

Sabrina Jenkel

Entwicklung von Faser-Metall-Laminaten
aus Hybridtextilien

– FibMet –

Herausgeber:

Faserinstitut Bremen e.V.



Universität Bremen
FB Produktionstechnik

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19300 N / 1

Thema

Entwicklung von Faser-Metall-Laminaten aus Hybridtextilien
(FibMet)

Berichtszeitraum

01.02.2017 - 31.07.2019

Forschungsvereinigung

Forschungskuratorium Textil e. V.

Forschungseinrichtung(en)

Faserinstitut Bremen e. V.

Bremen,
18.11.2019

Sabrina Jenkel, M.Sc.

Ort, Datum

Name und Unterschrift aller
Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung zum IGF-Vorhaben 19300 N / 1

Entwicklung von Faser-Metall-Laminaten aus Hybridtextilien (FibMet)

Das Ziel des Forschungsvorhabens bestand in der Entwicklung eines wirtschaftlichen Fertigungsverfahrens für Faser-Metall-Laminat (FML) aus vernähten Halbzeugen im Vakuuminfusionsverfahren sowie der Untersuchung der Laminateneigenschaften. Dadurch sollte eine Möglichkeit geschaffen werden, diese Leichtbauwerkstoffe in breiteren Anwendungsfeldern außerhalb des Flugzeugbaus einzusetzen.

Mithilfe von industriellen Stickmaschinen wurde daher zunächst die Möglichkeit untersucht, Metallfolien und Glasfasergelege zu einem einfach zu handhabenden Halbzeug zu vernähen. Die Verarbeitbarkeit im textilen Prozess ist dabei abhängig von der gewählten Metalllegierung. Folien aus unlegiertem Stahl (DC04) mit einer Dicke von 0,1 mm konnten direkt mit der Nähnadel durchstoßen und mit dem textilen Halbzeug vernäht werden. Folien aus der auch in kommerziell erhältlichen FML eingesetzten Aluminiumlegierung (EN AW-2024) mit einer Dicke von 0,4 mm konnten hingegen nicht auf diesem Wege verarbeitet werden und wurden daher vor der Verarbeitung perforiert und anschließend auf der Stickmaschine positioniert.

Nach dem Vernähen wurden die hergestellten Hybrid-Halbzeuge im Vakuuminfusionsverfahren mit der

Epoxidharzmatrix durchtränkt und ausgehärtet. Die im Rahmen des textilen Prozesses in die Metallfolien eingebrachten Perforationen ermöglichen dabei die Durchtränkung des Laminats.

Durch das Vernähen wird die Anbindung der einzelnen Lagen aneinander verstärkt und die Out-of-Plane-Eigenschaften der hergestellten Laminats größtenteils erhöht. Die In-Plane-Eigenschaften werden aufgrund der in das Metall eingebrachten Schädigungen und der erzeugten Faserverschiebungen mit steigender Stichdichte und Perforationsgröße jedoch verringert.

Der Nachweis zur Herstellung von FML im beschriebenen Verfahren wurde erbracht. Der Einfluss der Nähparameter im textilen Halbzeug-Herstellungsprozess auf den Infusionsprozess sowie der resultierenden Laminats-eigenschaften wurde untersucht.

Die Entwicklung des textilen Prozessschrittes und die Fertigung der Halbzeuge waren aufwändiger als zunächst angenommen, sodass der Aufwand zur Herstellung der Demonstratoren reduziert werden musste. Eine großflächige Plattenstruktur, die als Demonstrator in eine Kastenstruktur integriert werden sollte, konnte daher innerhalb der Projektlaufzeit nicht realisiert werden. Einzelne kleinere Demonstratorstrukturen zur Darstellung eines mehrfach gekrümmten Profils eines Automobil-Seitenaufprallträgers wurden hergestellt.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19300 N / 1 der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e. V. wurde über die AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür möchten wir an dieser Stelle herzlich danken.

Ein besonderer Dank gilt den Partnern aus den im PbA vertretenen Industrieunternehmen, die sich während der gesamten Projektlaufzeit und darüber hinaus mit fruchtbaren Diskussionen, Bereitstellung von Anlagen und materieller Unterstützung eingebracht haben.

Einige Untersuchungen wurden an einem Computertomographie-Gerät GE Phoenix v|tome|x m research edition an der Universität Bremen durchgeführt. Daher soll an dieser Stelle für die finanzielle Unterstützung der Europäischen und Bremer Wirtschaftsförderung im Rahmen von „WERTFASER“ (QS 1005) gedankt werden.

Ferner möchte ich mich ganz herzlich bei den vielen Kolleginnen und Kollegen bedanken, die durch ihre Mitarbeit im Labor oder Technikum die Durchführung der umfangreichen Versuchsreihen erst ermöglicht haben oder im Rahmen vieler Diskussionsrunden wertvolle Anregungen geliefert haben.

Der Schlussbericht kann beim Faserinstitut Bremen e. V. (FIBRE) ausgeliehen werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung zum IGF-Vorhaben 19300 N / 1

Danksagung

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1. Ausgangssituation und Anlass für das Forschungsprojekt

1.1 Faser-Metall-Lamine und Herstellung handelsüblicher Marken

1.2 Alternative Herstellungsverfahren für Faser-Metall-Lamine

1.3 Zusammenfassung der Problemstellung und Motivation für die Durchführung des Forschungsvorhabens

2. Forschungsziel und Lösungsweg

2.1 Forschungsziel

2.1.1 Angestrebte wissenschaftlich-technische Forschungsergebnisse

2.1.2 Innovativer Beitrag und erwarteter wirtschaftlicher Nutzen der angestrebten Forschungsergebnisse

2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

2.2.1 Textiler Prozess

2.2.2 Vakuuminfusionsprozess

2.2.3 Statistische Versuchsplanung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

3.1 Definition Referenzstruktur und Materialien (AP 1)

3.1.1 Definition Referenzstruktur

3.1.2 Materialauswahl

3.2 Auslegung und Herstellung des Hybridhalbzeugs (AP 2)

3.2.1 Konfektion der Textilien

3.2.2 Vernähen der Verbunde

3.2.3 Drapiereigenschaften

3.3 Untersuchung des Infusionsverhaltens der Hybridtextilien (AP 3)

3.3.1 Permeabilität des hybriden Verbundes

3.3.2 Aushärtung

3.3.3 Fertigung des Demonstrators

3.4 Untersuchung der Lamineigenschaften (AP 4)

3.4.1 Laboruntersuchungen (optische Analysen, Faservolumengehaltsbestimmung und mechanische Untersuchungen)

3.4.2 REM, CT, Ultraschall

3.4.3 Brandverhalten

3.4.4 Demonstrator Test

3.5 Dokumentation und Bewertung der Projektergebnisse (AP 5)

3.5.1 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

3.5.2 Abschlussbericht

3.5.3 Empfehlungen für die Weiterentwicklung

4. Bedeutung und Nutzen des Forschungsthemas, vor allem für KMU

4.1 Wissenschaftlich-technischer Nutzen

4.2 Wirtschaftlicher Nutzen insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

4.3 Innovativer Beitrag

4.4 Industrielle Anwendung

Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schematischer Aufbau eines Faser-Metall-Laminats nach [9]

Abbildung 1-2: Überbrückung eines Risses im Metall durch Fasern nach [12]

Abbildung 2-1: Entwickelte Prozesskette zur Herstellung von FML aus Hybridtextilien

Abbildung 2-2: Nahtbildung des Doppelstepstichs [29, 30]

Abbildung 2-3: Prinzipieller Verfahrensaufbau VARI [36]

Abbildung 2-4: Harzfluss durch ein FML-Halbzeug im VARTM-Verfahren nach [4]

Abbildung 2-5: Porenentstehung bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten nach [41]

Abbildung 2-6: Porenanteil durch zusammenlaufende Fließfronten nach [14]

Abbildung 3-1: Vergleich des Querschnitts eines konventionellen Pkw-Seitenaufprallträgers von der Firma Honda mit einem Doppelhutprofil (links) und der im Rahmen des RFP-Projektes davon abgeleiteten Hutgeometrie für CFK-Seitenaufprallträger [17]

Abbildung 3-2: Darstellung der vollständigen Geometrie eines konventionellen Pkw-Seitenaufprallträgers aus Stahl von der Firma Honda (links) und des im Rahmen des RFP-Projektes daraus abgeleiteten Seitenaufprallträgers aus CFK (rechts) [17]

Abbildung 3-3: Lagenaufbauten der untersuchten FML

Abbildung 3-4: Verschiedene Varianten der im Wasserstrahlschneidverfahren perforierten Folien aus der

Aluminiumlegierung EN AW-2024 - Perforationsabstand (von oben links nach unten rechts): 7,5 mm, 12,5 mm und 17,5 mm

Abbildung 3-5: Zusammennähen eines Faser-Metall-Halbzeugs mit außenliegenden Glasfasergelegen (Lagenaufbau 2)

Abbildung 3-6: Nahtbild eines vernähten hybriden Lagenaufbaus, der mit einem Stichabstand von 12,5 mm und einem Nadeldurchmesser von 0,9 mm vernäht wurde (A125090), rechts: Oberseite, links: Unterseite

Abbildung 3-7: Nahtbild eines vernähten hybriden Lagenaufbaus, der mit einem Stichabstand von 5,0 mm und einem Nadeldurchmesser von 1,1 mm vernäht wurde (A050110), rechts: Oberseite, links: Unterseite

Abbildung 3-8: Faserverschiebung auf der Unterseite der Preform mit Lagenaufbau 2, die mit einem Stichabstand von 12,5 mm und einem Nadeldurchmesser von 0,9 mm vernäht wurde (B125090)

Abbildung 3-9: Links: Nähfuß mit Stoffdrücker zur Stabilisierung eines Faser-Metall-Halbzeugs. Rechts: Winkel als zusätzliches Gewicht, um die Preform beim Vernähen zusammenzudrücken

Abbildung 3-10: Schlaufenbildung des Oberfadens auf der Unterseite des Laminats (links) und um Spulenkapsel (rechts)

Abbildung 3-11: Perforation ohne Stoffdrücker

Abbildung 3-12: Abgebrochene Nadel im Nähgut

Abbildung 3-13: Nadel aus Nadelstange herausgezogen

Abbildung 3-14: Perforation einer Folie aus Al EN AW-2024, Dicke 0,4 mm, mit Stoffdrücker

Abbildung 3-15: Vorrichtung zur Aufnahme der Halbzeuge im TFP-Stickrahmen

Abbildung 3-16: Lagenaufbau aus vernähten Einzellagen

Abbildung 3-17: Perforations- und Positionierungsversuch auf Papier, deutliche Kratzer

Abbildung 3-18: Perforations- und Positionierungsversuch auf Papier, gutes Nahtbild

Abbildung 3-19: Stichbild bei Richtungswechsel, Stichabstand 7,5 mm

Abbildung 3-20: Stichbild bei Richtungswechsel, Stichabstand 17,5 mm

Abbildung 3-21: Nahtpunkte im Textil, Naht quer zur Faserrichtung, Stichabstand: 12,5 mm

Abbildung 3-22: Nahtpunkte im Textil, Naht längs zur Faserrichtung, Stichabstand: 12,5 mm

Abbildung 3-23: Drapiereffekte an einer Probe, die mit einem Stichabstand von 7,5 mm vernäht und mit der textilen Seite nach oben und dem Faserverlauf parallel zur Profillängsrichtung umgeformt wurde

Abbildung 3-24: Drapiereffekte an einer Probe, die mit einem Stichabstand von 12,5 mm vernäht und mit der textilen Seite nach oben und dem Faserverlauf quer zur Profillängsrichtung umgeformt wurde

Abbildung 3-25: Drapiereffekte an einer Probe, die mit einem Stichabstand von 17,5 mm vernäht und mit der textilen Seite nach unten und dem Faserverlauf parallel zur Profillängsrichtung umgeformt wurde, wobei die Naht quer zu den Fasern und der Profillängsrichtung ausgerichtet ist

Abbildung 3-26: Anordnung der Hilfsstoffe und der Preform für die Vakuuminfusion

Abbildung 3-27: Aufbau der Vakuuminfusion und Versuchsaufbau zur Untersuchung des Infusionsverhaltens. (*Vakuumpumpe nicht sichtbar)

Abbildung 3-28: Vergleich der Infusionszeiten

Abbildung 3-29: Zur vollständigen Füllung der Zulaufleitung mit Infusionsharz benötigte Zeit

Abbildung 3-30: Fließverhalten auf der Unterseite des Laminats B200070: Durch die Perforationen gelangt Harz vor die Hauptfließfront, wodurch die einzelnen Fließfronten aufeinandertreffen. Zudem tritt durch einzelne Perforationen kein Harz

Abbildung 3-31: Infusion eines Doppelhutprofilabschnitts aus FML

Abbildung 3-32: Doppelhutprofil aus GFK

Abbildung 3-33: Doppelhutprofil aus FML mit Lagenaufbau 1

Abbildung 3-34: Schnittkante eines Laminats, gesägt

Abbildung 3-35: Schnittkante eines Laminats, wasserstrahlgeschnitten

Abbildung 3-36: Makroskoraufnahme eines Nahtpunktes in einem direkt vernähten Laminat aus GFK und Stahlfolie mit Lagenaufbau 1

Abbildung 3-37: Makroskoraufnahme eines Nahtpunktes in einem direkt vernähten Laminat aus GFK und Stahlfolie mit Lagenaufbau 2

Abbildung 3-38: Makroskoraufnahme von Nahtpunkten in einem Laminat aus GFK und Folie aus Aluminiumlegierung mit Lagenaufbau 1

Abbildung 3-39: Makroskoraufnahme von Nahtpunkten in einem Laminat aus GFK und Folie aus Aluminiumlegierung mit Lagenaufbau 2

Abbildung 3-40: Schliffbild einer Nahtstelle des Laminats A050070

Abbildung 3-41: Schliffbild einer Nahtstelle des Laminats B050110

Abbildung 3-42: Schliffbild des Laminats A125090

Abbildung 3-43: Schliffbild eines FML mit Lagenaufbau 2 aus GFK und Metallfolien aus der Aluminiumlegierung EN AW-2024

Abbildung 3-44: Vergleich der Porenanteile der Lamine in Zulaufnähe, der Mitte und Ablaufnähe

Abbildung 3-45: Gemittelter Porenanteil der Lamine

Abbildung 3-46: Effektdiagramm für den Porenanteil

Abbildung 3-47: Wechselwirkungsdiagramm für die Wechselwirkung zwischen Stichabstand und Nadeldurchmesser auf den Porenanteil

Abbildung 3-48: Vergleich des FVG (Veraschung) über der Lamine in Zulaufnähe, der Mitte und Ablaufnähe

Abbildung 3-49: Effektdiagramm für den Faservolumengehalt (Veraschung)

Abbildung 3-50: Wechselwirkungsdiagramm der Wechselwirkung zwischen Stichabstand und Nadeldurchmesser auf den Faservolumengehalt

Abbildung 3-51: Versagensorte Zugprüfkörper. Versagen einer Zugprobe des Laminats B020110 (oben) und Versagen einer Zugprobe des Laminats A050070 (unten)

Abbildung 3-52: Zugmoduln (Mittelwerte) der Lamine

Abbildung 3-53: Effektdiagramme für den Zugmodul

Abbildung 3-54: Wechselwirkungsdiagramm für die Wechselwirkung zwischen Stichabstand und Nadeldurchmesser auf den Zugmodul, ermittelt anhand der Messwerte für FML aus direkt vernähten Halbzeugen aus Glasfasergelegen und Stahlfolie

Abbildung 3-55: Zugfestigkeiten (Mittelwerte) der Lamine

Abbildung 3-56: Effektdiagramme für die Zugfestigkeit

Abbildung 3-57: Wechselwirkungsdiagramm der Wechselwirkung zwischen Stichabstand und Nadeldurchmesser, ermittelt anhand der Messwerte für FML aus direkt vernähten Halbzeugen aus Glasfasergelegen und Stahlfolie