

DIE VORBEREITUNG VON KLEBFLÄCHEN MIT KORONA, BEFLAMMEN UND PRIMER

Klebflächen bedürfen der Vorbereitung, damit die Fläche vom flüssigen Kleber zuverlässig benetzt wird und der Kleber nach dem Aushärten sicher haftet. Auch beim Auftrag anderer Flüssigkeiten wie Primer und Farben ist eine Vorbehandlung – insbesondere polyolefinischer Substrate notwendig. Die in Frage kommenden Behandlungsmethoden Primern, Beflammen und die Behandlung mit dem Plasma elektrischer Entladungen werden in diesem Beitrag beschrieben.

Die ideale Oberfläche einer Klebfläche ist nicht mit Fremdschichten belegt, hat eine hohe Oberflächenenergie und ist chemisch zum Kleber kompatibel. Kunststoffstoffe zeigen häufig fertigungsbedingte Fremdschichten an der Oberfläche. Am bekanntesten sind hier die Gleitmittelschichten bei Folien und Reste von Entformmitteln bei gespritzten Teilen. Auch wenn der Kleber mit diesen Schichten eine feste Bindung eingeht, kann eine Klebung nicht zuverlässig halten, da diese Schichten aufgrund mangelhafter Kohäsion in sich nicht stark genug gebunden sind und bei Belastung aufreißen können. Eine hohe Oberflächenenergie der Klebefläche ist notwendig, damit der flüssige Kleber auch in die kleinsten Vertiefungen der rauen Oberflächen gelangen kann und sich den feinen Konturen der Oberflächenstruktur anschmiegen kann. Im Alltagsleben werden Oberflächen vor dem Verkleben häufig mechanisch aufgeraut, um die Kontaktfläche zu vergrößern und um dem Kleber mechanische Verankerungspunkte anzubieten. Dieser Mechanismus – der in ähnlicher Weise auch im Mikroskopischen abläuft - ist allerdings nur wirksam, wenn der Kleber auch leicht in die kleinsten Kavernen gelangen kann. Chemische Kompatibilität führt zur Bildung fester chemischer Bindungen zwischen Substrat und Klebstoff. Da die Klebpartner häufig aus unterschiedlichen Materialien bestehen, müssen Kleber ambivalent auf die chemische Natur beider Klebpartner eingestellt sein. Chemische Kompatibilität widerspricht hier leider der verfahrenstechnischen Flexibilität.

Eine Vorbehandlung sollte somit möglichst folgende physikalisch/chemische Modifikationen der Klebfläche bewirken:

- Beseitigung von dünnen Fremdschichten
- Erhöhung der Oberflächenenergie
- Verbesserung der chemischen Kompatibilität

Vorbereitung von Klebflächen

Neben den physikalisch/chemischen Wirkungen sollte eine Vorbehandlung folgende weitere verfahrenstechnische Eigenschaften besitzen:

Die Vorbehandlung muss

- vom Anlauf bis zur maximalen Produktionsgeschwindigkeit die gleiche zuverlässige Wirkung zeigen
 - räumlich mit den baulichen Gegebenheiten einer Produktionsanlage kompatibel sein
 - selektiv vorbehandeln können, z.B. Längsstreifen, Querstreifen oder Punkte
 - in der Montage flexibel sein
 - eine steuerbare Wirksamkeit aufweisen, so dass die Behandlungsintensität geschwindigkeitsabhängig gesteuert werden kann
 - „in-line“ überwachbar sein
- und
- muss einen messbaren d.h. quantifizierbaren Effekt zeigen.



Bild 1: Messung der Oberflächenenergie mit Testtinten

Als Quantifizierungsmethode hat sich die Messung der Oberflächenenergie mit Testtinten durchgesetzt. Diese Methode misst die Reinigungswirkung zwar nur indirekt und liefert eigentlich keine Aussagen zur chemischen Struktur der Oberfläche, allerdings scheint eine hohe Oberflächenenergie notwendig, wenn auch nicht hinreichend für eine zuverlässige Haftung zu sein. Im Allgemeinen wird eine (kritische) Oberflächenenergie von etwa 42 mN/m für das Kleben mit lösemittelhaltigen Klebern und von 50 mN/m für das Kleben mit wässrigen Klebern gefordert. Im Einzelfall ist aber immer ein Klebversuch zur Beurteilung der Vorbehandlung notwendig. Von den beiden Möglichkeiten die Oberflächenenergie zu messen - einmal mit der Randwinkelmethode und das andere mal mit den Testtinten, wird zur Produktionswachung die schnellere und flächendeckende Testtintenmethode

vorgezogen. Die Randwinkelmethode ist eine Labormethode, liefert aber darüber hinaus noch den polaren Anteil der Oberflächenenergie, der das Klebverhalten bestimmt. Sie ist somit geeignet, die Auswahl eines Klebers zu erleichtern.

Primer

Primer bestehen in der Regel aus einer chemisch aktiven Komponente, die in einem Lösungsmittel aufgelöst ist. Nach dem Auftrag des flüssigen Primers, der z.B. durch Aufpinseln oder Aufsprühen erfolgt, verdunstet das Lösemittel und die aktive Komponente bleibt auf der Klebefläche zurück. Primer verbessern die Klebbarkeit des Fügeteils, indem sie sowohl mit dem Substrat als auch mit dem Kleber chemisch reagieren und eine chemische Brücke bilden. Primer bieten die einzigartige Möglichkeit, die chemische Kompatibilität des Substrates zum Kleber einzustellen. Da Primer allerdings auf Substrat und Kleber abgestimmt sein müssen, scheinen sie für die Anwendung wenig flexibel zu sein. Falls die Klebeflächen nicht frei von Fremdschichten sind oder nicht hinreichend benetzt werden können, ist eine Vorbehandlung mit Flamme oder Plasma notwendig. In dieser Kombination werden dann aber alle Anforderung an eine ideale Oberfläche erfüllt. Da das Primern einen unerwünschten zusätzlichen Prozessschritt darstellt, ist der Einbau des Primers in den Kleber anzustreben.

Flamme



Bild 2:
Linienbrenner der Fa. WEBBER

In der bis zu 1800°C heißen Flamme werden Sauerstoff- und Hydroxyl-Radikale erzeugt. Werden Kunststoffe kurzzeitig in die Flamme eingebracht, verbrennen oberflächlich leicht angebundene Fremdschichten und das Grundmaterial wird oxidiert. Da die Tiefe der Einwirkzone nur etwa 20 nm

beträgt, verändern sich die mechanischen und optischen Eigenschaften der Substrate nicht. Die in den polymeren Strukturen eingebauten Sauerstoff-Atome erhöhen die Oberflächenenergie der Kunststoffe und verbessern somit deren Benetzbarkeit. Da die Höhe der Oberflächenenergie direkt von der Sauerstoff-Konzentration in der Kunststoff-Oberfläche abhängt, kann der Vorbehandlungseffekt mit Verfahrensparametern eingestellt werden. Die Flammenbehandlung führt zwangsläufig zu einer Oxidation, die allerdings nicht in dem Sinne gerichtet geführt werden kann, dass nach Wahl vorwiegend $-OH$, $=O$

oder $-COOH$ -Gruppen erzeugt werden. Durch Zugabe einer Silanverbindung zu der Flamme kann die Oberfläche silikatisiert werden. Die Flammenvorbehandlung ist in der Lage, dünne Fremdschichten zu entfernen und die Oberflächenenergie der Kunststoffe anzuheben. Die chemische Kompatibilität kann zwar nur eingeschränkt eingestellt werden, andererseits kann die Flammenbehandlung die Verwendung eines Primers ersetzen.

Die einfachste Flammenbehandlung kann mit einem einfachen Gasbrenner aus dem Baumarkt bewerkstelligt werden: Brenner auf „blau“ einstellen und Teile zügig (5 m/min) mit der Spitze des Flammenkerns überstreichen. Dies stellt natürlich nur eine Notmethode dar, kann aber kostengünstig bei einem akuten Notfall weiterhelfen. Professionelle Beflammungsanlagen setzen sich aus einer Gassteuerung, einem speziellen Brenner und einem Abluftsystem zur Abführung der Wärme zusammen. Die Systeme erlauben es, die Flamme auf die jeweiligen Erfordernisse abzustimmen. Es gibt leistungsschwache Brenner für wärmeempfindliche Teile, stabilisierte Brenner für robotergeführte Anwendungen, wassergekühlte Brenner für die Folienbehandlung und Brenner, die an die Struktur der zu behandelnden Teile angepasst sind. Eine elektronische Regelung der Einstellung des Brenngemisches erlaubt in einem gewissen Umfang eine geschwindigkeitsabhängige Leistungsregelung.

Faszinierend an einer Flammenbehandlung ist die große Wirtiefe, die in diesem Ausmaß von keinem anderen hier diskutierten Vorbehandlungsverfahren erreicht wird. Folgerichtig findet sich die Domäne der Flammenbehandlung bei der Vorbehandlung großflächiger, räumlich strukturierter Formteile. Nach Herstellerangaben kommt die Flamme auch bei der Folienbehandlung bei großen Arbeitsbreiten und hohen Geschwindigkeiten zum Einsatz.

Korona/Atmosphärisches Plasma



Bild 3: „Klassische“ Korona-Entladung

In der folienverarbeitenden Industrie ist eine *direkte* Korona-Behandlung zur Beseitigung von Fremdschichten und zur Erhöhung der Oberflächenenergie üblich. Hierbei werden die Folienbahnen einem „Entladungsgewitter“ einer elektrischen Entladung ausgesetzt, das *zwischen* einer Elektrode und einer Gegenelektrode gezündet wird. Das

Plasma dieser Korona-Entladung an Luft ist stark oxidierend. Es entfernt bei moderaten Temperaturen in einer kalten Verbrennung störende dünne Schichten und

oxidiert Kunststoffe bis in eine Tiefe von einigen wenigen Atomlagen bis in eine Tiefe von einigen wenigen Atomlagen. Die Oberflächen-Modifikation erfolgt ohne jede Änderung der elektrischen, mechanischen oder optischen Eigenschaften des Substrates, falls die Behandlung mit einer an die jeweilige Aufgabe angepassten Behandlungselektrode erfolgt.

Plasma mit Stromfäden: Korona-GUN[®]



Bild 4: Die Entladung einer Korona-GUN[®]

Kunststoffteile werden mit einer *indirekten* Korona-Behandlung behandelt. Hierbei findet die elektrische Entladung *vor* dem Werkstück statt. Ein Luftstrom lenkt die Stromfäden der mittelfrequenten, elektrisch gesteuerten Entladung auf das zu behandelnde Werkstück. Unter Standardbedingungen überschreitet die Kerntemperatur der Entladung keine 50°C. Diese geringe Wärmetönung ermöglicht die effiziente Behandlung thermisch empfindlicher Substrate. Die Elektroden verschleißen nicht.

Für hohe Substrat-Geschwindigkeiten z.B. beim Drucken mit einem Ink-Jet-Drucker bei einer Geschwindigkeit von 200 m/min werden mehrere Köpfe der Korona-GUN[®] hintereinander geschaltet. Für breitflächigen Druck oder Verklebungen werden Korona-GUN[®]-Köpfe nebeneinander montiert. Bei einer Behandlungsbreite von einem Meter ist eine Versorgungsleistung von nur 12 kW notwendig!

Anwendungen finden sich beim Tampon-Druck, beim Druck auf PET-Flaschen, beim Verkleben und Bedrucken von Platten und bei der Behandlung von Geweben. Bei der Behandlung von Kunststoff-Profilen wird eine flexible Behandlungsstation mit einer Kombination von Einzel-Köpfen mit fest montierten Kopf-Reihen verwendet.

Offenes, potentialfreies Plasma mit dem Plasma-BLASTER

Für Anwendungen, bei denen die Stromfäden der Entladung die Substratoberflächen nicht berühren dürfen, wird der Plasma-BLASTER eingesetzt. Bei dieser neuen Plasmaquelle von TIGRES ist die Plasmazone – charakterisiert durch ein intensives Leuchten - von den Stromfäden räumlich getrennt. Die Behandlungszone wird dadurch elektrisch potentialfrei, so dass – neben weiteren verfahrenstechnischen Vorteilen - in der Montage auf einen Berührungsschutz verzichtet werden kann. Das Plasma des BLASTERs ist räumlich homogen und entspricht somit dem Niederdruckplasma, ist jedoch von allen Seiten frei zugänglich. Auch kann die Behandlungszone unter Verwendung entsprechender Prozess-

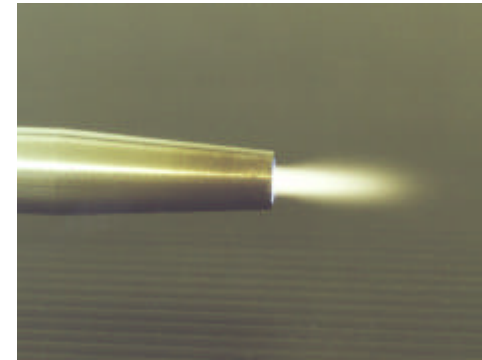


Bild 5: Plasma-BLASTER

Gase frei von Sauerstoff gehalten werden. Es ist zu erwarten, dass es mit dem BLASTER möglich sein wird, die entsprechenden Niederdruck-Plasma-prozesse auch bei Atmosphärendruck in offenen Plasmaquellen zu realisieren.

Der Plasma-BLASTER behandelt Kunststoffe äußerst effizient auch bei hohen Substrat-Geschwindigkeiten, so dass zur Vorbehandlung auch bei Geschwindigkeiten von einigen hundert Metern pro Minute nur ein einzelner Elektroden-Kopf eingesetzt werden muss. Zur Gewährleistung einer fehlerfreien Vorbehandlung wird das Plasma elektronisch überwacht. Die Form der Austrittsdüse bestimmt die Form der Behandlungszone, so dass mit der Wahl der Düse den geometrischen Erfordernissen der zu behandelnden Substrate Rechnung getragen werden kann. Zur Behandlung von Klebenuten wird eine rotationssymmetrische Düse verwendet, so dass die Behandlungselektrode beim Abfahren der Klebenuten nicht gedreht werden muss. Der Behandlungsabstand kann hierbei bis zu 20 mm betragen. Für die Behandlung von Streifen bis 15 mm Breite steht eine Fächerdüse zur Verfügung. Auch für die Behandlung der Innenseite von Bohrungen gibt es spezielle Düsen.

Während die Korona-GUN[®] vorwiegend für thermisch empfindliche Teile eingesetzt wird, ist der Plasma-BLASTER eher für die Klebvorbehandlung dickerer Kunststoff-Teile geeignet. Bei Spritzgussteilen führt die Kombination von Wärme und Plasma zu einer verbesserten Wirkung: Entformmittel werden effektiv beseitigt und die Eindringtiefe der Vorbehandlung wird vergrößert, gleichzeitig wird die Bildung von Ozon unterdrückt.

Die Wirkung der elektrisch erzeugten Plasmen auf Kunststoffoberflächen in Abhängigkeit von der aufgetragenen Dosis ist sehr gut bekannt. Aufgrund von in Laborversuchen bestimmten Behandelbarkeitskurven ist es möglich, Anlagen für die industrielle Produktion auszulegen. Allen hier beschriebenen elektrischen Methoden ist die gute Regelbarkeit gemeinsam, so dass die Wirkung der Vorbehandlung über einen sehr weiten Bereich auch geschwindigkeits-proportional geregelt werden kann. Die schnelle Ansteuerung ermöglicht es, an laufenden Substraten auch ausschließlich nur Querstreifen oder Punkte zu behandeln.

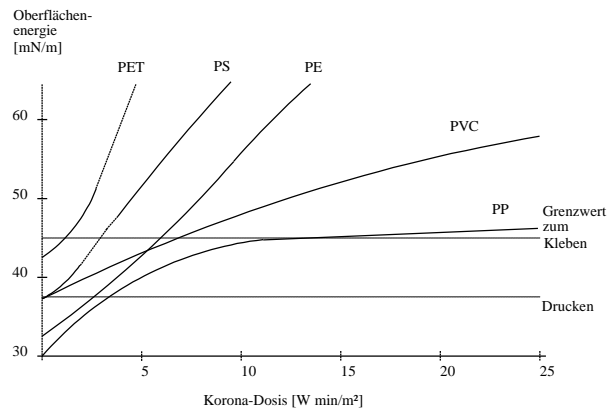


Bild 6: Behandelbarkeitskurve

Zusammenfassung

Die Primerbehandlung von Klebeflächen sollte sinnvollerweise eingesetzt werden, wenn die Flammen- oder Plasmabehandlung keine ausreichende Vorbereitung der Klebfläche bewirkt. Mit Einsatz eines Primers kann die Klebfläche chemisch an den Kleber angepasst werden. Flamme und Plasma beseitigen dünne Fremdschichten von der Klebfläche und erhöhen deren Benetzbarkeit durch den flüssigen Kleber.

Die verfahrenstechnischen Eigenschaften der Vorbehandlungsmethoden:

- Leistungsfähigkeit: bei beiden Methoden bis zu höchsten Geschwindigkeiten
- kleine Baugröße: bei beiden Methoden, nachträgliche Integration möglich
- selektive Vorbehandlung
 - Flamme: Längsstreifen möglich; Querstreifen nicht möglich
 - Plasma: Längsstreifen möglich; Querstreifen: möglich, da die Entladung in Millisekunden geschaltet werden kann
- flexible Montage: bei beiden Methoden
- geschwindigkeitsabhängige Leistungsregelung:
 - Flamme: eingeschränkt möglich
 - Plasma: sehr weiter Bereich, bis ca. 1:1000
- „in-line“ Überwachung
 - Flamme: optisch
 - Plasma: optisch und (sehr elegant auch) elektrisch

und

- der Erfolg beider Methoden kann mit der Messung der Oberflächenenergie quantifiziert werden.

Einfache Flammenbehandlungsanlagen sind weniger investitionsintensiv als (atmosphärische) Plasmaanlagen, allerdings fallen hier beim Betrieb zusätzliche Kosten für den Gasverbrauch an.



Bild 7: Komplettanlage zur Behandlung mit einem atmosphärischen Plasma

Kontakt:

Dr. Gerstenberg, TIGRES GmbH, Mühlenstraße 12, D-25462 Rellingen *bei Hamburg*,
T 04101 - 7778 - 88, gerstenberg@tigres.de, www.tigres.de