

Karl-Friedrich Berger,
Sandra Kiefer (Hrsg.)

JAHRBUCH 2022

Dichten. Kleben. Polymer.

Die Plasmatechnologie optimiert das Kleben

Das Potenzial der Verbindungstechnik
Nr. 1 des 21. Jahrhunderts erhöhen

BRANCHENÜBERGREIFEND – Ob einfacher Alltagsgegenstand oder Hightech-Spezialprodukt – ohne die Verbindungstechnik Kleben kommt heute kaum ein Industriezweig aus. Kontinuierlich werden neue Materialien, Klebstoffe und -prozesse entwickelt, die verschiedene Herausforderungen erfüllen und den immer weiter steigenden Anforderungen an die Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit genügen müssen. In vielen Fällen wird dies überhaupt erst durch Plasmatechnologie möglich.

Atmosphärische Plasmasysteme bereiten Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen optimal auf den Klebeprozess vor, sorgen für langzeitbeständige, zuverlässige technische Verbindungen und sind dank vieler umweltfreundlicher Eigenschaften Mittel der Wahl, wenn es um Klebeverbindungen für zukunftsfähige Produkte geht. In Spezialfällen verhelfen Nanobeschichtungen, die mit Atmosphärendruckplasma aufgetragen werden, dem Material zu hocheffektiven Funktionsschichten, wie z.B. zu einer Korrosionsschutzbeschichtung oder einer Beschichtung, die haftvermittelnde Eigenschaften besitzt. Durch diese Beschichtungen werden Materialien noch vielseitiger einsetzbar.

Kleben eröffnet neue Möglichkeiten

Kleben ermöglicht die Kombination von Werkstoffen zur Erfüllung immer komplexerer Anforderungen. Großer Vorteil dieser Verbindungstechnik: Sie erhält die individuellen Werkstoffeigenschaften der verschiedenen Materialien im zusammengeführten Produkt, verbessert durch Verbundbauweise die Eigenschaften von Bauteilen und erlaubt es, gezielt zusätzliche Funktionen zu integrieren. Kleben ermöglicht Kraftübertragung und Verformungsausgleich und eröffnet Konstrukteuren ganz neue Möglichkeiten: Zusammengefügt zu einem Bauteil oder einem Produkt übernehmen moderne Werkstoffverbunde Aufgaben, die konventionelle Materialien



Von Anne-Laureen Lauen, Head of Marketing, Lukas Buske, Head of Plasma Applications
Plasmamatreat GmbH | www.plasmamatreat.de

nicht leisten können. Langzeitbeständige Klebeprozesse verlängern außerdem die Lebenszyklen von Produkten. Auf diese Weise leistet die Klebtechnik in unterschiedlichen Branchen ihren Beitrag zu nachhaltigeren Produkten und treibt die Entwicklung voran. Kurz: Kleben ist die Verbindungstechnik des 21. Jahrhunderts.

Sicheres, langzeitbeständiges Kleben – mit Plasma hält's

Moderne Klebstoffe sind Hightech-Produkte. Zahlreiche Faktoren wie Material, Oberflächenbeschaffenheit, thermische Belastung, Alterungsprozesse u.v.m. beeinflussen die Qualität einer Klebung. Eine hohe Haftfestigkeit sowie die langzeitstabile Verklebung von z.B. Glas, Metall, Keramik und Kunststoffen sind besondere Herausforderungen für die fertige Industrie, denn viele Materialien lassen sich nicht ohne Weiteres mit Klebstoff verbinden. Damit sie zuverlässig aneinanderhaften, bedarf es in vielen Fällen einer Vorbehandlung. Hier kommt die Plasmatechnologie zum Einsatz: Die Plasmabehandlung ist die Schlüsseltechnologie zur Feinstreinigung, Aktivierung und Beschichtung nahezu aller Materialoberflächen. Sie beruht auf einem einfachen physikalischen Prinzip: Durch Energiezufuhr ändern sich Aggregatzustände. Wird einem Gas zusätzliche Energie zugeführt, so wird es angeregt und ionisiert und geht in den energiereichen Plasmazustand als vierten Aggregatzustand über. Tritt Plasma mit seinem hohen Energieniveau in Kontakt mit Materialien, so können sich Oberflächeneigenschaften verändern, z. B. von hydrophob zu hydrophil. Die Plasmabehandlung lässt sich für verschiedene Anwendungen in unterschiedlichen Branchen – so z.B. für Klebeprozesse – effizient nutzen.

Heute stehen unterschiedliche Plasmasysteme und Anlagen für verschiedene Plasmaverfahren zur Verfügung. Im Bereich der Atmosphärendruck-Plasmadüsenteknologie haben sich z.B. die Openair-Plasma-Systemen zur zuverlässigen und hocheffektiven Vorbehandlung und Nanobeschichtung von Materialoberflächen für langzeitbeständige Verklebungen, die auch hoher Beanspruchung standhalten, bewährt.

Feinstreinigung mit Plasma

Für die Vorbehandlung mit der Openair-Plasmatechnologie werden Druckluft als Prozessgas und elektrische Energie genutzt. Das entstehende Plasma wird mit einfacher „Openair“-Druckluft durch eine spezielle Düse punktgenau auf ein Substrat aufgebracht. Bei dieser Technologie werden VOC-Emissionen (Volatile Organic Compounds/ Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe) vermieden. In einem sekundenschnellen Prozess wird so eine trockene, mikrofeine Reinigung der Oberfläche, z.B. von Metallen, vollzogen. Bei dieser Feinstreinigung werden durch das hohe Energieniveau des Atmosphärendruck-Plasmas organische Stoffe an der Oberfläche des Materials gezielt in ihrer

Struktur aufgebrochen und auch empfindliche Oberflächen von unerwünschten Kontaminationen befreit. Die Plasmareinigung entfernt selbst feinste Staubpartikel und hinterlässt keine mechanischen Spuren auf dem Substrat (**Bild 1**). Da keine Nasschemie, wie z.B. lösemittelhaltiger Primer, verwendet wird, ist sie zudem auch umweltschonender als andere Verfahren.

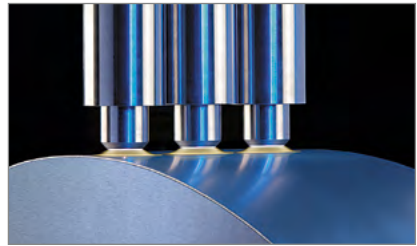


Bild 1: Mit Openair-Plasma werden zuverlässig und effizient Rückstände entfernt und die Oberfläche wird zur weiteren Verarbeitung vorbereitet (Bild: Plasmatreteat GmbH)

Ein Anwendungsbeispiel: So nutzt ein führender Anbieter und Hersteller von Sonnenschutzsystemen in Europa das Openair-Plasmaverfahren zur Feinstreinigung in der Herstellung von Lamellenstoren und Rollläden. Das Unternehmen stellte den Reinigungsprozess der Aluminiumbänder, die für die Fertigung benötigt und im eigenen Werk im Coil-Coating-Verfahren beschichtet werden, von in der Aluminiumindustrie üblicherweise angewandten umweltbelastenden nasschemischen Prozessen auf die Vorbehandlung mittels Openair-Plasma um. Seitdem ersetzt eine kompakte, computergesteuerte Plasmaanlage eine 60 m lange chemische Reinigungsstraße (**Bild 2**). Abhängig vom Grad der Verschmutzung werden jährlich große Mengen an Chemikalien und tausende Tonnen von Abwasser und Abfall vermieden.



Bild 2: Eine kompakte, computergesteuerte Plasmaanlage ersetzt eine chemische Reinigungsstraße von Aluminiumbändern (Bild: Plasmatreteat GmbH)

Oberflächenaktivierung mit Plasma

Für eine langzeitstabile Haftung einer Verklebung von z.B. Kunststoffen ist es zunächst erforderlich, dass die Oberflächenenergie (mJ/m^2) des Festkörpers größer ist als die Oberflächenspannung (mN/m) des flüssigen Klebstoffs. Ist dies nicht der Fall, muss die Oberfläche des Substrats durch Aktivierung auf molekularer Ebene modifiziert und für den nachfolgenden Klebprozess im Hinblick auf die Haftungseigenschaften optimiert werden. Durch die chemische und physikalische Wechselwirkung des Plasmas mit dem Substrat wird die Benetzbarkeit der Oberfläche verbessert und eine signifikante



Bild 3: Durch die Aktivierung der Kunststoffoberfläche mit Plasma wird die Oberflächenenergie (mJ/m^2) des Festkörpers erhöht und für den nachfolgenden Klebprozess im Hinblick auf die Haftungseigenschaften optimiert (Bild: Plasmatreat GmbH)

Steigerung der Adhäsionsfähigkeit bewirkt. Das sorgt für eine langzeitstabile Haftfestigkeit von Klebstoffen, aber auch von Farben und Lacken, selbst unter extremen Bedingungen. Dabei arbeiten die Plasmadüsen ortsselektiv: Sie behandeln die Oberfläche punktgenau an den Stellen, an denen die Vorbehandlung benötigt wird. Eine sofortige Weiterverarbeitung der verschiedenen Materialien ist problemlos möglich.

Ein Anwendungsbeispiel: Einer der weltweit führenden Kunststoffteilehersteller

für die Automobilindustrie, fertigt Instrumententafeln für den Geländewagen eines bekannten deutschen Automobilbauers. Dafür setzt das Unternehmen die Plasmaaktivierung für im Spritzguss gefertigte Trägerteile aus Polypropylen ein. Die Openair-Plasmavorbereitung macht den unpolaren Kunststoff für Haftungsprozesse empfänglich (Bild 3). Sie bietet zudem weitere Vorteile: Bei der traditionell eingesetzten Beflammungstechnik mussten zuvor alle Bereiche der Bauteile, an denen später keine Haftung erfolgen sollte, mit thermisch stabilen Masken abgedeckt werden. Durch den Einsatz von Openair-Plasma entfällt dieser Arbeitsschritt komplett, da der Plasmastrahl ortsselektiv arbeitet und im Gegensatz zur Flamme millimetergenau der Bauteilgeometrie folgt. Darüber hinaus entsteht bei der Plasmabehandlung nur sehr wenig Wärme, so dass die behandelten Bauteile formstabil bleiben und sich weiterverarbeiten lassen.

Oberflächenbeschichtung mit Plasma

Reicht Openair-Plasma für eine optimale Haftfähigkeit nicht aus, kann eine Plasmabeschichtung in vielen Fällen Abhilfe schaffen. So z.B. die PlasmaPlus-Technologie, die mit Nanobeschichtungen gezielt funktionalisierte Oberflächen auf verschiedenen Druckgusslegierungen oder Aluminiumwerkstoffen schafft. Diese können z.B. sowohl superhydrophob als auch superhydrophil sein. Über einen speziellen Düsenkopf werden dem Plasma – je nach Anwendung – spezifische Zusatzstoffe zugeführt. Durch diese Plasmapolymerisation können sich die Substanzen während der Plasmabeschichtung an der Materialoberfläche optimal anlagern, fest anbinden und untereinander quervernetzen. Es entsteht eine Nanoschicht mit individuell auf den Prozess abstimmbaren funktionellen Oberflächeneigenschaften. Ein Beispiel für dieses Verfahren ist die PT-Bond-Beschichtung, die für langzeitstabile Haftung von Dichtsystemen

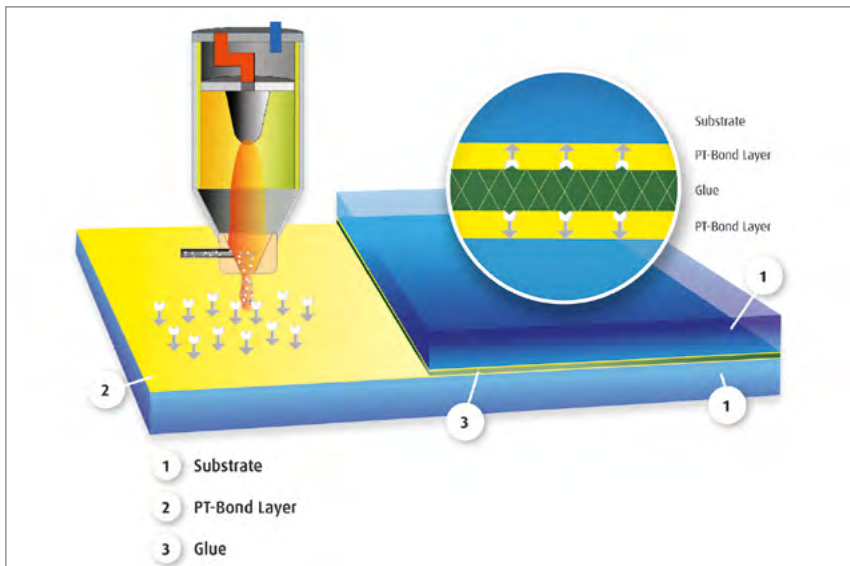


Bild 4: Die PT-Bond-Beschichtung sorgt für eine langzeitstabile Haftung von Dichtsystemen (Bild: Plasmatrete GmbH)

Bild 5: Mit der PlasmaPlus-Technologie AntiCorr wird eine Nanoschicht selektiv auf Kleb- oder Dichtungsnuten von Metallbauteilen aufgetragen. Diese Beschichtung verhindert zuverlässig und nachhaltig Unterwanderungskorrosion

(Bild: Plasmatrete GmbH)



men sorgt. PT-Bond ist eine PlasmaPlus-Anwendung speziell für den Bereich Kleb- und Dichtungstechnik. Dem Plasma wird eine Organo-Siliziumverbindung als Präkursor beigemischt. Die chemische Zusammensetzung variiert dabei je nach Material und Anwendung (**Bild 4**). Die PT-Bond Schicht ist bi-funktional, d.h. sie gewährleistet die haftvermittelnde Funktion sowohl zum Substrat als auch zum Klebstoff.

Eine andere Möglichkeit bietet das PlasmaPlus-Verfahren, wenn es um die Korrosionsschutzbeschichtung AntiCorr geht. Die Nanoschicht, die hier selektiv auf Kleb- oder Dichtungsnuten von Metallbauteilen, z. B. in der Automobilindustrie, aufgetragen wird, verhindert zuverlässig und nachhaltig das Eindringen von Feuchtigkeit –



Bild 6: Aluminium-Druckguss-Prüfkörper mit der Legierung AlSi12 (Fe) ohne AntiCorr®-Schicht (nach 720 h Salzsprühtest gemäß DIN ISO 9227) (Bild: Plasmatrete GmbH)



Bild 7: Aluminium-Druckguss-Prüfkörper mit der Legierung AlSi12 (Fe) und AntiCorr®-Schicht (nach 720 Stunden Salzsprühtest gemäß DIN ISO 9227) (Bild: Plasmatrete GmbH)

Unterwanderungskorrosion wird somit vermieden (**Bild 5**). Dieses Verfahren wird vorzugsweise bei Bauteilen eingesetzt, die externen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Mit AntiCorr wird die Funktionsfähigkeit dieser oftmals sensiblen Bauteile über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus sichergestellt und Anforderungen, wie z.B. die Anforderung PV 1209 (720 h im neutralen Salzsprühtest) eines großen deutschen Autobauers werden zuverlässig erreicht (**Bild 6 und 7**). Im Gegensatz zu alternativen Verfahren ist diese Lösung deutlich flexibler, vor Ort direkt einsetzbar und umweltfreundlicher. Die Bauteile müssten sonst bei externen Firmen in teuren und schwer zu entsorgenden chemischen Bädern behandelt werden.

Ein Anwendungsbeispiel: So wird bei einem Weltmarktführer in der Entwicklung von integrierten Sicherheitssystemen für die Automobilindustrie PlasmaPlus zur Vermeidung von Spaltkorrosion an einem Motor-Pumpen-Aggregat aus Aluminium-Druckguss eingesetzt, das Bestandteil von Servolenkungssystemen ist. Dafür werden die Dichtkonturen der Aluminium-Bauteiloberflächen zunächst mit Openair-Plasma gereinigt. Unmittelbar im Anschluss werden sie im Atmosphärendruck mit PlasmaPlus selektiv im Inline-Prozess beschichtet (**Bild 8**). Die Plasmapolymersation gewährleistet einen langzeitstabilen, bestmöglichen Schutz vor eindringender Feuchte, sorgt für eine beständige Klebeverbindung des Bauteils trotz korrosiver Belastung durch Elektrolyt und stellt damit einen zuverlässigen Schutz der Elektrokomponente im inneren des Bauteils sicher.

Alle Parameter unter Kontrolle – modernste Steuerungssysteme, exakte Reproduzierbarkeit

Ob Bauteil für die Automobil- oder Luftfahrtindustrie, optisches Gerät oder Medizinprodukt – industriell eingesetzte Klebprozesse müssen in den verschiedenen Branchen an-

spruchsvollen Qualitätsnormen entsprechen. Wichtig dabei ist, die entscheidenden Parameter kontinuierlich unter Kontrolle zu haben. Deshalb vereinen moderne Plasmasysteme eine Vielzahl von Steuerungs-, Regelungs- und Überwachungsfunktionen, um eine gleichbleibend hohe Qualität und Reproduzierbarkeit der Plasmapehandlung sicherzustellen. So werden Geschwindigkeit, Abstand des Düsenkopfes zum Substrat und die Intensität des Plasmastrahls präzise auf die zu behandelnde Region der Oberfläche eingestellt. Die Festlegung der optimalen Parameter sowie speziell angepasste Düsenköpfe sichern eine verlässliche Vorbehandlung. Die neuentwickelte PCU (Plasma Control Unit) verhilft zu voller Kontrolle über die Prozesse und unterstützt damit anspruchsvolle Qualitätsvorgaben: Diese Steuereinheit hält eine große Anzahl an Funktionen bereit, u.a. zur Intensität des Plasmastrahls sowie zur Steuerung der Leistung und des Gasvolumens. In Kombination mit Zusatzmodulen, die weitere Überwachungs- und Diagnosefunktionen bieten, wird eine lückenlose Prozesskontrolle erreicht – für Klebprozesse mit Plasmaanwendungen, die sich durch eine gleichbleibend hohe Qualität und exakte Reproduzierbarkeit auszeichnen.



Bild 8: Die AntiCorr-Beschichtung wird bei einem Motor-Pumpen-Aggregat aus Aluminium-Druckguss eingesetzt. Die Dichtkontur der Aluminium-Bauteiloberflächen werden zunächst mit Openair-Plasma gereinigt und im Anschluss selektiv im Inline-Prozess beschichtet

(Bild: Plasmatrete GmbH)

Industrielles Kleben mit Unterstützung von Plasma – Treiber nachhaltiger Entwicklungen

An der Schwelle zu einem neuen Energiezeitalter sind der Klimawandel, immer knapper werdende Ressourcen und ein neues Umweltbewusstsein die zentralen Themen, welche die Forschung und Entwicklung in zahlreichen Branchen beschäftigen. Die Klebtechnik – unterstützt durch den Einsatz von Plasmaanwendungen – ermöglicht die Verwendung neuer Materialien und energiesparender Fertigungsprozesse zur Herstellung umweltfreundlicher, ressourceneffizienter Produkte. In vielen Fällen lassen sich durch Plasmatechnologie althergebrachte energieaufwändige Fertigungsprozesse durch neue Verfahren komplett ablösen.

Erneuerbare Energien

Die Erschließung alternativer Energiequellen wie Solar- und Windenergie ist ohne das Kleben nicht denkbar. So müssen z.B. die in den Solaranlagen verbauten Solarmodule

gegen Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit und extreme Temperaturschwankungen optimal geschützt werden. Eine Plasmaaktivierung ermöglicht die Herstellung witterungsbeständiger Solarmodule durch absolut zuverlässige, langzeitstabile und wasserdichte Verklebungen. Mit der Plasmabeschichtung im PlasmaPlus-Verfahren werden solarthermische Spiegel von Solaranlagen mit einer glasartigen Beschichtung zum Korrosionsschutz ausgestattet. Zudem lassen sich die Oberflächen von Solarmodulen mit einer plasmapolymerten Nanobeschichtung gezielt mit funktionellen Eigenschaften, z.B. besserer Transmission aufgrund geringerer Reflexion, ausstatten. Auch die umweltfreundliche Windenergie wäre ohne das Kleben als Verbindungstechnik kaum realisierbar: Die Rotorblätter von Windkraftanlagen aus glasfaserverstärktem Kunststoff werden komplett geklebt. Auf diese Weise können Werkstoffe mit hoher Steifigkeit und vergleichsweise geringem Gewicht für die großen Bauteile eingesetzt werden. Dank Openair-Plasmaaktivierung lässt sich außerdem eine verbesserte Lackhaftung mit gleichmäßigem Lackverlauf für einen reibungslosen und hocheffizienten Einsatz der Rotorblätter erzielen.

Leichtbau in Automobilbranche und Luftfahrt

Rund um die Mobilität haben sich Klebprozesse, die durch Plasmaanwendungen an Beständigkeit gewinnen, in vielerlei Hinsicht bewährt und tragen zu ressourcenschonenderen Konstruktionen bei. Im Leichtbau für Fahr- und Flugzeuge zählt das Kleben zu den Schlüsseltechnologien: Sowohl in der Automobilindustrie als auch in der Luftfahrt ermöglichen diese Prozesse an vielen Stellen den Einsatz leichterer Bauteile aus neuen Materialkombinationen mit den Effekten der Treibstoffeinsparung und der Reduzierung von Emissionen durch die Senkung des Gesamtgewichts. Im Automobilbereich ermöglicht Klebtechnik – u.a. für Scheiben, Versteifungsprofile oder die Karosserie – den Einsatz von dünneren Blechen und alternativen Bauteilen aus Kunststoffen. Die Fähigkeit von Klebstoff, Kräfte zu übertragen, eröffnet Designern ganz neue Konstruktionsmöglichkeiten für die gesamte Karosserie. Auch im Flugzeugbau haben Klebprozesse den Einsatz von immer leichteren Verbundwerkstoffen aus Schichten von glasfaserverstärktem Kunststoff und Aluminium möglich gemacht, die mit Hochleistungsklebstoffen miteinander verbunden werden.

Elektromobilität

Damit die Energiewende an Fahrt aufnimmt und sich durchsetzt, ist die Reichweite von Elektrofahrzeugen entscheidend. Die dafür erforderlichen leistungsfähigen Batterien müssen hohe Anforderungen in Bezug auf Wärmemanagement, Dichtigkeit und Kontaktierung beweisen. Auch hier bietet die Plasmatechnologie effektive Unterstützung. So z.B. durch Feinstreinigung und Aktivierung von Batteriezellen mit

Openair-Plasma, die für eine perfekte Anhaftung der Isolierung in Form von Folie oder Lack sorgen. Oder aber durch Vorbereitung mithilfe von Openair-Plasma für ein optimales Cell-to-Cell-Bonding sowie für strukturelle Verklebungen des gesamten Batteriemoduls. Plasmaanwendungen bieten dabei außerdem den großen Vorteil, dass sie den Einsatz schnellhärtender Klebstoffe ermöglichen. Die Plasmabehandlung unterstützt hier durch die Erweiterung der Prozessfenster sowie die Verbesserung der Haftungseigenschaften der zu verklebenden Oberflächen. Das wiederum verbessert die Leitfähigkeit, wodurch u.a. das Wärmemanagement der Batterie optimiert und damit ihre Lebensdauer verlängert wird.

Fazit

Das Potenzial der Plasmatechnologie, u.a. für industrielle Verbindungen mit Klebstoff, ist noch lange nicht ausgeschöpft. Zahlreiche Forschungsprojekte treiben die Entwicklung in den unterschiedlichen Branchen voran. Die Möglichkeiten für den Einsatz der umweltfreundlichen Plasmatechnologie sind nahezu unbegrenzt und stehen aktuell gerade erst am Anfang. Vom autonomen Fahren über Regional Air Mobility (z.B. Flugtaxi) bis hin zu Virtual Reality – Experten beschäftigen sich auf unterschiedlichsten Forschungsfeldern damit, Innovation mit Nachhaltigkeit zu verbinden. Hier läuft nichts ohne das Kleben mit Plasmavorbereitung – der Verbindungstechnik des 21. Jahrhunderts.