

# JOT

Journal für  
Oberflächentechnik

**Plasma-Coating-Technologie**  
Holz unsichtbar mit intelligenten  
Zusatzfunktionen ausrüsten

**Automatisierte Prozesse**  
Laserauftragschweißen mit  
künstlicher Intelligenz upgraden

**Neues Lackierkabinendesign**  
Skalierbares Konzept steigert  
Nachhaltigkeit und Effizienz

Kontaktlos und zerstörungsfrei

**Messverfahren  
optimal gestalten**



# Den Prozess optimieren – per Wirbelstrom oder Photothermie?

Neben den dekorativen und optischen Ansprüchen spielt die funktionale Veredelung von Oberflächen eine zunehmende Rolle. Diese gewünschten Oberflächeneigenschaften erfordern das präzise Einhalten einer definierten Schichtdicke, die deshalb im Fertigungsprozess permanent überprüft werden muss. Dazu stehen heute verschiedene Messverfahren zur Verfügung. Hier werden zwei typische Vertreter der Schichtdickenmesstechnik – ein berührendes und ein kontaktloses – unter realen Einsatzbedingungen in einer bestehenden Beschichtungsanlage verglichen.

Zur Schichtdickenmessung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die sowohl in automatisierten als auch in manuellen Beschichtungslinien einsetzbar sind. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können anschließend genutzt werden, um den eigentlichen Beschichtungsprozess zu optimieren. Aber zunächst muss entschieden werden, welche Technik sich am besten für die Messung der Schichtdicke und damit für die Überwachung des Beschichtungsprozesses eignet.

Um möglichst realistische Vergleichsergebnisse zu erhalten, wurde ein Testparcours mit einer Beschichtungslinie im laufenden Produktionsbetrieb ausgewählt. Als besondere Herausforderung handelt es sich bei der Beschichtung um eine funktionale Veredelung, die neben einer anspruchsvollen Optik auch anspruchsvolle technologische Anforderungen erfüllen muss. Der Testparcours ist eine Anlage, auf der Operationsbestecke für die Hochfrequenzchirurgie beschichtet werden. Das betreibende

Unternehmen ist Experte für funktionale Beschichtungen in verschiedensten Branchen, dazu zählen Medizintechnik, Automobilbau und der Luftfahrtsektor.

## Beschichtungen in der Medizintechnik

In der Hochfrequenzchirurgie müssen isolierte Pinzetten verwendet werden – so fordert es das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. Diese Pinzetten bestehen aus Aluminium, das mit einer mehrschichtigen Fluorpolymer-Oberflächenbeschichtung versehen wird. Vor der Beschichtung werden die Pinzetten gereinigt und sandgestrahlt. Anschließend wird das Beschichtungsmaterial durch elektrostatische Zerstäubung aufgetragen und in einem Ofen vernetzt.

An die Beschichtung werden zahlreiche Anforderungen gestellt. Sie muss einerseits sehr dicht, hohlraumfrei und schmutzabweisend sein, um Verkeimungen zuverlässig zu verhindern. Andererseits ist aber auch Elastizität und exzellente Substrathaftung gefordert, damit keine Lacksplitter in die Operationswunde gelangen. Und nicht zuletzt muss die elektrische Isolationsfunktion über die gesamte Lebensdauer der Pinzette sicher gewährleistet bleiben. Das alles lässt sich nur mit einer genau bemessenen Schichtdicke erfüllen. Ist sie beispielsweise zu dünn, sind Haltbarkeit und elektrische Isolation nicht mehr gewährleistet. Ist die



An die Beschichtung von OP-Pinzetten werden zahlreiche Anforderungen gestellt, die sich nur mit einer genau bemessenen Schichtdicke erfüllen lassen.





© OptiSense

Das kontaktlose und zerstörungsfreie Photothermieverfahren arbeitet aus der Distanz.

Schicht zu dick, können Risse, Bläschen oder Wellen entstehen. Die Schichtdicke ist also funktionsrelevant und muss entsprechend überwacht werden.

### **Berührende und kontaktfreie Schichtdickenmessverfahren**

Verglichen werden zwei repräsentative Verfahren: das Wirbelstromprinzip als berührende Messung und die Photothermie als kontaktloses Messprinzip. Das erste Verfahren eignet sich für die Messung elektrisch isolierender Beschichtungen auf metallischem Grundwerkstoff. Der Wirbelstromsensor enthält eine Spule, in der ein elektrischer Wechselstrom ein magnetisches Feld erzeugt. Wird dieser Sensor auf einen beschichteten metallischen Grundwerkstoff aufgesetzt, so induziert das Magnetfeld im Metall einen Wirbelstrom, der auf das vom Sensor erzeugte Feld zurückwirkt. Diese Rückwirkung ist umso stärker, je kleiner der Abstand zwischen Sensor und Metall ist. Bei plan aufgesetztem Sensor entspricht der Abstand genau der gesuchten Schichtdicke, sodass die Rückwirkung ein Maß für die Dicke der Beschichtung ist. Sie wird vom Messgerät ausgewertet und als Schichtdicke angezeigt.

Die photothermische Schichtdickenmessung ist ein kontaktfreies Verfahren für Lacke, Pulverbeschichtungen und Glasuren auf metallischen und nichtmetallischen Untergründen. Dabei werden die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften von Beschichtung und Grundwerkstoff

ausgewertet, um die Schichtdicke zu bestimmen. Die Oberfläche der Beschichtung wird mit einem kurzen, intensiven Lichtimpuls um einige Grad erwärmt und kühlt anschließend durch Ableitung der Wärme in den Grundwerkstoff wieder ab. Dabei sinkt die Temperatur umso schneller, je dünner die Beschichtung ist. Der zeitliche Temperaturverlauf wird mit einem hochempfindlichen Infrarotsensor erfasst und in die Schichtdicke umgerechnet. Die Messung erfolgt berührungslos aus mehreren Zentimetern Abstand. Damit lassen sich nasse und klebrige Schichten ebenso einfach messen wie weiche und empfindliche Oberflächen.

Für den Vergleichstest werden Pinzetten aus einer laufenden Produktion an mehreren Punkten vermessen. Dabei finden die Wirbelstrom- und die photothermische Messung direkt hintereinander statt.

### **Messaufbau, Datenaufnahme und Kalibrierung**

Die Messpositionen orientieren sich an der Geometrie der Pinzette. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen beide Verfahren exakt dieselben Positionen der Beschichtung prüfen. Dazu werden der rechte und linke Pinzettenschenkel während der Messung in eine speziell angefertigte Schablone eingelegt. Diese Schablonen enthalten jeweils drei Bohrungen auf jeder Seite, mit denen die Messköpfe der beiden Messsysteme auf dieselbe Stelle ausgerichtet werden. Zunächst werden die Pinzetten per Wirbelstrom vermessen. Der Messkopf wird

durch die Bohrung direkt auf die Beschichtung aufgesetzt, während der photothermische Sensor durch eine dem Messabstand entsprechende Distanzhülse geführt wird. Es werden 50 Pinzetten an jeweils zwölf Punkten vermessen. Dabei wird die Messung an jedem Messpunkt fünf Mal wiederholt, sodass abschließend mit jedem Messverfahren 3000 Messwerte ausgewertet werden können.

Beide Messungen sind indirekte Verfahren, bei denen die Schichtdicke nicht unmittelbar gemessen, sondern anhand von Messsignalen errechnet wird. Vor der Auswertung und Analyse der Messwerte erfolgt daher eine Angleichung der Daten an die Werte aus der Wirbelstrommessung. Dazu werden diese in einem XY-Diagramm über den photothermischen Daten aufgetragen und daraus wird eine Ausgleichgerade berechnet, die als Kalibrierung für die Messung dient. Die Korrelation belegt mit einem Wert von 0,8476 die gute lineare Abhängigkeit der beiden Messreihen, sodass diese Kalibrierung im Anschluss als Basis für den Messmittelvergleich des Verfahrens verwendet werden kann.

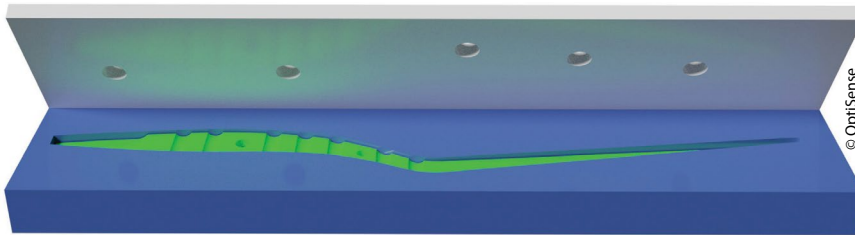
### **Vergleich über Messsystemanalyse**

Beide Verfahren können nun über eine Messsystemanalyse (MSA) miteinander verglichen werden. Die MSA kommt aus der Prozessoptimierung, damit lässt sich beurteilen, wie gut ein bestimmtes Messsystem für die vorgesehene Messaufgabe geeignet ist. Sie liefert für jedes Messsystem zwei

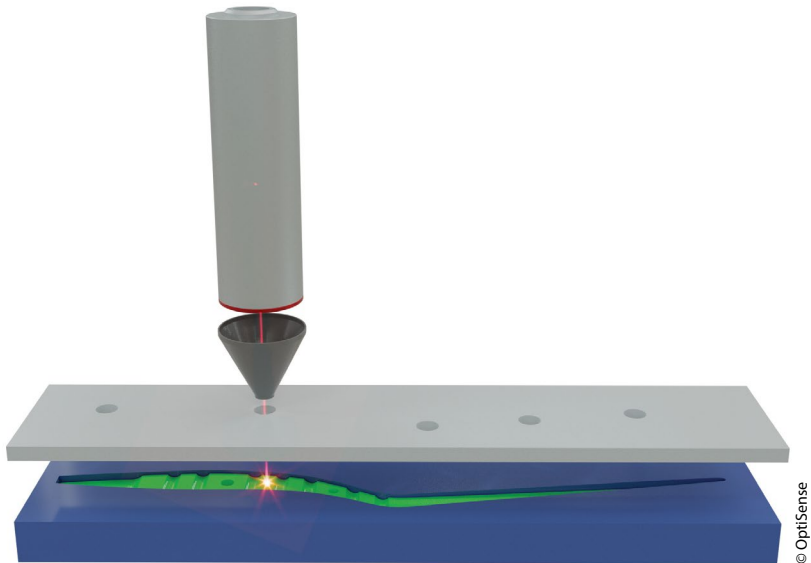
	Messmittelfähigkeit Cg	Messmittelfähigkeitsindex Cgk
Wirbelstromverfahren	5,16	_*
Photothermie	11,24	7,36

**Tabelle 1** > Ergebnisse der Messsystemanalyse.

\*Berechnung nicht möglich, da die tatsächliche Schichtdicke nicht bekannt ist.



Beide Verfahren sollen exakt dieselben Positionen der Beschichtung prüfen, dazu dient die speziell angefertigte Schablone mit Messpunkten.



Jeder Pinzettenschenkel muss an den durch die Bohrungen gekennzeichneten sechs Stellen gemessen werden, jeweils drei auf jeder Seite.

Kenngrößen: die Messmittelfähigkeit Cg, die die Streuung der Messwerte beschreibt, und den Messmittelfähigkeits-Index Cgk, der den systematischen Messfehler angibt. Als Minimum für beide Kenngrößen gilt ein Wert von 1,33. Je höher die Kenngrößen über diesem Minimalwert liegen, desto besser ist das System für die jeweilige Aufgabe geeignet. Für die Berechnung der beiden Kenngrößen ist es erforderlich, die tatsächliche Schichtdicke an den Messpositionen zu kennen. Da diese jedoch bei den gemessenen Pinzetten nicht erfasst ist, wird stattdessen die mit dem Wirbelstromverfahren ermittelte Schichtdicke als Referenz verwendet.

Das Ergebnis: Alle Werte liegen deutlich über dem Minimum von 1,33 und belegen die gute Eignung beider Verfahren für die

Schichtdickenmessung in der Pinzettenfertigung. Dabei ist die Messmittelfähigkeit Cg des photothermischen Verfahrens mehr als doppelt so groß wie die der Wirbelstrommessung und beweist eindrucksvoll die Überlegenheit dieses Prinzips.

### Optimierter Produktionsprozess

Nachdem die Eignung des photothermischen Verfahrens für die Schichtdickenmessung der Oberflächenveredelung in der Pinzettenproduktion belegt ist, können in einem nächsten Schritt aus den Messwerten mithilfe einer Prozessfähigkeitsanalyse weitere Ansatzpunkte gewonnen werden, um den Beschichtungsprozess zu optimieren. Damit lässt sich ermitteln, wie gut der Prozess die geforderten Tole-

ranzwerte erreicht – oder anders gesagt, mit wie viel Ausschuss zu rechnen ist. Dazu werden, ähnlich der Messsystemanalyse, zwei Kennzahlen berechnet: Der Prozessfähigkeitsindex Cp, der die tatsächliche Prozessstreuung ins Verhältnis zum geforderten Toleranzband setzt, und der kleinste Prozessfähigkeitsindex Cpk, der die Lage des Mittelwerts im geforderten Toleranzband beschreibt. Auch hier gilt ein Minimalwert von 1,33 für einen gerade noch geeigneten Prozess.

Mit den Daten aus der photothermischen Messung liegt der Prozessfähigkeitsindex Cp bei allen zwölf Positionen wesentlich oberhalb von 1,33. Der Beschichtungsprozess variiert also erheblich geringer als es das Toleranzband zulässt. Jedoch liefern die Cpk-Werte eindeutige Ansätze für eine Optimierung: An einigen Positionen gerät die Prozessstreuung sogar sehr nahe an die untere Toleranzgrenze beziehungsweise liegt schon darunter. Durch eine gezielte Anhebung der Beschichtungsstärke könnte das Risiko von unnötigem Ausschuss aufgrund zu geringer Schichtdicke reduziert werden.

### Fazit

Im Vergleich der verschiedenen Schichtdickenmessverfahren in dieser realen Anwendung hat die Photothermie eindeutig die Nase vorn. Die Messmittelfähigkeit liegt deutlich über dem Grenzwert, das heißt, das Messverfahren wäre auch noch bei erheblich engeren Toleranzgrenzen einsetzbar. Neben dem wesentlich breiteren Anwendungsspektrum auf empfindlichen Oberflächen sowie auf nicht ausgehärteten Schichten und der einfachen Automatisierbarkeit ist dieses Prinzip zudem in punkto Messmittelfähigkeit traditionellen Verfahren weit überlegen. Auch der Prozess selbst profitiert: Mit guten, praxistauglichen Messmitteln und ein wenig Statistik lassen sich selbst anspruchsvolle Beschichtungsprozesse gezielt optimieren, indem Toleranzfenster optimal genutzt und dadurch Ausschuss minimiert werden. //

### Kontakt

**OptiSense GmbH & Co. KG**, Haltern am See  
 Thorsten Merfeld, Leiter Technischer Support  
 merfeld@optisense.com  
 www.optisense.com