

3D-core4CFK

CFK-Sandwich-Werkstoffe mit in den bionisch-optimierten, 3D-gedruckten Kunststoff-Kern integrierten Scharnieren

Programm / Ausschreibung	TAKE OFF, TAKEOFF Ausschreibung 2017	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.09.2018	Projektende	31.08.2021
Zeitraum	2018 - 2021	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	Bionische Topologie- und Lattice-Optimierung; Selektives Lasersintern; CFK-Laminierung; Atmosphärendruck-Plasmabeschichtung; (3D-Druck + CFK)-Komposit		

Projektbeschreibung

Bauteile aus Sandwich-Materialien mit Carbonfaser-Verbundwerkstoffen (CFK) bieten zwar höchste spezifische Festigkeit und Steifigkeit als Basis für Hochleistungs-Leichtbau, sind jedoch nur aufwendig und kostenintensiv zu fertigen bzw. in Baugruppen zu integrieren:

- (1) Die Formgebung (Harz-Aushärtung) von Bauteilen mit Waben- oder Schaumkern, aber auch CFK-Hohlkörpern erfordert für die Standard-Technologien (Autoklavieren, Vakuum-Pressen) kostenintensive Form-Werkzeuge (Negativ-Formen).
- (2) Deren Integration in Gesamtkonstruktionen erfordert die Verwendung von Inserts und Anbauelementen (z.B. Scharniere, Lager, Zahnschienen) aus metallischen Werkstoffen (Aluminium, Titan, etc.), welche speziell zur Erfüllung der Leichtbau-Anforderungen fertigungstechnisch aufwendig und teuer sind (z.T. großer Zerspanungsaufwand) und aufgrund sehr ungünstiger Spannungsverteilung oftmals Ausgangspunkt für das Versagen des Komposits sind.

Ziel des Projekts „3D-core4CFK“ ist es daher mit Fokus auf zukünftige Baugruppen im Aircabin-Bereich (z.B. Gepäckfächer, Passagiertische, Ablagen), eine neue Fertigungstechnologie im Labormaßstab zu entwickeln, welche Anbauelemente in die Komponente integriert, und basierend auf bionischer Topologie- und Lattice-Optimierung von dazu notwendigen geometrisch-komplexen Kunststoff-Kernen mit entlang des Kraftflusses orientierten CFK-Außenlagen (1) die Formstabilität für möglichst vollständig werkzeuglose Formgebung und (2) durch optimale Krafteinleitung in die Außenlagen diesen Verzicht auf metallische Inserts und Anbauteile ermöglicht.

Derartige komplexe Kerne aus bionisch optimierten Leichtbaustrukturen nach Vorbild eines Vogel-Flügelknochens sind mit konventionellen Fertigungsverfahren (z.B. Spritzguss mit kostenintensiven Formen) wirtschaftlich und technologisch nicht realisierbar, jedoch bieten sich dafür speziell additive Fertigungsverfahren („3D-Druck“) wie z.B. das Selektive Lasersintern (SLS) mit den vergleichsweise besten erreichbaren mechanischen Materialeigenschaften an. In der SLS genutzte Polymere haben jedoch speziell für Gleitlagerungen zu niedrige Verschleißbeständigkeit, was jedoch durch die Aufbringung neuartiger, kostengünstiger Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtungen (APPD) mit niedrigen Reibwerten und der Möglichkeit zur Selbstheilung nach Überlastung umgangen werden kann.

Simulationen und Vorstudien im Konsortium mit Fokus auf die Technologie-Implementierung in Fertigungsprozesse zeigten,

dass folgender Grundlagen-fokussierter industrieller Forschungsbedarf unter Berücksichtigung der einzuhaltenden Bauvorschriften (FAR, JAR, CS) besteht:

- SLS von Kernen aus flammbeständigem PA12 mit bionisch-optimierten Ultra-Leichtbau-Strukturen mit signifikant gesteigerten Bauraten ($> 170 \text{ cm}^3 \text{ pro h \& Laser}$):
- Erzielung homogener mechanischer Eigenschaften auch in stark unterschiedlichen Materialquerschnitten von Stäben und Knoten zellulärer und bionischer Gitter als Basis der Gewährleistung gleichmäßig hoher plastischer Dehnungsreserve gegen Versagen unter dynamischen Belastungen
- Optimierung des Strukturgrößen-abhängigen, lokal erforderlichen Wärmeeintrags für vollständiges Verschmelzen/Versintern mit der darunterliegenden Lage (Minimierung der Porosität), aber ohne thermische Degradation durch Überhitzung des PA12.
- Vermeidung von plastischer Verformung des Kerns während des Vakuumpressens / Autoklavierens sowie des Durchhängens des Carbonfasern (PrePregs) bei zu hohem Abstand der Auflagepunkte
- Topologie- & Lattice-Optimierung der bionischen Struktur unter zusätzlicher Berücksichtigung der Fertigungsanforderungen für die CFK-Außenlagen
- Erzielung glatter Oberflächen und hoher Lasttragfähigkeit der Inserts und Gleitlagerflächen für integrierte Anbauteile
- neue SLS-Scan-Strategien zur Erhöhung der möglichen Flächenpressung in Kombination mit abgestimmter bionischer Krafteinleitung in die CFK-Außenlagen
- hochfeste, porenfreie Verbindung des Kerns mit den CFK-Außenlagen im Sandwich:
- Entwicklung der Vakuumpress- und Autoklavier-Prozesse unter Berücksichtigung der Wärmeformbeständigkeit des zellulären PA12-Materials/-Kerns unter Nutzung von Luftfahrt-zugelassenen PrePregs mit kalt- bzw. warmaushärtenden Epoxidharzen
- Haftungsverbesserung (Ausbildung von Kehlنähnen des Epoxidharzes durch erhöhte Benetzbarkeit des PA12) durch Oberflächenvorbehandlung des SLS-PA12 mit rauen Oberflächen durch nass- oder plasmachemische Verfahren
- kostengünstige Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtungsprozesse (APPD) mit geringer Temperaturbelastung beim Auftrag von innovativen Dickschichten ($\sim 200 \mu\text{m}$ Dicke) auf Basis von MoS₂/Diamond-like-Carbon zur Erhöhung der Verschleißbeständigkeit der SLS-PA12-Gleitlager-Oberfläche auf Scharnieren und Gleitflächen:
- Erzielung hoher Schichthaftung auf rauem PA12 mit nur teilweise versinterten Pulverpartikel an der Oberfläche durch thermisches Nachversintern mittels kurzer hochenergetischer Inertgas-Plasma-Interaktion
- Gewährleistung von Luftfeuchtigkeits-unabhängiger, niedriger Reibung (< 0.1) im trockenen, ungeschmierten Zustand (Notlauf) für die Gleitlagerungsflächen unter Ausnutzung von Selbstadaptierung der Oberflächen an die Gegenfläche sowie Selbstheilung von Schichtrissen nach Überlastung der Tragfähigkeit des PA12-Grundwerkstoffs
- Entwicklung eines „digitalen Element-Baukastens“ für zukünftig vereinfachte Topologie- & Lattice-Optimierung von mit der neuen Fertigungstechnologie herstellbaren Sandwich-Bauteilen basierend auf an 2 Demonstratoren zu entwickelnden Leitlinien zur funktionszentrierten Konstruktion unter Berücksichtigung der erzielbaren Materialeigenschaften und SLS-, Laminierungs-/Autoklavierungs- und APPD-technologischen Einschränkungen

Die Realisierung der industriellen F&E ist durch ein Konsortium aus auf Innovation ausgerichteten Industriepartnern geplant, d.h. RPD als etablierter SLS-Dienstleister mit Subauftragnehmer LSS als Anlagenhersteller, Carbon-Solutions Hintsteiner als CFK-Komponenten-Fertiger, Inocon als Hersteller von APPD-Plasmajet-Anlagen sowie Lohnbeschichter und SinusPro als Dienstleister für die Bauteilauslegung und -optimierung mit Spezialgebiet generative Fertigung. Diese werden durch die Forschungspartner JR im Bereich der APPD-Schichtentwicklung und PCCL für Materialprüfung unterstützt. Die

Technologieintegration in industrielle Serienfertigung wird nach anschließendem experimentellen Prozess-Upscale sowie EASA-Zulassung ab 2022, d.h. 2 Jahre nach Projektende, im Bereich der vielfältigen Interieur-Anwendungen der als Projektpartner beteiligten Luftfahrt-Zulieferer AMES und F/List anvisiert.

Abstract

Components based on sandwich materials with carbon-fiber reinforced polymer composites (CFRP) offer highest strength and stiffness and, thus, the basis for ultimate light-weight engineering. However, manufacturing and integration in modules is difficult, costly and time consuming:

- (1) Forming (resin hardening) of components with honeycomb or foam core, but also of CFRP hollow bodies, demands cost-intensive mold tools (negative molds) for the standard technologies of autoclaving and vacuum pressing.
- (2) The integration of the components in modules is based on the use of inserts and mounting parts (e.g. hinges, bearings, rack rails) made of metals (aluminum, titanium), which demands huge, high-cost efforts in engineering (cutting, molding) for fulfilling light-weight demands and are frequently origin of CFRP failure due to unfavorable stress distribution.

Goal of the project “3D-core4CFK” is reasonable the R&D of an novel advanced manufacturing technology on laboratory scale with focus on its future application for modules in the aircabin (e.g. for overhead bins, passenger tables, racks), which is based on bionic topology optimization of geometrically complex polymer sandwich cores with CFRP face sheets along the force flux in order to guarantee dimensional stability during tool-free forming as well as optimal force distribution from directly integrated inserts and mounting parts into the face sheets.

Such complex cores of topology optimized light-weight structure mimicking bird wing bones are economically and technically not feasible with conventional manufacturing processes (like injection moulding or cutting), however the optimal structures for using additive manufacturing (“3D printing”), e.g. by the selective laser sintering technology (SLS) providing comparatively the highest mechanical properties. Nevertheless, SLS polymers (PA12) are not sufficiently wear resistant for sliding bearings, which can be overcome by novel, cost-efficient coatings from atmospheric pressure plasma deposition (APPD) with low friction and possibility for self-healing after overloading.

Simulations and preliminary studies of the consortium partners with the focus on a future technology implementation into production processes showed, that following industrial scientific research of the technological basics is necessary under consideration of the design regulation (FAR, JAR, CS):

- SLS of flame-resistant PA12 core with bionically optimized ultra-light-weight design with significant increase build rates (> 170 cm³ per h and laser beam):
- Achieving homogeneous mechanical properties also for structures of strongly different cross-sections (slabs and nots of cellular and bionic lattices) as basis to guarantee homogenous plastic deformation buffer against failure under dynamical loading
- Optimization of the structure-size dependent, locally demanded heat input for full melting/sintering with the subjacent layer (to minimize porosity), however by preventing thermal degradation by overheating the PA12.
- Preventing plastic deformation of the core during vacuum pressing / autoclaving as well as sagging of carbon fibres (prepregs) at too high distance of the contact points
- Topology optimization of the bionic structure with consideration of the manufacturing demands for CFRP face sheets
- Achieving smooth surfaces with high load-bearing capacity of inserts and sliding surface of integrated mounting parts
- Novel SLS scan strategy to increase the seating strength in combination with bionic load distribution to CFRP face sheets

- High-strength, pore-free bonding of the core to CFRP face sheets in the sandwich:
- Development of autoclaving and vacuum pressing by consideration of the heat deflection temperature of the cellular PA12 core material by using aerospace approved prepregs with cold and hot curing epoxy resins
- Increase of adhesion strength (formation of fillets by increase wettability) by surface pretreatment of the SLS-PA12 with rough surfaces by developing wet and/or plasma chemical technologies
- Cost efficient atmospheric pressure plasma deposition (APPD) with low temperature strain on the PA12 substrate during coating of novel thick films (~200 µm thickness) based on MoS₂/Diamond-like-Carbon to increase wear resistance of PA12 sliding surfaces:
- Achieving high adhesion on rough PA12 with only partly sintered powder particles on the surface by thermal post-sintering with short high-power plasma pulses
- Guaranteeing humidity-independent, low dry, non-lubricated friction (<0.1) for the bearing surfaces by using self-adaption to the countersurface and self-healing of cracks after overloading the PA12 base material
- Development of „digital building block“ for strongly decreased efforts for topology optimization of such future sandwich components using 2 demonstrators based on guidelines for function-centered construction with the novel SLS, lamination and APPD technology combination and achievable materials performance

The realization of the industrial R&D is planned by a consortium of mainly industrial partners, i.e. RPD as established SLS printing service provider with its subcontractor LSS for SLS equipment manufacturing, Carbon-Solutions Hintsteiner as CFRP manufacturer, Inocon as manufacturer of APPD machines and plasma-jets as well as small-series coating manufacturer, and SinusPro as service provider for component design and optimization with special focus on additive manufacturing. These partners are supported by the research partners JR in the field of development of APPD coatings and PCCL for material testing. The technology integration in industrial manufacturing is planned subsequently after experimental scale-up and EASA technology approval starting from 2022 (2 years after project end), whereby the project partners AMES and F/List have manifold interior applications for airliners and business jets.

Projektkoordinator

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Projektpartner

- Ames - Aerospace and Mechanical Engineering Services Ing. Walter Starzacher GesmbH
- carbon-solutions Hintsteiner GmbH
- F. LIST GMBH
- INOCON Technologie GmbH
- Polymer Competence Center Leoben GmbH
- RPD Rapid Product Development GmbH
- SinusPro GmbH in Liqu.