

Leoni Flamecon® - ein neues Metallisierungsverfahren stellt sich vor

Süß-Wolf, R.; De Paolis, M. (1)

In der zentralen Forschung und Entwicklung der LEONI AG wurde in den vergangenen Jahren an einem Metallisierungsverfahren gearbeitet. Ziel ist es chemie- und maskenfrei beliebige Strukturen aus Metall auf verschiedenste Substrate aufzutragen. Mittlerweile wurde der Prozess in einer prototypischen Anlage umgesetzt, mit der bereits einige Produktideen und weitere Entwicklungspotentiale erforscht werden.

LEONI ist ein weltweit aktiver System- und Entwicklungslieferant für Draht, Kabel und Bordnetz-Systeme (s. Report S. 680). Zur Lösung der anspruchsvollen Aufgaben aus dem Automobilbereich beschäftigen sich Ingenieure seit einigen Jahren auch mit alternativen Verkabelungskonzepten bis hin zu völlig neuen Technologien [1]. In der Zentralen Forschung und Entwicklung (ZFE) wurde ein Team gegründet, das sich primär, unter Einbeziehung von Forschungseinrichtungen, mit neuen Fertigungsmöglichkeiten und Produkten beschäftigt. Ein wesentliches Projekt ist die Entwicklung der so genannten Flamecon-Technologie. Basierend auf den thermisch kinetischen Auftragsverfahren wurde



Bild 1: Beispiel zur alternativen Verdrahtung an einem Türmodul. Die Rundleiterverdrahtung wurde durch aufgesprühte Kupferbahnen ersetzt.

nach einer Möglichkeit gesucht, strukturierte leitfähige metallische Schichten vorrangig auf Kunststoffoberflächen zu erzeugen. Auf diese Weise könnten Fahrzeugmodule wie die Innenteile der Tür oder des Dachhimmels als Schaltungsträger eingesetzt werden. Als Fernziel ist es denkbar, die gesamte Karosserie mit Leiterbahnen zu versehen und sie so einer neuen Funktionalität zuzuführen. Die Vorteile sind vielfältig und reichen von der höheren Bauraumausnutzung bis hin zu Kosteneinsparungen. Damit diese Technologie den oben genannten Zweck erfüllt, ergeben sich folgende Kriterien:

- flexibler Einsatz (programmgesteuert, 3D-fähig),
- geringe Arbeitsschutzeinrichtungen,
- integrationsfähig in bestehende Prozesse,
- geringe Umweltschutzmaßnahmen (Vermeidung gefährlicher Stoffe),
- einfache Funktion,
- geringe Investitions- und Betriebskosten,
- universelle Verwendbarkeit für verschiedenste Substrate.

Die EN 657: 1994 definiert thermische Spritzverfahren wie folgt: „Das thermische Spritzen umfasst Verfahren, bei denen Spritzzusätze innerhalb- oder außerhalb von Spritzgeräten, an-, auf- oder abgeschmolzen und auf die vorbereitete Oberfläche aufgeschleudert werden. Die Oberflächen werden dabei nicht aufgeschmolzen. [2]“ Bei der eingehenden Untersuchung einiger thermischer Spritzverfahren und deren systemischer Eigenschaften hat sich herausgestellt, dass sich mit

dem aktuellen am Markt verfügbaren Verfahren die Ziele nur teilweise realisieren lassen. In der Regel sind die bei den herkömmlichen Spritzverfahren auftretenden Energien – thermisch wie kinetisch – so hoch, dass nur einige hochtemperaturbeständige Kunststoffe für diese extremen Bedingungen ohne Schädigung eingesetzt werden können. Das bedeutet einerseits, einen eingeschränkten Verwendungsbereich, da diese Materialien im Fahrzeug nur selten wegen des hohen Preises zu finden sind. Zum anderen würden preisgünstige Teile, so sie mit Leiterbahnen versehen werden sollen, zu teuer. Durch aufwändige Versuchsreihen und durch Simulationsrechnungen wurde ein Betriebsfenster ermittelt, in dem eine leitfähige Schicht aus einzelnen Metallpartikeln unter Berücksichtigung der thermischen Eigenschaften der Substrate aufgebaut wird. Basierend auf dieser Kenntnis wurde ein neues Verfahren entwickelt, bei dem die Energien gut eingestellt werden können, und in einer prototypischen Anlage realisiert. Eine genaue Beschreibung des Prozesses kann an dieser Stelle aus Patentgründen noch nicht erfolgen. Ein wesentlicher Bestandteil der Anlage ist der relativ kleine Auftragskopf, der um 360° geschwenkt werden kann. Da der Auftrag aus einer gewissen Distanz zum Substrat erfolgt, ist die Bearbeitung von räumlichen Bauteilen möglich. Diese Anwendung eröffnet für die Darstellung von räumlichen Schaltungsträgern (MID-Teile) [3] sehr interessante Perspektiven. Bei der Konzipierung der prototypischen Anlage wurden bereits weitgehend alle Aspekte, die für einen industriellen Einsatz notwendig sind, wie z.B. der Dauerbetrieb, berücksichtigt.

Zurzeit können elektrisch leitfähige Linien mit einer Breite von 1 mm bis



Bild 2: Aufbringen einer Leiterbahn aus Zinn auf ein räumliches Bauteil aus PA 6, 15 % Glasfasergehalt

10 mm und einer Schichtdicke von bis zu 1000 mm aus Zinn oder Kupfer hergestellt werden. Diese Spuren, unter anderem der Schriftzug LEONI, wurden zu Testzwecken auf eine Vielzahl von Substraten „geschrieben“. Es wurden thermoplastische Polymere, Keramiken, Glas bis hin zu Papier eingesetzt. Erste Tests zum Beschichten auf dreidimensionalen Flächen zeigten hervorragende Ergebnisse.

Prüfung

Zur Untersuchung der Prozessfähigkeit wurde die Beschichtungsanlage so erweitert, dass eine kleine Serie unter reproduzierbaren Bedingungen hergestellt werden konnte. Es wurde ein Transportband aufgestellt, auf dem Werkstückträger Teile der Beschichtung und der Prüfung zuführten. Sämtliche Prozessparameter wurden in einer Steuerung mit Rezeptverwaltung und in den Roboterprogrammen hinterlegt. Da die Schichtdicken noch nicht zerstörungsfrei ermittelt werden können, wurde als Prüfmerkmal der elektrische Widerstand in einer integrierten Prüfeinrichtung gemessen. Ein Programm für den Prüfalgorithmus zur Erfassung, Auswertung und Dokumentation der Prüfwerte wurde erstellt. Nach der Fertigung von 400 Teilen, auf die eine Bahn mit einer Länge von 1,4 m aufgebracht wurde, konnte ein Wert $cpk = 0,99$ bestimmt werden. Als weitere Prüfung soll in nächster Zeit eine optische Kontrolle erfolgen.

Während in der Vergangenheit eine größere Anzahl Muster mit hohem zeitlichen Aufwand zur Verfügung

standen, können mit der neuen Anlage beliebige Stückzahlen innerhalb kürzester Zeit hergestellt werden. Für eine erste Bewertung der beschichteten Teile bzgl. der Anforderungen aus der Automobilindustrie wurde ein Prüfschema ausgearbeitet. Im ersten Schritt waren vor allem die Haftung, das Temperaturschockverhalten, die Leitfähigkeit, das Verhalten im Vibrationstest, die Exaktheit der Geometrien und der Schichtaufbau zu ermitteln.

So wurden prinzipiell alle Muster einem Wärmeschocktest von -40 °C bis $+125\text{ °C}$ ausgesetzt. Bei einer Haltezeit von 15 min und einer Wechselzeit von $< 5\text{ s}$ überstehen die Proben generell 1000 Zyklen. Die höchste Anzahl Zyklen wurde mit einer Probe aus PA 6 GF15 und Spuren aus Kupfer mit 5000 Zyklen gemessen. Nach diesem Test war trotz der unterschiedlichen stoffspezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten und der daraus resultierenden Spannungen an der Grenzschicht die sehr gute Haftung noch vorhanden.

Zur Quantifizierung der Haftung musste der Stirnabzugstest [4] entsprechend spezifiziert werden, da sich bei falscher Einspannung der Probe der Kunststoff verformte und so zu einem fehlerhaften Wert führte. Als Ergebnis für diesen Test wurde wiederholt ein Wert von $3,5 - 7\text{ N/mm}^2$ gemessen.

Ein Test, der den Einsatz der Flamecon-Schichten im automotiven Bereich wesentlich qualifiziert, ist der Vibrationstest. In einem benachbarten Institut steht ein Shaker zur Verfügung, mit dem sich alle Frequenzprofile einstellen lassen. Für diese Prüfanlage wurden speziell für die Proben von LEONI mehrere Aufnahmen gebaut, die es erlauben, die Proben in drei verschiedenen Achsen zu testen [5]. Es wurden bereits über 200 Leiterbahnen 24 h von 0 - 200 Hz in drei Achsen getestet.

Das Ergebnis zeigte, dass sich keine Spur vom Substrat gelöst hat. Der elektrische Widerstand hat sich ebenfalls nicht geändert.

Eine wichtige Kenngröße der Flamecon-Schichten ist die Stromtragfähigkeit, da im Automobil Leitungen

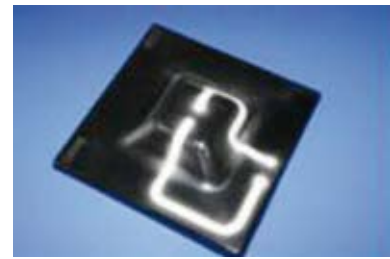


Bild 3: Räumliches Bauteil aus PA 6, 15 % Glasfasergehalt mit Zinnbahnen. Schichtdicke ca. 200 µm

neben der Signalübertragung größtenteils für den Energietransport verwendet werden. Damit die langwierigen Messungen automatisch und ohne umweltbedingte Störungen ablaufen können, wurde im Rahmen eines Praktikums der Fachhochschule Nürnberg eine Messeinrichtung entwickelt. Dabei wurden vorangegangene Ergebnisse einer Untersuchung zur Stromtragfähigkeit, initiiert von nmf (Neue Materialien Fürth), verwendet [6]. Mit diesem Messplatz ist es möglich, viele Proben zu untersuchen, um schließlich eine verlässliche Korrelation zwischen den Dimensionen der Leiterbahn und der Stromtragfähigkeit zu erhalten.

Von besonderem Interesse ist nach wie vor der Schichtaufbau, der zurzeit immer noch durch Schlitze, die im Haus angefertigt werden, zu untersuchen ist. Mit einem digitalen Mikroskop können die Schichthöhe, Breite und der Anteil von Poren analysiert werden. Mittlerweile steht eine nennenswerte Bibliothek zur Verfü-



Bild 4: Probenaufnahmen für den Shakertest; Testkörper: PA6 GF15 mit 200 µm Kupfer



Bild 5: Schliff durch eine 1000 µm dicke Schicht besteht aus Kupfer und Zinn (helle Schichten)

gung aus der wichtige Erkenntnisse gezogen werden.

Ausblick

Das Flamecon-Verfahren zeigt für viele technische Aufgabenstellungen interessante Lösungen wie z.B. Kontaktierung von verschiedenen Substraten oder Beheizung von Flächen auf. Teilweise wurden bereits andere Metalle wie Aluminium oder Zink mit der Anlage verarbeitet. In einem

Forschungsprojekt soll untersucht werden, ob Nanopartikel, die aus Drahtmaterial mit Hilfe von atmosphärischen Plasmaquellen erzeugt werden, verarbeitbar sind. Das Ziel ist hierbei, Spuren mit einer Breite von 200 µm zu erstellen.

Anhand von Demonstratoren wurden bereits vielfältigste Einsatzbereiche der neuen Technologie getestet und eindrucksvoll vorgestellt. Flamecon stellt, neben Galvanisieren, Heißprägen oder PVD ein weiteres Metallisierungsverfahren dar. Das Potential ist wegen der vielfältigen Substrate und der verarbeitbaren Metalle noch nicht abzuschätzen.

Veröffentlichungen und Vorträge bei Veranstaltungen in Fachkreisen haben das Interesse verschiedener Branchen auf die Flamecon Technologie gelenkt. Bei Flamecon handelt es sich vorrangig um eine Technologie, deren Nutzen offenkundig für die Bearbeitung von Fahrzeugmodulen geschaffen wurde. Durch die oben beschriebenen Erkenntnisse wurden

jedoch große Potentiale in anderen Branchen erschlossen. LEONI ist konzernintern sowie mit mehreren externen Firmen im engen Kontakt, um gemeinsame Projekte durchzuführen.

Literatur

- [1] Patent WO 030/070524 Verfahren zum Erzeugen einer Leiterbahn auf einem Trägerbauteil sowie Trägerbauteil
- [2] DIN EN 657: 1994; 4. Definition; S.3
- [3] Homepage der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.; www.3dmid.de
- [4] EN DIN 582 Stimabzugstest
- [5] Standard: Volvo 31801867/007 Volume 01, page 11, Vibration resistance
- [6] Singer, Friedrich, Neue Materialien Fürth, Abschlussbericht zur Untersuchung der Strombelastbarkeit von Leiterbahnen auf Thermoplasten, 2006

(1) Robert Süß-Wolf, Marco De Paolis LEONI AG, Zentrale Forschung und Entwicklung, Thomas-Mann-Straße 69, 90471 Nürnberg, email robert.suess-wolf@leoni.com, marco.depaolis@leoni.com

Erzeugung von schützenden Deckschichten auf Kupfer-Nickel-Werkstoffen im Labormaßstab

Friedrich, S.; Langer, M. (1)

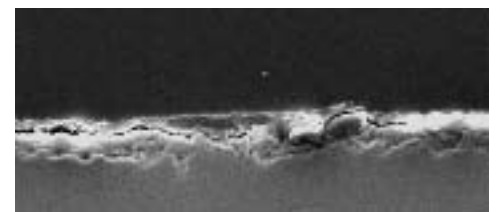
Kupfer-Nickel-Werkstoffe besitzen die Eigenschaft, bei ihrem Einsatz in natürlichem Meerwasser korrosionsschützende Deckschichten auszubilden, die zudem einen guten Schutz vor Biofilmen gewähren. Deshalb werden sie im breiten Umfang für Meerwasseranwendungen in Form von Rohren für Wärmetauscher, Entsalzungsanlagen und Kühlwasserleitungen, aber auch als Verplankungen von Schiffsrümpfen oder Bohrinseln eingesetzt.

Die Korrosionsschutzwirkung ist auf die Bildung einer dichten und fest haftenden, elektrisch schlecht leitenden Schutzschicht variabler Zusammensetzung zurückzuführen, welche den Zutritt des Korrosionsmediums Meerwasser und den Elektronentransport behindert. Im Wesentlichen wird sie durch Kupferoxide, Kupferkomplexverbindungen mit Chlorid sowie Eisen- und Mischverbindungen bestimmt. Entscheidend

für die Korrosionsschutzwirkung ist besonders die direkt auf dem Grundwerkstoff aufgewachsene Schicht, welche auch die Basis für die Haftfähigkeit des Gesamtverbundes darstellt.

Mit der Entwicklung und dem Einsatz einer Looptestanlage zur Prüfung von Rohren konnte die Deckschichtbildung auf der Innenoberfläche von CuNi10-Rohren in natürlichem Meerwasser im Labor unter Verwendung von künstlichem Meerwasser nachgestellt werden (Bild).

Es erfolgte die Aufzeichnung der Korrosionsrate. Durch die Variation der zunächst mittels Stromdichtepotential-Messungen untersuchten Parameter pH und Temperatur ließ sich auch in der Looptestanlage eine Beschleunigung der Bildung wirksamer Deckschichten erreichen. Bei den so gebildeten Deckschichten, die metallografisch, mittels EDX-, nasschemischer und Röntgenphasenana-



REM-Querschliffaufnahme der nach 8 Wochen in einer mit künstlichem Meerwasser betriebenen Looptestanlage gebildeten Deckschicht

lysen charakterisiert wurden, zeigte sich eine Anreicherung von Nickel an der Oberfläche der Deckschicht. Vergleichende Untersuchungen mit natürlichem Meerwasser ergaben unter Betrachtung von Literaturdaten eine gute Korrelation zwischen den Untersuchungen in natürlichem und künstlichem Meerwasser.

(1) Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH