

Plasma statt Primer

Vorbehandlung von Aluminiumleuchten mit Atmosphärendruckplasma

Nach jahrelangem Einsatz von Nasschemikalien hat sich der süddeutsche Leuchtenhersteller Herbert Waldmann GmbH & Co. KG zum radikalen Wandel seines Vorbehandlungsprozesses entschieden. Statt mit Lösemittel und Primer werden die Aluminiumgehäuse der LED-Maschinenaufbauleuchten heute vor ihrem Verkleben umweltfreundlich mit Atmosphärendruckplasma vorbehandelt.

Das Familienunternehmen Herbert Waldmann im schwäbischen Villingen-Schwenningen entwickelt und produziert hochwertige Leuchten für Anwendungen in der Licht-, Elektro- und Medizintechnik. Ein wichtiger Produktbereich des Herstellers ist die Fertigung von Industrieleuchten, insb. von Maschinenaufbauleuchten (Abb. 1). Diese dienen beispielsweise zur Innenbeleuchtung von zerspanenden Werkzeugmaschinen, bei denen die Aluminiumgehäuse sowie die Glas- bzw. Kunststoffblenden umherfliegenden Metallspänen widerstehen müssen (Abb. 2). Die Leuchten sind zudem chemischen Substanzen wie Kühlschmiermitteln und Ölen ausgesetzt. Nichts von all dem darf die Klebverbindung beeinträchtigen, weshalb die Anforderungen an deren Dichtigkeit extrem hoch sind. Eine feste und langzeitstabile Verklebung verlangt jedoch immer eine gute Vorbehandlung der Materialoberfläche.

Vorbehandlungsalternative gesucht

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 mit Hilfe eines Baumwolltuchs manuell mit lösemittelhaltigen Substanzen. Dann legte er die Teile in eine automatische Primeranlage, wo sie zunächst mit einem Aktivator und zusätzlich mit einem chemischen Haftvermittler per Filzkopfauftrag behandelt wurden. Ein weiterer Arbeitsschritt sah die Entnahme und Ablage zum Ablüften der Teile vor, wonach sie schließlich per Wagen zu einer zehn Meter entfernten Klebeanlage gebracht wurden.

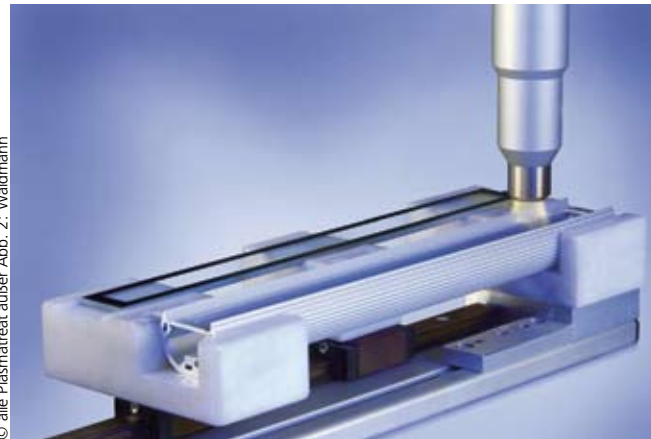
Schon lange suchte Waldmann nach einer Alternative zu diesem Verfahren. Zum einen war der Prozess nicht umweltfreundlich,

Plasma instead of primer

Pretreatment of aluminium lights with atmospheric pressure plasma

After using wet chemicals for years, South German lighting manufacturer Herbert Waldmann decided to radically change their pretreatment process. Instead of using solvents and primers,

the aluminium housings for the surface-mounted LED machine lights are now pretreated in an environmentally friendly way with atmospheric pressure plasma in preparation for bonding.



© alle Plasmabehandlungen außer Abb. 2: Waldmann

Abb. 1: Umweltfreundlich. Anstatt mit Primer werden heute die Aluminiumgehäuse von LED-Maschinenaufbauleuchten vor dem Verkleben mit Atmosphärendruckplasma vorbehandelt.

Fig. 1: Environmentally friendly. Nowadays the aluminium housings of the surface-mounted LED machine lights are pretreated with atmospheric pressure plasma instead of primer before bonding.



Abb. 2: Eingebaut in Maschinenräume müssen die Leuchten hohen mechanischen und chemischen Belastungen standhalten. Ihre Gehäuse müssen absolut dicht sein.

Fig. 2: Installed inside the machine, the lights have to withstand high mechanical and chemical stresses. Their housing must be completely sealed.

Herbert Waldmann, a family business based in the Swabian town of Villingen-Schwenningen, develops and manufactures high-quality lights for applications in the lighting, electronics and medical technology industries. One of the company's specialist areas is the production of industrial lighting, especially surface-mounted machine lighting (Fig. 1). Used to illuminate the interior of machine tools, for example, the aluminium housing and glass or plastic covers of these lights must be designed to withstand flying

metal chips (Fig. 2). The lights are also exposed to chemical substances such as cooling lubricants and oils. None of these contaminants should compromise the bonded joints in these lights, which is why the sealing requirements are extremely high. However, a strong, long-time stable bond invariably requires good pretreatment of the material surface.

In search of an alternative pretreatment process

The use of wet-chemical, environmentally harmful substances for the pretreatment of material surfaces is still one of the most widely used application methods in the industry. It was no different at Waldmann: for years, an employee working in a separate pretreatment booth cleaned the adhesive surfaces by hand using a cotton cloth soaked in solvents. He then inserted the parts in an automatic priming station, where they were treated first with an activator and then with a chemical adhesion promoter using a felt applicator. The next step

was to remove the parts and air-dry them, then finally transport them by trolley a distance of ten metres to the bonding station.

Waldmann had been looking for an alternative solution for a long time. Not only was the process harmful to the environment, the use of chemically reactive substances was associated with substantial additional costs for cleaning, materials and disposal. Other factors such as open times, shelf life and storage stability of the primer as well as cleanliness of the rise cables in the station also had to be continuously monitored. The activator, adhesion promoter, spare parts, service and maintenance of the primer station alone incurred annual costs running into five figures. It was clear that the entire wet-chemical process should give way to a more efficient, environmentally friendly method. The question was: which process was capable of replacing it and at the same time satisfying the stringent bonding requirements?

Plasma instead of chemicals

The 180 degree turn that Waldmann performed with the pretreatment of his lighting housings began when technology engineer Denis Stehle attended a seminar organized by adhesive manufacturer Rampf. There he learnt at first hand from adhesive experts about a method for optimizing adhesion which he had previously only read about: the pretreatment of material surfaces with atmospheric pressure plasma (AP plasma). Or more precisely, Openair plasma technology from Plasmatreat.

Through the development of a plasma nozzle technique about 20 years ago the plasma systems engineer created a pretreatment process requiring nothing other than compressed air as the process gas and electrical energy. This avoids VOC emissions (volatile organic compounds) during production from the outset. The plasma process is used mainly on plastic, metal, glass and ceramic surfaces.

Triple action

When combined with fixed individual nozzles, this technology enables substrates to be transported through the plasma jet at speeds of several hundred metres per minute. Openair rotary nozzles with a particularly gentle action working at speeds of up to 2,700 rpm are used to pretreat components with built-in electronics. (Fig. 3). The plasma system performs three operations in a single step lasting only a matter of seconds: dry microfine cleaning, electrostatic discharging and activa-



Abb. 3: Zur Vorbehandlung von Bauteilen mit eingebauter Elektronik werden besonders schonend arbeitende Openair-Rotationsdüsen eingesetzt, die potentialfrei und mit bis zu 2.700 Umdrehungen/min arbeiten.

Fig. 3: Openair rotary nozzles with a particularly gentle action which emit potential-free plasma at speeds of up to 2,700 rpm are used to pretreat components with built-in electronics.

zum ändern verlangte die Verarbeitung der chemisch reaktiven Substanzen einen hohen zusätzlichen Reinigungs-, Material- und Entsorgungsaufwand. Auch müssen Faktoren wie Offenzeiten, Haltbarkeitsdaten oder die Lagerstabilität des Primers sowie der Sauberkeitszustand der Steigleitungen innerhalb der An-

lage 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 Leuchtengehäuse vollführte, begann damit, dass der Technologie-Ingenieur Denis Stehle ein Seminar des Klebstoffherstellers Rampf besuchte. Hier lernte er von den Klebexperten 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 Plasmatreat.

Mit seiner vor über 20 Jahren entwickelten Plasmadüsenteknik hat der Plasma-Anlagenbauer ein Vorbehandlungsverfahren geschaffen, bei dessen Anwendung allein Druckluft

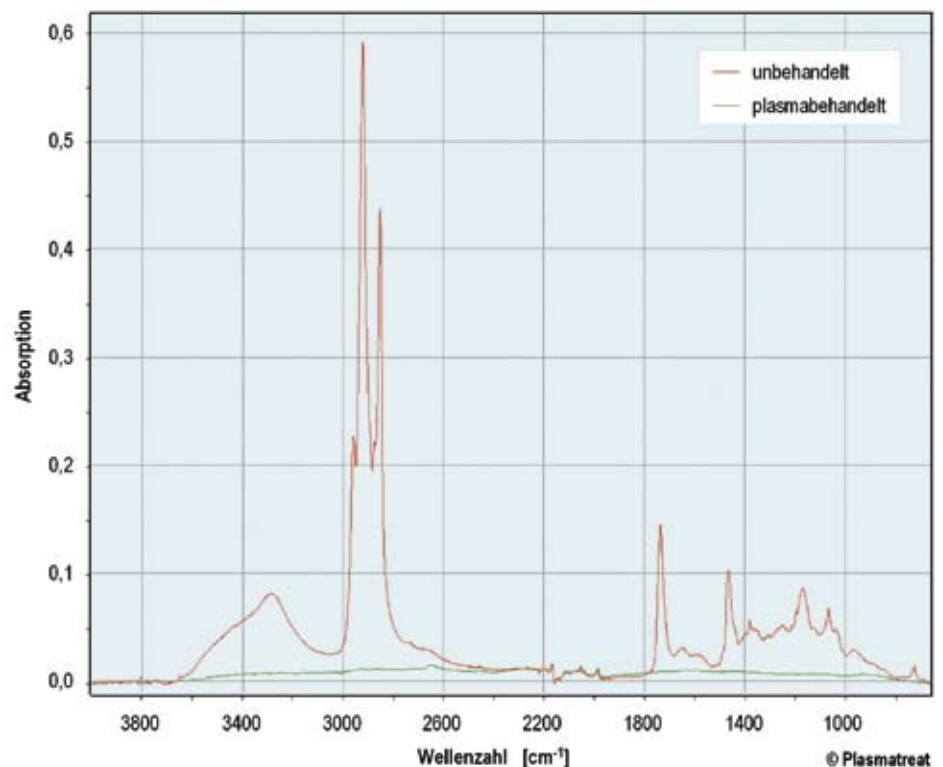


Abb. 4: Infrarotspektroskopische Messung. Bei der Feinreinigung von Metalloberflächen entfernt Openair-Plasma alle Verunreinigungen und organischen Kontaminationen wie Fette, Öle oder an der Grenzschicht anhaftendes Wasser.

Fig. 4: Infrared spectroscopic measurement: during the microfine cleaning of metal surfaces, Openair plasma removes all impurities and organic contaminants such as grease, oils and water adhering to the boundary layer.



Abb. 5: Bei einem Teil der Waldmann-Leuchten ist die Elektronik bereits in den Alu-Gehäusen verbaut. Um die empfindlichen LED-Baugruppen nicht zu beschädigen, muss die Plasmavorbereitung potentialfrei sein.

Fig. 5: The electronics are pre-installed in the aluminium housing of some of Waldmann's lights. The plasma pretreatment must be potential-free to avoid damaging the sensitive LED SMD assemblies.

als Prozessgas und elektrische Energie benötigt werden. Dadurch werden in der Produktion leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC-Emissionen) von vorneherein vermieden. Das Plasmaverfahren kommt vor allem bei Oberflächen von Kunststoffen, Metallen, Glas und Keramik zum Einsatz.

Dreifach-Effekt

Substrate können bei dieser Technik und bei Verwendung feststehender Einzeldüsen mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Metern pro Minute durch den Plasmastrahl bewegt werden. Zur Vorbehandlung von Bauteilen mit eingebauter Elektronik werden besonders schonend arbeitende Openair-Rotationsdüsen eingesetzt, die mit bis zu 2.700 Umdrehungen/min arbeiten. (Abb. 3). Das

Plasmasystem erledigt drei Arbeitsschritte in einem einzigen, sekundenschnellen Vorgang: Es bewirkt die trockene, mikrofeine Reinigung einer Oberfläche, deren statische Entladung und ihre Aktivierung. Dieser Mehrfacheffekt ist bei einzelnen herkömmlichen Vorbehandlungssystemen nicht erreichbar. Die Folge sind eine homogene Benetzbarkeit der Materialoberfläche und eine langzeitstabile Haftung von Verklebungen oder Beschichtungen auch bei hoher Beanspruchung.

Die ortsselektive Plasmabestrahlung bewirkt eine Aktivierung der Oberfläche, d.h. ihre Modifizierung auf molekularer Ebene, in einem genau definierten Bereich. Die Aktivierung führt zum Anstieg der Oberflächenenergie, insbesondere bei unpolaren Kunststoffen. Für eine homogene Benetzbarkeit sollte die Oberflächenenergie des Festkörpers größer

tion of the surface. This triple action cannot be achieved with individual conventional pretreatment systems. The result is homogeneous wettability of the material surface and long-time stable adhesion of the adhesive bond or coating even under challenging load conditions.

The area-selective plasma radiation activates the surface, i.e. modifies it at molecular level in a precisely defined area. This activation leads to an increase in surface energy, particularly in the case of non-polar plastics. To ensure homogenous wettability, the surface energy of the solid should be greater than the surface tension of the liquid adhesive or coating. Layers of dust deposits, grease, oils and other contaminants can often compromise the naturally high level of surface energy in aluminium and glass, thereby impairing wettability. This is where the microfine cleaning action of the plasma comes into play, revealing once again the energy already present in the substrate (Fig. 4).

During cleaning, the high energy level of the plasma fragments the structure of organic substances on the surface of the material, removing unwanted surface contamination. The high electrostatic discharge action of the free plasma beam has an added benefit for the user: fine particles of airborne dust are no longer attracted to the surface. This effect is further reinforced by the very high outflow rate of the plasma, which ensures that even particles loosely adhering to the surface are removed. Materials can be further processed immediately after cleaning and activation with AP plasma.

Potential-free plasma

Apart from the efficient and environmentally friendly performance of the process, Stehle was particularly impressed by its supposedly high process reliability, accurate reproducibility and on-screen monitoring facility. Just one thing gave him cause for concern. "The electronics are pre-installed in some of our lighting housings," he explained (Fig. 5). "It was obvious to me that any pretreatment process that conducts electrical potential could cause short-circuits, leading to the destruction of electronic components." The ultimate question for him was: would the electrical potential in the plasma beam damage the sensitive LED components?

Peter Langhof, market manager Electronics at Plasmatrete (Fig. 6), confirmed that his concerns were justified in principle, but explained that the Openair plasma technology had a special feature: in recent years, the



Abb. 6: (v.l.n.r) Plasmatrete Market-Manager Peter Langhof, Waldmann Teamleiter Bruno Marano und Technologie-Ingenieur Denis Stehle zwischen der neuen Openair-Plasma-Vorbereitungsanlage (hinten rechts) und der gegenüberliegenden Klebanlage.

Fig. 6: From left to right: Plasmatrete market manager Peter Langhof, Waldmann team leader Bruno Marano and technology engineer Denis Stehle standing between the Openair plasma pretreatment station (back right) and the bonding station opposite.

company had developed special nozzle heads which discharged the electrical potential to such an extent that the plasma impinging on the material surface was virtually potential-free. For this reason, it was now possible to pretreat even highly sensitive SMD assemblies and other delicate electronic components. Stehle presented the new pretreatment process to his company and Waldmann decided to implement it.

The test phase

Changing from one industrial process to a completely different one is a huge step which calls for a great deal of patience. Especially when the requirements for tight bonds are so high and when – as is the case at Waldmann – the switch to the new pretreatment process is also accompanied by the introduction of a new adhesive. Furthermore, the pretreatment and bonding process was to be tested on three different materials. The housings of the surface-mounted machine lights, which are up to 1.20 metres long, are made from anodized or hard-anodized aluminium. The panels protecting the electronics are made from ceram-



Abb. 7: Das Plasmaverfahren spart nicht nur zwei Arbeitsschritte ein, auch Ablüftzeiten und Zwischenlagerung entfallen. Die Verklebung kann nun unmittelbar nach der Vorbehandlung erfolgen.

Fig. 7: The plasma process not only eliminates two entire process steps, it also dispenses with the need for drying times and interim storage. Bonding can now take place immediately after the pretreatment.

ic-coated single-pane safety glass or acrylic glass. The overall stability achieved through the combination of AP plasma and the new 1C-PUR adhesive had to be tested on these different surfaces, i.e. the bond between the adhesive and the materials and the strength of the adhesive itself.

During the 18-month test phase, Waldmann explored the uppermost limits of what an adhesive bond would have to endure. The microfine cleaning and activation power of the plasma was easy to demonstrate: test ink measurements carried out before plasma

treatment revealed surface tensions of less than 44 mN/m for aluminium, less than 36 mN/m for glass and 40 mN/m for plastic. After plasma activation, values ranging from more than 56 mN/m to 72 mN/m were measured on all three substrates, corresponding to the modified energy values (mJ/m²) of the material surfaces.

Then followed a series of tests including single-lap shear and tensile shear strength tests (DIN-EN 1465), constant humidity climate tests (DIN EN ISO 6270-2), climate cycling tests (BMW 308 KWT) and 1,000-hour storage of several adhesive samples at 30 °C in different cooling lubricants and oils. “But the all-important adhesive test to confirm the long-term stability and safety of use of the adhesive bond,” said Stehle, “was the cataplasma test, the sole purpose of which is to destroy the entire adhesive bond.” The plasma adhesive bond withstood even this test.

Successful change

In autumn 2015 at the end of the 18-month test phase, a plasma system controlled by a CNC-3 (xyz) axes portal and a new bonding station were integrated into the series production line. The environmentally friendly pretreatment process has eliminated two entire process steps and also dispensed with the need for drying times and interim storage. The plasma system equipped with a potential-free rotary nozzle now operates continuously for 8-12 hours a day and treats 1,000 aluminium lighting housings per week. The lights can now be bonded immediately after pretreatment (Fig. 7). The LED electronics in all the lights work perfectly and the high level of process reliability has long since been proven too. According to Stehle, not only has the plasma treatment created the ideal conditions for bonding, the process demonstrably improves the surface quality and long-term behaviour of the adhesive bond as well.

Author

Inès A. Melamies, specialized journalist, www.Facts4You.de

sein, als die Oberflächenspannung der flüssigen Klebstoffs oder Lacks. Bei Aluminium oder Glas kann die bereits vorhandene gute Oberflächenenergie durch Schichten von Staubablagerungen, Fetten, Ölen oder anderen Kontaminationen in Hinblick auf eine gute Benetzbarkeit oft nicht zur Wirkung kommen. Hier ist es der Feinstreinigungseffekt des Plasmas, der reinigend und abtragend wirkt und die im Substrat bereits vorhandene Energie wieder freilegt (Abb. 4).

Bei der Reinigung werden durch das hohe Energieniveau des Plasmas organische Stoffe an der Materialoberfläche gezielt in ihrer Struktur aufgebrochen und die 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 Ausströmungsgeschwindigkeit des Plasmas beeinflusst, wodurch auch lose anhaftende Partikel von der Oberfläche entfernt werden. Materialien können nach einer Reinigung und Aktivierung mit AD-Plasma sofort weiterverarbeitet werden.

Potentialfreies Plasma

Was Stehle neben der Effektivität und Umweltfreundlichkeit des Verfahrens beeindruckte, waren dessen angeblich hohe Prozesssicherheit, genaue Reproduzierbarkeit und monitorkontrollierte Überwachung. Lediglich ein Punkt bereitete ihm Kopfzerbrechen. „In einem Teil unserer Leuchtgehäuse ist die Elektronik bereits verbaut“, berichtet er (Abb. 5). „Mir war klar, dass jedes Vorbehandlungsverfahren, das elektrisches Potenzial führt, Kurzschlüsse erzeugen kann, verbunden mit der Zerstörung elektronischer Bauteile.“ Die entscheidende Frage für ihn war: Würde die elektrische Spannung im Plasmastrahl die empfindlichen LED-Baugruppen schädigen?

Peter Langhof, Market Manager Electronics bei Plasmateat (Abb. 6), bestätigte, dass die Bedenken grundsätzlich berechtigt sind, dass die Openair-Plasmatechnik jedoch eine Besonderheit aufweise: Durch die Entwicklung spezieller Düsenköpfe sei es in den letzten Jahren gelungen, die elektrische Spannung so abzuleiten, dass das auf die Materialoberfläche auftreffende Plasma praktisch potentialfrei sei. Aus diesem Grunde sei es nun möglich, auch hoch sensible Baugruppen und andere empfindliche elektronische Bauteile vorzubehandeln. Stehle präsentierte seiner Firma das neue Vorbehandlungsverfahren

und Waldmann entschied sich zur praktischen Umsetzung.

Die Testphase

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 hoch sind und wenn – wie bei Waldmann der Fall – gleichzeitig mit der Änderung der Vorbehandlung auch noch ein neuer Klebstoff eingesetzt werden soll. Zudem galt es die Vorbehandlung und Verklebung gleich auf drei verschiedenen Materialien zu testen. Die Gehäuse der bis zu 1,20 Meter langen Maschinenaufbauleuchten bestehen aus eloxiertem bzw. hart anodisiertem Aluminium. Die Blenden, die die Elektronik schützen, bestehen aus keramikbeschichtetem Einscheibensicherheitsglas (ESG) bzw. aus Acrylglas. Mit der Kombination aus AD-Plasma und dem neuen IK PU-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 Wald-

mann bei seinen Versuchen an die oberste Grenze dessen, was eine 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 kleiner 44 mN/m, für das Glas kleiner 36 mN/m und beim Kunststoff 40 mN/m. Bei allen drei Substraten konnten nach der Plasmaaktivierung Werte von größer 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 unter anderem Abschertests und Zugscherproben (DIN-EN 1465), Feuchtekonstantklimatests (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 auch diesem Test stand.

Erfolgreicher Wandel

Nach Beendigung der anderthalbjährigen Testphase wurden im Herbst 2015 eine über ein CNC-3-(xyz)-Achsenportal gesteuerte Plasma- und eine neue Klebanlage in die Serienproduktion integriert. Zwei komplette Arbeitsschritte wurden durch den Einsatz des umweltfreundlichen Vorbehandlungsverfahrens eingespart, auch Ablüftzeiten und Zwischenlager sind entfallen. Das mit einer potentialfreien Rotationsdüse ausgestattete Plasmasystem arbeitet heute im kontinuierlichen Prozess acht bis zwölf Stunden täglich und behandelt 1.000 Alu-Leuchtgehäuse pro Woche. Die Verklebung der Leuchten erfolgt nun unmittelbar in Anschluss an ihre Vorbehandlung (Abb. 7). Die LED-Elektronik arbeitet 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.

**Autor: Inès A. Melamies,
Fachjournalistin, www.Facts4You.de**