

im Vergleich zu einer geschliffenen CFK-Referenz. Die Haftfestigkeit der Klebverbindung wurde mit dem Stirnabzugstest nach DIN EN ISO 4624 und dem G1C-Test nach ASTM D5528 bestimmt (Abb. 5).

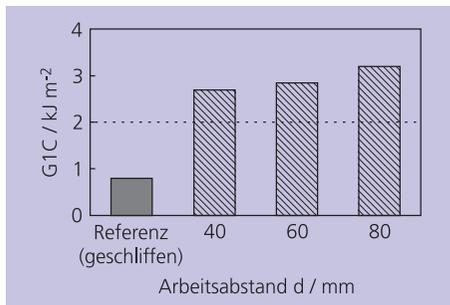


Abb. 5: Exemplarische Ergebnisse G1C-Test für Ar+O₂ behandelte CFK-Oberflächen

Die G1C-Werte korrelieren mit den mittels XPS-Analysen bestimmten Silikat- und Silikonanteilen auf der Oberfläche. D. h. je höher der Silikat-Anteil auf der Oberfläche, umso besser ist die Haftfestigkeit der Klebverbindung. Bei allen Proben wurde ein kohäsives Versagen im Klebstoff oder innerhalb des Matrixmaterials festgestellt.

Titelbild: LARGE-Plasmaquelle zur Abscheidung von SiO₂-Haftvermittlerschichten auf Titan (Airbus Innovation)

Fotos: Fraunhofer IWS

Gruppe Plasmatechnik und Nanomaterialien

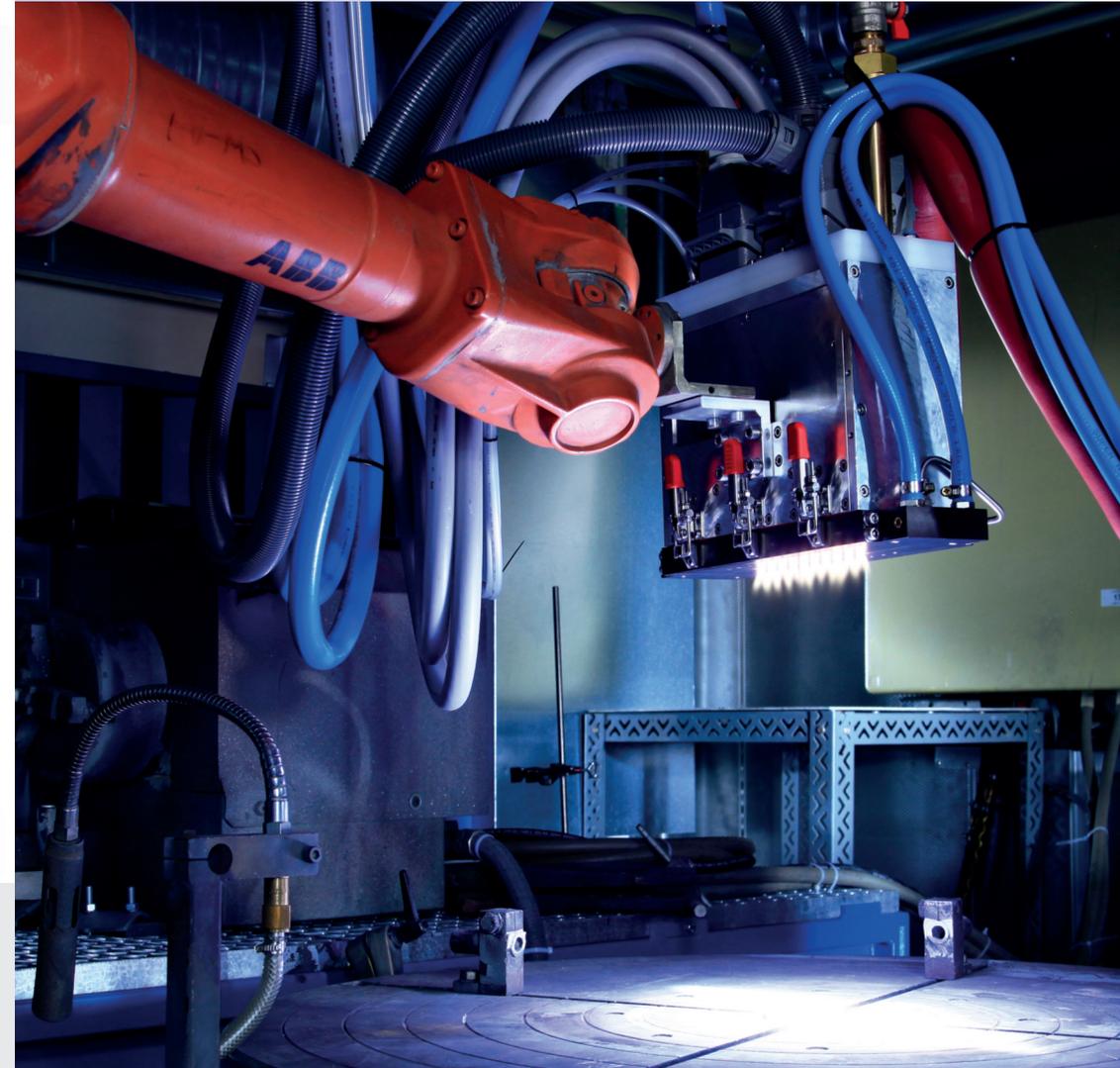
Neben der Lichtbogenplasmaquelle LARGE, die für die Oberflächenaktivierung, -funktionalisierung, -feinreinigung und Schichtabscheidung einsetzbar ist, stehen im Fraunhofer IWS weitere Plasmatechnologien wie Mikrowellenplasma und dielektrische Barriereentladungen zur Verfügung.

Unser Leistungsangebot:

- Entwicklung von angepassten Plasmaquellen und Prototypanlagen für die Plasma-Oberflächenbehandlung
- Entwicklung von Anlagen zur Kohlenfaser-Herstellung und -Behandlung
- Abscheidung von Diamantschichten mittels Mikrowellenplasma CVD

Kontakt

Dr. Gerrit Mäder
Gruppenleiter Plasmatechnik und Nanomaterialien
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden
Tel. +49 (0) 351 83391-3262
gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de
www.iws.fraunhofer.de



GROSSFLÄCHIGE PLASMABEHANDLUNG FÜR DIE LUFTFAHRTINDUSTRIE

Aufgabe

Im Bereich der Luftfahrttechnik werden die Leichtbaumaterialien Ti6Al4V und Ti15V3Cr3Sn3Al sowie kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) miteinander verklebt. Dabei stellt das strukturelle Kleben eine innovative und einfach realisierbare Fügetechnologie dar, die zudem das Potential der Leichtbaumaterialien weiter erhöht.

Grundlage für eine gute adhäsive Verbindung ist die Vorbehandlung der Oberfläche. Diese Aufgabe soll für die beiden sehr verschiedenen Materialien mit einer Technologie gelöst werden. Es müssen zudem große komplexe Oberflächen behandelbar sein, weshalb ein möglichst großes Parameterfenster hinsichtlich des Bearbeitungsabstandes (mehrere Zentimeter) gefordert wird.

Lösung

Für die Vorbehandlung von Titan- und CFK-Oberflächen wurde am Fraunhofer IWS die lineare Lichtbogenplasmaquelle LARGE entwickelt und evaluiert (Abb. 1). Mit dieser wird ein homogenes linienförmiges Afterglowplasma bei Atmosphärendruck generiert. Um eine großflächige Plasmabehandlung zu ermöglichen, steht eine Arbeitsbreite (Lichtbogenlänge) von bis zu 350 mm zur Verfügung. Selbst gekrümmte Oberflächen sind infolge der großen Fackellänge (bis 20 cm) behandelbar. Besonderes Merkmal der LARGE Plasmaquelle ist die Möglichkeit, eine Vielzahl von Plasmagasen und deren Mischungen, wie z. B. Druckluft, Ar + O₂, N₂, CO₂, H₂ etc., einzusetzen. Damit ist es möglich, die Plasmachemie gezielt auf die zu behandelnde Oberfläche anzupassen.

SiO₂-Haftvermittlerschichten

Eine langlebige strukturelle Klebverbindung von Titanbauteilen kann mit Hilfe von SiO₂-Haftvermittlerschichten erreicht werden. Diese können mit der LARGE-Plasmaquelle im Abstand von bis zu 60 mm abgeschieden werden. Dazu wird der LARGE-Plasmaquelle ein Remotegassystem vorgeschaltet (Abb. 2). Mit diesem wird der Precursor Hexamethyldisiloxan (HMDSO) über ein Trägergas dem energiereichen Afterglowplasma zugeführt und dissoziiert.

Auf der rauen Titanoberfläche wird so eine 50-150 nm dünne SiO₂-Schicht konform abgeschieden. Ihre Nanostruktur (Abb. 3) bewirkt eine zusätzliche mechanische Verankerung des epoxidharzbasierten Klebstoffsystems. Die herausragende langlebige Haftfestigkeit der Fügeverbindungen (Keiltest DIN64448; Rissfortschritt < 40 mm nach 1000 h) beruht nicht nur auf der

mechanischen Verklammerung, sondern vielmehr auf der kovalenten Bindung zwischen Klebstoffsystem und den -Si-CH₃- und -OH- Gruppen der SiO₂-Schicht (Schicht enthält precursorbedingt 3-7 at% C).

CFK-Trennmittelentfernung

Für eine optimale Klebverbindung von CFK-Materialien müssen die fertigungsbedingten Trennmittelreste auf der Oberfläche entfernt werden. Bei den untersuchten CFK-Systemen waren diese silikonbasiert und als Trennfolie (Super Release Blue) bzw. flüssig (Marbocote) aufgetragen. XPS-Analysen zeigen, dass in Abhängigkeit vom eingesetzten Plasmagas Druckluft, Ar+O₂ bzw. Ar+CO₂ und dem Arbeitsabstand von bis zu 80 mm (Abb. 4.) das Silikon in Silikat umgewandelt wird. Dies führt bei Verwendung von epoxidharzbasierten Klebstoffsystemen zu einer deutlichen Erhöhung der Haftfestigkeit



Abb. 1: LARGE Plasmaquelle; kompakte Bauweise für die Adaption an einen Roboterarm

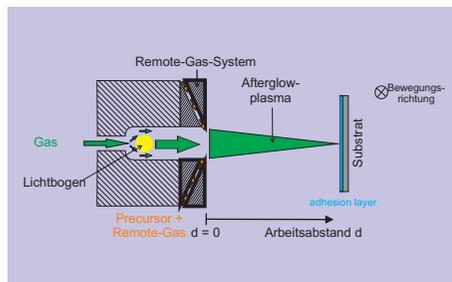


Abb. 2: Prinzipskizze SiO₂-Abscheidung; Querschnitt durch die LARGE-Quelle

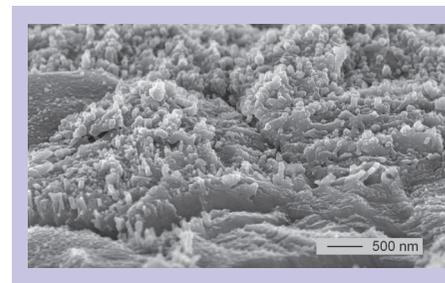


Abb. 3: Haftvermittlerschicht auf Ti6Al4

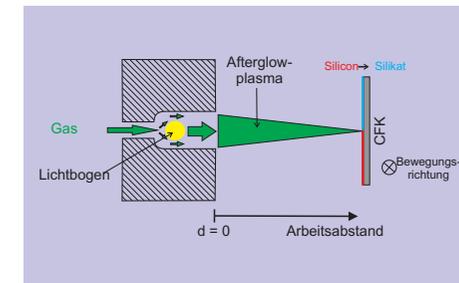


Abb. 4: Prinzipskizze CFK-Trennmittelentfernung bzw. Umwandlung