

Laser statt Trockenöfen

SOL-GEL-LACKE // DIE THERMISCHE NACHBEHANDLUNG ZUM HÄRTEN VON LACKEN MIT LASERSTRAHLUNG ERLAUBT WÄRME KURZZEITIG UND ORTSSELEKTIV EINZUBRINGEN. DIES ERMÖGLICHT EINE INLINE-LACKIERUNG IN KURZEN TAKTZEITEN UND DAMIT ERHEBLICHE KOSTENERSPARNIS SOWIE DIE ERSCHLISSUNG NEUER ANWENDUNGSFELDER.

Melanie Meixner, Jochen Stollenwerk, Wilfried Weigt und Monika Zschuppe

Sol-Gel-Beschichtungssysteme haben in den letzten Jahren ein zunehmend wachsendes Anwendungsfeld gefunden, wobei sie überwiegend konventionell mit Trockenöfen gehärtet und getrocknet werden. Dabei ist die Aufheizung des kompletten Bauteils erforderlich. Dies geschieht bei inlinefähigen Verfahren z. B. in langen Durchlauföfen.

Die Nutzung von Laserstrahlung zur thermischen Nachbehandlung von dünnen Schichten ermöglicht es, Energie ortsselektiv einzubringen und somit nur die beschichteten Bereiche zu heizen. Dies gestattet es, die Funktionalisierung, d. h. das Trocknen und Aushärten der Schichten, inlinefähig, energieeffizient und in kurzen Zeitskalen durchzuführen. Besonders im Bereich temperaturempfindlicher Komponenten und Substrate bringt die lokale und kurzzeitige Energieeinbringung durch Laserstrahlung große Vorteile, wie z.B. die verzugsfreie Wärmebehandlung oder die Vermeidung unerwünschter Gefügeveränderungen im Substrat. Ebenso können mittels Laserstrahlung kurzzeitig Funktionalisierungstemperaturen in der Schicht induziert werden, die über der Zersetzungstemperatur des Substrats liegen, ohne dieses zu schädigen. Dies ist insbesondere bei Kunststoff-

substraten oftmals der Schlüssel zum Erfolg. Die Prozesskette des Verfahrens ist in *Abb. 1* schematisch dargestellt. Der Materialauftrag kann sowohl mittels digitaler Drucktechniken, welche es erlauben, diese Funktionsschichten flexibel, strukturiert und inlinefähig aufzubringen, als auch konventionell über Sprüh- oder Tauchverfahren realisiert werden. Dabei können als Substrate metallische Bauteile und auch temperaturempfindliche Kunststoffe und Baugruppen zum Einsatz kommen. In einem folgenden Schritt werden die Lacke mittels Laserstrahlung getrocknet und gehärtet. Dies kann sowohl in einem Schritt geschehen als auch in zwei Schritte unterteilt werden. Dieses Verfahren ermöglicht höchste Flexibilität in der Inline-Herstellung von Sol-Gel-Beschichtungen.

Mit dem Laser nachbehandeln

Durch eine wechselseitige Anpassung der Materialsysteme und des Laserprozesses ist es gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem Sol-Gel-Beschichtungen mittels Laserstrahlung getrocknet und gehärtet werden können. Dabei kommen energieeffiziente und kostengünstige Dioden- und Festkörperlaser zum Einsatz. Die Absorption der Laserstrahlung geschieht bei transparenten Schichten im Substrat, so dass die Schicht indirekt über das Substrat geheizt wird. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Schicht direkt zu erwär-

Ergebnisse auf einen Blick

- Sol-Gel-Beschichtungssysteme sind mit Laserstrahlung vernetzbar.
- Das Verfahren ist leicht skalierbar.
- Es können sowohl Einzelschichten als auch Beschichtungen aus Mehrfachbeschichtungen vernetzt werden.
- Laservernetzte Beschichtungen sind bezüglich der Härte und der elektrischen Durchschlagsfestigkeit mit thermisch gehärteten Schichten vergleichbar.

men, indem absorbierende Additive, welche an die Laserwellenlänge angepasst sind, zugesetzt werden. Die optische Energie der Laserstrahlung wird dabei in thermische Energie umgesetzt. Durch die kurze Wechselwirkungszeit der Laserstrahlung mit dem Substrat ist die Wärmebelastung des Substrats sehr gering. Gefügeänderungen oder Verformungen des Metalls nach der Laserbearbeitung werden dabei nicht beobachtet. Kratz-

Tab. 1 // Laservernetzte Beschichtungen aus Sol-Gel-Beschichtungssystemen

| Sol-Gel-Beschichtungssysteme | Erzielbare Beschichtungseigenschaften | Wirtschaftliche Anwendungen | Erzielbare Trockenschichtdicken | Vernetzungstemperaturen |
|---|--|---|---|---|
| 1 sauer katalysierte Siliziumoxidsole, Titanoxidsole, Zirkoniumoxidsole, pigmentierbar | glatte, hochglänzende Oberflächen mit unterschiedlichen Brechungsindex | Antireflexbeschichtungen, Schutzschichten, Farbschichten auf Glas | < 1 µm | > 400 °C |
| 2 sauer katalysierte, organisch modifizierte, ohne oder mit Farbstoffen dotierte Siliziumoxidsole | glatte, hochglänzende, farblose oder farbige Oberflächen, je nach System kratz- und abriebfest oder biegsam, übersichtbar | Schutz- und/oder Primär-Beschichtungen auf Edelstahl, Bimetall (Abb. 3) | je nach Struktur des Untergrundes 1 bis 5 µm | je nach Beschichtungssystem Raumtemperatur bis 80 °C oder 130 °C bis 180 °C |
| 3 sauer katalysierte, organisch modifizierte, mit Fluor dotierte Siliziumoxidsole, ohne oder mit Farbstoffen, Pigmenten | je nach System: glatte oder strukturierte, hydrophobe und oleophobe, hochglänzende oder matte, kratz- und abriebfeste und im größeren Radius biegsame, farblose oder farbige, transparente oder opake bzw. farblich deckende Oberflächen | Easy-to-Clean-Beschichtungen auf Edelstahl, Aluminium, Chrom, Messing, Kupfer PMMA oder PC (Abb. 4) | je nach Struktur des Untergrundes und Pigmentierung 1 bis 10 µm | je nach Beschichtungssystem Raumtemperatur bis 80 °C oder 130 °C bis 180 °C |
| 4 sauer katalysierte, organisch modifizierte Siliziumoxidsole mit Polymer- und/oder eines zweiten Metallalkoxidsol-Zusatzes | je nach System: glatte, hochglänzende, farblose oder farbige, transparente, auch mit kleineren Radien biegsame Oberflächen | biegsame, funktionale Beschichtung auf Metallen (Abb. 6) | je nach Struktur des Untergrundes 1 bis 10 µm | 180 °C |
| 5 sauer katalysierte, organisch modifizierte Siliziumoxidsole mit Silikonharz | hydrophobe, glatte, hochglänzende, farblose, transparente Oberflächen | hochtemperaturbeständige Beschichtungen | 5 bis 10 µm | 250 bis 300 °C |

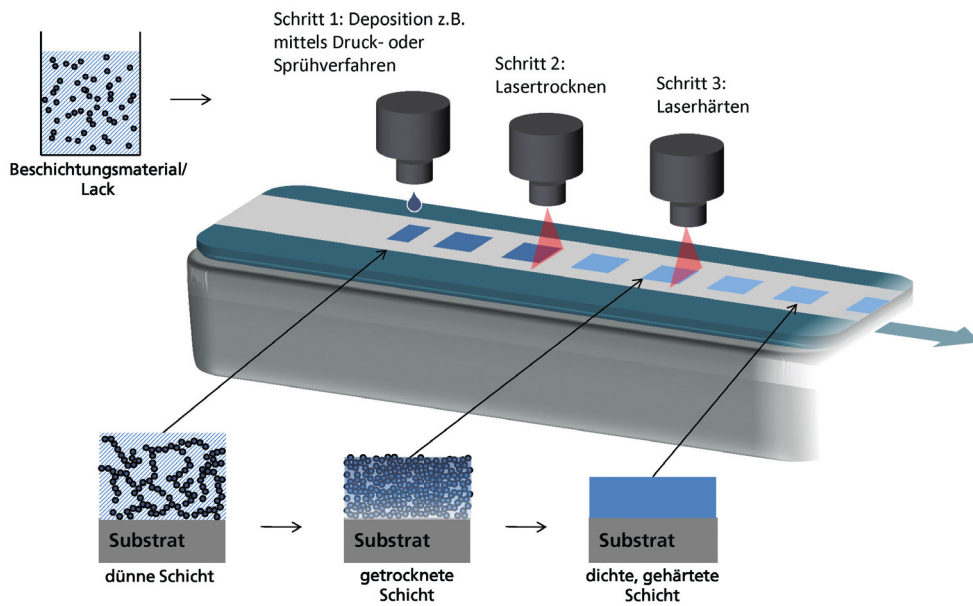


Abb. 1 // Prozesskette zur flexiblen Herstellung von Beschichtungen

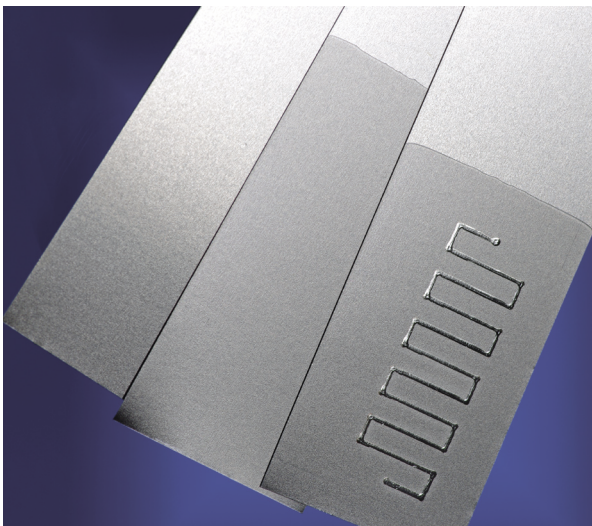


Abb. 2 // Beschichtetes Metall mit einer Lackschicht als elektrischer Isolator und einer Leiterbahn

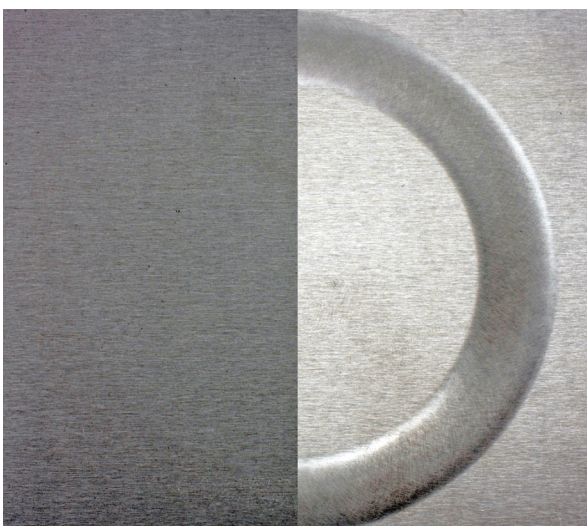


Abb. 3 // Sol-Gel-Schicht (Gruppe 2) auf Edelstahl

tests im Bereich selektiv gehärteter Schichten zeigen einen deutlichen Härteanstieg mit einem scharfen Übergang zwischen bearbeitetem und unbearbeitetem Bereich. Die Eigenschaften der laservernetzten Schichten erzielen vergleichbare Werte wie konventionell im Ofen vernetzte Beschichtungen.

Sol-Gel-Beschichtungssysteme

Aus Metallalkoxiden können mittels Hydrolyse- und Kondensationsreaktionen 1K-Sol-Gel-Beschichtungssysteme hergestellt werden. Die im Ergebnis der Kondensationsreaktionen entstandenen Produkte weisen Partikelgrößen im Nanometer-Bereich auf, weshalb Sol-Gel-Beschichtungssysteme auch oft als Nanolacke bezeichnet werden. Eine immer breitere Anwendung finden Nanolacke, die aus Silanen hergestellt werden. Durch Kombination der unterschiedlichsten am Markt erhältlichen

Silane, der Zugabe von geeigneten Additiven, Zusätzen und/oder Polymeren ist es möglich, 1K-Lacke zu synthetisieren, die als Beschichtung auf Metalle, Kunststoffe oder Glas appliziert, die Oberflächen versiegeln, optisch gestalten oder funktionalisieren (Abb. 2). In den meisten derzeitigen wirtschaftlichen Anwendungen werden die Sol-Gel-Beschichtungssysteme auf gut gereinigte, eventuell auch aktivierte Substrate mittels Sprühen oder Tauchen aufgetragen und je nach der Zusammensetzung des Sol-Gel-Beschichtungssystems thermisch vernetzt.

Im Rahmen der hier beschriebenen Arbeiten wurden Beschichtungen von Sol-Gel-Beschichtungssysteme aller fünf Gruppen näher betrachtet (Tab. 1). Die unterschiedlichen Sol-Gel-Beschichtungssysteme wurden mittels Tauchen auf Edelstahl und Bimetall appliziert. Es wurden sowohl Einzel- als auch Mehrfachbeschichtungen durchgeführt, wobei Zweit- oder Drittbeschichtungen stets nach Abdunsten des Lösungsmittels der zuvor applizierten Schicht aufgetragen wurden und die Vernetzung mittels Laser stets nach der letzten Beschichtung erfolgte.

Während Sol-Gel-Beschichtungssysteme der Gruppe 1 durch Bildung von mineralischen Netzwerken unter Abspaltung von Wasser vernetzen, entstehen bei der Vernetzung von Sol-Gel-Beschichtungssystemen der Gruppen 2–5 mineralische Netzwerke mit Anteilen organischer Verknüpfungen und/oder mit Polymeranteilen. Diese können eingelagert oder auch in die Netzwerke eingebunden sein.

Sol-Gel Lacke können mit Laser gehärtet werden

Sol-Gel-Beschichtungssysteme aller fünf Gruppen sind mittels Laserstrahlung vernetzbar. Für die Untersuchungen zur Laservernetzung wurde ein Yb-Faserlaser ($\lambda = 1070 \text{ nm}$) eingesetzt. Die Schichten konnten erfolgreich mittels zweier Bearbeitungsstrategien vernetzt werden. Zum einen wird ein Laserspot mit homogener Intensitätsverteilung (Tophat-Profil) mäandertförmig über die zu bearbeitende Schicht geführt und somit die Schicht vollständig abgescannt. Zum anderen wird ein großer Laserspot verwendet, welcher die Abmessungen der Schicht vollständig abdeckt und somit die gesamte Schicht mit einer Belichtungszeit zwischen 0,4–2 s vernetzt. Bei dieser Bearbeitungsstrategie liegt die Intensität der Laserstrahlung in einer Größenordnung von 5 W/cm^2 . Die Intensität der Laserstrahlung bei der

scannenden Bearbeitung (Durchmesser des Laserspots ~ 0,3 mm) liegt in einer Größenordnung von 3 kW/cm², wobei Flächenraten von ~ 30 mm²/s erzielt werden. Durch Anpassung von Form und Größe des Laserspots bei gleichzeitiger Anpassung der Laserleistung ist es möglich, die Flächenraten hoch zu skalieren. Darüber hinaus ist das Verfahren über eine Erhöhung der Anzahl an Laserstrahlquellen leicht skalierbar. Stets spielen die in der Schicht induzierten Temperatur-Zeit-Verläufe dabei eine wichtige Rolle für eine erfolgreiche Nachbehandlung. Durch Vergrößerung des Laserspots in Bearbeitungsrichtung kann in der Regel auch die Vorschubgeschwindigkeit vergrößert werden. Auch höhere Intensitäten bei größerer Vorschubgeschwindigkeit führen oftmals zu höheren Flächenraten, wobei stets unter der Zerstörschwelle für die jeweilige Beschichtung bearbeitet werden muss. Neuere Lasersysteme mit linienförmigen Intensitätsverteilungen mit Breiten von bis zu mehreren 100 mm lassen auch die Bearbeitung großer Flächen wirtschaftlich erscheinen.

Da für jede Materialkombination unterschiedliche Energiemengen und Heizzeiten benötigt werden, muss jeweils ein passendes Parameterfenster für die Vernetzung der Schicht ermittelt werden. Das Parameterfenster ist von mehreren Faktoren abhängig, wie Intensität der Laserstrahlung, Absorptionsgrad der Schicht/des Bauteils bei der Wellenlänge der Laserstrahlung und der Wechselwirkungszeit bzw. den induzierten Temperatur-Zeit-Verläufen in der Schicht. Vor allem bei transparenten Lacken sind die Bearbeitungsparameter stark vom Substratmaterial (Absorptionsgrad und Wärmeleitfähigkeit des Materials) abhängig. Dabei ist zu beobachten, dass bei der Laserbearbeitung mit steigender eingebrachter Energie die Härte der Schichten sowie die elektrische Durchschlagsfestigkeit als Mittel der Prüfung für geschlossene Schichten zunimmt, bis vergleichbare Werte zu konventionell vernetzten Schichten erreicht werden. Bei



Abb. 4 // Hydrophob und oleophob wirkende Sol-Gel-Schichtoberfläche (Gruppe 3) auf Aluminium

weiterer Erhöhung der Energieeinbringung nehmen diese Werte wieder ab, da die erzeugten Temperaturen zu hoch sind.

Es können sowohl Einzelschichten als auch Beschichtungen aus Mehrfachbeschichtungen vernetzt werden, so dass die Trockenschichtdicken der laservernetzten Beschichtungen zwischen ca. 2 und 10 µm liegen. Die Qualität der laservernetzten Beschichtungen wird mit der von thermisch vernetzten Beschichtungen hinsichtlich Kratzfestigkeit (hier Bleistift-Härte) und elektrischer Durchschlagsfestigkeit verglichen.

FARBE UND LACK // BIBLIOTHEK



Füllstoffe

Detlef Gysau // 2014 // 232 Seiten // gebunden
129,- € // Bestell-Nr. 273
Als eBook mit Best-Nr. 273_PDF



JETZT BESTELLEN:
www.farbeundlack.de/shop
bestellung@vincentz.net



Füllstoffe

VON DETLEF GYSAU // 3., ÜBERARBEITETE AUFLAGE

Ob Carbonate, Siliciumdioxide oder Bariumsulfate: Bereits in der dritten Auflage beschreibt Autor Detlef Gysau in seinem Basiswerk die Funktionalität und Anwendung aller gängigen Füllstoffe. Neben grundlegenden Eigenschaften und Auswirkungen von Füllstoffen in Lacksystemen enthält die neue, vollständig überarbeitete Auflage aktuelle Daten zum Füllstoffmarkt und gibt einen Ausblick auf zukunftsweisende Trends und Entwicklungen. So wurde das Buch ergänzt um das Thema modifizierte Calciumcarbonate sowie neue Aspekte rund um Nachhaltigkeit und Ressourcenmanagement. Ein umfangreiches und praxisorientiertes Standardwerk für alle, die mit Füllstoffen arbeiten! **Auch als eBook erhältlich!**



VINCENTZ

Vincentz Network // Postfach 6247 // 30062 Hannover // Deutschland // T +49 511 9910-033 // F +49 511 9910-029

Während Einzelschichten aus Sol-Gel-Beschichtungssystemen der Gruppe 1 Risse und Abplatzungen zeigen, lassen sich Mehrfachbeschichtungen dieser Systeme besser vernetzen.

Laservernetzte Beschichtungen aus Sol-Gel-Beschichtungssystemen der Gruppen 2–5 zeigen bzgl. der Bleistifthärte Werte, die mit denen von vergleichbar applizierten, thermisch gehärteten Schichten vergleichbar sind. Ebenso können vergleichbare elektrische Durchschlagsfestigkeiten ermittelt werden. Weitere Optimierung der Laser-Verfahrensparameter, hier insbesondere der Haltezeit, ergeben bei der Vernetzung von Schichten aus Sol-Gel-Beschichtungssystemen der Gruppe 5 zum Teil auch höhere Durchschlagsfestigkeiten.

Die Entwicklungsarbeiten finden im Rahmen des vom BMBF-geförderten Projektes KombiFun (Förderkennzeichen 033R112) statt.

DR. JOCHEN STOLLENWERK

studierte Physik mit den Schwerpunkten Lasertechnik und Festkörperphysik an der RWTH Aachen, an der er 2001 im Bereich der Lasermaterialbearbeitung zum Dr.-Ing. promovierte. Danach war er drei Jahre in leitender Funktion in der Industrie tätig. Seit 2004 ist er stellvertretender Leiter am Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme der RWTH Aachen sowie Gruppenleiter Dünnschichtverfahren am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik.



WILFRIED WEIGT

studierte Chemie an der TH Leuna Merseburg und schloss 1979 als Diplomchemiker ab. Von 1979 bis 1995 entwickelte er bei der Firma ORWO Wolfen Fotopolymersysteme zur Bildaufzeichnung und verantwortete die Entwicklung dünner Polymerschichten für die Unterlagen der Bildaufzeichnungsmaterialien (Filme). Seit 1996 ist er bei FEW Chemicals GmbH tätig und entwickelt Sol-Gel Beschichtungssysteme und Additive.



MONIKA ZSCHUPPE

studierte Chemie an der TU Dresden und schloss 1975 als Diplomchemikerin ab. Bis 1996 war sie bei der Firma ORWO Wolfen als wissenschaftlicher Mitarbeiter, später als Abteilungsleiterin in der zentralen Qualitätssicherung tätig. 1997 begann sie in der FEW Chemicals GmbH als Mitarbeiterin im Controlling und ist seit 1998 Geschäftsführerin.



MELANIE MEIXNER

studierte Physik an der RWTH Aachen mit dem Schwerpunkt Festkörperphysik. Seit 2009 ist sie am Fraunhofer ILT im Bereich der Dünnschichttechnik tätig, wo sie sich mit der Laserbearbeitung dünner Funktionsschichten beschäftigt.



MELANIE MEIXNER
Fraunhofer ILT

Härtung durch Laser

INTERVIEW // LASERBASIERTE, SELEKTIVE UND INLINEFÄHIGE HERSTELLUNG VON LACKBESCHICHTUNGEN

1. Kann die Methode auch bei anderen Beschichtungssystemen als Sol-Gel Lacken angewandt werden?

Das beschriebene laserbasierte Verfahren zur thermischen Nachbehandlung kann auf verschiedenste Materialsysteme angewendet werden. Auf dem Gebiet der Lacke ist bereits die laserbasierte Nachbehandlung verschiedener Sol-Gel-Systeme untersucht worden. Vorstellbar sind weitere Beschichtungssysteme wie z.B. Polymerlacksysteme.

2. Gibt es Einschränkungen dabei, welche Laser zur Härtung verwendet werden können?

Bei der Auswahl des Lasers kommt es auf verschiedene Faktoren an. Zum einen muss die Laserwellenlänge an das Materialsystem und dessen Absorptionsgrad angepasst sein, so dass die Energie der Laserstrahlung kontrolliert eingebracht werden kann. Zum anderen sollte ein kostengünstiges Lasersystem eingesetzt werden, welches wirtschaftlich genutzt werden kann.

3. Mit welchen Kosten bzw. welchem Aufwand muss bei einem Umstieg zur Laserhärtung gerechnet werden?

Beim Umstieg auf die Laserhärtung muss mit den Kosten der Laserstrahlquelle sowie des Strahlführungs- und formungssystems gerechnet werden. Dabei kann es sich um ein scannerbasiertes System handeln, welches den Laserstrahl gezielt über die Oberfläche des ruhenden Bauteils lenkt. Eine Alternative stellt die Verwendung einer Festoptik dar, unter der das beschichtete Bauteil bewegt wird. Die Kosten für ein solches System sind stark abhängig von der gewünschten Flächenrate, dem beschichteten Bauteil und dem betrachteten Lacksystem. Bei neuen Materialsystemen sind weitere Untersuchungen zur Anpassung der Laserverfahrensparameter notwendig.

// Kontakt: melanie.meixner@ilt.fraunhofer.de
Das Interview führte Vanessa Bauersachs



MEET THE EXPERTS

INNOVATION IN COATINGS, CONSTRUCTION & ADHESIVES

Synthomer ist führender Hersteller für Dispersionen. Besuchen Sie uns auf der European Coatings Show und informieren Sie sich über unsere neuen Produkte und Lösungen.

Synthomer auf der ECS 2015

Messe

Halle 7, Stand 344,
21.–23. April 2015, Messe Nürnberg

Web

www.synthomer-ecs.com

