

1

REINIGEN UND AKTIVIEREN VOR LACKIEREN UND KLEBEN: BEI FASERVERBUND-WERKSTOFFEN KOMMT ES AUF DIE RICHTIGE OBERFLÄCHE AN

Sie haben Technologiesprünge erlaubt und der Industrie völlig neue Anwendungen ermöglicht: Mit Carbon- oder Glasfasern verstärkte Kunststoffe – Faserverbundkunststoffe (FVK) – haben in den vergangenen 25 Jahren eine bemerkenswerte »Karriere« gemacht. Wo immer es um geringes Gewicht und hohe Steifigkeit geht, sind Faserverbundkunststoffe – insbesondere carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK; Abb. 1) und glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) – heute eine naheliegende Option. Dank der Faserverbundkunststoffe hat der Leichtbau in bedeutende Industriebereiche Einzug gehalten. Der Werkstoff macht eine ressourcenschonende Produktion und damit umweltfreundliche Produkte möglich.

Im Luftfahrtbereich werden Flügelteile und Seitenleitwerke aus CFK geformt, im Automobilbereich Fahrzeugdächer, Kofferraumklappen und auch im Bereich der Windenergie gilt es, immer größere Rotorblätter aus GFK zu fertigen. Die Gewichtsreduzierung zahlt sich aus. So führt der konsequente Leichtbau zu einer höheren Effizienz und bei Transportmitteln zu einem geringeren Treibstoffverbrauch und damit zu der angestrebten Verringerung der CO₂-Emission. Extrem harte, steife und dennoch leichte Tennisschläger oder Rennradrahmen haben im Sport als optimales »Werkzeug« ihren Anteil zu Höchstleistungen beigetragen. Kurzum: CFK hat mittlerweile einen festen Platz in der industriellen Gegenwart – und eine glänzende Zukunft. Es wird beispielsweise nur noch wenige Jahre dauern, bis Flugzeuge mit mehr als 50 Prozent CFK-Anteil durch die Luft schweben. Neuentwicklungen wie der Airbus A 350 oder die Boeing 787 zeigen, wohin die Reise geht.

Im Automobilbau und im Luftfahrtbereich hat der Werkstoff CFK sein großes Leichtbaupotenzial bereits nachgewiesen; in vielen anderen Bereichen wird das Material seine zahlreichen

Vorteile bald verstärkt ausspielen. Wo immer FVK eingesetzt wird, muss es jedoch neben allen mechanischen Eigenschaften eine wichtige Grundvoraussetzung erfüllen: Die Anwendung muss wirtschaftlich sein. Oft ist dies nur durch die automatisierte Massenfertigung und -verarbeitung von FVK zu realisieren. Vor allem im Automobilbau sind hohe, effiziente Taktraten gefordert. Und auch im Flugzeugbau wird verstärkt versucht, trotz der Größe der Bauteile den Schritt von der Einzel- in die Serienfertigung zu vollziehen.

Kontaminationen durch Trennmittel – ein notwendiges Übel?

In der Herstellung der FVK-Komponenten liegt eine grundlegende Herausforderung verborgen. Fast alle FVK-Bauteile

1 *Prädestiniert für den Leichtbau – carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK).*

werden in metallischen Formen hergestellt, in denen sie durch einen Aushärtungsprozess ihre endgültige Struktur und Stabilität erhalten. Damit sich die Bauteile nicht fest mit den Formen verbinden, kommen in den meisten Fällen Trennmittel zum Einsatz. Diese sollen bewirken, dass sich die zum Teil mehrere Meter langen Bauteile ohne Beschädigungen wieder aus den Formen entfernen lassen. Dabei werden jedoch auch Trennmittelreste auf das Bauteil übertragen, weshalb eine nachträgliche Reinigung der Oberflächen unumgänglich ist. Die Art, die Menge und die Methode des Auftrags des eingesetzten Trennmittels entscheiden darüber, welcher Reinigungsaufwand anschließend erforderlich ist. Die Maßgabe ist: so viel wie nötig und so wenig wie möglich.

Die Entwicklungen auf diesem Gebiet sind unterschiedlich. In den letzten Jahren wurden u. a. interne Trennmittel für FVK-Bauteile entwickelt, die das Eintrennen der Form ersetzen sollen – das Bauteil bringt quasi sein eigenes Trennmittel bereits mit. Die Trennmittel sind in den Ausgangsprodukten für die Polymermatrix eingearbeitet. Aber auch hier gilt: Damit die Bauteile sich entformen lassen, muss das Trennmittel an der Oberfläche wirken können. Dies führt wiederum dazu, dass die Trennmittel vor einer sich anschließenden Lackierung oder Klebung erst wieder »unschädlich« gemacht werden müssen.

Alternative Entformungsprozesse nutzen anstelle von Trennmitteln permanente Trennschichten (Abb. 2) oder Trennfolien, die in die Formen eingelegt werden. Dabei steigt zwar der Aufwand in der Vorbereitung der Formen, aber die Kosten für die Nachbehandlung lassen sich deutlich senken.

Mit dieser FuE-Thematik haben sich die Experten von Plasmatechnik und Oberflächen – PLATO – des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in den letzten Jahren intensiv beschäftigt. Sie entwickeln u. a. tiefziehfähige, flexible Trennfolien, durch die auf Trennmittel völlig verzichtet werden kann (siehe S. 67; »Schneller und kostengünstiger mit Qualitätsgewinn: Fraunhofer IFAM beschleunigt industrielle Prozesse«).

Oberflächenvorbehandlung bei Faserverbundkunststoffen: Reinigung und Aktivierung

Sollte der Verzicht auf Trennmittel im Fertigungsprozess der FVK-Bauteile nicht möglich sein, so müssen sie vor einer weiteren Verarbeitung qualitätsgesichert entfernt werden. Erst dadurch lässt sich das volle Potenzial dieses Werkstoffs nutzen, um im Anschluss gute und gesicherte Kleb- und Lackhaftungsergebnisse zu erzielen. Das ist besonders wichtig, da das Kleben die ideale Füge-technik für Faserverbundwerkstoffe ist und nicht die mechanische Niettechnik. Beim mechanischen Fügen müssen zunächst aufwendig und sehr kostenintensiv Löcher in das Material gebohrt werden. Dabei kommt es nicht nur zu einem hohen Verschleiß der Werkzeuge, sondern auch zu einer lokalen strukturellen Schädigung des FVK und damit zur erheblichen Schwächung des Bauteils.

Hingegen ist die Klebtechnik eine werkstoffgerechte Fügemethode. Sie ermöglicht eine schädigungsfreie, flächige Kraftübertragung und kann so wirtschaftlicher eingesetzt werden. Darüber hinaus lässt sich bei CFK damit die Kontaktkorrosion zwischen den Carbonfasern und den metallischen Nitelementen vollständig vermeiden. Um diese Potenziale jedoch vollständig nutzen zu können, sind geeignete Oberflächen erforderlich.

Hier setzt die Arbeit der PLATO-Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM wieder ein. Mit ihrer breiten Expertise hat die PLATO in den vergangenen Jahren in zahlreichen Projekten den Einsatz von FVK optimiert oder sogar erst möglich gemacht.

Die Herausforderung ist anspruchsvoll: Faserverbundkunststoffe müssen mit den Vorbehandlungsmethoden so auf die Weiterverarbeitung vorbereitet werden, dass darauf sowohl eine qualitätsgesicherte Klebung als auch eine fehlerfreie Lackie-

2 Trennmittelfreie Entformung von FVK-Bauteilen durch permanente plasmapolymere Trennschichten.



reinigung erfolgen kann. Zeit, Kosten und Qualität sind die Parameter, an denen der Einsatz von FVK u. a. gemessen wird und an denen sich somit auch die Vorbehandlung des Werkstoffs orientiert. Im Flugzeugbau und im Bereich der Windenergie werden Komponenten bislang oft mit aufwendiger manueller Arbeit gereinigt und für die Klebung oder Lackierung vorbereitet – durch Schleifen per Hand, Abwischen mit Lösungsmitteln oder maschinell unterstützt durch das Laserstrahlen, was allerdings ebenso wie die »händische« Arbeit die Gefahr von Fehlern und Beschädigung des sensiblen Materials mit sich bringt.

Das Ziel von PLATO ist es, durch die Automatisierung der Vorbehandlungsprozesse die Sicherheit und die Qualität der FVK-Verwendung zu erhöhen und die Kosten zu senken. Je nachdem, was genau im nächsten Schritt mit dem gefertigten FVK-Bauteil geschehen soll, bieten sich unterschiedliche Prozesse an. Dank der FuE-Aktivitäten im Bereich Plasmatechnik und Oberflächen wird in Zusammenarbeit mit dem Kunden die passende, bedarfsgerechte Lösung für den jeweiligen Anwendungsfall gefunden. Von Vorteil ist dabei, dass die Arbeiten in enger Zusammenarbeit mit den anderen Fachbereichen des Fraunhofer IFAM – z. B. der Adhäsions- und Grenzflächenforschung, der Klebtechnik oder der Lacktechnik – erfolgen.

Eine weitere Herausforderung neben der Trennmittelproblematik ist, dass es thermoplastische CFK-Materialien gibt, die sich selbst im sauberen Zustand nicht gut kleben oder lackieren lassen. Noch wird der überwiegende Teil der CFK-Bauteile mit Epoxiden hergestellt; zunehmend kommen aber auch im Luftfahrt- und Automobilbereich thermoplastische Materialien zum Einsatz. Diese CFK-haltigen Kunststoffplatten lassen sich unter Wärmeeinwirkung in eine beliebige Form pressen – so, wie für Fahrzeuge beispielsweise auch Bleche gepresst werden. Der Nachteil ist, dass thermoplastische Materialien für die Haftung von Lacken und Klebstoffen zunächst nicht gut geeignet sind. Sie weisen eine wasserabweisende Oberfläche auf, die selbst bei hundertprozentiger Sauberkeit nicht kleb- oder lackierfreudig ist. Hier muss das Material also mit einer

Oberflächenvorbehandlung zusätzlich zur Reinigung auch noch aktiviert werden.

Welche Vorbehandlung ist die richtige?

Welche Vorbehandlung passt zu welcher Kontamination und zu welchem Produktionsprozess bzw. Produktionsschritt? Dies ist die grundsätzliche Frage, die die PLATO-Experten antreibt. Die ideale Antwort kann hierbei auch sein, dass zwei Verfahren miteinander kombiniert werden, um die technisch und wirtschaftlich beste Lösung zu erreichen. Die Vorbehandlung muss so gestaltet sein, dass sie sicher ist – für die Produktion, für die Lebenszeit des Bauteils und für den Kunden.

CO₂-Schneestrahlen – schonend und gründlich reinigen ...

Wenn in der Produktion auf den Einsatz von Trennmittel nicht verzichtet werden kann, hat sich in der jüngeren Vergangenheit vor allem die CO₂-Schneestrahln-Reinigung oftmals als geeignete Vorreinigung erwiesen. Dabei wird Kohlenstoffdioxid (CO₂) eingesetzt – ein unbrennbares, farb- und geruchloses Gas, das ein natürlicher Bestandteil der Luft ist und sich umweltfreundlich gewinnen lässt. Es wird in flüssiger Form in einem Tank gelagert und beim Einsatz durch spezielle Düsentekniken in kleine Schneekristalle umgewandelt, die mit hohem Druck auf die Bauteiloberfläche beschleunigt werden (Abb. 3).

Auf diese Weise lassen sich material- und umweltschonend Kontaminationen von Oberflächen entfernen. Weil die

3 *Schonend, gründlich und rückstandsfrei – Entfernung von Trennmitteln durch CO₂-Schneestrahlen.*

Schneekristalle wieder in den gasförmigen Zustand übergehen und sich im wahrsten Sinne des Wortes »in Luft auflösen«, gibt es auch keine Rückstände. Das Verfahren ist für die Oberfläche äußerst schonend und verletzt die Bauteiloberfläche nicht, reinigt sie jedoch gründlich. Namhafte Automobilfirmen wie BMW setzen das CO₂-Schneestrahlen bereits in der Serienproduktion vor der Kunststofflackierung ein. Damit entfällt nicht nur die aufwendige wässrige Reinigung – der Autobauer kann auch sicher sein, dass das Bauteil höchsten lacktechnischen Anforderungen entspricht. Der große Vorteil des CO₂-Schneestrahlers ist somit die Reinigung. Allerdings ist ein Polymer, das von sich aus hydrophob – also wasserabweisend – ist, auch nach der CO₂-Behandlung im sauberen Zustand nicht gut mit Wasser benetzbar.

... in Kombination mit Atmosphärendruck-Plasma – eine optimale Grundlage für Klebung sowie Lackierung

Um Polymere auch besser kleb- und lackierbar zu machen, bietet sich die Behandlung mit einem Atmosphärendruck-Plasma (AD-Plasma; Abb. 4) an. Ursprünglich kaum lackierbare thermoplastische Materialien – wie Polyphenylsulfid (PPS) – lassen sich durch die AD-Plasmabehandlung entscheidend modifizieren, indem man mit dieser Methode Sauerstoff in die Werkstoffoberfläche einbaut. Das macht allerdings nur bei geringen Verschmutzungen Sinn: Ein Plasma ist zwar in der Lage, organische Kontaminationen, etwa einen dünnen Ölfilm, zu entfernen. Bei größeren Verunreinigungen kann diese Vorbehandlung allerdings nicht die alleinige Methode sein: hier bietet sich eher eine Kombination von CO₂-Schneestrahlen – zur Entfernung der Grobverschmutzung – und ein AD-Plasmaprozess – zur Feinstreinigung und Funktionalisierung der Oberflächen – an. Beide Prozesse lassen sich automatisiert in der Serienproduktion gut miteinander koppeln.

4 Reinigung und Aktivierung von komplexen FVK-Oberflächen durch Atmosphärendruck-Plasma.

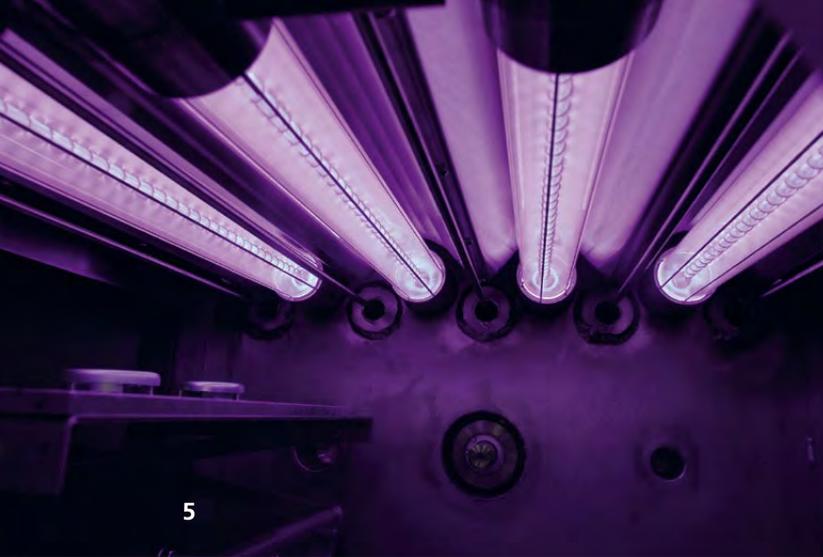
Reinigung und Aktivierung mit Licht – VUV-Excimer-Technologie

Eine relativ neue Technologie im Portfolio von PLATO ist die Reinigung, Aktivierung und Beschichtung von Oberflächen durch Vakuum-Ultra-Violett-Strahlung, kurz VUV-Strahlung. Dabei wird von sogenannten »Excimer-Lampen«, die über eine Oberfläche gefahren werden, eine Strahlung mit einer Wellenlänge von 172 Nanometern abgegeben. Durch die intensive Strahlung gelingt es auch mit diesem Verfahren, Trennmittelreste zu entfernen oder in Haftvermittler umzuwandeln. Derzeit arbeiten die PLATO-Wissenschaftler daran, die Integration von VUV-Bestrahlung in Produktionslinien zu ermöglichen und auch damit eine hochpräzise – und dennoch wirtschaftliche – Oberflächenbearbeitung zu erreichen (Abb. 5).

Vakuum-Saugstrahlen – überall und partiell einsetzbar zum Reinigen sowie Abtragen ...

Eine andere bewährte Methode zur Vorbereitung eines Bauteils auf die folgenden Kleb- und Lackierprozesse ist das Strahlen mit festen Strahlmitteln. Beim herkömmlichen Druckluftstrahlen werden Partikel mit Hochgeschwindigkeit auf das Material geblasen, wo sie eine abtragende Wirkung haben. Der Nachteil: Die Partikel verteilen sich im Raum, weshalb das Verfahren meist in Strahlkabinen eingesetzt wird.

Hier bietet sich als Alternative das Vakuum-Saugstrahlen an: Bei dem Verfahren findet das Strahlen unter einer Glocke statt, die an einen Industriestaubsauger angeschlossen ist. Dieser zieht die Luft aus der Glocke – und damit auch die Strahlpartikel. Das Verfahren ist somit gut für Räume geeignet, in denen anschließend noch lackiert werden soll. Es nutzt somit die Wirkung des klassischen Druckluftstrahlens, vermeidet jedoch Verschmutzungen und macht den Transport von Bauteilen in Strahlkabinen unnötig. So lassen sich auch sehr große Bauteile direkt in einer sensiblen Fertigungslinie vorbehandeln. Dabei werden die gebildeten Stäube sofort abge-



5



6

saugt, was auch deutliche Vorteile hinsichtlich der Umwelt- und Arbeitsplatzsicherheit bietet: Die Freisetzung von bedenklichen Epoxidstäuben bei FVK-Bauteilen kann gesichert vermieden werden.

Zudem ist mit der am Fraunhofer IFAM eingesetzten Methode auch ein partieller, lokaler Einsatz möglich. Beim Vakuum-Saugstrahlen fährt eine Düse berührungslos über die Oberfläche; der Partikelstrahl raut die Oberfläche definiert auf, was beispielsweise für anschließende Klebungen erforderlich sein kann. PLATO arbeitet konkret an Verfahren, mit denen das Vakuum-Saugstrahlen samt sicherer Absaugung über spezielle Filter für den industriellen Einsatz optimiert wird – angepasst an die individuellen Vorgaben des Kunden (Abb. 6).

... und zwar qualitätsgesichert

In Zusammenarbeit mit den Experten der Adhäsions- und Grenzflächenforschung wird in diesem Zusammenhang auch an integrierten Möglichkeiten des Online-Monitorings gearbeitet, sodass das Bearbeitungsergebnis im laufenden Prozess überwachbar und gegebenenfalls justierbar ist. Dabei entwickeln die Wissenschaftler robuste Methoden, die sich in der industriellen Fertigungsumgebung bewähren sollen und für den jeweiligen Einsatz angepasst und optimiert werden, um die materialtechnisch beste und ökonomisch günstigste Anwendung zu generieren (Abb. 7).

Maßgeschneiderte Kombinationen der Oberflächenvorbehandlung

Um für jede spezifische Anwendung die ideale Lösung zu realisieren, ist oft eine Kombination von Verfahren sinnvoll. So lassen sich zum Beispiel Bauteilbereiche, die geklebt werden sollen, an den Kontaktstellen durch Laserstrahlen oder Vakuum-Saugstrahlen aufrauen. Die Bereiche, in denen die glatte CFK-Oberfläche eine hochwertige Lackierung erhalten

soll, werden eher mit CO₂-Schneestrahlen oder AD-Plasma bearbeitet. Im konkreten Einsatz nimmt sich die Bearbeitungsvorrichtung in einer Roboterzelle jeweils die Werkzeuge, die es für den jeweiligen Bereich gerade benötigt. In der industriellen Serienfertigung findet dies für die verschiedenen Schritte an eigenen Stationen statt.

Bei Fertigung von großen Flugzeugbauteilen hingegen macht es durchaus Sinn, dass ein Roboter zunächst mit CO₂-Schnee eine Oberfläche großflächig reinigt und anschließend mit einer Plasmadüse oder einer Vakuum-Saugstrahldüse definierte Bereiche aktiviert. Ein Beispiel dafür sind Stellen, an denen im Flugzeug kleine Bauteile – wie etwa Kabelhalter – in bestimmten Abständen anzubringen sind. Im herkömmlichen Verfahren wurden diese Stellen bislang manuell aufgeraut und mit Lösungsmittel gereinigt – eine Arbeit, die künftig auch durch zielgerichtetes Vakuum-Saugstrahlen maschinell durchführbar ist.

Aktiv in europäischen Forschungsprojekten

Auf dem Gebiet der Oberflächenvorbehandlung hat die PLATO ihr Know-how auch in einem europäischen Projekt eingebracht: In ABITAS (Advanced Bonding Technologies for Aircraft Structures) wurde zusammen mit Airbus und weiteren Partnern aus ganz Europa versucht, die Kosten für die Entwicklung und den Betrieb neuer Flugzeuge mittel- bis langfristig um 20 bis 50 Prozent zu senken. Die Experten des Fraunhofer IFAM beschäftigten sich hierbei speziell mit der Vorbehandlung von Oberflächen mit Atmosphärendruck-Plasma. Im Vergleich mit anderen Vorbehandlungstechniken

- 5 *Reinigung und Aktivierung von Oberflächen mit VUV-Strahlung durch Excimer-Technologie.*
- 6 *Berührungsloses Vakuum-Saugstrahlen von FVK-Oberflächen vor dem Kleben.*



wurde nachgewiesen, dass dieses Verfahren manuelle Aktivierungen bestens ersetzen kann. PLATO untersuchte verschiedene CFK-Oberflächen und behandelte sie mit AD-Plasma vor, bezog unterschiedliche Entformungsprozesse und damit verschiedenartige Kontaminationen in die Untersuchung ein und zeigte, dass mit dieser Vorbehandlung langzeitbeständige Klebungen im Flugzeugbau möglich sind. Die Klebungen wurden auf ihre Alterungsbeständigkeit überprüft – mit ausgezeichneten Ergebnissen.

Ein bedeutendes Thema für die Forschung und Entwicklung ist auch die Reparatur von CFK-Bauteilen. Je stärker der Werkstoff eingesetzt wird, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit von Materialverletzungen im Alltagsgebrauch. Auf diesem Gebiet gilt es, die Reparatur von CFK zu verstehen und dann zielgerichtet zu entwickeln. PLATO sucht dafür nach robusten Prozessen, die in rauerer Umgebungen funktionieren – zum Beispiel auf einem Flugplatz, wo Beschädigungen der CFK-Außenhaut eines Flugzeugs effizient, aber auch mit möglichst geringem Aufwand qualitätsgesichert und langzeitstabil repariert werden sollen. Dabei handelt es sich nicht um Bauteile »frisch aus der Fertigung«, sondern um Komponenten, die bereits stark beansprucht wurden, kontaminiert sind und einen Alterungsprozess durchlaufen haben. Auch hier ist PLATO im großen europäischen CleanSky-Vorhaben eng in die aktuelle Forschung und Entwicklung eingebunden. Im Teilprojekt SFWA (Smart Fixed Wing Aircraft) arbeitet das Fraunhofer IFAM mit namhaften Partnern der europäischen Luftfahrtindustrie an möglichen Verfahren.

KONTAKT

Dr. Jörg Ihde

Plasmatechnik und Oberflächen PLATO

Telefon +49 421 2246-427

joerg.ihde@ifam.fraunhofer.de

Dr. Ralph Wilken

Plasmatechnik und Oberflächen PLATO

Telefon +49 421 2246-448

ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de

Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM,
Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*