

UV-Lacke energieeffizient verarbeiten

Lackhärtung. Entwickelt wurde ein integriertes, plasmagestütztes Verfahren, das eine energieeffiziente und gleichzeitig prozesssichere Trocknung einer UV-Lackierung auf 3D-Bauteilen ermöglicht. Die Ergebnisse wurden zur Patentanmeldung eingereicht.



Zierleiste mit kratzfester UV-Hochglanzlackierung
(Foto: Sommer Industriellackierung)

SIMONE FISCHER

Reicht der beträchtliche Ultraviolettanteil der durch einen Niederdruck (ND)-Plasmaprozess erzeugten elektromagnetischen Strahlung aus, um UV-Lacksysteme zu härten? Mit dieser Frage richtete sich die Sommer Industriellackierung GmbH, Weilheim/Teck, an die plasma technology GmbH, Herrenberg. Sommer setzt seit vielen Jahren die ND-Plasmatechnik zur Bauteilaktivierung vor dem Lackierprozess ein und weiß die Vorzüge eines Vakuumprozesses zu schätzen. Plasma technology bringt als Anlagenhersteller die Kompetenzen im Bereich der Plasmatechnik mit. Eine weitere gemeinsame Überlegung war, dass auf diese Weise die erheblichen energetischen Defizite, die bei konventionellen oder rein UV-gestützten Trocknungsprozessen derzeit

in Kauf genommen werden müssen, deutlich reduziert werden könnten.

Gas und Frequenz

Die ersten Grundlagenuntersuchungen galten deshalb der Plasmazusammensetzung und seiner Erzeugung. Da Plasmen quasineutrale Vielteilchensysteme in der Art gasförmiger Mischungen freier Elektronen und Ionen sind, die neutrale Komponenten enthalten können und deren physikalische und chemische Eigenschaften ganz wesentlich durch das kollektive Verhalten der Ladungsträger beeinflusst werden [1], kamen bei den Tests neben reinem Sauerstoff und Luft weitere handelsübliche Gase zum Einsatz. Gleichzeitig wurde die Leuchterscheinung der Plasmen dazu genutzt, um deren Homogenität über die Prozessdauer und das Kammervolumen zu beurteilen (**Bild 1**). Ergebnis dieser Versuchsreihe war ein Gasgemisch, das Entste-

hung und Ausbeute des UV-Lichts begünstigt.

Weiterhin wurde die Plasmaausprägung in Abhängigkeit von den elektrischen Parametern betrachtet. Zunächst lag das Augenmerk auf dem Einfluss der Anregungsfrequenz. Hierbei wurde deutlich, dass durch den günstigeren Ionisationsgrad bei höheren Frequenzen, die Intensität der UV-Strahlung zunimmt. Es verhielt sich allerdings so, dass es bei den mit Mikrowellen erzeugten Plasmen zu den typischen Inhomogenitäten innerhalb der Prozesskammer kam, die sich negativ auf das Trocknungsergebnis auswirkten. Bei Plasmen, deren Anregung im Kilohertzbereich liegt, wirkt sich der durch das Plasma vorhandene thermische Einfluss zusätzlich positiv auf die Lacktrocknung aus. Gerade bei Dual-Cure-Systemen, die einen gewissen Lösemittelanteil enthalten, trägt die Wärmeenergie zu einer schonenderen Lösemittelentfernung aus der Lackschicht bei. Die Durchhärtung wird verbessert.

Auch den Einfluss der eingebrachten Leistung galt es zu untersuchen. Sie steht in direkter Abhängigkeit zum Ionisationsgrad sowie zum resultierenden IR- und UV-Anteil in der Kammeratmosphäre und wurde zwischen 100 W und 10 kW variiert.

Neben den rein UV-induzierten Härtungseffekten konnte auch die thermische Wirksamkeit durch die Leistungsvarianz näher untersucht werden. Ergebnis: Der Temperaturanstieg auf der Bauteiloberfläche verläuft bis 150°C weitgehend linear. Da im Vakuum keine Konvektion stattfindet, kann das Bauteil die Wärme nur als IR-Strahlung wieder abgeben. Eine Leistungserhöhung bei der Plasmaeinkopplung bewirkt mit zunehmender Prozessdauer, wenn diese im Minutenbereich liegt, einen weiteren Temperaturanstieg des Bauteils (**Bild 2**). Die Erwär-



Bild 1. Charakteristische Plasmafärbung für Luftplasma (links) und Sauerstoffplasma (rechts) (Bilder 1bis 5: plasma technology)

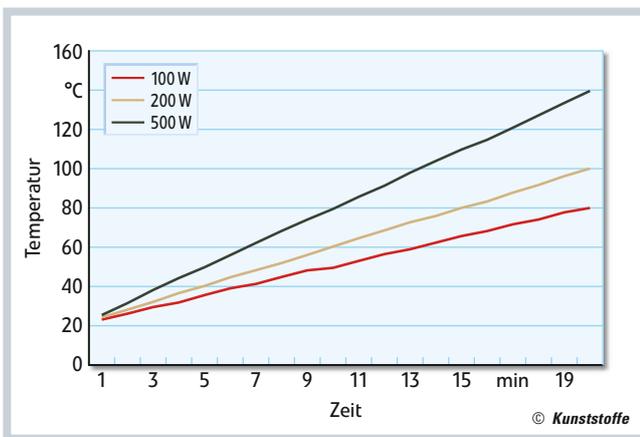


Bild 2. Temperaturanstieg des Bauteils in Abhängigkeit der eingekoppelten Leistung

nungsgeschwindigkeit ist sehr stark abhängig von der Masse des Bauteils, sodass der Temperaturverlauf immer spezifisch abzuleiten ist.

Charakteristische Trocknungsparameter

In die Versuchsreihe wurden die vier UV-Lacksysteme einbezogen, die zu Beginn der Projektlaufzeit im Automobilbereich zugelassen waren. Für die UV-Lacktrocknung lagen von den Herstellern zwar lackspezifische Energieeintragswerte (J/mm²) vor, diese konnten auf dieses neuartige Härtingsverfahren jedoch nicht bzw. nur bedingt übertragen werden. Für die reaktiven Wellenlängenbereiche der Photoinitiatoren lagen keine genauen Angaben vor, da derzeit alle UV-Lacke auf ein favorisiertes Lampensystem abgestimmt sind und optimale Vernetzungseigenschaften auch nur in dieser Kombination erzielt werden. Daher war es notwendig, die Lacke bei klassischer UV-Beleuchtung hinsichtlich ihrer reaktiven Wellenlängenbereiche, Trocknungscharakteristika etc. zu vermessen und ihre lackspezifischen Grundparameter herauszuarbeiten.

Ohne hier auf die individuellen Trocknungscharakteristiken der Systeme näher einzugehen, lagen zwei, nach ihren Vernetzungseigenschaften zu unterscheidende Gruppen vor: Die Dual-Cure- (DC) und die Mono-Cure-Systeme (MC). Bei den DC-Lacken handelt es sich um zweikomponentige Systeme, die einen relativ hohen Lösemittelanteil von bis zu 40 % enthalten können. Sie werden derzeit durch definierte thermische Vortrock-

nung (Infrarot oder Konvektion) aus der Grundschicht ausgetragen, um Einschränkungen hinsichtlich Optik oder Haftfestigkeit auszuschließen. Allerdings ist diese Vortrocknung sehr energieaufwendig, zeitintensiv und damit teuer. Im Vergleich dazu zeichnen sich die Mono-Cure-Systeme durch einen Feststoffgehalt von 96–97 % aus. Die Vernetzung dieser Lacke läuft als kationische bzw. radikalische Kettenreaktion ab, sobald der enthaltene Fotoinitiator durch UV-Licht aktiviert wird. Das Grundproblem bei dieser Art der Lackhärtung besteht darin, dass sie nur auf den direkt bestrahlten Flächen abläuft, sodass Schattenbereiche von 3D-Geometrien nicht erfasst werden. Daher beschränkte sich der Einsatz der MC-Systeme bisher auf flächige Bauteile und Bahnenware.

Kühlfalle für Lösemittel

Bei einem Vakuumprozess müssen die Lösemittelanteile aus den Lackschichten eliminiert, d.h. in diesem Fall ausgeleitet werden. Hierfür hat sich ein zusätzlicher →

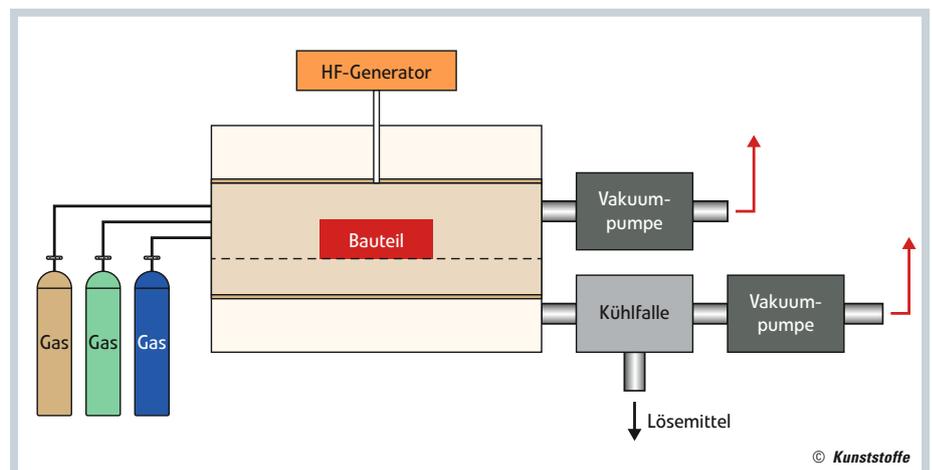


Bild 3. Anlagenaufbau mit Kühlfalle und zwei Vakuumpumpen (schematisch, HF = Hochfrequenz)

Pumpstand mit vorgeschalteter Kühlfalle bewährt (Bild 3). Dadurch ist ein sanftes Abpumpen möglich, bevor der Kammerdruck konstant gehalten wird, um die Bauteile leicht zu erwärmen. Dabei entweichen leichtflüchtige Lösemittel aus der flüssigen Lackschicht, werden aus der Plasmakammer abgeführt und kondensieren in der Kühlfalle. Ist der Ausgasungsprozess weitestgehend abgeschlossen, wird dieser zweite Pumpstand abgeschaltet und die Lösemittel können aus der Kühlfalle fast vollständig zurückgewonnen werden. Ihre kontrollierte Entsorgung oder Aufbereitung entlastet die VOC-Bilanz des Lackierbetriebs.

Als weitere interessante Einflussgröße wurde die Elektrodenform zur Einkopplung des Plasmas untersucht. Idealerweise bildet die Elektrode die Kontur des Werkstücks ab, wodurch jedoch ein vielseitiger Einsatz ausgeschlossen ist. Mit halbkreisförmiger Ober- und Unterelektrode wurde eine Anordnung gefunden, mit der sich unabhängig von der Teilgeometrie und -belegung der Skids, homogene Plasmen erzeugen lassen.

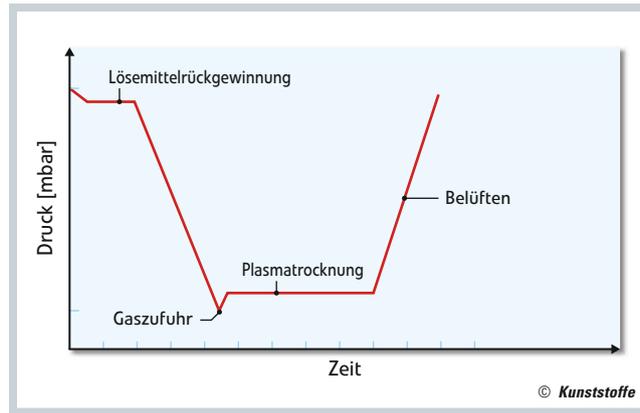


Bild 4. Druckverlauf in der Kammer während der Lacktrocknung

Jetzt mussten „nur“ noch die optimalen Parameter für die Plastro-UV-Härtung (plasmaunterstützte UV-Härtung) erarbeitet werden. Zunächst wurden Versuche mit verschiedenen, kontinuierlichen Plasmen durchgeführt. Dies erbrachte keine angemessene Lacktrocknung. Mit einem gepulsten Plasma konnte jedoch die Vernetzung initiiert werden. Die weiteren Versuche zeigten, wie leistungsfähig eine Plasmaatmosphäre sein kann:

- Die UV-Lackschicht härtet durch, auch in den Schattenbereichen.
- Die Einwirktiefe des Plasmas in die Lackschicht kann als Gradient gefahren werden.
- Die Farbe des Substrats kann beliebig sein.
- Der Prozess lässt sich je nach Bauteilgröße skalieren.

Abhängig vom gewählten Lacksystem DC oder MC werden folgende Prozessschritte durchlaufen: Bauteilzuführung – Lösemittelvakuumierung (nur DC) – Gaszufuhr – Zündung des UV-optimierten Plasmas (Trocknungssequenz) – thermische Schichtverspannung (nur MC) – Nachvernetzungs- und Relaxationssequenz – Bauteilentnahme. In Bild 4 ist der Druckverlauf in der Kammer über die Prozess-trocknungsdauer und in Bild 5 ein Inline-Konzept für den kompletten Beschichtungsprozess dargestellt.

Die Versuchsreihen führten zu der Erkenntnis, dass neben der Lackhärtung durch das Plasma, wenn notwendig, auch eine Aktivierung der entstandenen Oberfläche erfolgen kann. Dies ist wichtig, wenn Bauteile verklebt werden sollen oder ein weiterer Veredelungsschritt, wie beispielsweise eine PVD-Beschichtung, erfolgt.

Kratz-, creme- und klimabeständig

Nachdem die gleichmäßige, allseitige Lackhärtung im Plasma gewährleistet werden konnte, wurden die Haftungs- und Be-

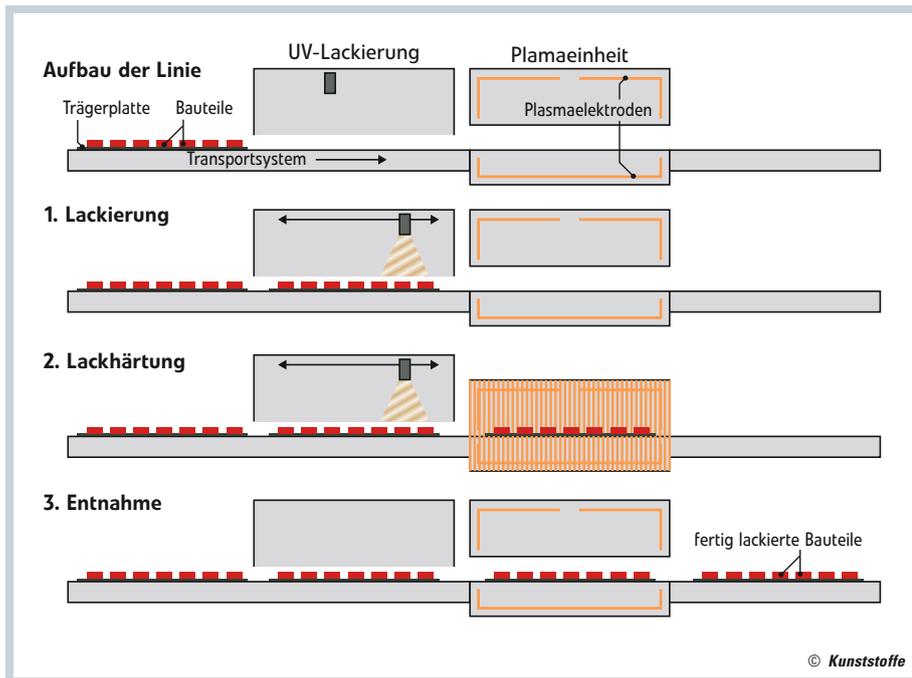


Bild 5. Inline-Konzept für eine plasmaunterstützte UV-Lacktrocknung



Bild 6. Links: Kratztest nicht in Ordnung, rechts: Kratztest nach plasmapolymere Beschichtung in Ordnung (Bild: Sommer Industrielackierung)

ständigkeitsprüfungen durchgeführt. Die Lackhaftung wurde bei allen vier applizierten Systemen durchweg mit GT 0 bewertet. Die geforderte Kratzbeständigkeit wurde jedoch nicht erzielt. Dieser Sachverhalt erforderte weitere Versuchsreihen, die zeigen, dass diese Problematik nicht allein

ne Basis für die Nutzung der umweltfreundlichen UV-Lacke in der Kunststofflackierung geschaffen werden.

Auch hier sind größere Fortschritte zu verzeichnen: Für die Härtung der DC-Systeme wird durch die effiziente Lösemittelevakuierung und die plasmaindu-

gleichermaßen und stellt für die Verarbeitung dieser umweltfreundlicheren Lacke einen sehr wichtigen Technologiesprung bei der Beschichtung von Kunststoffen dar. Die Effizienzsteigerung des Plastro-UV-Verfahrens ist gegenüber konventionellen Trocknungsverfahren enorm. ■

	Trocknungsart	Energieverbrauch [Wh/cm ²]
Durchlauflackieranlage	konvektive Trocknung	0,71
Kleinteilelackieranlage	UV konventionell	0,33
Kleinteilelackieranlage	Plastro-UV	0,08

Tabelle 1. Gegenüberstellung Energieverbrauch für Lacktrocknung/-härtung

über die Parametrierung zu beseitigen ist. Es wurde eine nachgeschaltete Stufe generiert, während der eine hauchdünne Plasmapolymer-Schicht erzeugt wird, um das benötigte Eigenschaftsprofil zu erfüllen (Bild 6). Trotz dieses zusätzlichen Behandlungsschrittes liegt die Verlängerung des Prozessablaufs nur im Sekundenbereich. Die vier Lacksysteme bestanden durch den angepassten Prozess neben der Härteprüfung, auch den Creme-, Schweißwasser- und Klimawechseltest und erbrachten somit die nötigen Nachweise für eine sichere Schichthaftung und deren chemische Beständigkeit.

Energetische Betrachtung

Das zweite zentrale Ziel des Vorhabens war, den notwendigen Energieaufwand erheblich zu reduzieren. Damit sollte ei-

zierte Trocknungssequenz eine signifikante Energieeinsparung von rund 60 % erzielt. Noch deutlicher schlägt diese mit circa 85 % bei den MC-Systemen zu Buche. **Tabelle 1** zeigt eine Gegenüberstellung des Energieverbrauchs der bei Sommer in Produktion befindlichen Anlagen für die Lackierung eines Hochglanzbauteils.

Fazit

Mit einer Vielzahl von Versuchen – unter Einbeziehung der verschiedensten 3D-Geometrien, Elektrodenformen- und Elektrodenanordnungen – wurde der Nachweis erbracht, dass UV-Lackschichten auf dreidimensionalen Bauteilen in den herausgearbeiteten Prozessfenstern vollständig und zuverlässig vernetzen. Das gilt in der jeweiligen Verfahrenskonfiguration für DC- und MC-Lacksysteme

i Kontakt

plasma technology GmbH
D-71083 Herrenberg
TEL +49 7032 918 38-0
→ www.plasmatechnology.de

Sommer Industrielackierung GmbH
D-73235 Weilheim/Teck
TEL +49 7023 74 68-0
→ www.SommerNet.de

DANK

Dank gilt dem Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. für die finanzielle Förderung des Projekts im Rahmen der Initiative KMU-innovativ Ressourcen- und Energieeffizienz.

LITERATUR

- Blasek, Gerhard; Bräuer, Günter: Vakuüm – Plasma – Technologien, Eugen G. Leuze Verlag KG, Bad Saulgau, 2010, S. 48

DIE AUTORIN

DIPL.-ING. (FH) SIMONE FISCHER, geb. 1970, ist Inhaberin des Ingenieurbüros Fischer, Lauterbach, sf@ingbuero-fischer.de