

ALLES IM GRÜNEN BEREICH

Nach jahrelangem Einsatz von Nasschemikalien entschied sich ein Leuchtenhersteller zum radikalen Wandel seines Vorbehandlungsprozesses. Statt mit Lösemittel und Primer werden die LED-Maschinenaufbauleuchten heute vor ihrem Verkleben schadstofffrei mit Atmosphärendruckplasma vorbehandelt.

Die Beleuchtung zur Sicherheit der Menschen in der Produktion, die Einsparung von Energie unter Berücksichtigung von Umweltaspekten sowie ein erfolgreiches Produktionskonzept 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. Überzeugt von der japanischen Philosophie, stellte Firmenchef Gerhard Waldmann damals den gesamten Betrieb auf das von Toyota schon Ende der vierziger 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.

Gehäuse mit hohen Ansprüchen

Die Fertigung von Industrielleuchten, insbesondere von Maschinenaufbauleuchten, ist ein wichtiger Produktbereich des Herstellers. Letztere dienen zur Innenbeleuchtung von Maschinen, in denen die Gehäuse und Blenden oft hohen mechanischen Beanspruchungen (z. B. umherfliegende Späne), vor allem aber auch chemischen Substanzen wie Kühlschmiermitteln und Ölen ausgesetzt sind. 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. Der Einsatz nass-chemischer, umweltschädigender Substanzen zur Vorbehandlung von Materialoberflächen zählt 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 mithilfe eines Baumwolltuches 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 Substanzen einen hohen zusätzlichen

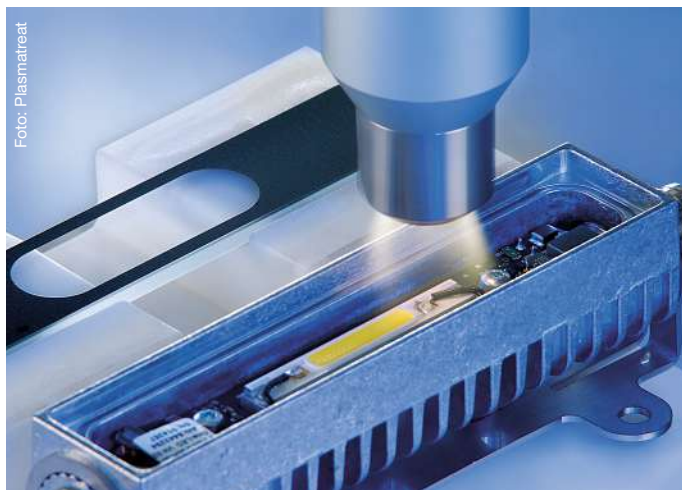
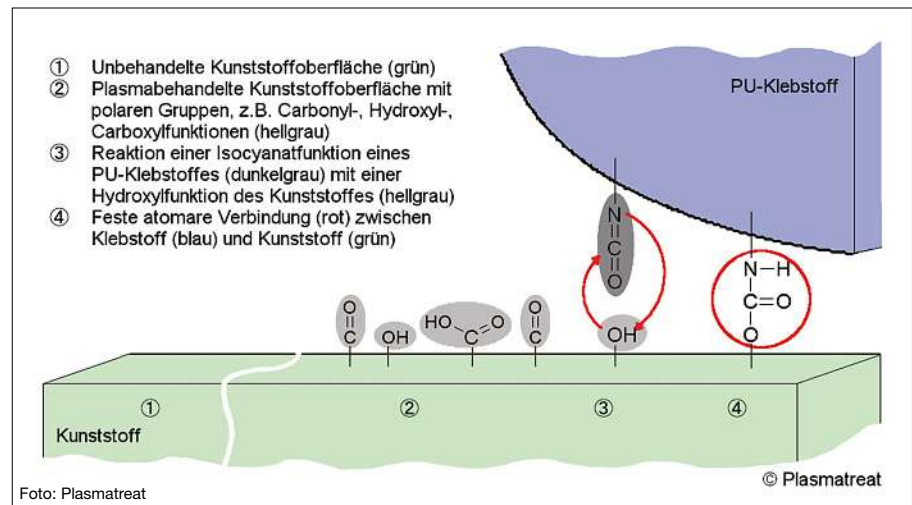


Foto: Plasmatreat

◀ Umweltfreundlich und ungefährlich auch für bereits verbaute Elektronik: Spezielle Openair-Plasma Rotationsdüsen arbeiten bei der Vorbehandlung des Leuchtgehäuses potenzialfrei.

► 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.



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?

Plasma ersetzt Chemie

Die 180-Grad-Wende, die Waldmann bei der Vorbehandlung seiner Leuchtgehäuse 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 Vorbehandlung von Materialoberflächen mit Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma). Genauer gesagt, die Openair-Plasmatechnologie von Plasmamatreat.

Mit seiner vor über 20 Jahren entwickelten Plasmadüsenteknik hatte der westfälische Plasmaanlagenbauer ein industrielles Vorbehandlungsverfahren geschaffen, bei dessen Anwendung allein Druckluft als Prozessgas und elektrische Energie benötigt werden. Dadurch werden in der Produktion VOC-Emissionen (Volatile Organic Compounds / leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe) von vorneherein vermieden. Das Plasmaverfahren kommt heute weltweit bei Oberflächen von Kunststoffen, Metallen, Glas und Keramik zum Einsatz.

Das Plasmasystem erledigt drei Arbeitsschritte in einem einzigen, sekundenschnellen Vorgang: 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 bei Weitem.

Die ortsselektive Plasmabestrahlung bewirkt eine Aktivierung der Oberfläche, d. h. ihre Modifizierung auf molekularer Ebene, in einem genau definierten Bereich. Diese Aktivierung führt zum Anstieg der Oberflächenenergie. Die langzeitstabile Haftung einer Verklebung setzt voraus, dass zum einen die Materialoberfläche feinstgereinigt ist, zum anderen die Oberflächenenergie (mJm^2) des Festkörpers größer ist als die Oberflächenspannung (mN/m) des flüssigen Klebstoffs. Viele

Kunststoffe besitzen eine geringe Oberflächenenergie von < 28 bis 40 mJ/m². Aber erst Oberflächenenergien ab etwa 42 mJ/m² erlauben erfahrungsgemäß gute Haftungsvoraussetzungen, was heißt, dass der ursprüngliche Energiezustand der Oberfläche durch eine Aktivierung erhöht werden muss.

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. Die ortsselektive Plasmabehandlung bewirkt, dass das unpolare Substrat an dieser Stelle polar wird und damit seine Oberflächenenergie ansteigt. Aluminium oder Glas haben von sich aus bereits polare Oberflächen, deren Energie jedoch durch Schichten von Staubablagerungen, Fetten, Ölen oder anderen Kontaminationen in Hinblick auf gute Haftungseigenschaften nicht zur Wirkung kommen kann. Hier ist es der Feinstreinigungseffekt des Plasmas, der reinigend und abtragend wirkt und die im Substrat bereits vorhandene hohe Oberflächenenergie wieder freilegt. Materialien können nach einer Reinigung und Aktivierung mit AD-Plasma sofort weiterverarbeitet werden.

Potenzialfreies Plasma

Stehle war von dem Plasmaprozess begeistert. Was ihn neben der Sauberkeit und Umweltfreundlichkeit des Verfahrens besonders beeindruckte, waren dessen angeblich hohe Prozesssicherheit, genaue Reproduzierbarkeit und monitorkontrollierte Überwachung. Nur ein Punkt bereitete ihm Kopfzerbrechen. „In einem Teil unserer Leuchtgehäuse ist die Elektronik bereits verbaut“, berichtet er. „Mir war klar, jedes Vorbehandlungsverfahren, das elektrisches Potenzial führt, kann Kurzschlüsse erzeugen, verbunden mit der Zerstörung elektronischer Bauteile.“

► **Die Gehäuseverklebung nach der Plasmabehandlung:** Zuerst erfolgt der Klebauftrag in die plasmabehandelte Nut des Aluminiumgehäuses, danach befördert ein Saugnapfgreifer die plasmabehandelte Glasblende auf die Kleberaube. Bei diesem Leuchtentyp wird die Elektronik nach der Verklebung in das fertige verklebte Gehäuse eingeschoben.

Für mich war die entscheidende Frage, würde die elektrische Spannung im Plasmastrahl die empfindlichen LED-Baugruppen schädigen?“

Mit seinen Zweifeln wandte sich Stehle direkt an den Market Manager Electronics Peter Langhof in der süddeutschen Niederlassung des Plasmaanbieters. Langhof bestätigte, dass die Bedenken grundsätzlich berechtigt seien, dass die Openair-Plasmatreat jedoch eine Besonderheit aufweise: Durch die Entwicklung spezieller Düsenköpfe sei es Plasmatreat in den letzten Jahren gelungen, die elektrische Spannung so abzuleiten, dass das auf die Materialoberfläche auftreffende Plasma praktisch potenzialfrei sei. Aus diesem Grunde sei es nun möglich, auch hochsensible Baugruppen und andere empfindliche elektronische Bauteile vorzubehandeln. Mit dieser Versicherung im Gepäck präsentierte der Ingenieur seiner Firma das neue Vorbehandlungsverfahren mit Erfolg: Waldmann entschied sich zur sofortigen praktischen Umsetzung.

Die Testphase

Der Wechsel von einem eingeführten Industrieprozess zu einem völlig anderen ist ein großer Schritt, der neben Weitsicht und Risikobereitschaft auch viel Geduld verlangt. Vor allem, wenn die Ansprüche an die dichte Verklebung derart hoch sind und wenn – wie hier der Fall – gleichzeitig mit der Änderung der Vorbehandlung auch noch ein neuer Klebstoff eingesetzt werden soll. Doch dem nicht genug, denn es galt nicht nur, die



Foto: Herbert Waldmann GmbH & Co. KG

◀ **Maschinenaufbauleuchten müssen hohen Beanspruchungen standhalten.** Zur Sicherung der Dichtigkeit werden die Gehäuse mit Atmosphären-druckplasma vorbehandelt.

▼ **Plasma-Vorbehandlung der Materialien:** Atmosphärische Plasmabehandlung einer ESG-Glasblende.



Foto: Plasmatreat



Vorbehandlung und Verklebung auf einem Material zu testen, sondern gleich auf drei verschiedenen. Die Gehäuse der bis zu 1,20 Meter langen Maschinenaufbauleuchten bestehen aus eloxiertem bzw. hartanodisiertem Aluminium. Die die Elektronik schützenden Blenden aus keramikbeschichtetem ESG (Einscheibensicherheitsglas) bzw. einem siebbedruckten PMMA (Polymethylmethacrylat)-Kunststoff, Acrylglas genannt. Mit der Kombination aus AD-Plasma und dem neuen Klebstoff musste auf diesen unterschiedlichen Oberflächen die gesamte Beständigkeit geprüft werden, d. h. 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 Feinstreinigungs- und Aktivierungskraft des Plasmas ließ sich erst einmal leicht nachweisen: Die Messungen mit Testtinten ergaben vor der Plasmabehandlung Oberflächenspannungen für das Aluminium von < 44 mN/m, für das Glas < 36 mN/m und beim Kunststoff 40 mN/m. Bei allen drei Substraten konnten nach der Plasmaaktivierung Werte von > 56 mN/m bis hin zu 72 mN/m gemessen werden, was in gleicher Zahl den veränderten Energiewerten (mJ/m^2) der Materialoberflächen entspricht.

Was folgte, waren u. a. Abschertests und Zugscherproben (DIN-EN 1465), Feuchtekostantklimatests (DIN EN ISO 6270-2), Klimawechseltests (BMW 308 KWT) sowie die 1.000-stündige Einlagerung mehrerer Klebproben bei 30°C in diversen Kühlschmiermitteln und Ölen. „Der alles entscheidende Haftungstest zum Nachweis der Langzeitbeständigkeit und Gebrauchssicherheit der Klebverbindung“, sagt Stehle, „war jedoch der Kataplasma-Test, der eigentlich nur dafür dient, die ganze Verklebung zu zerstören.“ Die Plasma-Klebverbindung hielt jedoch auch diesem Test stand.

Wandel zum Besseren

„Kaizen endet nie“, erklärt Ralf Storz, Betriebsorganisator bei Waldmann. Im Herbst 2015 wurde das umweltfreundliche Verfahren in die Serienproduktion integriert. Zwei komplette Arbeitsschritte wurden durch seinen Einsatz eingespart, auch Ablüftzeiten und Zwischenlager sind entfallen. Ausgestattet mit einer potenzialfreien Rotationsdüse und gesteuert von einem CNC-3-(xyz) Achsenportal, arbeitet das Plasmasystem heute im kontinuierlichen Prozess acht bis zwölf Stunden täglich und

behandelt 1.000 Leuchtengehäuse pro Woche. Die Verklebung der Leuchten erfolgt nun unmittelbar in Anschluss an ihre Vorbehandlung in einer neuen, dem Plasmasystem gleich gegenüber liegenden Klebeanlage. Die LED-Elektronik funktioniert bei allen Leuchten einwandfrei und auch die hohe Prozesssicherheit hat sich längst bewiesen. Laut Stehle werden durch die Plasmabehandlung nicht nur ideale Klebevoraussetzungen geschaffen, das Verfahren verbessert nachweislich auch die Oberflächenqualität und das Langzeitverhalten der Klebung.

Inès A. Melamies