

ISSN 2195-5905 | BAND 7

WOMAG

 Kompetenz in Werkstoff und funktionaler Oberfläche

180°-Wende im Vorbehandlungsprozess

Plasma ersetzt Nasschemie bei Alu-Leuchten

Der Wechsel von einem eingeführten Industrieprozess zu einem neuen, ist ein großer Schritt. Der Leuchtenhersteller Waldmann entschied sich zum radikalen Wandel seiner Vorbehandlungsmethode vor dem Verkleben. Statt nasschemischer Prozesse sorgt heute umweltfreundliches Atmosphärendruckplasma für die Langzeitstabilität der Klebverbindungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Oberflächenqualität.

Die Beleuchtung zur Sicherheit der Menschen in der Produktion, die Einsparung von Energie unter Berücksichtigung von Umweltaspekten und ein erfolgreiches fernöstliches Produktionskonzept – sie kennzeichnen die Philosophie der Herbert Waldmann GmbH & Co. KG im schwäbischen Villingen-Schwenningen. Mit Kaizen, übersetzt *Wandel zum Besseren*, brach im Jahre 2001 für die Waldmann-Mitarbeiter ein neues Produktionszeitalter an. Begeistert von der japanischen Philosophie stellte Firmenchef Gerhard Waldmann damals den gesamten Betrieb auf das von Toyota Ende der 1940er-Jahre entwickelte und heute im Automobil- und Flugzeugbau als Standard geltende *Just-in-Time*-Produktionssystem um. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess zieht sich bis heute durch alle Ebenen des Unternehmens und betrifft in der Produktion sämtliche Arbeitsschritte, von der Entwicklung über die Teilefertigung bis hin zum Endprodukt.

Hohe Anforderungen an die Dichtigkeit

Die Fertigung von Industrielleuchten, insbesondere von LED-Maschinenaufbauleuchten, ist ein wichtiger Produktbereich des Herstellers. Letztere dienen zur Innenbeleuchtung von Maschinen, in denen die Gehäuse und Blenden oft hohen mechanischen Beanspruchungen, wie zum Beispiel umherfliegenden Spänen, vor allem aber auch chemischen Substanzen wie Kühlschmiermitteln und Ölen ausgesetzt sind (Abb. 1). Nichts von all dem darf die Dichtigkeit der Leuchten beeinträchtigen, weshalb die Anforderungen an die Gehäuseverklebungen extrem hoch sind. Eine feste und langzeitstabile Verklebung verlangt jedoch immer eine gute Vorbehandlung der Materialoberfläche.

Wunsch nach Neuerung

Der Einsatz von nasschemischen, umwelt-schädigenden Substanzen zur Vorbehand-



Abb. 1: Maschinenaufbauleuchten müssen hohen Beanspruchungen standhalten, weshalb die Anforderungen an ihre Dichtigkeit extrem hoch sind (Bild: Waldmann GmbH & Co. KG)

lung von Materialoberflächen gilt in der Industrie noch immer zu den häufigsten Anwendungsmethoden. Bei Waldmann war es nicht anders. Jahrelang reinigte ein Mitarbeiter in einer separaten Vorbehandlungszelle die Klebeflächen mit Hilfe eines Baumwolltuchs manuell mit lösemittelhaltigen Substanzen. Als Nächstes legte er die Teile in eine automatische Primeranlage, wo sie zunächst mit einem Aktivator und anschließend noch mit einem chemischen Haftvermittler per Filzkopfauftrag behandelt wurden. Ein vierter Arbeitsschritt sah die Entnahme und Ablage zum Ablüften der Teile vor, wonach sie schließlich per Wagen zu einer zehn Meter entfernten Klebeanlage gebracht wurden. Schon lange suchte Waldmann nach einer Alternative zu dem althergebrachten Verfahren. Zum einen war der Prozess nicht umweltfreundlich, zum anderen verlangte die Verarbeitung der chemisch reaktiven Sub-

stanzen einen hohen zusätzlichen Reinigungs-, Material- und Entsorgungsaufwand. Auch mussten Faktoren wie Offenzeiten, Haltbarkeitsdaten oder die Lagerstabilität des Primers sowie der Sauberkeitszustand der Steigleitungen innerhalb der Anlage ständig im Auge behalten werden. Allein für Aktivator und Haftvermittler, für Ersatzteile, Service und Wartung der Primeranlage fielen jährlich Kosten im fünfstelligen Bereich an. Es stand fest, dass der gesamte nasschemische Prozess einem umweltfreundlichen und wirtschaftlich effizienteren weichen sollte. Die Frage war nur – welches Verfahren konnte ihn bei gleichzeitiger Sicherung der hohen Ansprüche an die Verklebung ersetzen?

Die 180-Grad-Wende

Der Umdenkprozess, den Waldmann bei der Vorbehandlung seiner Leuchtengehäuse vollführte, begann damit, dass der Technologie-Ingenieur Denis Stehle, Leiter der Abteilung Automatisierung und Betriebsmittelbau bei Waldmann, ein Seminar des Klebstoffherstellers Rampf besuchte. Hier lernte er von den Klebeexperten erstmals eine Methode zur Haftungsoptimierung kennen, über die er zuvor nur gelesen hatte: die umweltfreundliche Vorbehandlung von Materialoberflächen mit Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma); genauer gesagt, die Openair-Plasma®-Technologie (Abb. 2) von Plasma-treat.

Das Verfahren basiert auf der Verwendung von Plasmadüsen. Mit deren Entwicklung gelang es dem Entwickler und Anlagenbauer aus dem westfälischen Steinhagen vor über 20 Jahren, den bis dahin industriell kaum genutzten Aggregatzustand in kontinuierliche Produktionsprozesse inline einzusetzen und erstmals Plasma unter Normaldruck im industriellen Maßstab nutzbar zu machen. Mit der heute weltweit angewandten Plasmatechnik wurde ein Vorbehandlungsverfahren geschaffen, bei dessen Anwendung allein Druckluft als Prozessgas und elektrische

OBERFLÄCHEN



Abb. 2: Umweltfreundlich und ungefährlich für die Elektronik: Statt mit Nasschemikalien werden bei Waldmann die Gehäuse der Maschinenaufbauleuchten vor ihrer Verklebung heute mit potentialfreiem Openair-Plasma® vorbehandelt (Foto: Plasmatreteat)

Energie benötigt werden. Dadurch werden in der Produktion Emissionen von VOC (Volatile Organic Compounds / leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe) von vornherein vermieden. Substrate können bei dieser Technik und bei der Verwendung feststehender Einzeldüsen mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Metern pro Minute durch den Plasmastrahl bewegt werden. Das hochwirksame Verfahren kommt vor allem bei Materialien wie Kunststoffen, Metallen, Glas und Keramik zum Einsatz.

Drei Funktionen in einem Schritt

Das Düsenplasma erledigt drei Arbeitsschritte in einem einzigen, sekundenschnellen Vor-

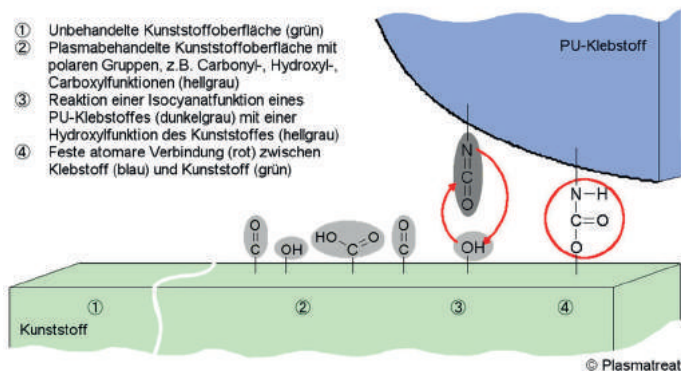


Abb. 3: Trifft das Plasma auf eine Kunststoffoberfläche, so werden dabei Sauerstoff- und stickstoffhaltige Gruppierungen in die meist unpolare Polymermatrix eingebaut. Das unpolare Substrat wird an dieser Stelle polar und seine Oberflächenenergie steigt an (Bild: Plasmatreteat)

gang: Es bewirkt die trockene, mikrofeine Reinigung einer Oberfläche, deren statische Entladung und simultan ihre Aktivierung. Die Folge sind eine homogene Benetzbarkeit der Materialoberfläche und eine langzeitstabile Haftung von Verklebungen oder Beschichtungen auch bei hoher Beanspruchung. Dieser Mehrfacheffekt übertrifft herkömmliche Vorbehandlungssysteme deutlich.

Bei der Reinigung werden durch das hohe Energieniveau des AD-Plasmas organische Stoffe an der Oberfläche des Materials gezielt in ihrer Struktur aufgebrochen und auch empfindliche Oberflächen von unerwünschten Kontaminationen befreit. Die hohe elektrostatische Entladungswirkung des freien Plasmastrahls bringt dem Anwender einen besonderen Nutzen: In der Luft befindliche Feinstaubpartikel werden von der Oberfläche nicht mehr angezogen. Dieser Effekt wird zusätzlich positiv durch die sehr hohe Auströmungsgeschwindigkeit des Plasmas beeinflusst, wodurch auch lose anhaftende Partikel von der Oberfläche entfernt werden.

Aktivierung einer Oberfläche bedeutet, dass sie auf molekularer Ebene modifiziert und so für Nachfolgeprozesse, wie beispielsweise das Kleben oder Beschichten, im Hinblick auf ihre Haftungseigenschaften optimiert wird. Anders als im Niederdruckplasma (Vakuumkammer) erfolgt die Aktivierung bei Plasmadüsen systemen ortsselektiv, das heißt, punktuell nur dort, wo sie auch gefordert ist. Die langzeitstabile Haftung einer Verklebung

setzt voraus, dass zum einen die Materialoberfläche feinstgereinigt ist, zum anderen die Oberflächenenergie (mJ/m^2) des Festkörpers größer ist, als die Oberflächenspannung (mN/m) des flüssigen Klebstoffs. Ziel der Aktivierung ist es, die Oberflächenenergie soweit zu erhöhen, dass eine homogene Benetzbarkeit gesichert ist.

Zu einer Erhöhung der Oberflächenenergie, kommt es bei einer Aktivierung durch die chemische und physikalische Wechselwirkung des Plasmas mit dem Substrat. Trifft das Plasma auf eine Kunststoffoberfläche, so werden dabei sauerstoff- und stickstoffhaltige Gruppierungen in die meist unpolare Polymermatrix eingebaut (Abb. 3). Das Plasma bewirkt, dass das unpolare Substrat an dieser Stelle polar wird und damit seine Oberflächenenergie signifikant ansteigt. Aluminium oder Glas haben von sich aus bereits eine hohe Oberflächenenergie, die jedoch häufig durch Schichten von Staubablagerungen, Fetten, Ölen oder anderen Kontaminationen im Hinblick auf gute Haftungseigenschaften nicht zur Wirkung kommen kann. Hier ist es der effektive Feinreinigungseffekt des Plasmas, der reinigend und abtragend wirkt und die im Substrat bereits vorhandene Oberflächenenergie wieder freilegt (Abb. 4). Der gesamte Vorbehandlungsprozess benötigt nur Sekunden und die Materialien können nach ihrer Reinigung und Aktivierung sofort weiterverarbeitet werden.

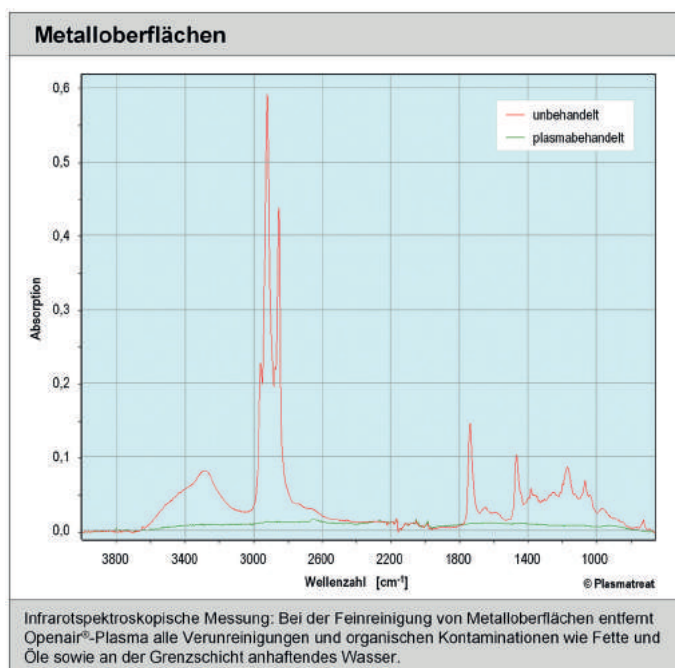


Abb. 4: Infrarotspektroskopische Messung

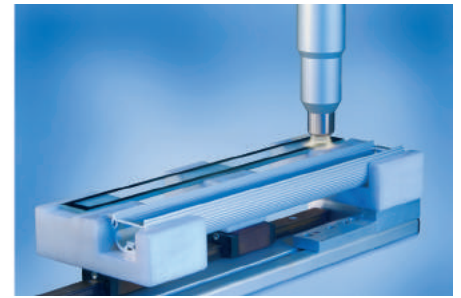
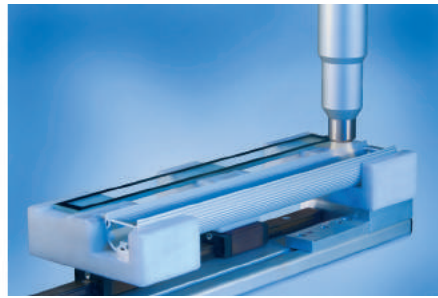
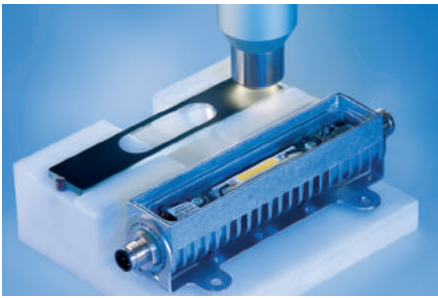


Abb. 5: Eine Plasmaquelle, drei Materialien: Reinigung und Aktivierung der PMMA-Kunststoffblende (links), Feinreinigung des Aluminiumgehäuses (Mitte), Vorbehandlung der ESG-Glasblende (rechts) (Bilder: Plasmatreteat)

Schadlos für elektronische Bauteile

Stehle war von dieser Technologie begeistert. Was ihn neben der Wirksamkeit und Schnelligkeit des Plasmaverfahrens besonders beeindruckte, waren dessen angeblich hohe Prozesssicherheit, genaue Reproduzierbarkeit und natürlich die Tatsache, dass es sich um einen umweltfreundlichen Vorbehandlungsprozess handelte. Nur ein Punkt bereitete ihm Kopfzerbrechen: Da in einem Teil der Waldmann-Leuchtgehäuse die Elektronik bereits verbaut ist, befürchtete er, dass das im Plasma vorhandene elektrische Potenzial Kurzschlüsse erzeugen könnte, verbunden mit der Zerstörung elektronischer Bauteile. Die letztlich entscheidende Frage für ihn war somit: Würde die elektrische Spannung im Plasmastrahl die empfindlichen LED-Baugruppen schädigen?

Plasmatreteat bestätigte, dass diese Bedenken grundsätzlich berechtigt seien. Allerdings weist die Openair-Plasma®-Technik eine Besonderheit auf: Durch die Entwicklung von speziellen Düsenköpfen sei es dem Unternehmen in den letzten Jahren gelungen, die elektrische Spannung so abzuleiten, dass das auf die Materialoberfläche auftreffende Plasma praktisch potentialfrei sei. Aus diesem Grund sei es nun möglich, auch hochsensible Baugruppen und andere empfindliche elektronische Bauteile vorzubehandeln. Mit dieser Versicherung im Gepäck präsentierte der Ingenieur seinem Unternehmen das neue Vorbehandlungsverfahren und Waldmann entschied sich zur sofortigen praktischen Umsetzung.

Bewährungsprobe auf drei Werkstoffen

Der Wechsel von einem eingeführten Industrieprozess zu einem völlig anderen, ist ein großer Schritt, der viel Geduld verlangt. Vor allem, wenn die Ansprüche an die dichte Verklebung derart hoch sind und wenn – wie hier – gleichzeitig mit der Änderung der

Vorbehandlung auch noch ein neuer Klebstoff eingesetzt werden soll. Doch dem nicht genug, denn es galt nicht nur die Vorbehandlung und Verklebung auf einem Material zu testen, sondern gleich auf drei verschiedenen (Abb. 5). Die Gehäuse der bis zu 1,20 Meter langen Maschinenaufbauleuchten bestehen aus eloxiertem beziehungsweise hartanodisiertem Aluminium; die die Elektronik schützenden Blenden aus keramikbeschichtetem ESG (Einscheibensicherheitsglas) beziehungsweise dem siebbedruckten Kunststoff PMMA (Polymethylmethacrylat, auch Acrylglas genannt). Mit der Kombination aus AD-Plasma und dem neuen Klebstoff musste auf diesen unterschiedlichen Oberflächen die gesamte Beständigkeit geprüft werden, das heißt die

Haftung des Klebstoffes auf den Materialien und die Beständigkeit des Klebstoffes selbst. In der 18-monatigen Testphase ging Waldmann bei seinen Versuchen an die oberste Grenze dessen, was eine später von chemischen Belastungen praktisch bombardierte Verklebung auszuhalten hat. Die Feinstreinigung- und Aktivierungskraft des Plasmas ließ sich erst einmal leicht nachweisen: Die Messungen mit Testtinten ergaben vor der Plasmabehandlung Oberflächenspannungen für Aluminium von $< 44 \text{ mN/m}$, für Glas $< 36 \text{ mN/m}$ und für Kunststoff 40 mN/m . Bei allen drei Substraten konnten nach der Plasmaaktivierung Werte von $> 56 \text{ mN/m}$ bis hin zu 72 mN/m gemessen werden, was in gleicher Zahl den veränderten Energiewerten (mJ/m^2) der Materialoberflächen entspricht.



Abb. 6: Umweltfreundlich und wirtschaftlich: Plasmasystem (rechts) und Klebanlage (links) liegen sich direkt gegenüber. Die Gehäuseverklebung erfolgt unmittelbar im Anschluss an die Openair-Plasma®-Vorbehandlung (Bild: Plasmatreteat)

OBERFLÄCHEN

Was anschließend folgte, waren unter anderem Abschertests und Zugscherproben (DIN-EN 1465), Feuchtekonstantklimatets (DIN EN ISO 6270-2), Klimawechseltests (BMW 308 KWT) sowie die 1000-stündige Einlagerung mehrerer Klebproben bei 30 °C in diversen Kühlschmiermitteln und Ölen. Der alles entscheidende Haftungstest zum Nachweis der Langzeitbeständigkeit und Gebrauchssicherheit der Klebverbindung war laut Stehle jedoch der Kataplasma-Test, der eigentlich nur dafür dient, eine Verklebung zu zerstören. Doch weit gefehlt: Die plasmavorbehandelte Klebverbindung hielt auch diesem Test stand.

Integriert in die Prozesskette

Kaizen endet nie. Im Herbst 2015 wurde Openair-Plasma®-Technik in die Serienproduktion integriert. Zwei komplette Arbeitsschritte wurden durch das neue Vorbehandlungsverfahren eingespart, auch Ablüftzeiten und Zwischenlager sind entfallen. Ausgestattet mit einer potentialfreien Rotationsdüse und gesteuert von einem CNC-3-(xyz)-Achsenportal, arbeitet das Plasmasystem heute im kontinuierlichen Prozess acht bis zwölf Stunden täglich und behandelt 1000 Leuchtgehäuse pro Woche. Die Verklebung der Leuchten erfolgt nun unmittelbar im Anschluss an ihre Vorbehandlung in ei-

ner neuen, dem Plasmasystem gleich gegenüberliegenden Klebanlage (Abb. 6). Die LED-Elektronik funktioniert bei allen Leuchten einwandfrei und auch die hohe Prozesssicherheit hat sich längst bewiesen. Laut Waldmann werden durch die Plasmabehandlung nicht nur ideale Klebevoraussetzungen geschaffen, das Verfahren verbessert nachweislich auch die Oberflächenqualität und das Langzeitverhalten der Klebung.

Autorin: Inès A. Melamies

Kontakt

➤ www.plasmatreat.de

➤ www.waldmann.com