukturbauteilen verwendet, die Prepreg- und die Infusionstechnologie. Am Beispiel einer Hubschrauber-Tankabdeckung wird gezeigt, wie durch die Kombination beider Verfahrenstypen in einem Fertigungsschritt ein Bauteil hergestellt werden kann, das sowohl die prepregspezifischen Vorteile hinsichtlich Schlagzähigkeit und Brandverhalten, wie auch die Kostenvorteile der Infusionstechnologie berücksichtigt. Dieser Prozess wird „kombinierte Prepreg- und Infusionsbauweise“ genannt. Es wird ein Überblick über die Motivation zum Einsatz dieser Bauweise, die bauteilspezifischen Entwicklungstätigkeiten sowie die zerstörenden und zerstörungsfreien Bauteiltests gegeben.

1. EINLEITUNG

In der Faserverbundtechnik sind seit mehreren Jahrzehnten diverse Fertigungsverfahren bekannt, die alle spezifische technische oder ökonomische Vor- und Nachteile haben. In der Luftfahrtindustrie werden heute hauptsächlich die Prepreg- oder die Infusionstechnologie für die Herstellung von Faserverbundbauteilen verwendet. Durch die Kombination beider Technologien können Bauteile in Integralbauweise hergestellt werden, die die Vorteile beider Verfahren in einem Fertigungsschritt ermöglichen. Dieser Hybridprozess wird „kombinierte Prepreg- und Infusionsbauweise“ genannt. Es wird ein Überblick über die Motivation zum Einsatz dieser Bauweise, die bauteilspezifischen Entwicklungstätigkeiten an einer Hubschrauber-Tankabdeckung sowie die zerstörenden und zerstörungsfreien Bauteiltests gegeben.

2. BAUWEISEN FÜR FASERVERBUNDSTRUKTUREN

Der Anteil von Faserverbundstrukturen an der gesamten Strukturmasse eines Transporthubschraubers der neuesten Generation liegt bei etwa 85%, im Bereich der zivilen Luftfahrt am Beispiel der Boeing 787 bei etwa 50%. Die Fertigungsverfahren, die üblicherweise zur Herstellung der Strukturkomponenten dieser Luftfahrtgeräte genutzt werden, können in zwei Hauptkategorien eingeteilt werden, die Prepregbauweise und die Infusionsbauweise. Die Prepregtechnologie ist durch ein vorimprägniertes textiles Halbzeug charakterisiert, bei der Infusionstechnik hingegen wird ein trockener Faservorformling während der Bauteilherstellung mit einem Harz infiltriert. Bei beiden Technologien werden in der Luftfahrt als Faserwerkstoffe überwiegend Kohlenstofffasern sowie als Matrixwerkstoffe Einkomponenten-Epoxidharze verwendet.

2.1. Prepregbauweise

Das Prepreg-Halbzeug wird durch die Einbringung eines

hochviskosen Harzes in ein Faserhalbzeug, welches üblicherweise als bidirektionales Gewebe oder unidirektionales Gelege („Tape“) vorliegt, hergestellt. Verarbeitet wird das Prepreg-Halbzeug entweder durch manuelles Ablegen, wobei automatisiert hergestellte Zuschnitte manuell Lage für Lage in eine Bauteilform gelegt werden, oder aber durch einen Tapelegeprozess. Hierbei wird ein unidirektionales Tape automatisiert durch einen Roboter in eine Form abgelegt und zugeschnitten. In beiden Fällen folgt nach Ablage der Halbzeuge in die Form sowie der Kompaktierung ein luftdichter Vakuumaufbau sowie eine Konsolidierung und Aushärtung des Epoxidharzes in einem beheizten Ofen oder Autoklaven mit Differenzdrücken von bis zu etwa 10 bar.

Die charakteristische hohe Viskosität des Prepreg-Epoxidharzes hat den Vorteil, dass ohne größere Schwierigkeiten zusätzliche Komponenten in makromolekularer Form eingebracht werden können. Diese Komponenten ermöglichen eine Verbesserung der technischen Eigenschaften des Epoxidharzes. Zum Einsatz kommen beispielsweise Thermoplaste zur Steigerung der Zähigkeit oder anorganische Bestandteile zur Erzielung flammhemmender Eigenschaften. Dadurch bietet die Prepregbauweise sehr gute Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit, Schlagzähigkeit und Brandbeständigkeit des fertigen Bauteils, ist aber aufgrund der hohen Halbzeugkosten und niedrigen Automatisierbarkeit der Bauteilfertigung finanziell aufwändig.

2.2. Infusionsbauweise

Der Faservorformling („Preform“), der die Verstärkungsstruktur des herzustellenden Faserverbundbauteils repräsentiert, wird in einem so genannten „Preformingprozess“ vor Infiltration des Bauteils separat hergestellt. Üblicherweise werden Multiaxialgelege als Faserhalbzeuge verwendet, die manuell oder automatisiert zugeschnitten und zu einem Preform konfektioniert werden. Zur Konfektionierung, d.h. Fixierung des Preforms kommen dabei duroplastische oder thermoplastische Binder, die anschlie-

ßend über eine Wärmebehandlung aktiviert werden, zur Anwendung. Ebenfalls möglich ist das Vernähen von Kohlenstofffaser-Vorformlingen mittels eines geeigneten Nähfadens zur Erzeugung einer infiltrierbaren Vorformlingstruktur [1]. Der hergestellte Preform wird in eine Form zur Infiltration und Aushärtung des Infiltrationsharzes eingebracht. Ist diese Form beidseitig geschlossen und wird das Harz mit Überdruck in diese Form injiziert, spricht man von einem „Resin-Transfer-Moulding“ (RTM) Prozess. Weiterhin kann die Form auch nur einseitig formstabil sein und das zu infiltrierende Bauteil von einem Vakuumaufbau umschlossen sein, dann spricht man übergreifend von Vakuum-Infusionsprozessen. Beide Varianten erlauben eine ganze Reihe verschiedener Detailabwandlungen. In beiden Fällen wird der Aufbau in einem Ofen oder in einer Heizpresse aufgeheizt und das Infiltrationsharz durch Einsaugen mit Unterdruck oder im Falle des RTM-Prozesses durch Überdruckbeaufschlagung eingebracht und danach ausgehärtet.

Die Infusionstechnik bietet durch eine hohe Automatisierbarkeit bei der Herstellung der Faservorformlinge und der Infiltration in der Regel Kostenvorteile, ermöglicht aber nicht in allen Fällen dieselbe technische Leistungsfähigkeit wie die Prepregtechnologie. Dies liegt vor allem an der für die Infusion notwendigen, niedrigen Viskosität des Harzes. Eine direkte Modifikation des Epoxidharzes nach heute etablierten Methoden, also mit organischen oder anorganischen makromolekularen Bestandteilen, hätte eine Erhöhung der Viskosität zur Folge, außerdem würden sich makromolekulare Bestandteile während der Infusion durch einen textilen Vorformling ausfiltern. Durch eine direkte Modifikation des Infusionsharzes würde dieses somit seine Prozesstauglichkeit verlieren. Alternativ ist es möglich, die Modifikation über einen sich erst während oder nach der Harzinfiltration lösenden Thermoplast zu realisieren. Dabei wird ein Garn oder Vlies aus Thermoplast in den Trockenpreform eingebracht. Während oder nach der Infiltration bildet sich eine eigene Thermoplast-Phase in der Matrix aus und kann auf diesem Weg die Schlagzähigkeit erhöhen [2].

3. MOTIVATION ZUR KOMBINATION ZWEIER BAUWEISEN

Ein Hauptziel bei der Entwicklung von Faserverbundstrukturen ist die Erzielung eines hohen Integrationsgrades bei gleichzeitiger Erhöhung des Automatisierungsgrades während der Bauteilfertigung. Die Minimierung von Fügestellen, ein möglichst kontinuierlicher Faserverlauf sowie die Reduktion der Anzahl der Einzelkomponenten sind die wichtigsten Vorteile der Faserverbundbauweise gegenüber der Metallbauweise. Eine Minimierung von Fertigungs- und Fugeschritten hat eine Kostenersparnis bei der Montage des Luftfahrtgeräts zur Folge. Vergleicht man Prepreg- und Infusionstechnologie hinsichtlich ihres Potenzials zur Erhöhung des Integrationsgrades kommt man zu dem Schluss, dass die Infusionstechnik aufgrund ihres Konfektionierungsprozesses an einem trockenen Kohlenstoffaerhalbezeug hier wesentlich bessere Möglichkeiten zur Herstellung komplexer Bauteile bietet. Mehrere kleinere Teilvorformlinge („Subpreforms“) können mittels Näh- oder Bindertechnologie zu einem Preform montiert und danach als komplexes Infusionsbauteil infiltriert werden. Die Prepregtechnologie ist eher geeignet für flächige Bauteile,

bei denen möglichst wenige Lagen des Halbzeugs in eine Form mit einer möglichst geringen Formkomplexität abgelegt werden.

Aufgrund der geforderten technischen Eigenschaften des Endprodukts ist es allerdings nicht immer möglich, die Infusionstechnologie zu nutzen. Zum einen stößt diese Technik bei dünnwandigen, großflächigen Strukturen hinsichtlich der Infiltrierbarkeit an ihre Grenzen, zum anderen reichen selbst moderne Infusionsharze nicht in allen Belangen an die Anforderungen der Luftfahrt heran. Dies bezieht sich insbesondere auf ihre Schlagzähigkeit sowie auf ihr Brandverhalten. Großflächige und Schlagbeanspruchungen ausgesetzte Bauteile wie beispielsweise Rumpfaußenhäute von Passagierflugzeugen lassen sich nach heutigem Stand der Technik meist nicht in Infusionsbauweisen realisieren. Auch Innenstrukturen, wie beispielsweise Stringer, Spanten oder Fußbodenstrukturen, lassen sich nur dann in Infusionsbauweise realisieren, wenn sie mit einer flammhemmenden Verkleidung versehen sind oder anderweitig gegen Brandeinwirkung geschützt werden. Gemäß diesem Stand der Technik wird ein Großteil der Strukturen in der Luftfahrt in Prepregtechnologie hergestellt. Einzelne Bauteile, die eine Nutzung der Infusionstechnologie erlauben, werden in einem separaten Fertigungsschritt durch Vernieten oder strukturelles Kleben zu einer Baugruppe gefügt. Diese Fügeprozesse führen dazu, dass die Faserverbundbauweise einen Teil ihrer technischen und kostenseitigen Vorzüge wieder einbüßt.

Eine Erhöhung des Integrationsgrades ist durch eine Kombination beider Technologien in einem Fertigungsschritt möglich, um zum einen die fertigungsprozess- und kostenseitigen Vorteile der Infusionsbauweise zu nutzen, zum anderen aber die Leistungsfähigkeit des Endproduktes über die Prepregtechnologie und die damit einhergehenden Vorteile des dabei verwendeten Epoxidharzes sicherzustellen. Für diese Hybridbauweise wird der Oberbegriff „kombinierte Prepreg- und Infusionsbauweise“ eingeführt.

4. HERSTELLUNG DER TANKABDECKUNG

Bei der Firma Eurocopter Deutschland GmbH wurde eine Fußboden-Tankabdeckung in Faserverbundbauweise entwickelt. Hierbei handelt es sich um eine kreisrunden Deckel, der in zwölfacher Ausführung den Zugang von Innenraum eines Transporthubschraubers zu den Tankanlagen, die sich unterhalb der Kabine befinden, ermöglicht (Bild 1).



BILD 1. Zugang zu Tankanlagen, Blick vom Innenraum

Serienstand vor Entwicklung der Faserverbund-Tankabdeckung war eine Aluminium-Leichtbauweise. Entwicklungsziel der Faserverbundversion war insbesondere die Einsparung von Strukturmasse sowie Fertigungszeit, unter Beibehaltung der technischen Eigenschaften wie Schlagzähigkeit, Brandverhalten sowie elektrischer Leitfähigkeit. Die Faserverbund-Tankabdeckung ist konstruktiv als Sandwichstruktur mit einem zahnradförmigen Schaumkern ausgeführt. Die komplexe, auf Bild 2 dargestellte Versteifungsgeometrie, die nach unten zum Kraftstofftank hin ausgerichtet ist, wird dabei mit einem trockenen Nähpreform realisiert, der mit einem Infusionsharz getränkt wird.

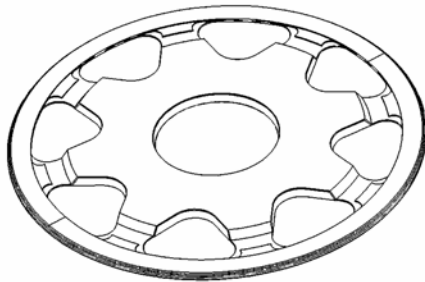


BILD 2. Tankabdeckung, Blick auf Unterseite

Ein Schnitt durch das Bauteil in Bild 3 zeigt schematisch dass die obere, der Innenkabine des Hubschraubers zugewandte Seite der Tankabdeckung aus mehreren Lagen Prepreg aufgebaut wird. Von oben gesehen ist eine Glasfaserlage als Decklage gelegt, es folgen eine Lage Kupfergitter-Prepreg zur Sicherstellung der elektrischen Leitfähigkeit sowie drei Lagen Kohlenstoffaserepreg. Unterhalb dieser drei Lagen beginnt der Bereich des Trockenpreforms aus Kohlenstoffaserepreg.

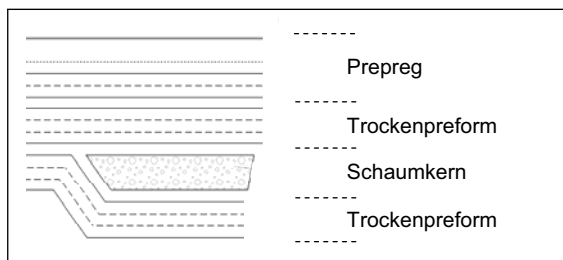


BILD 3. Verwendete Materialtypen

4.1. Fertigungsablauf

Der Fertigungsablauf eines Hybridbauteils, dargestellt in Bild 4, ist im Wesentlichen charakterisiert durch die separate Vorbereitung zweier Halbzeuge, des Prepregs sowie des Multiaxialgeleges, die beide vorbereitende Prozessschritte durchlaufen, bevor sie gemeinsam in einem Werkzeug positioniert werden. Im Falle der Tankabdeckung wird das Prepreg komplett außerhalb des Formwerkzeugs hergestellt, es ist aber bei größerer Formkomplexität auch möglich, die Prepreglagen direkt im Werkzeug abzulegen und in einem zweiten Schritt die fertigen Trockenpreforms darauf zu positionieren. Ist das Werkzeug fertig belegt, geschlossen und in der Heizpresse auf Infusionstempera-

tur gebracht, folgt die Harzinfusion und Aushärtung des Bauteils. Auch hier sind für andere Bauteile abweichende Verfahren möglich, beispielsweise die Fertigung im „Single-Line-Injection“-Verfahren in Kombination mit einem einseitigen Formwerkzeug und Härtung in einem Autoklav [3].

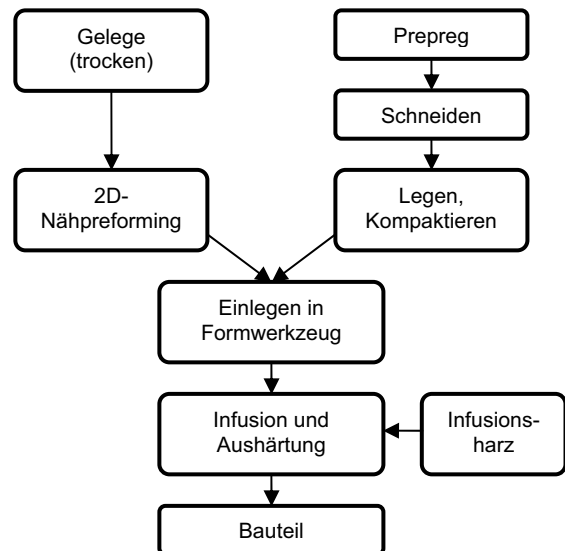


BILD 4. Prozessschaubild Hybridfertigung

4.2. Trockenpreforming

Das Herstellen des trockenen Preforms erfolgt mit Hilfe der Preform-Nähtechnik. Hierbei werden mehrere Lagen Multiaxialgelege als Faserhalbzeuge verwendet, die mit einem Polyester Nähfaden auf einer 2D-Nähanlage vernäht werden. Die Zufuhr des Multiaxialgeleges erfolgt automatisiert von einem Rollenlager (siehe Bild 5, links), welches mit bis zu vier Materialrollen bestückt werden kann. Das Abnähren der Preforms geschieht durch einen vollautomatisierten 2D-Nähkopf, der Nähfaden fixiert und kompaktiert die Einzellagen gegeneinander (Bild 6). Bei der hier beschriebenen Tankabdeckung werden bis zu drei Lagen Multiaxialgelege miteinander vernäht und danach entsprechend der Außenkontur des jeweiligen Preforms auf einer automatischen Cutteranlage zugeschnitten.



BILD 5. 2D-Nähanlage

Ein Vorteil des Nähpreforming ohne Bindermaterialien ist, dass die Lagerfähigkeit der fertiggestellten Preforms identisch ist mit der maximalen Lagerfähigkeit der verwendeten

Kohlenstofffasern, welche üblicherweise bei ein bis zwei Jahren liegt. Andere Technologien zur Preformherstellung, beispielsweise das Bindern von Trockenmaterialien mit üblicherweise Epoxid- oder Thermoplastbindern und die darauf folgende Binderaktivierung über Hitzeeintrag, führen aufgrund der Reaktivität des Bindermaterials zu einer begrenzten Lagerfähigkeit des Preforms.



BILD 6. 2D-Nähkopf

4.3. Nasspreforming

Der Begriff „Nasspreforming“ wird in Zusammenhang mit der kombinierten Prepreg- und Infusionsbauweise als Sammelbegriff für vorkompaktierte Prepreglagen eingeführt, die im Weiteren durch Kombination mit Trockenpreforms zu einem Hybridbauteil verarbeitet werden. Im konkreten Anwendungsfall der Tankabdeckung ist der Nasspreform sehr einfach aufgebaut, da er lediglich aus einem kreisrunden, ebenen Aufbau von insgesamt fünf Lagen Prepreg besteht. Die Konfektionierung des Nasspreforms (Zuschnitt, Legevorgang) erfolgt im Wesentlichen analog einer klassischen Prepregfertigung, das Vorkompaktieren der Lagen erfolgt allerdings nicht auf dem eigentlichen Formwerkzeug, sondern separat in einer Kompaktieranlage.

4.4. Infusionsprozess

Der Fertigungsprozess findet in einem geschlossenen Werkzeug statt. Das belegte und geschlossene Werkzeug wird in einer beheizten Presse positioniert und eine druckgesteuerte Injektionseinheit angeschlossen. Während der Infusion liegt ein Vakuum an, um das Infusionsharz in die Form einzuziehen.



BILD 7. Werkzeugbelegung Trockenpreform und Schaum

Die Parameter des Härtezyklus (Bild 8) wurden auf die Beschaffenheiten der Faserarchitektur und Harzviskositä-

ten abgestimmt. Während der Haltestufe bei 120 °C, noch vor der Harzinfusion, findet aufgrund der bei dieser Temperatur niedrigen Viskosität des Prepregharzes sowie der Kapillarwirkung des trockenen Geleges ein Wandern des Prepregharzes in das Multiaxialgelege statt. Da das Prepregharz bei 120 °C bereits langsam zu gelieren beginnt, ist der Zeitpunkt der Harzinfusion entscheidend für die spätere Bauteilqualität. Wird zu früh infiltriert, findet keine gute Anbindung in der Trennebene der Materialien statt, wird zu spät infiltriert ist das Prepregharz bereits soweit geliert dass nicht mehr alle Hohlräume mit Infusionsharz gefüllt werden können und das Bauteil entsprechend porös wird.

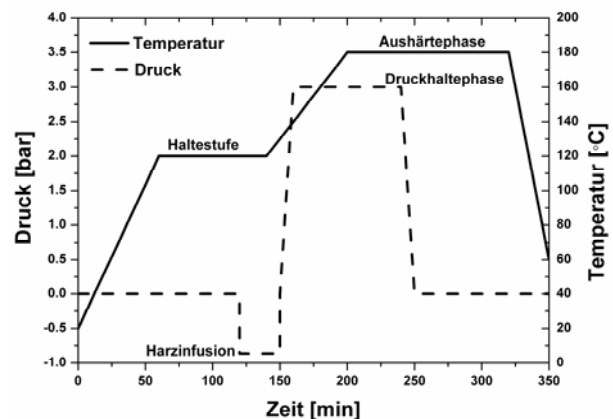


BILD 8. Härtezyklus im Hybridprozess

5. BAUTEILTESTS

Bei den Bauteiltests werden die Bruchfestigkeit sowie das Versagensverhalten überprüft und die Anwendbarkeit der zerstörungsfreien Prüfmaßnahmen sichergestellt. Es war von maßgeblichem Interesse, ob die Trennebene zwischen den beiden Epoxidharzen nach der Bauteilaushärtung bei der Ultraschallprüfung noch sichtbar ist und dadurch gegebenenfalls diese sonst als Qualitätssicherungsmaßnahme übliche Suche nach Fehlstellen beeinträchtigt wird.

5.1. Zerstörungsfreie Bauteilprüfung

Hauptaugenmerk bei der Durchführung der zerstörungsfreien Bauteilprüfung war die generelle Prüfbarkeit von Bauteilen, die in der kombinierten Prepreg- und Infusionsbauweise gefertigt werden. Des Weiteren war von Interesse, ob die Ausbildung der Grenzfläche zwischen Prepreg- und Infusionsharz nicht gewünschte Effekte zeigt, also zur Porenbildung oder Delamination neigt. Außerdem kann im Ultraschallbild überprüft werden, ob der Schaumkern (siehe Bild 7) während des Herstellungsprozesses Risse oder andere Beschädigungen erlitten hat, die während des Infusionsprozesses mit Harz gefüllt wurden.

Zur Bewertung der Porosität wurden die Monolithbereiche mit einem Ultraschallroboter in Impuls-Echo-Technik, zur Delaminations- oder Verbindungsprüfung in Transmissions- oder Squirtertechnik („Squirtertechnik“) untersucht.

Bild 9 zeigt die farbkodierte Amplitudendarstellung, das so genannte „C-Bild“ der Transmissionsprüfung. Delaminationen würden im Bild hell dargestellt. Die zahnradförmige Struktur repräsentiert den eingelegten Schaumkern, welcher sich wegen seiner höheren Schallabschwächung deutlich vom Monolithbereich abhebt. Die Anzeige im linken unteren Bereich rührt von einer Verkabelung her, welche für Messzwecke rückseitig aufgeklebt wurde.

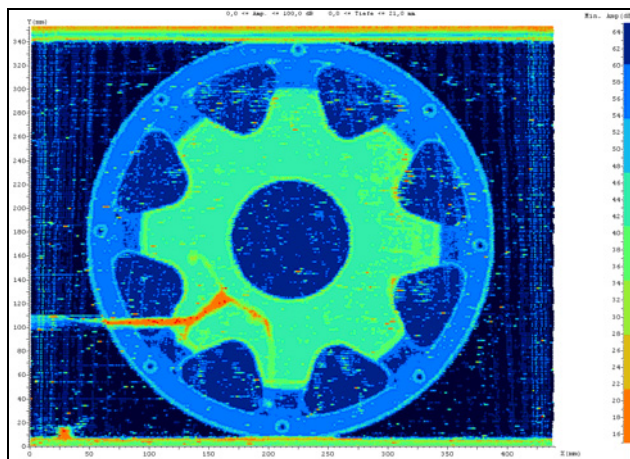


BILD 9. Ultraschall-Prüfbild

Im Laminat der Tankabdeckung finden sich in dem gesamten inspizierbaren Volumen keine Delaminationen oder Porositäten, speziell Schichtporositäten, oberhalb des maximal zulässigen Porositätsgrades von 2,5% Vol. im monolithischen Bereich.

5.2. Zerstörende Bauteilprüfung

Als zerstörende Bauteilversuche wurde ein Schliffbild angefertigt sowie ein mechanischer Bruchlastversuch durchgeführt.

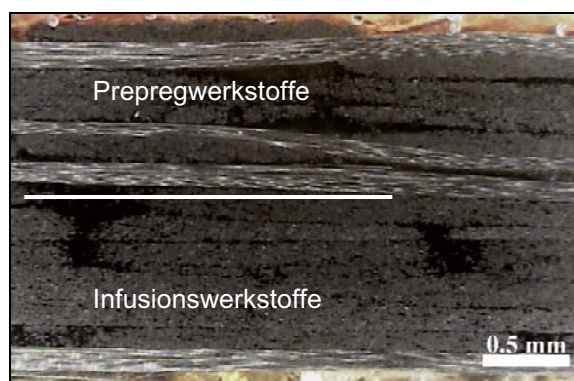


BILD 10. Schliffbild des Übergangsbereichs

Bild 10 zeigt einen Schnitt durch das Bauteil anhand eines Schliffbilds, das in Lichtmikroskopie angefertigt wurde. Es konnte dabei keine negative Beeinflussung der Trennebene zwischen Prepreg- und Infusionswerkstoff nachgewiesen werden, beide Bereiche zeigen eine porenfreie Aushärtung. Durchmischungseffekte können anhand des lichtmikroskopischen Schliffbilds nicht nachgewiesen werden.

den, da zwischen verwendetem Prepreg- und Infusionsharz in ausgehärtetem Zustand beleuchtungsunabhängig kein Phasenkontrast besteht.

Für den Bruchlastversuch kam eine Druckkammer zur Anwendung, mittels derer die Tankabdeckung ganzflächig mit Druck beaufschlagt wurde um die gewünschte Durchbiegung zu erzielen. Bild 11 zeigt schematisch die Einspannung der Tankabdeckung in dem Halterahmen sowie die Beaufschlagung mit Überdruck. Während des Versuchs wurde die Tankabdeckung mit acht Titanschrauben in der Vorrichtung befestigt, im Ultraschall-Prüfbild (Bild 9) ist das Bohrschema erkennbar.

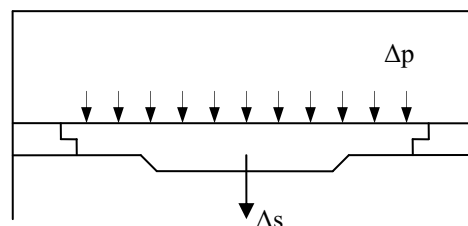


BILD 11. Bruchlastversuch (schematisch)

Das Ergebnis des Bruchlastversuchs ist als Durchbiegung in Millimetern in Abhängigkeit des aufgetragenen Drucks in Bild 12 angegeben. Es wird deutlich, dass die Durchbiegung des Deckels weitgehend linear zum Druck ansteigt, bis hin zu einer maximalen Durchbiegung von 5 mm bei einem Flächendruck von 17 bar. Bei dieser seitens des Versuchsaufbaus maximal möglichen Durchbiegung war noch kein Bruchversagen der Tankabdeckung zu erreichen. Aus Bild 12 geht weiterhin hervor, dass bei Entlastung des Bauteils eine weitgehend elastische Rückverformung stattfindet. Nach vollständiger Entlastung bleibt eine plastische Durchbiegung von 0,5 mm im Bauteil zurück. Alle geforderten Lastfälle wurden erfüllt, wodurch auf eine erfolgreiche Bauteilauslegung zurückzuschließen ist.

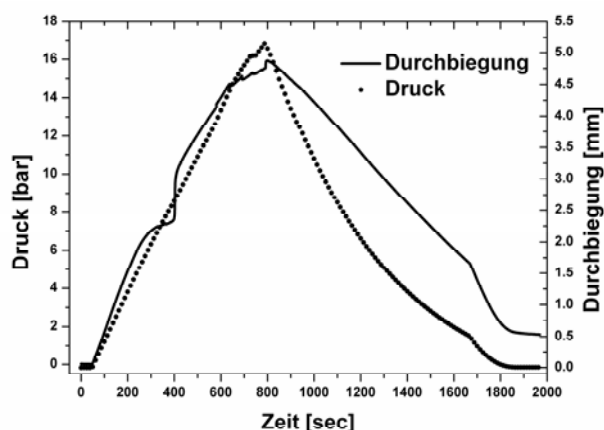


BILD 12. Druck-Weg-Verlauf Biegeversuch

6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts bei der Firma Eurocopter Deutschland GmbH wurde eine Tankabde-

ckung, die zuvor in Aluminiumbauweise hergestellt wurde, in Faserverbundbauweise realisiert. Die Tankabdeckung ermöglicht den Zugang vom Innenraum des Hubschraubers zu den Tankanlagen. Als Herstellverfahren kommt die „kombinierte Prepreg- und Infusionsbauweise“ zum Einsatz, bei der Prepreg- und Infusionsmaterialien gemeinsam in einem Prozessschritt ausgehärtet werden.

Die Tankabdeckung ist aufgebaut als Sandwich, wobei ein zahnradförmiger, der Versteifung dienender Schaumkern von einem Laminat aus Kohlenstofffasern umschlossen wird. Die dem Hubschrauberinnenraum zugewandten Lagen der Tankabdeckung sind in Prepregbauweise realisiert, welche eine hohe Schlagzähigkeit sicherstellt sowie über die dem Prepregharz beigemischten, anorganischen Bestandteile eine flammhemmende Wirkung hat. Die komplexere Hinterstruktur, die den Schaumkern umschließt und die Biegesteifigkeit sicherstellt, besteht aus Infusionswerkstoffen, das heißt einem Multiaxialgelege als Verstärkungsstruktur und einem Infusionsharz als Matrixwerkstoff.

Zur Überprüfung der Bauteilqualität wurden während der Bauteilentwicklung zerstörungsfreie und zerstörende Bauteiltests durchgeführt. Die zerstörungsfreie Bauteilprüfung zeigte, dass die Qualität der Bauteile sehr gut ist, ein stabiler Fertigungsprozess konnte etabliert werden. Die Bauweise bringt weiterhin keinerlei Beeinträchtigungen der Prüfbarkeit mittels Ultraschall mit sich, die Trennebene innerhalb des Hybridbauteils kann ohne Abminderung durchschallt werden. Die zerstörende Bauteilprüfung zeigte, dass die Durchbiegung der Tankabdeckung weitgehend proportional zum aufgebrachten Druck ist und die Verformung innerhalb der im Versuch aufgebrachten Lasten weitgehend reversibel ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen dass durch die Anwendung der kombinierten Prepreg- und Infusionsbauweise die Tankabdeckung alle an sie gestellten Anforderungen erfüllen kann. Dies bezieht sich allgemein auf die Festigkeit und Steifigkeit, sowie spezifisch für dieses Fertigungsverfahren auf das Brandverhalten, die Schlagzähigkeit sowie die elektrische Leitfähigkeit. Die Technologie ist prozesssicher in der Anwendung sowie der Inspezierbarkeit und erlaubt eine kosteneffiziente Infusionsfertigung komplexer Bauteile unter Beibehaltung der spezifischen Vorteile der Prepregbauweise.

- [1] C. Weimer, M. Neitzel (Hrsg.), Zur nähtechnischen Konfektion von textilen Verstärkungsstrukturen für Faser-Kunststoff-Verbunde, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern, 2002
- [2] C. Lo Faro et al., Recent Developments in Preform Assembly and Textile Technology, 36th International SAMPE Technical Conference, Dayton, USA, 2004
- [3] R. Kaps et al., Kombination von Prepreg- und Injektionstechnologie zur Herstellung von CFK-Verbundwerkstoffen, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, DLR Braunschweig, SAMPE Deutschland, 2006