

Photothermisches Verfahren zur berührungslosen und zerstörungsfreien Messung und Charakterisierung von Oberflächenbeschichtungen durch Auswertung radiometrischer Messsignale.

1 Motivation

Beschichtungsfehler, ob produktionsbedingt oder durch Alterung und Verschleiß entstehend, verursachen große wirtschaftliche Schäden. Das Interesse an eine einfache und schnelle Methode zur Kontrolle von Beschichtungen ist dementsprechend groß, besonders eine Schichtdickenüberwachung während des Produktionsprozesses (inline Monitoring).

2 Photothermisches Messen von Beschichtungen

Wenn das Grundmaterial homogen ist und sich die thermischen Eigenschaften von Beschichtung und Untergrund deutlich unterscheiden sind photothermische Messverfahren gut geeignet. Dabei wird ein thermischer Impuls auf die zu messende Materialoberfläche gesendet. Innerhalb kurzer Zeit erwärmt sich das Material. Die Wärme wird von der Oberfläche in den Untergrund abgeleitet. Mit einem schnellen berührungslos messenden Temperatursensor wird die Temperaturveränderung auf der Oberfläche gemessen. Mit der Auswertung der Temperatur-Zeit Verläufe lassen sich Rückschlüsse auf die Dicke der Beschichtung schließen.

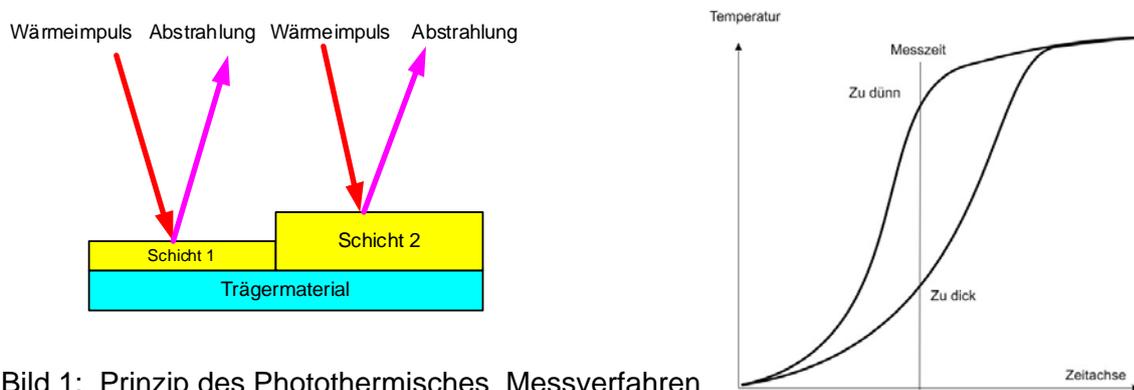


Bild 1: Prinzip des Photothermischen Messverfahren

Der Temperatur-Zeit Verlauf ist abhängig von der Schichtdicke (siehe Bild 1).

3 Schichtdickenmessung mit einem geschutterten IR-Spot als Anregungsquelle

Das gemeinsam mit der Hochschule Lausitz neu entwickelte Messverfahren benutzt als Strahlungsquelle anstelle eines Infrarot-Flächenstrahlers einen fokussierbaren Infrarot-Spot (IR-Lampe), der die ausgestrahlte Wärmeleistung auf einer kleinen punktuellen Fläche bündelt und homogen verteilt. Die Bündelung der Energie erfolgt auf einer Fläche von 10 mm. Mit Hilfe einer mechanischen Shutter - Einrichtung wird die Bestrahlung der zu untersuchenden Materialprobe während der Aufheiz- bzw. Abkühlphase der IR-Lampe vermieden. Gleichzeitig lässt sich damit auch die Bestrahlungsdauer steuern, um einen

materialangepassten und reproduzierbaren Bestrahlungsimpuls auszusenden.

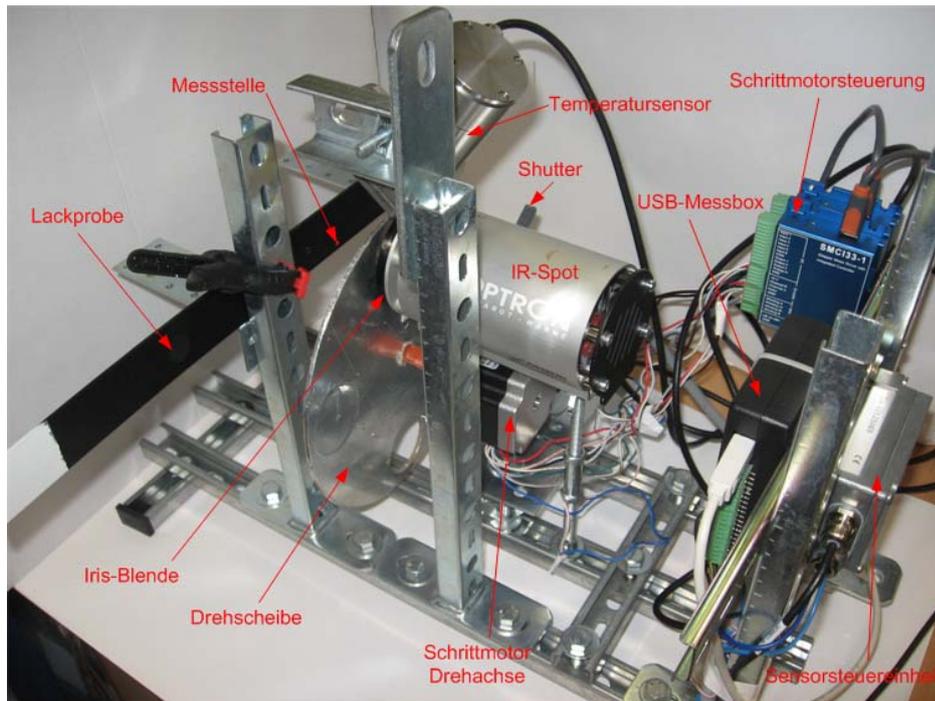


Bild 2: Ansicht der Messapparatur zur berührungslosen Bestimmung von Beschichtungsstärken

Auf der linken Bildhälfte ist die Positionierung der beschichteten Aluminiumprofiles als Trägermaterial sichtbar. In der Mitte ist der IR-Spot erkennbar mit vorgesetzter Irisblende. Die Ansteuerung erfolgt über den darunter angeordneten Schrittmotor. Mit kleinem Versatz ist auch die Shutter - Drehscheibe zu erkennen, deren Drehachse sich unterhalb des IR-Spots befindet. Im oberen Teil befindet sich der schräg nach vorn angeordnete Temperatursensor, so dass die Fokussierung (laserbasierend) auf die zu untersuchende Materialoberfläche möglich ist. Auf der rechten Bildhälfte sind die erforderlichen Steuerungsmodule angeordnet. Von hieraus erfolgt dann im Anschluss die Datenweiterleitung über eine USB-A/D-Messwertkarte an das Software-Auswertemodul. Ein Analog-Ausgang dieser Messwertkarte dient gleichzeitig zur Leistungssteuerung des IR-Strahlers.

4 Messung von schwarzen Lack auf Aluminium

Das Messverfahren wurde mit verschiedenen Materialien und Beschichtungen getestet und erprobt. Bild 3 zeigt die schwarzlackierte Lackproben auf Aluminiumblech mit unterschiedlichen Schichtdicken.



Bild 3: Ansicht des Aluminiumträgermaterial mit unterschiedlicher Lackschichtdicke

Die Bestimmung der Schichtdicke erfolgt durch Auswertung der zeitlichen Änderung des von der Materialoberfläche berührungslos erfassten Temperatursignals. Der jeweils gemessene Temperaturgradient korreliert sehr gut mit den vorhandenen Beschichtungsdicken. Nach dem Kalibrieren der Messapparatur an Materialproben mit bekannten Beschichtungsdicken, lässt sich im Anschluss anhand des gemessenen Temperaturgradienten und mit Hilfe einer Kalibrierfunktion, die gesuchte Schichtdicke berechnen.

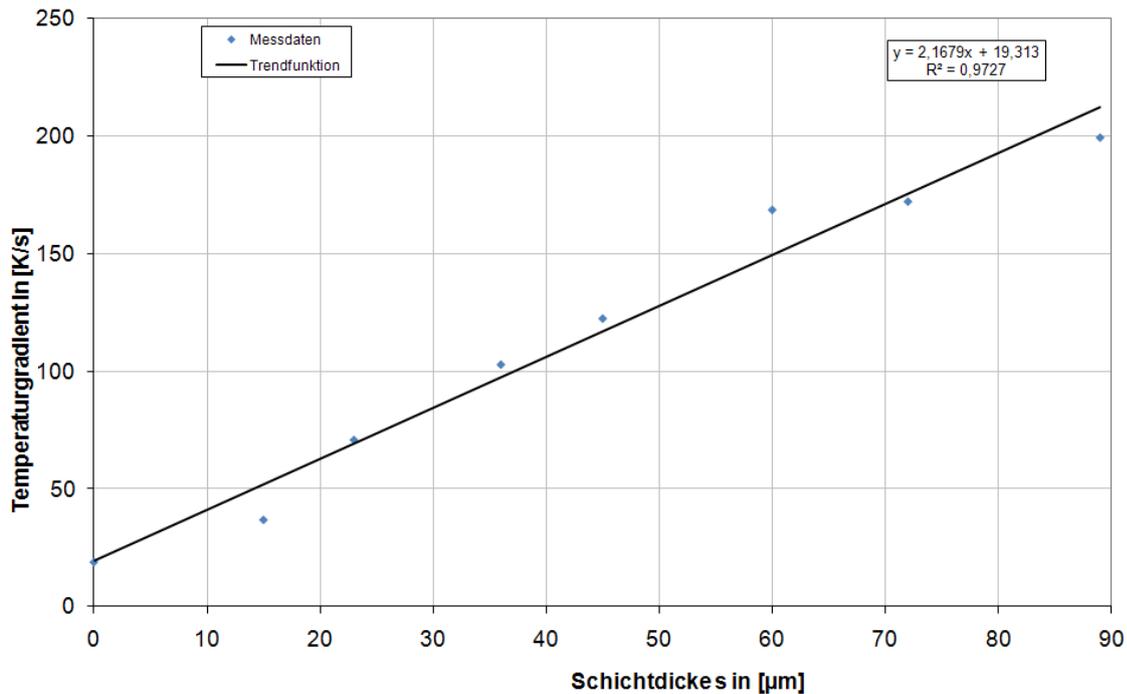


Bild 4: Darstellung der gemessenen maximalen Temperaturgradienten in Abhängigkeit der Lackschichtdicke und die daraus bestimmte Kalibrierfunktion.

$$S_{Schicht} = 0,461 \times \left(\frac{dT}{dt} \right) - 8,911 \quad (1)$$

Der ermittelte Regressionskoeffizient bestätigt den linearen Trendverlauf. Innerhalb des Softwaremoduls kann nun mit Hilfe der Kalibrierfunktion (1), auf eine unbekannte Schichtdicke $S_{Schicht}$ geschlossen werden.

5 Zusammenfassung

Mit einem neuen Messverfahren und einer angepassten Messanordnung, bestehend aus handelsüblichen und kostengünstigen Baugruppen, wurde der Prototyp eines Schichtdickenmessgerätes entwickelt. Der Nutzeffekt ergibt sich aus der berührungslosen und zerstörungsfreien Messung der Qualität von Oberflächen und kann dort eingesetzt werden, wo andere zerstörende bzw. berührend messende Verfahren nicht möglich bzw. sehr kostenaufwendig sind. Es ermöglicht die Online-Messung und damit die Integration in einem laufenden Produktionsprozess. Das Verfahren beschränkt sich nicht auf magnetische oder metallische Untergründe. Das Messen „dickerer“ Beschichtungen > 1 mm sowie Beschichtungen auf keramische Untergründe (Baustoffen) sind durch das Messverfahren

möglich. Im Vergleich zu anderen Verfahren sind die Messzeiten sehr kurz (< 1s).

6 Referenzen

[1] A. Dillenz, G. Busse, „Berührungslose Erfassung von Laminatsschäden mittels Lockin - Thermografie“

[2] D. Wu und G. Busse, Stuttgart „Lockin-Thermographie in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung“, <http://www.ndt.net/article/dgzfp/dach58/wu/wu.htm>

[3] Norbert Bauer, „Leitfaden zur Wärmefluss thermographie“, Fraunhofer Vision, ISBN 3-8167-6754-0

Zum den Autoren:

Dipl.-Ing. Reiner Hoffmann, geb. 1957, ist seit 2010 bei der IBAR Systemtechnik für den Bereich Forschung und Entwicklung tätig. Vorher arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Ilmenau und war anschließend mehrere Jahre als Entwicklungsingenieur in tätig.

Dr.-Ing. Steffen Gnoth, geb. 1971, ist nach mehrjähriger Tätigkeit als Projektingenieur für technische Gebäudeausrüstung seit 2000 am Fachbereich Architektur, Bauingenieurwesen und Versorgungstechnik (neu Fakultät 4 – Bauen) der Hochschule Lausitz |FH| tätig. Nach der Promotion 2009 an der Technischen Universität Dresden zählen zu den Aufgabenfeldern des Mitautors die Durchführung von Lehrtätigkeiten, die Mitarbeit in Forschungsprojekten und die Betreuung von Studenten im Labor sowie bei ihren Abschlussarbeiten.