

Beschichtung, Modifizierung und Charakterisierung von Polymeroberflächen

Bericht zum 29. Dresdner Vakuumtechnischen Kolloquium am 6. Und 7, November

Prof. Gerhard Blasek

Unter der traditionellen Gesamtthematik Beschichtung, Modifizierung und Charakterisierung von Polymeroberflächen ging es beim 29. Neue Dresdner Vakuumtechnische Kolloquium (NDVaK) mit dem Schwerpunkt Kunststoffe und Oberflächen im Spannungsfeld des Klimawandels vorrangig darum, Möglichkeiten der kunststofforientierten Oberflächentechnologien unter dem Aspekt von Material- und Prozesseffizienz, von Umweltverträglichkeit und des Recyclings aufzuzeigen und zu diskutieren. Es wurden 22 Vorträge und Poster präsentiert.

Die Veranstaltung war eine Kooperation von CREAVAC – Creative Vakuumbeschichtung GmbH, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. (IPF), Europäischer Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), dem GRAVOMer-Partner scia Systems GmbH und der Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V. (DFO) und fand in bewährter Weise im IPF statt.

Recycling ist Reduzierung der Umweltbelastung

Der erste Vortragsblock des Kolloquiums widmete sich dem Recycling von beschichteten Kunststoffteilen. Nachdem in der Vergangenheit große Fortschritte bei der haftfesten Beschichtung von Kunststoffen erreicht wurden, entsteht beim Recyceln nun das Problem, die eingesetzten Werkstoffe in effizienter Weise wieder zu separieren, um sie in hoher Qualität dann der weiteren Verwertung zuzuführen.

Speziell für metallisiertes ABS erweist sich der Schockwellentechnologie als besonders geeignet, den Haftverbund aufzubrechen und die Bestandteile des Materialverbunds zu separieren.

D. Zapf berichtet detailliert über eine leistungsfähige Anlage für galvanisch beschichtete ABS-Produkte, die bei Hansgrohe SE, Offenburg, entwickelt wurde. Die Prozessschritte werden beschrieben, das ABS-Rezyklat IR-spektroskopisch analysiert, seine mechanischen Eigenschaften mit den von Neuware verglichen und die Qualität der Beschichtung des rezyklierten Materials bewertet. Die Ergebnisse unterscheiden sich nur geringfügig. Das chemikalienfreie Verfahren liefert eine Reinheit des Rezyklats von 99,8 %

Die ImpulsTec GmbH, Radebeul, entwickelt und vertreibt Ausrüstungen für die elektrohydraulische Schockwellenfragmentierung unterschiedlicher komplexer Industriematerialien. St. Eisert zeigt die überzeugende Leistungsfähigkeit der Anlagen für metallisiertes ABS und für Solarmodulabfall.

F. A. Hentzler stellt die 2023 gegründete remap GmbH, Solingen, mit dem Geschäftsfeld Ankauf, Aufbereitung und Verkauf von Kunststoffen und Metallen vor. Mit dem in der BIA Group entwickelten Verfahren können aus Echtmetall-galvanisierte ABS-Erzeugnisse aus dem Industrie- und Consumer-Bereich mit einem so hohen Reinheitsgrad recycelt gewonnen werden, dass sie 30 % der Neuware ersetzen können und damit die sehr hohen Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie erfüllen. Der CO₂-Fußabdruck kann auf unter 5 % im Vergleich zu Neuware gesenkt werden. Die Fragmentierung erfolgt durch Schreddern und Magnetabscheidung.

An den gängigen Recyclingsverfahren - und nicht nur für Kunststoffe - sind Vakuumanwendungen für Transport, Trocknung, Extrusion, Compoundierung, Destillation, Pyrolyse u. a. beteiligt. Dazu werden

hinsichtlich Saugleistung und Langlebigkeit angepasste Vakuumerzeuger benötigt. M. Redmann, Busch Dienste GmbH, Maulburg, referierte über Vakuumsysteme für mechanisches Recycling und deren Effizienzsteigerung. Dabei wird zunehmend Wert auf intelligente Steuerungsregime gelegt.

V. Reichert erläutert das Sandwich-Spritzgießverfahren, mit dem Thermoplast-Formteile wirtschaftlich aus zwei verschiedenen

Schmelzen herzustellen. So können Erzeugnisse mit einer Oberfläche aus einem hochwertigen funktionalen oder dekorativen Kunststoff mit einem Kern aus einem Recyclat kostengünstiger und mit vermindertem CO₂-Fußabdruck hergestellt werden. Die erforderliche Maschinenteknik wird vorgestellt, Die A&E Produktionstechnik GmbH, Dresden, entwickelt und fertigt dafür Baugruppen für alle marktüblichen Spritzgießmaschinen. Vorteile und Grenzen dieser Technologie werden diskutiert.

Aktive Oberflächen

Kohlenstoff-Nanomembranen(CNMs) - ein auf Kohlenstoff beruhendes 2D-Schichtmaterial - können auch auf Kunststoffe aufgebracht werden und deren Oberflächen funktionalisieren. A. Schneiders, CNM Technologies GmbH, Bielefeld, beschreibt die Herstellung derartiger Folien und zeigt die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von CNMs vorzugsweise als Filter in der Lebensmittel-, Duft- und Aromaindustrie und bei der Wasseraufbereitung, in Medizin und Pharmazie und bei der Fertigung von Halbleiterbauelementen, Sensoren, Batterien und Brennstoffzellen. Es werden viele weitere realisierte und denkbare Anwendungen gezeigt.

Der Vortrag von G. Konkin, Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V., Rudolstadt, gibt einen Überblick über elektrochrome (EC) Materialien und widmet sich dann der Entwicklung von neuen organischen Verbindungen, sogenannten Polynorbornenen, mit elektrochromen Eigenschaften. Technologien für die Fertigung elektrochromer Verglasungen werden beschrieben. Die dafür synthetisierten neuen Polymere absorbieren gleichmäßig Licht im gesamten visuellen Wellenlängenbereich, sind löslich und filmbildend und somit für Nassbeschichtungen von Folien geeignet. Diese erfolgt mit der Laborbeschichtungsanlage LBA 200. Schließlich wird der Aufbau elektrochromer Zellen mit den neuen Polymeren sowie mit angepassten Festelektrolyten beschrieben. Diese EC-Zellen werden durch kombinierte elektrochemische und optische Messungen charakterisiert. Die beschriebenen Ergebnisse wurden im Rahmen des Förderprojekts „Elchfen“ erarbeitet.

H. Grünwald, Surface Chemistry, Niddatal, geht zunächst von bekannten, auch aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes vorteilhaften Anwendungen dünner Schichten aus, die unter Einwirkung eines Niedertemperaturplasmas durch sog. „Plasmapolymerisation“ hergestellt werden. Dabei werden häufig Substanzen eingesetzt, die ohne Plasma nicht polymerisieren würden. Der wird die Schichtabscheidung durch plasmainduzierte Polymerisation von radikalisch polymerisierbaren Verbindungen unter Plasmaeinwirkung gegenübergestellt. Dabei lässt man ein Inertgasplasma entweder direkt auf die Oberfläche eines flüssigen Monomers wirken oder erst nach einer

Aktivierung des Substrats in einem Inertgasplasma. Bei Letzterem ist es möglich, Kunststoffsubstrate mit chemisch definierten Polymeren zu „pfropfen“, sofern freie Radikalstellen ausgebildet wurden. Es werden Forschungsergebnisse beteiligter Mitautoren und eine Fülle bekannter und denkbarer Anwendungsmöglichkeiten durch Plasmapfropfung funktionalisierter Kunststoffe diskutiert, so speziell für die gezielte plasmainduzierte Pfropfung von PE-, PE- bzw. PS-Substraten.

V. Weihnacht, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden, zeigt, wie mit der Laser-Arc-Technologie in einem vakuumbasierten Prozess unter den beschriebenen Bedingungen superharter diamantähnlicher tetragonaler amorpher Kohlenstoff (ta-C) mit Dicken bis zu 20 µm haftfest auf PE, PEEK und PA abgeschieden werden können. Trocken laufende Zahnrad-Paarungen aus PEEK + ta-C erreichten eine vierfache Standzeit gegenüber unbeschichteten. Für biomedizinische und Implantatanwendungen ist die Reduzierung der Verschleißpartikel wichtig. Dotierte ta-C:X-Schichten können an spezielle Anwendungen angepasst funktionalisiert werden, was ein großes Potenzial für elektrochemische und sensorische Anwendungen auf Kunststoff eröffnet.

Der Vortrag von V.Saager vermittelt einen Einblick in die Entwicklungsarbeiten des, Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden, für eine kostengünstige und serientaugliche Fertigung langlebiger Bipolarplatten (BPP) für Brennstoff- und Elektrolysezellen. Er geht vom Stand der Technik aus und widmet sich dann vorzugsweise der Herstellung Titanbeschichteter Edelstahlbänder für BPP von Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (PEM-FC). Dafür werden 250 mm breite und 100 µm dicke Folien im Plasma vorbehandelt und dann 100 nm dick Titan mittels Hochleistungselektronenstrahlbeschichtung (EB-PVD) mit und ohne zusätzlicher Arc-Plasmaaktivierung (SAD) - alles bei einer Prozessgeschwindigkeit von 10 m/min - beschichtet. Die flexible R2R-Anlage mit Transport-, Vorbehandlungs-, Beschichtungs- und Nachbehandlungsstufen wird beschrieben. Vergleichende FE-SEM- und XRD-Analysen zeigen, dass nur mit SAD dichte, duktile und nanokristalline und bei 180°-Biegeversuchen bruchfreie Schichten entstehen. Diese Technologie eignet sich auch für Polymermembranen geeignet. M. Wand, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, schließt mit aktuellen Forschungsprojekten bei Komposit-BPP mit dem Fokus auf deren Oberflächenmodifikation an. Es wird gezeigt, dass die herstellungsbedingte polymerreiche Schicht auf der Oberfläche des Ausgangsmaterials durch Laser-Ablation an den Kontaktflächen der BPP zur Membran-Elektrolyt-Anordnung (MEA) entfernt der elektrische Widerstand zur MEA (Membran-Elektrolyt-Anordnung) erniedrigt wird. Die für das Wasser- und Temperaturmanagement wichtige Hydrophobie wird durch Einbringen von Mikrorillen (bis zu 75 µm) erhöht. Die Auswirkung auf die mechanische Stabilität des Systems sind gering.

M. Wand, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, schließt mit aktuellen Forschungsprojekten bei Komposit-BPP mit dem Fokus auf deren Oberflächenmodifikation an. Es wird gezeigt, dass die herstellungsbedingte polymerreiche Schicht auf der Oberfläche des Ausgangsmaterials durch Laser-Ablation an den Kontaktflächen der BPP zur Membran-Elektrolyt-Anordnung (MEA) entfernt und der elektrische Widerstand zur MEA (Membran-Elektrolyt-Anordnung) erniedrigt wird. Die für das Wasser- und Temperaturmanagement wichtige Hydrophobie wird durch Einbringen von Mikrorillen (bis zu 75 µm) erhöht. Die Auswirkung auf die mechanische Stabilität des Systems sind gering.

Yashas Shivakumar, Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz, zeigt, wie Textilien mittels Pulverbeschichtung, Siebdruck und additiver Fertigung in vielfältiger Weise funktionalisiert werden können. Eine Mischung aus TPU-Pulver und entsprechender Zusätze wird mittels CO₂-Laser und thermisch auf dem Textil flexibel fixiert. Es können damit z. B. elektrische, magnetische, phosphoreszierende und thermo- und elektrochrome Beschichtungen realisiert werden, die auch die üblichen Beanspruchungen an Textilien überstehen. Anwendungsbeispiele werden diskutiert.

Biopolymere, Material und Prozesseffizienz

C. Schrauwen (Zuyd University of Applied Sciences, Elst) knüpft an Ergebnisse des EU- Projekts FLEXOCOAT an und zeigt an zahlreichen Beispielen das Potential der Physikalischen Dampfabscheidung (PVD) speziell in kleinen und mittleren Unternehmen, wo es noch immer Kenntnislücken bei der Nutzung dieser Technologie gibt. Das betrifft besonders die Vorteile durch Kombination mit anderen Beschichtungsverfahren. Hier bietet sich ein breites Feld für Technologietransfer an. Der wiederum ist das Aufgabenfeld der KET-Market GmbH, Dresden, u. a. auch auf dem Gebiet der Vakuum-Dünnschichttechnik. A. Wahl stellt das europaweit agierende Unternehmen als digitalen Marktplatz für Technologie vor. So ist es Single-Entry-Point von zwei Open Innovation Test Beds der EU, nämlich Vakuumbeschichtung von Kunststoff- und Papierbahnen für organische Solarzellen (FlexFuction2Sustain) und für Kreislaufinnovationen (Convert2Green) für z. B. intelligente Textilien, medizinische Verpackungen und Automobilteile.

N. Kiri, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden, berichtet über die Entwicklung von neuartigen Methacrylatharzen (IPrXF DMA und GalX Me DMA) unter Verwendung von biobasiertem kommerziellem GalX und IPrXF. Sie härten schon bei 100 °C bis 110 °C aus und sind dann außergewöhnlich temperaturstabil. Sie übertreffen bei vergleichbaren mechanischen Eigenschaften darin das kommerzielle UMA21. Sie sind gegenüber enzymatischem Abbau sehr stabil und ausgezeichnet chemisch beständig. Sie weisen hervorragende Filmbildungseigenschaften auf. Beschichtungen sind transparent, farblos, haftfest und sehr glatt (RMS < 2 nm). Dieses Material ist vielversprechend für langlebige und umweltschonende duroplastische Beschichtungen für vielseitigen Anwendungen.

Um autologe Zellen auf biokompatible Poly- ϵ -caprolacton (PCL) für Herzklappen zu kultivieren, müssen dessen Oberflächeneigenschaften optimiert werden. H. Kersten, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, IEAP/AG PlasmaTechnologie, berichtet, dass die Behandlung des Materials in einem anisothermen N₂-H₂-Hochfrequenzplasma ein vielversprechender Ansatz ist. Auf der Polymeroberfläche werden funktionelle NH_x-Gruppen gebildet, die Zelladhäsion und damit das Zellwachstum verbessern, ohne das Substrat zu schädigen. Benetzung und Zellbesiedlung wurden in Abhängigkeit typischer Plasmaparameter untersucht.

T. Teichmann, Fraunhofer Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden, stellt Ergebnisse des Forschungsprojekts „ARA“ zum Abbau von gefährlichen Arzneimittelrückständen in pharmazeutischen Abwässern vor. In einem hybriden Behandlungsmodul wurden die Bestrahlung eines dünnen Flüssigkeitsstroms mit niederenergetischen Elektronen (bis 300 keV) mit einer

Ozonbehandlung kombiniert. Nach einem entsprechenden Upscaling ist damit die lokale Vorreinigung der Abwässer von Punktemittenten wie Krankenhäuser und Pharmaunternehmen energieeffizient und wirtschaftlich möglich. Die transformierten Mikroschadstoffe können von einer nachgeschalteten Kläranlage besser abbaubar gemacht werden. Der gegenüber bekannten Verfahren überlegene Behandlungserfolg wurde anhand ausgewählter Testsubstanzen demonstriert. Die biologische Abbaubarkeit der Transformationsprodukte wurde in einer Laborkläranlage untersucht. Die Ausdehnung auf Abwässer der chemischen Industrie und der Landwirtschaft wird erwogen.

E. Kutschke zeigt die Potenziale der -Nano-Imprint-Lithografie (NIL) zur Herstellung individuell gestalteter und funktionaler Oberflächen und betrachtet speziell die Verwendung von elektronenstrahlvernetzenden Lacken auf Folien im Rolle-zu Rolle-Verfahren. Die Erzeugung niederenergetischer Elektronen und die Anlagentechnik bis hin zur Qualitätsprüfung werden beschrieben. Die Verwendung polymerer (u. a. vakuumtechnisch beschichteter) angepasster Dicke sowie additiv gefertigter Matrizen ermöglichen eine ressourceneffiziente, kostengünstige und flexible Herstellung strukturierter Oberflächen, z.B. für optische und mikrofluidische Anwendungen und für Labs on Chips.

Eine wirtschaftliche Abwärmenutzung mittels thermoelektrischer Wandler erfordert eine kostengünstige hochproduktive Fertigung von thermoelektrischen Modulen (TEM), wie es sie derzeit nur in China und Russland gibt. Das laufende BMW-Projekt ProTEM hat daher die Entwicklung einer automatisierten industriellen Produktion von Hochtemperatur-TEM aus neuen effizienten und umweltfreundlichen Materialien zum Ziel. V. Pacheco, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Dresden, beschreibt die Prozessschritte in der ProTEM-Produktionslinie von der Pulverherstellung bis zur Konfektionierung, darunter die vakuumtechnische Abscheidung der für die thermische Langzeitstabilität entscheidenden Diffusionsbarriere zwischen TEM-Schenkel und Lot. Als TE-Material wird $\text{Mg}_2\text{Si}_{0.4}\text{Sn}_{0.6}$ p-MnSi_{1.81} (p-Mg₂Si_{0.4}Sn_{0.6} in Arbeit) eingesetzt.

Auf Postern informieren M. Reinhardt und C. Zimmerer (Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.) über siliziumorganische Hybridverbindungen für eine fluorfreie wasser- und ölabweisende Ausrüstung von Oberflächen und R. Bodesheimer u. a (Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. bzw. TU Dresden) über industriell einsetzbares biobasiertes Dopamin als Haftvermittlers für die PVD-Metallisierung von PE, ABS, PA 6.6, PBT und PET.

Der Zugang zu den Power-Point-Vorträge kann über ... angefordert werden. Das 30. NDVaK wird im Oktober/September 2026 stattfinden. Die Organisatoren würden sich über interessante Anregungen zur inhaltlichen Gestaltung freuen.

Anmerkung: Bei mehreren Autoren wurde nur der Vortragende genannt.