



Perfekter Lack

Zerstörungsfreie Schichtdickenmessung an Nassfilmen

Die Schichtdicken moderner Autolacke sollten möglichst im Lackierprozess kontrolliert werden. Doch zu diesem Zeitpunkt ist der Lack noch feucht, und die üblichen zerstörungsfreien Methoden versagen. Eine industrietaugliche Lösung dieser Messaufgabe verspricht ein neuartiges Lackinspektionssystem auf Basis von Terahertz-Wellen.

Jens Klier, Joachim Jonuscheit, Georg von Freymann

Autolacke sollen seit jeher in erster Linie glänzen und gefallen. Doch moderne Autolackierungen müssen inzwischen viel mehr leisten: vom Korrosionsschutz der Karosserie bis hin zum Schutz vor mechanischen Beanspruchungen und schädlichen Witterungseinflüssen. Deshalb ist der Aufbau einer Autolackierung inzwischen recht komplex. Bei der Serienlackierung kommen verschiedene Technologien zum Einsatz, die erst im Zusammenspiel eine Autolackierung perfekt machen.

In der Automobilproduktion von Audi am Standort Ingolstadt, bestehend aus Presswerk, Karosseriebau, Lackierung und Montage, entfallen bei der Roboterlackie-

rung 53 Prozent des Energieverbrauchs auf die Lackierung [1], die Belastung der Umwelt mit Lösemitteldämpfen ist sogar zu 99 Prozent der Lackierung geschuldet. Je dicker die Schicht aufgetragen wird, desto mehr Energie benötigt man zum Trocknen und desto mehr Lösemittel setzt man frei.

Zur Reduzierung von Ressourcen wie Lack und Energie sowie der Umweltbelastung ist man bestrebt, die Schichtdickenmessung so früh wie möglich im Lackierprozess durchzuführen. Hier ist der Lack noch feucht und stellt somit besondere Anforderungen an die einzusetzende Messtechnik. Herkömmliche Lackdicken-Messgeräte, die z. B. magnetinduktiv oder mit dem Wirbelstromverfahren oder >>>

Ultraschall arbeiten, können hier wegen des zur Messung notwendigen mechanischen Kontakts nicht eingesetzt werden. Fotothermische Verfahren arbeiten zwar berührungslos, aber ihr Einsatz führt bei feuchten Schichten oft zu fehlerhaften Resultaten.

Nass-Schichtdicke ist entscheidend

Die erforderliche Trocken-Schichtdicke wird häufig aus der Nass-Schichtdicke und dem Feststoffanteil des Lacks ermittelt. Eine falsche Abschätzung der Schichtdicke führt zu einem unnötigen Aufwand. Wird eine Schicht zu dünn aufgetragen, sind Schutz und Deckvermögen nicht ausreichend, und eine nochmalige Beschichtung der Oberfläche kostet Energie, Zeit und Geld. Wird der Lackfilm zu dick aufgetragen, können Mängel wie Risse, Ablättern oder extrem lange Trockenzeiten auftreten.

Um den Prozess während der Applikation zu kontrollieren, ist es häufig wünschenswert, die Schichtdicke des nassen Films online zu bestimmen. Die besondere Herausforderung bei dieser Schichtdickenmessung ist die Variation der Materialzusammensetzung des Films während des Abtrocknens. Während dieser Phase verdunstet das Lösungsmittel oder das beigemischte Wasser und so verändert sich die Materialzusammensetzung kontinuierlich. Mögliche Messverfahren müssen diese Variationen mit ausreichender Genauigkeit berücksichtigen.

Zur Schichtdickenmessung an Nassfilmen werden traditionell Messkämmen oder Messräder verwendet. Diese werden zur Messung in den Nassfilm eingetaucht und dessen Dicke anhand der benetzten Zähne abgelesen. Eine neuere Methode basiert auf der Wirbelstromtechnik. Hier ist der Sensor mit Abstandstiften ausgestattet, die in den Nassfilm eintauchen. Somit taucht der Sensor selbst nicht in den Nassfilm ein und ist trotzdem genau ausgerichtet. Beide Verfahren sind jedoch nicht für eine automatisierte, berührungslose Online-Prozesskontrolle geeignet.

Lackinspektion basierend auf Terahertz-Wellen

Aktuell kann daher nur die Terahertz-Messtechnik Nassfilme im industrierelevanten Dickenbereich von 10 bis 500 µm der jeweiligen Einzelschichten zerstörungsfrei und berührungslos nachweisen. Dies hat das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern, in Zusammenarbeit mit Industriepartnern gezeigt. Das für den industriellen Einsatz entwickelte kompakte, robuste und langzeitstabile Schichtdickenmesssystem basiert auf der Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie. Ein über Glasfasern von der Basis einheit entkoppeltes Messmodul erlaubt eine einfache Integration in bestehende Produktionsprozesse, z.B. auf einem XY-Scanner oder einem Roboter.

Bei der Schichtdickenmessung mit der Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie wird der einfallende Terahertz-Strahl genutzt. Die Wellen werden an den Grenzflächen aufgrund des Brechungsindexunterschieds ($n_1 \neq n_2$) teilreflektiert (Bild 1 links). Aus den Laufzeitunterschieden Δt_1 und Δt_2 lassen sich mit der Kenntnis der Brechungsindizes die Schichtdicken d_1 und d_2 bestimmen (Bild 1 rechts). Im einfachsten Fall erhält man zwei Reflexe: einen vom Übergang Luft-Beschichtung und einen zweiten vom Übergang Beschichtung-Substrat. Aus der Zeitdifferenz zwischen den beiden Reflexen und mit Kenntnis des Brechungsindex kann die Schichtdicke bestimmt werden. Besteht die Lackierung aus mehreren Lack-schichten, erscheinen zwischen den beiden beschriebenen Reflexen weitere Reflexe, die auch die Analyse komplizierter Mehrschichtlacke erlauben.

Zum Fähigkeitsnachweis der Schichtdickenmessung an Nassfilmen wurden im Technikum Bleche beschichtet und zerstörungsfrei geprüft. Im Einzelnen wurden Bleche kontrolliert lackiert, anschließend zwischengetrocknet und im letzten Schritt vollständig ausgehärtet. Nach jedem Schritt wurde die Schichtdicke der Bleche mit der Terahertz-Messtechnik untersucht. In der ersten Messserie wurde ein Blech mit einem Metallic-Basislack im relevanten Dickenbereich ungleichmäßig beschichtet (Bild 2). Die Falschfarbendarstellung zeigt

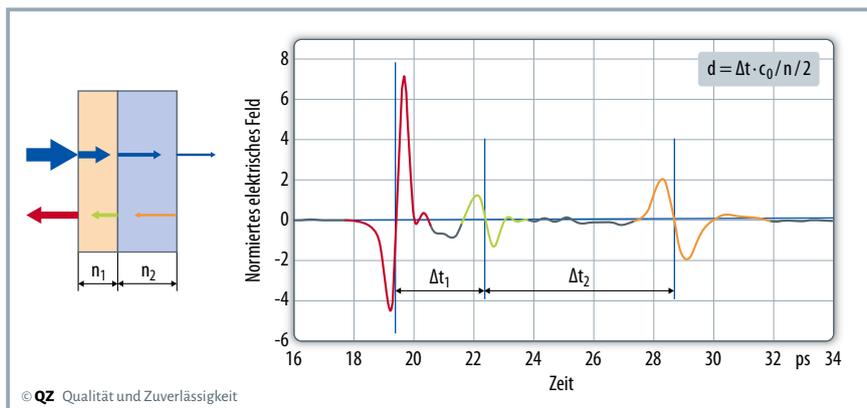


Bild 1. Links: Messprinzip der Schichtdickenbestimmung, hier Reflexion an Zweischichtsystem, rechts: Zuordnung der reflektierten Signale und daraus resultierende Schichtdicke (© Quelle: Fraunhofer ITWM)

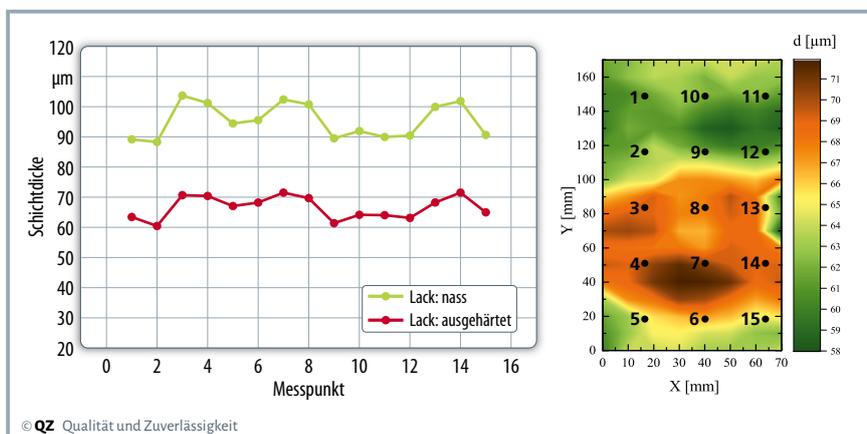
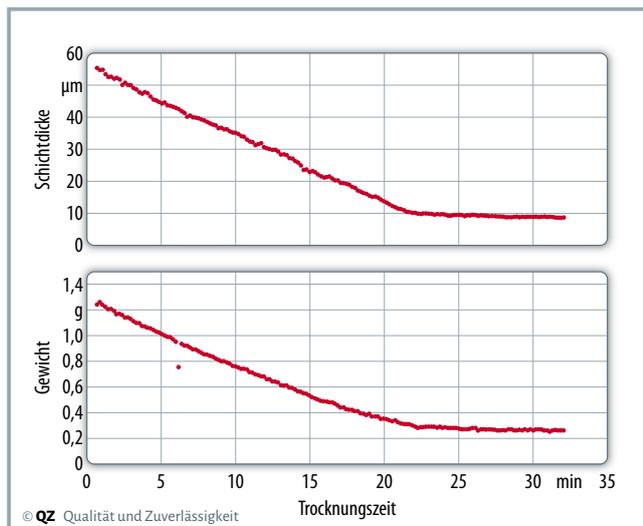


Bild 2. Entwicklung der Schichtdicke während des Trocknungsprozesses. Links: Werte im nassen, ausgehärteten Zustand mittels Terahertz-Messtechnik gemessen, rechts: Lage der Messpunkte auf den Testblechen, Farbskalierung entsprechend magnetinduktiven Messungen (© Quelle: Fraunhofer ITWM)

Bild 3. Ergebnisvergleich der Gewichtsabnahme und der Terahertz-Messung während des Aushärteprozesses

(© Quelle: Fraunhofer ITWM)



die mittels magnetinduktiver Messungen ermittelten Dickenverteilung. Zum einen ist die Abnahme der Schichtdicke während des Trocknens eindeutig zu sehen, und zum anderen ist der ungleichmäßige Lackauftrag sowohl im Nassfilm als auch im ausgehärteten Zustand zu erkennen.

In der nächsten Messreihe wurde die Korrelation zwischen Abnahme des Lackgewichts und gemessener Schichtdicke untersucht. Hierzu wurde das Blech samt Nassfilm während des Aushärteprozesses mehrfach gewogen, und im direkten Anschluss an die Wiegung wurde die Filmdicke mittels Terahertz-Messtechnik bestimmt (Bild 3). Man erkennt eine hervorragende Korrelation zwischen Gewichts- und Schichtdickenabnahme. Mithilfe der Terahertz-Messtechnik lassen sich Nassfilme

berührungslos und zerstörungsfrei analysieren – und das sogar während des Lackierens, und zwar sowohl als Einzelschicht als auch als Nassfilm auf einer darunter befindlichen, getrockneten Lackschicht. Als Trägermaterial eignen sich sowohl Metalle als auch Kunststoffe und Verbundwerkstoffe wie CFK. Bei der Messung werden bis zu 40 Wellenformen pro Sekunde gemessen und online ausgewertet. Auf diese Weise lassen sich Schichtdicken in einem sehr breiten Bereich zwischen 10 und 500 µm bestimmen – und das auf ± 1 µm genau.

Der Einsatz des Terahertz-Lackinspektionsystems ist unkompliziert. Je nach Aufgabe kann der Arbeitsabstand zwischen 5 und 20 cm betragen. Darüber hinaus ist bei Terahertz-Wellen, die im Spektrum zwischen Infrarotlicht und Mikrowellen liegen,

keine strahlenschutztechnische Abschirmung nötig. Sie sind nicht ionisierend und daher gesundheitlich unbedenklich. ■

INFORMATION & SERVICE

PROJEKT

Die Messungen an Nassfilmen wurden innerhalb des Fraunhofer-internen Projekts »SelfPaint« am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart durchgeführt.

LITERATUR

- 1 Achatz, D.: Aktuelle Strategien für eine umweltgerechte Lackierung am Beispiel Karosserie. Kongress „Besser lackieren“, Bad Nauheim, 2014

AUTOREN

Jens Klier, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter,

Dr. Joachim Jonuscheit, ist stellvertretender Abteilungsleiter und

Prof. Dr. Georg von Freymann, ist Abteilungsleiter am Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern.

KONTAKT

Dr. Joachim Jonuscheit
T 0631 31600-4911
joachim.jonuscheit@itwm.fraunhofer.de
Halle 6, Stand 6302

QZ-ARCHIV

Diesen Beitrag finden Sie online:
www.qz-online.de/2924382