

## **Einführung in die Prozesstechnologie bei der Vorbehandlung von Kunststoffsubstraten**

*Dirk Michels, Fraunhofer IPA, Stuttgart, Tel.: 0711/970-3733, dirk.michels@ipa.fraunhofer.de*

Die großtechnische Beschichtung von Kunststoffteilen ist auch in der heutigen Zeit vornehmlich an das Einsatzvolumen der Kunststoffe am und im Automobil gekoppelt.

Die fortschreitende Entwicklung in dieser Branche führte besonders ab Ende der 1970er Jahre zu einer rasanten Beschleunigung bei den Kunststoffsorten mit spezifischen - fast beliebig einstellbaren - Eigenschaften, die auch in den anderen Industriezweigen genutzt werden. Die vielfältigen Designmöglichkeiten, der Personen- und Objektschutz sowie die Gewichtsreduzierung bei den Kunststoffen gegenüber Stahl oder Gussteilen sind nach wie vor die Hauptkriterien bei der Kunststoffentwicklung.

Zwischen 1970 und 1980 war das Kunststoffteilelackieren noch handwerklich geprägt. Insbesondere Polyurethanschaumteile und Pressteile aus glasfaserverstärkten Polyester-Harzmatten mussten für den Lackierprozess mit umfangreichen Entgrat- und Schleifarbeiten für den Lackierprozess vorbereitet werden. Der Trennmittleinsatz erforderte Waschprozesse mit organischen Lösungsmitteln (oft chlorierte Kohlenwasserstoffe), die in Kleinbetrieben manuell, bei größeren Anwendungen in Entfettungsanlagen ausgeführt wurden. Die Lackverarbeitung erfolgte ebenfalls überwiegend manuell mit Druckluftzerstäubern. Verarbeitet wurden Lacke mit hohem Anteil an organischen Lösungsmitteln. In dieser Phase war das Erreichen der Produktqualität oberste Priorität.

Mit den rasanten Stückzahlerhöhungen war im Zeitraum von 1980 bis 1990 die Entwicklung zu modernen Kunststofflackierprozessen zwingend. Die Automatisierung der Prozesse und die damit notwendigen Prozesssteuerungs- und Prozessüberwachungsmaßnahmen zur Erhöhung der Fertigungssicherheit standen im Vordergrund. Es zeigte sich ein klarer Trend zu den technischen Thermoplasten (z.B. ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), PC (Polycarbonat), PC/PBT (Polycarbonat-Polybutadienterphthalat-Blend)).

Zwischen 1990 und 2000 wurde ein deutlicher Trend zu den Massenkunststoffen, wie vor allem PP (Polypropylen) und PP/EPDM (Polypropylen-Ethylen-Propylen-Dien-Elastomer) registriert. Diese unpolaren Kunststoffe stellen schlechte Haftgründe für die anschließende Beschichtung dar und erfordern zusätzliche Vorbehandlungsschritte zur Oberflächenaktivierung. Bezüglich der Umweltschonung war, mit Blick in die Vergangenheit, der Weg zu primären Maßnahmen auch aus wirtschaftlichen Gründen erforderlich:

- Einsatz lösemittelarmer oder wasserverdünnbarer Lacke und
- Anwendung oversprayarmer Zerstäubung (z.B. Druckluftzerstäubung im Niederdruckverfahren mit HVLP-Zerstäubern sowie das elektrostatische zerstäubte Zerstäuben).

Heutzutage werden vornehmlich Techniken und Anlagen

- zum ressourcenschonenden Materialeinsatz (hoch effektive elektrostatische Lackzerstäubung und Einsatz von UV-Lacken mit Recycling),
- zur Energieeinsparung (z.B. kompaktere Anlagen über Strömungssimulation in den Lackierkabinen, Overspray-Trockenabscheideverfahren und verbesserte Lack-Trocknungsverfahren,
- zum erweiterten Wasser- und UV-Lackeinsatz zur Einhaltung der 31. BImSchV sowie
- mit Lackierkonzepten und Anlagentechniken mit erhöhter Fertigungsintegration

zur Anwendung gebracht.

## Die Aufgaben der Kunststofflackierung

Kunststoffteile zeichnen sich gegenüber Metallteilen oft durch niedrigere Formteilkosten, Korrosionsbeständigkeit sowie durch eine große Designfreiheit aus. Trotzdem wird bei einem hohen Anteil der produzierten Kunststoffteile eine nachträgliche Beschichtung aus folgenden Gründen erforderlich:

- Abdeckung von Oberflächenfehlern,
- Schutz vor äußeren Einwirkungen sowie
- Erzeugung definierter Oberflächen (Farbton, Glanz, Effekte, Haptik).

Bei der Herstellung von Kunststoffteilen nach dem Stand der Technik sind Oberflächenfehler, wie z.B. Bindenähte, Fließlinien, Werkzeugmarkierungen, Oberflächenaufbrüche, Poren, Lunker/Blasen, herausstehende Fasern, Glanzabweichungen und Materialanhäufungen durch Werkzeugbeschädigungen, nie völlig auszuschließen. Selbst kleinste Fehler beeinträchtigen das Wertempfinden bei hochwertigen Produkten (z.B. Automobil-Anbauteile). Diese Fehler können oft nur durch nachträgliche Lackierprozesse wirtschaftlich reduziert werden.

Viele Kunststoffsorten verfügen über keine ausreichende Beständigkeit gegenüber Pflegemitteln (z.B. Alkohollösungen) und der Bewitterung (z.B. UV-Licht). Eine weitere Schwachstelle der Kunststoffe ist, dass sie - insbesondere die Thermoplaste - als kratzempfindlich einzustufen sind. Hochwertige Kunststoffteile müssen daher durch Lackieren geschützt werden, die sich in branchen- und unternehmensspezifischen Prüfvorschriften zur Produkt- und Prozessfreigabe widerspiegeln, wie z.B. für die Kriterien:

- Farb- und Glanzwerte,
- Lackhaftung,
- Kratzbeständigkeit,
- Schlagbeanspruchung,
- Verhalten in einem Kondenswasserklima,
- Verhalten bei schnellen Temperaturänderungen,
- Chemikalienbeständigkeit (z.B. Alkohol, Benzin, Vogelexkreme),
- Alterungsverhalten sowie
- Pflegebeständigkeit (Scheuern/Reiben mit Reinigungs- und Pflegemitteln).

Die Forderungen des Marktes an das optische Aussehen sowie die Nachfrage bzgl. Vielfalt der Farben, Glanzeinstellungen, Strukturen und Effekte sind permanent angestiegen und werden weiter steigen. Bei vielen Kunststoffteileherstellern ist ein schneller, kundenorientierter Wechsel der Oberfläche zwingend, obwohl bei vielen Herstellprozessen für hochwertige Kunststoffteile der Anteil der Lackierkosten bis zu 70% der Bauteilkosten beträgt. Beim Verbauen der Kunststoffteile mit anderen Materialien ist zur Realisierung eines gleichartigen Aussehens ebenfalls ein Lackieren bzgl. Farbton-, Glanzgrad- und Oberflächenstrukturgleichheit erforderlich. Noch immer ist das Griffempfinden von Oberflächen/die Haptik von großer Bedeutung, was durch die Anwendung von Soft-feeling-Beschichtungen auf Kundenwunsch eingestellt wird.

## Beseitigung bzw. Verminderung störender Fremdstoffe

Die bei der Kunststoffteileherstellung verwendeten und am Kunststoffteil anhaftenden Prozesshilfsstoffe (z.B. Gleit- und Trennmittel), die aus den Kunststoffteilen austretbaren Inhaltsstoffe (z.B. Treibmittel, Spaltprodukte wie Wasser, Weichmacher, Farbstoffe uvm.) sowie die bei der Lagerung, Transport und dem Handling auf den Kunststoffteilen gelangten Verschmutzungen (z.B. Pollen, Staub, Wasserauftrocknungen, Handschweiß uvm.) müssen bei hochwertigen Produkten (z.B. Fahrzeuganbauteilen) beseitigt bzw. vermindert werden. Diese Reinigung erfolgte in der jüngsten Vergangenheit überwiegend mit wässrigen Tensidlösungen über eine Tauchentfettung mit oder ohne Ultraschallunterstützung oder häufiger über eine Spritzentfettung in 3- bis 4-Zonen-

Spritzwaschanlagen (Power-Wash) mit Kaskaden-Spülzonen. Dieser Anlagentechnik nachgeschaltet ist ein Haftwassertrockner.

In der heutigen Zeit hält die CO<sub>2</sub>-Reinigung verstärkten Einzug in industrielle Fertigungsprozesse. Bei diesem Verfahren wird festes Kohlendioxid (mit T= -78°C), vornehmlich in Form von CO<sub>2</sub>-Schnee auf die zu reinigende Oberfläche geschleudert und geht beim Auftreffen unmittelbar in den gasförmigen Zustand über (Sublimation). In diesem Zusammenhang spricht man auch vom sogenannten Trockeneisstrahlen. Hierbei macht man sich hinsichtlich der Reinigungswirkung unterschiedliche Effekte zu Nutze:

- Impulsübertragung
- Themospannung
- Lösemittelleffekte sowie der
- Sublimationsimpuls

Die CO<sub>2</sub>-Reinigung ist als schonendes und gleichermaßen effektives Reinigungsverfahren etabliert, was auch durch die sehr gute Automatisierbarkeit begründet ist.

Als eine weitere Reinigungsmethode sei an dieser Stelle auch die Laserstrahlreinigung zu nennen. Die Reinigungswirkung wird hierbei durch gezielten Einsatz von fokussierten Laserstrahlen/-impulsen erzielt.

Je nach Ausprägung des Automatisierungsgrades erfolgt insbesondere bei thermoplastischen Kunststoffen (je nach Verschmutzungsgrad) oft nur eine manuelle Reinigung der dekorativen Flächen mit einem Wasser-Lösemittelgemisch.

Bei den beschriebenen nasschemischen Vorbehandlungsverfahren ist die Lösemittelbeständigkeit und die Lösemittel- bzw. Wasseraufnahme des Kunststoffteils zu beachten. Das absorbierte Lösemittel muss anschließend durch eine Temperung ausgetrieben werden. Hierbei können Inhalts- und tieferliegende Prozesshilfsstoffe wieder an die Oberfläche gelangen. Bei einigen Kunststoffen (z.B. Thermoplast- und PU-Schaumteile oder SMC) kann eine Temperung oder Alterung vor der Vorbehandlung und dem Lackierprozess nützlich sein.

In wenigen Anwendungsfällen (z.B. PU-Teilen) werden Kunststoffteile auch in Strahlanlagen mit Stahl-, Glas- oder Kunststoffgranulat-Strahlgut vorbehandelt. Hierbei ist insbesondere die Wiederbefettung der Kunststoffteile über das im Kreislauf geführte Strahlgut und die Gefahr von Oberflächendurchbrüchen zu beachten.

Da Fremdsubstanzen die dekorative Beschichtungsqualität negativ beeinflussen, werden nicht entfettete Teile teilweise trocken mit einem Tuch (z.B. Staubbindetuch) abgewischt. Zur Unterstützung werden auch Druckluftreinigungsvorgänge vorgeschaltet. Das Abwischen und Abblasen fördert die Bildung elektrostatischer Ladungen auf den Kunststoffteilen und damit eine schnelle Wiederverschmutzung. Aus diesem Grund durchlaufen die Kunststoffteile unmittelbar nach der Druckluftreinigung und dem Abwischen eine Ionisierstation, in der mit bipolar ionisierter Luft manuell oder automatisch die Ladungen reduziert werden.

In vielen Anwendungsfällen ist eine Vorbehandlung der zu lackierenden Kunststoffteile vor dem Lackierprozess aus unterschiedlichen Gründen erforderlich:

- Erhöhung der Haftfestigkeit,
- Beseitigung bzw. Verminderung störender Fremdstoffe,
- Reparatur von Oberflächenstörungen und
- Einstellung der elektrischen Leitfähigkeit.

Zur Verbesserung der Lackhaftung werden physikalische Methoden mit dem Ziel angewendet, eine geringfügige Oberflächenvergrößerung auf der Kunststoffoberfläche einzustellen. Die üblichen

Methoden (z.B. bei SMC- (Sheet-Mould-Compounds, in Form gepresste Harzmatten aus ungesättigtem Polyester und Glasfasern) und PU- (Polyurethan) Teilen) sind hierbei das manuelle Wischen mit Lösemitteln, das Schleifen und das Strahlen (Strahlgut: oft Kunststoffgranulat oder Glas). Hierbei wird gleichzeitig auch eine Reinigungswirkung erreicht. Aufgrund des hohen personellen Aufwandes beim Wischen und Schleifen und der Gefahr von Störungen, wie z.B.

- unkontrolliertes Anlösen bei der Lösemittelbehandlung,
- Schleiffehler (-riefen) beim Schleifen und
- Durchschläge (Poren) beim Strahlen

sind diese Methoden jedoch auf einzelne Anwendungsfälle beschränkt.

Die zunehmenden Erfordernisse von Recyclingkonzepten für Kunststoffabfälle und die Erhöhung der Fertigungssicherheit bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit werden den Trend zu thermoplastischen Massenkunststoffen forcieren. Hierbei gewinnen die Polyolefine (wie z.B. PP (Polypropylen), PP/EPDM (Polypropylen-Ethylen-Propylen-Dien-Elastomer) besonders an Bedeutung. Ein Nachteil dieser Kunststoffe ist aber deren schlechte Benetzbarkeit beim Lackierprozess. Sie stellen damit schlechte Haftuntergründe dar. Eine gute Benetzbarkeit liegt vor, wenn die Oberflächenspannung des zu lackierenden Werkstücks höher als die Oberflächenspannung des Lackmaterials ist. Die Oberflächenspannung wird maßgeblich durch den polaren Anteil der Kunststoffoberfläche beeinflusst. Da die Benetzbarkeit leicht zu überprüfen ist, wird in der Praxis vereinfacht davon ausgegangen, dass eine gute Benetzbarkeit des zu lackierenden Werkstücks die Voraussetzung für eine gute Lackhaftung ist. Für eine gute Lackhaftung sind zudem die dispersen Anteile des Kunststoffes sowie Eigenschaften des Lackes (z.B. Viskosität, Molekülgröße des Bindemittels) von Bedeutung. Aus diesem Grund wird z.B. auf Polystyrol trotz seiner geringen Oberflächenspannung eine ausreichende Lackhaftung erzielt.

Da auf den Polyolefinen keine ausreichende Benetzbarkeit und Lackhaftung beim Lackierprozess zu erzielen ist, ist eine oberflächenaktivierende Vorbehandlung erforderlich. Derartige Vorbehandlungsverfahren sind:

- das Beflammen,
- die Coronaentladung,
- die Plasmabehandlung,
- die Behandlung mit Fluor und
- die Bestrahlung mit UV-Licht.

Die Oberflächenaktivierung bei diesen Verfahren erfolgt überwiegend oxidativ durch den Einbau von Sauerstoff. In der Kunststoffoberfläche entstehen polare Gruppen (z.B. Hydroxyl-, Carboxyl-Gruppen). Für Kunststoffteile werden vor allem das Beflammen und z.T. auch die Plasmabehandlung seit Jahren serienmäßig eingesetzt. Die Behandlung mit Fluor oder die Bestrahlung mit UV-Licht sind hierzu interessante Alternativen und werden bereits serienmäßig in Einzelfällen eingesetzt.

Beim Beflammen wird eine oxidierend eingestellte Gasflamme manuell oder mittels Roboter über die Kunststoffoberfläche gefahren. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens liegt in der relativ universellen Anwendbarkeit auch in Durchlaufanlagen und damit auch bei den Kosten. Das Beflammen ist in der industriellen Praxis das am häufigsten angewendete Oberflächenaktivierungsverfahren.

Die Coronaentladung wird überwiegend vor der Beschichtung von Folien bzw. Bahnware mit Lacken oder Druckfarben eingesetzt. Hierbei erfolgt zwischen der unter Hochspannung stehenden Elektrode und dem auf der Gegenelektrode befindlichen Kunststoff eine Entladung, die im Luftspalt zur Ionisierung der Luftmoleküle führt. Es entstehenden oxidativ wirkende Elektronen und Ionen. Rotationssymmetrische Formteile, z.B. Becher, sind auch durch das Umfahren der Gegenelektrode behandelbar. Eine weitere, im Lackierbereich aber nur in Einzelfällen angewendete Möglichkeit ist die

Behandlung einfach geformter Teile mit einer unter Hochspannung stehenden flexiblen Kette, die sich gegen eine der Teileform angepasste Gegenelektrode entlädt.

Die Plasmabehandlung zeichnet sich gegenüber den zuvor genannten Alternativen durch eine hohe Spaltgängigkeit aus, d.h. die Behandlung komplexer Bauteilgeometrien ist möglich. Darüber hinaus verfügt sie über eine hohe Prozessreproduzierbarkeit. Das aus oxidativ wirkenden Radikalen und Ionen bestehende Plasma wird durch Anlegen einer elektrischen Spannung an das Prozessgas erzeugt. Hierzu müssen aus fertigungstechnischer Sicht zwei unterschiedliche Prozessansätze unterschieden werden:

1. Durch das Vorbehandeln in einer geschlossenen Vakuumkammer hat die Plasmabehandlung Batch-Charakter, d.h. die Integration in den Materialfluss der häufigsten Lackieranwendungen für Kunststoffteile erfordert hohe Investition (Anzahl der Behandlungskammern, Logistiksysteme).
2. Die Anwendung von Atmosphärendruckplasma ist in der heutigen Zeit verstärkt im Fokus von Forschung und Entwicklung ermöglicht darüber hinaus auch den, aus fertigungstechnischer Sicht begrüßenswerten Einsatz in Durchlaufanlagen.

Angewendet wird die Plasmabehandlung überwiegend für Kleinteile.

Die Oberflächenaktivierung mit Fluor erfolgt in einer Behandlungskammer, in der nach Einstellung eines Unterdruckes Fluor und Inertgase eingeleitet werden. Die oxidative Wirkung entsteht durch den radikalischen Zerfall des Fluor-Moleküls in Verbindung mit Sauerstoff. Weiterhin wird die Lackhaftung durch die Bildung von  $\text{CF}_2$ - und CHF-Gruppen in der Kunststoffoberfläche begünstigt. Auch die Fluorierung zeichnet sich durch eine gute Spaltgängigkeit und Reproduzierbarkeit aus. Industrielle Anwendungen bestehen bei Kfz-Innenteilen und Kfz-Karosserieteilen.

Die Oberflächenaktivierung mit UV-Strahlen erfolgt im kontinuierlichen Durchlauf mit sehr kurzen Behandlungszeiten (wenige Sekunden) und ist daher gut integrierbar und relativ preisgünstig. In der Regel werden Excimer-Lampen mit einer Wellenlänge von 172 nm eingesetzt. Einen Einfluss auf die Funktionalisierung der Kunststoffoberfläche hat das bei der Bestrahlung entstehende Ozon. Aufgrund der Strahlausbreitung ist die UV-Bestrahlung bzgl. der Teilegeometrie begrenzt.