ISSN 2195-5905 | BAND 9

WOMAG

Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche

HARTER drying solutions

Ihr DIREKTER Partner: HARTER GmbH | (+49) 08383-9223-0 | info@harter-gmbh.de | www.harter-gmbh.de

WERKSTOFFE
Oberflächenfertigung über Diamantbearbeitung und Heißprägen

WERKSTOFFE
Substitution – ein Beitrag zur Zukunftssicherung

MEDIZINTECHNIK
Mit neuen Verfahren zu bakterienfreien Werkstoffen

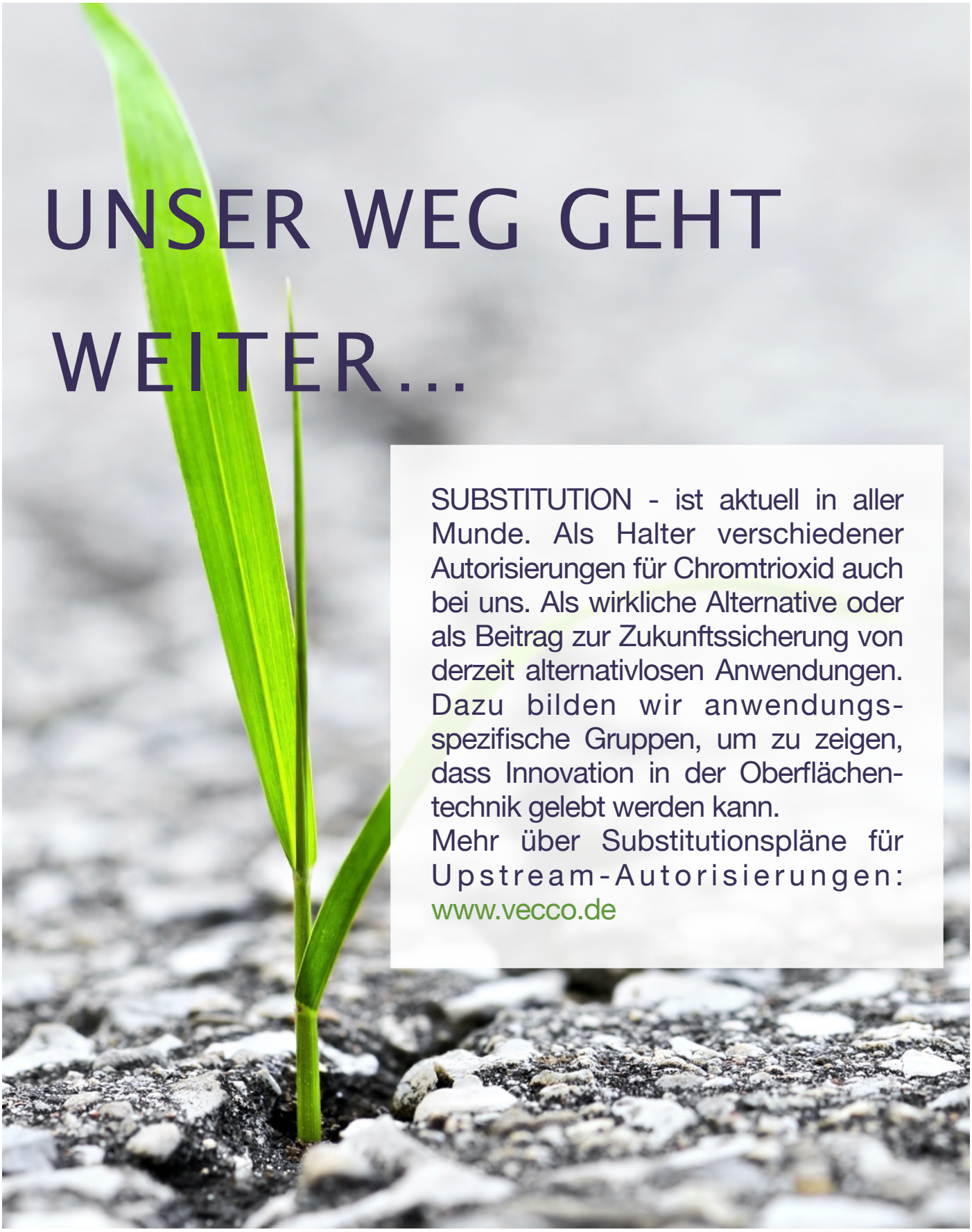
OBERFLÄCHEN
Pulsabscheidung zur Herstellung von dekorativen Chromschichten

OBERFLÄCHEN
Chrom(III)verfahren in der Kunststoffgalvanik im Einsatz

SPECIAL
Oberflächentopographie von galvanisierten Polyamiden

JUNI 2020

Branchen-News täglich: womag-online.de



UNSER WEG GEHT WEITER...

SUBSTITUTION - ist aktuell in aller Munde. Als Halter verschiedener Autorisierungen für Chromtrioxid auch bei uns. Als wirkliche Alternative oder als Beitrag zur Zukunftssicherung von derzeit alternativlosen Anwendungen. Dazu bilden wir anwendungsspezifische Gruppen, um zu zeigen, dass Innovation in der Oberflächentechnik gelebt werden kann.
Mehr über Substitutionspläne für Upstream-Autorisierungen:
www.vecco.de

VECCO
we will REACh the future...

www.vecco.de

hapoc

www.hapoc.de

eupoc
european power of complexity

www.eupoc.de

EDITORIAL

Substitution

Inzwischen liegen sowohl bei Chemieanbietern als auch bei einigen Beschichtungsunternehmen nach mehreren Jahren der Erprobung Erfahrungen für den Einsatz von Verfahren auf Basis von Chrom(III) zur Herstellung von Chromschichten vor. In dieser Zeit wurden die Anlagen- und Verfahrenstechnik stetig verbessert sowie erforderliche Modifikationen der Elektrolyte vorgenommen. Das Ergebnis scheint wohl die meisten der Anforderungen an die Chromschicht zu erfüllen, wodurch die Zahl der Anbieter von dekorativen Chromschichten in der nächsten Zeit weiter steigen dürfte. In der Unternehmensdatenbank unter www.womag-online.de werden derzeit 14 Unternehmen geführt, die Elektrolyte auf Basis von Chrom(III) einsetzen und dies den Kunden kenntlich machen. In der vorliegenden Ausgabe der WOMag findet sich ein entsprechender Erfahrungsbericht zur Chromabscheidung auf Kunststoffteile (Seite 28). Sehr interessant ist zudem ein Blick auf die Weiterentwicklung der dekorativen Verchromung (Seite 22) unter Einsatz der Pulsabscheidung für Elektrolytsysteme auf Basis von Chrom(III).

Deutlich schwieriger gestaltet sich dagegen die Zukunft bei der technischen Verchromung, der sogenannten Hartverchromung. Wie Michael Hekli und Martin Mader von der STI Group darlegen, bieten die bisherigen Versuche mit Chrom(III)systemen keine Aussicht, Chromschichten mit den notwendigen Eigenschaften herstellen zu können. Aber auch die im Rahmen der von REACh geforderten Betrachtungen einer Substitution durch andere Verfahren geben kaum Hoffnung, adäquaten Ersatz für die funktionelle galvanische Verchromung in absehbarer Zeit vorweisen zu können. Oftmals angeführte Alternativen aus dem Bereich des thermischen Spritzens, der PVD-Beschichtung oder Verfahren unter Einsatz der verschiedenen Möglichkeit der Oberflächenhärtung (z. B. das Plasmanitrieren) erreichen nach bisherigen Erfahrungen stets nur einige der Eigenschaften von Chromschichten oder besitzen oftmals eine deutlich schlechtere Wirtschaftlichkeit als galvanisches Verchromen (um nur die wichtigsten Charakteristika zu nennen).

Wie Dr. Uwe König in seinem Beitrag (Seite 8) betont, muss der Substitution ein zunehmend hohes Augenmerk geschenkt werden. Dazu müssen die Unternehmen in Zukunft zwar große Anstrengungen an den Tag legen, die sich aber für die auf Zukunftssicherung achtenden Mitglieder der Oberflächentechnik-Branche sicher lohnen werden.

WOMAG – VOLLSTÄNDIG ONLINE LESEN

WOMAG ist auf der Homepage des Verlages als pdf-Ausgabe und als html-Text zur Nutzung auf allen Geräteplattformen lesbar. Einzelbeiträge sind mit den angegebenen QR-Codes direkt erreichbar.

Sager + Mack®
Leading the way in pumps and filters

MAGNETPUMPEN
TAUCHPUMPEN
FILTERSYSTEME

STRONG | CLEAN | DURABLE

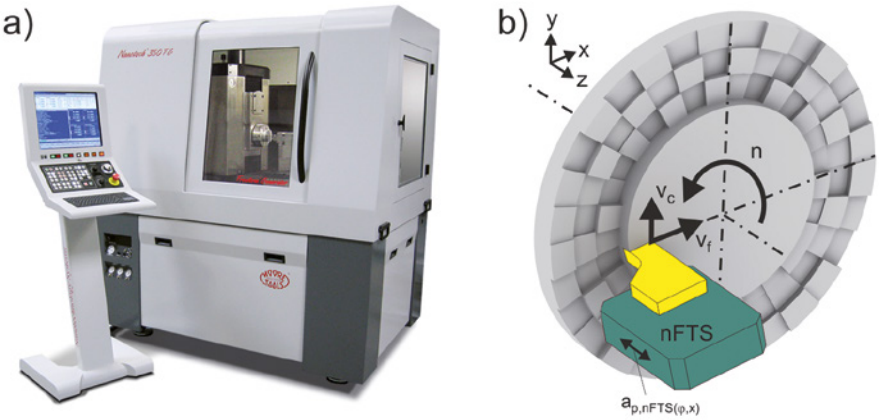
- Prozessoptimierte Filterstationen für Ihre individuelle Anwendung
- Filtergehäuse passend zum Filtermedium und zur Anwendung
- Service und Beratung
- Hohe Schmutzaufnahmekapazität
- Energieeffizient und Langlebig
- Entwickelt und produziert in Deutschland

PUMPEN PUMPS | 泵
FILTER FILTERS | 过滤器
FILTERMEDIEN FILTERMEDIA | 过滤耗材
DAS PLUS THE PLUS | 服务

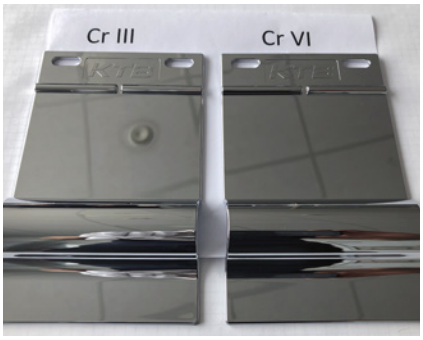
www.sager-mack.com

Sager + Mack GmbH
Max-Eyth-Str. 13/17
74532 Ilshofen-Eckartshausen
info@sager-mack.com
+49 7904 9715-0

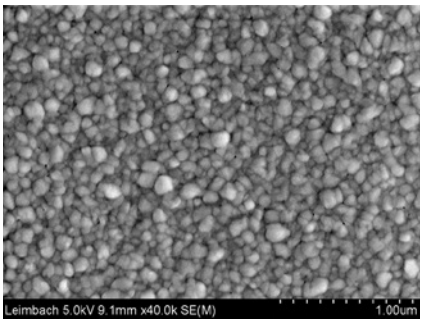
INHALT



4 Fertigung von Oberflächen mit diffraktiven Strukturen

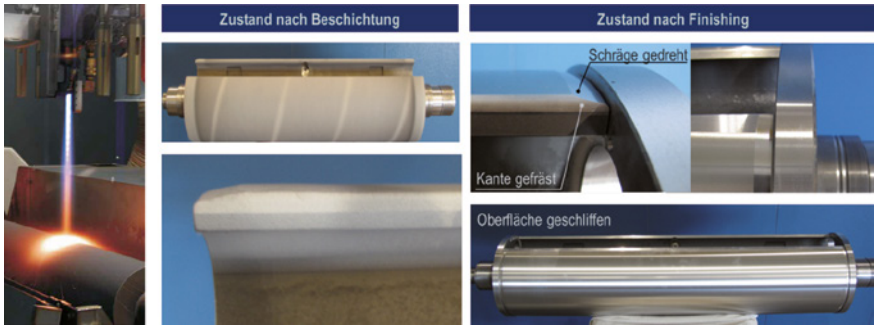


28 Verchromter Kunststoff



22 Abscheidung von Chrom

38 Hartverchromte Gießwalze



11 Prüfung der Alternative zu galvanisch abgeschiedenem Hartchrom

WERKSTOFFE

4 Fertigung von Oberflächen mit diffraktiven Strukturen über Diamantbearbeitung und Heißprägen
8 Substitution – ein Beitrag zur Zukunftssicherung
11 Grenzen der Alternativtechnologien zur Hartverchromung aus sechswertigen Elektrolyten
14 Nachhaltige Produktion: Kreislaufwirtschaftssystem in Produktionsprozessen ermöglichen
16 Nockenwellenmodul aus Kunststoff senkt CO_2-Emissionen

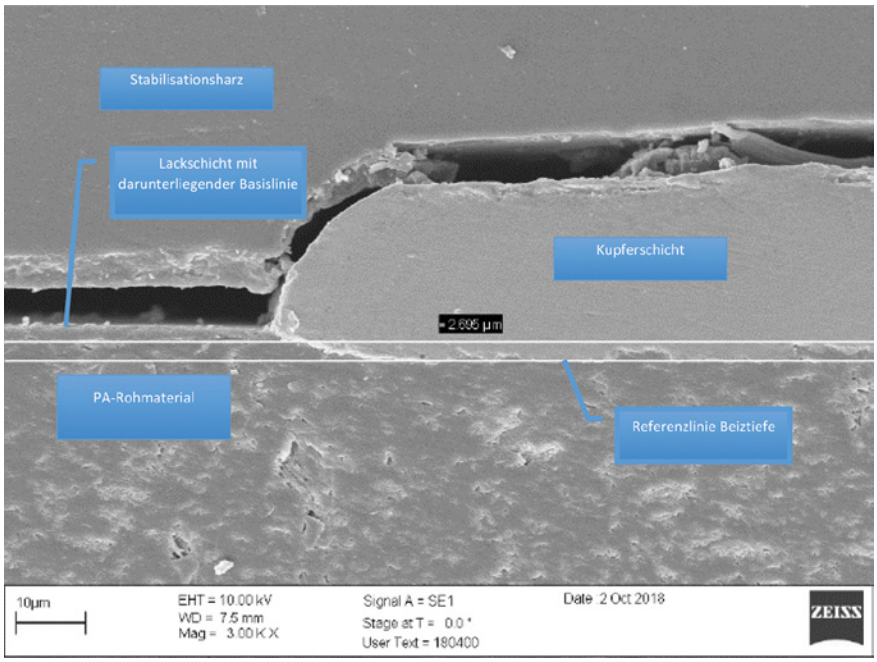
MEDIZINTECHNIK

18 Mit neuen Verfahren zu bakterienfreien Werkstoffen und keimfreien Lebensmitteln
19 Verständnis von Materialien verbessert Hüftimplantate

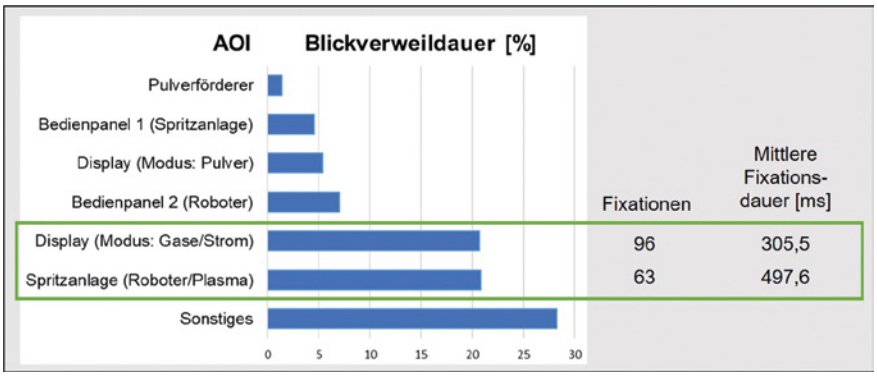
OBERFLÄCHEN

20 Internationales Kooperationsprojekt zur Berufsbildung in der Galvanotechnik
22 Abscheidung von dekorativen Chromschichten mittels niederfrequenter Pulsabscheidung zur Anpassung des optischen Erscheinungsbilds
25 Einflüsse auf die Oberflächentopographie in der Galvanisierung von Polyamiden
28 KTB baut bei Chrom(III)verfahren auf SurTec
30 3D-Oberflächenmessung in Hochgeschwindigkeit durch konfokale Rastermikroskopie
31 Präzise Schichtdickenbestimmung von Eloxalschichten
32 Moderne Beschichtungsverfahren

INHALT



25 Vorbehandlung von Polyamid für die galvanische Beschichtung



34 Zusammenspiel von Mensch und Maschine beim thermischen Spritzen

OBERFLÄCHEN

34 Mensch und Maschine – Eine Betrachtung des Zusammenspiels der Systeme am Beispiel des thermischen Spritzens
38 Größte hartverchromte Gießwalze

UNTERNEHMENSINFORMATIONEN

40 Platz 2 beim Deutscher Innovationspreis 2020 für Weiss Umwelttechnik
40 IFO Labor hat Akkreditierungsumfang deutlich erweitert

Zum Titelbild: Für die nasschemische Oberflächenbehandlung ist das Trocknen der Produkte ein essenzieller Prozessschritt – Harter liefert dazu eine bestens bewährte, hocheffiziente und umweltfreundliche Verfahrenstechik. www.harter-gmbh.de

Impressum

WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche – Internationales Fachmagazin in deutscher und (auszugsweise) englischer Sprache
www.womag-online.de
ISSN: 2195-5891 (Print), 2195-5905 (Online)

Erscheinungsweise
10 x jährlich, wie in den Mediadaten 2019 angegeben

Herausgeber und Verlag
WOTech – Charlotte Schade – Herbert Käszmann – GbR
Am Talbach 2
79761 Waldshut-Tiengen
Telefon: 07741/8354198
www.wotech-technical-media.de

Verlagsleitung
Charlotte Schade
Mobil 0151/29109886
schade@wotech-technical-media.de
Herbert Käszmann
Mobil 0151/29109892
kaeszmann@wotech-technical-media.de

Redaktion/Anzeigen/Vertrieb/Abo
siehe Verlagsleitung

Bezugspreise
Jahresabonnement Online-Ausgabe:
149,– E, inkl. MwSt.
Die Mindestbezugszeit eines Abonnements beträgt ein Jahr. Danach gilt eine Kündigungsfrist von zwei Monaten zum Ende des Bezugszeitraums.
Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 9
vom 10. Oktober 2019

Inhalt
WOMag berichtet über:
- Werkstoffe, Oberflächen
- Verbände / Institutionen
- Unternehmen, Ausbildungseinrichtungen
- Veranstaltungen, Normen, Patente

Leserkreis:
WOMag ist die Fachzeitschrift für Fachleute des Bereichs der Produktherstellung für die Prozesskette von Design und Konstruktion bis zur abschließenden Oberflächenbehandlung des fertigen Produkts. Im Vordergrund steht die Betrachtung der Werkstoffe und deren Bearbeitung mit Blickrichtung auf die Oberfläche der Produkte aus den Werkstoffen Metall, Kunststoff und Keramik.

WOMag-Beirat
WOMag wird von einem Kreis aus etwa 20 Fachleuten der Werkstoffbe- und -verarbeitung sowie der Oberflächentechnik beraten und unterstützt.

Bankverbindung
BW-Bank, IBAN: DE71 6005 0101 0002 3442 38
BIC: SOLADEST600; (Konto 2344238, BLZ 60050101)
Das Magazin und alle in ihm enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Bei Zusendung an den Verlag wird das Einverständnis zum Abdruck vorausgesetzt. Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlages und ausführlicher Quellenangabe gestattet. Gezeichnete Artikel decken sich nicht unbedingt mit der Meinung der Redaktion. Für unverlangt eingesandte Manusikripte haftet der Verlag nicht.

Gerichtsstand und Erfüllungsort
Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Waldshut-Tiengen

Herstellung
WOTech GbR

Grafische Gestaltung (Grundlayout)
Wasserberg GmbH

Druck
Holzer Druck + Medien GmbH & Co. KG
Fridolin-Holzer-Straße 22+24, 88171 Weiler
© WOTech GbR, 2016

Fertigung von Oberflächen mit diffraktiven Strukturen über Diamantbearbeitung und Heißprägen

Von Ann-Katrin Boinski[1], Oltmann Riemer[1], Marc Schneider[2], Markus Guttmann[2] und Matthias Worgull[2]

1 Einführung in die Herstellung diffraktiv strukturierter Oberflächen

Durch die Technologisierung unserer Gesellschaft und unseres alltäglichen Lebens hat sich auch die Anwendung funktioneller optischer Elemente in den vergangenen Jahren weg von der hochspezialisierten Forschung hin zur konsumorientierten Anwendung auf dem Massenmarkt entwickelt. Beispiele sind hier die allgegenwärtigen Smartphones oder Sicherheitsmerkmale auf Banknoten und Ausweisdokumenten. Die herkömmliche Herstellung dieser optischen Elemente und Systeme durch lithographische Verfahren kann dieser enormen Nachfrage wirtschaftlich nicht gerecht werden. Aus diesem Grund wurde ein neues Fertigungsverfahren entwickelt, mit dem eine kostengünstige Massenproduktion optisch strukturierter Oberflächen ermöglicht wird.

Hierbei wird ein Diamantdrehprozess mit einem so genannten nano-Fast-Tool-Servo (nFTS) kombiniert. Die Achs-Kinematik des konventionellen Diamantdrehprozesses auf einer ultrapräzisen Werkzeugmaschine wird dabei überlagert von der linearen Bewegung des hochfrequenten linearen Piezoverstellers, dem nFTS. Dieser Aktor kann die Schnitttiefe im Nanometerbereich schnell und genau variieren (*Abb. 1*). Auf diese Weise entsteht in einem Fertigungsschritt eine diffraktiv strukturierte Oberfläche [1, 2]. Die bisherigen strukturierten Flächen umfassten eine Kreisfläche von 20 mm bis 30 mm Durchmesser, bei einer Bearbeitungszeit zwischen 15 Minuten und einer Stunde. Die Größe der strukturierbaren Fläche ist hierbei jedoch vorrangig durch den Bauraum der Werkzeugmaschine begrenzt, was die Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von der gewählten Zustellung entsprechend erhöht.

Ein Anwendungsgebiet für solche diffraktiven optischen Elemente (DOE) ist die Verwendung als Sicherheitshologramm. Hierbei wird zunächst im optischen Design die Höhe jedes einzelnen Pixels genau berechnet und dann durch den Diamantdrehprozess mit nFTS in das Bauteil eingebracht. Der Algorithmus zur Berechnung des optischen Designs basiert dabei auf dem Gerchberg-Saxton-Algorithmus [3]. Durch Beleuchtung des strukturierten Bauteils mit einem Laser einer vorgegebenen Wellenlänge wird das gewünschte Intensitätsmuster auf einer Rekonstruktionsebene erzeugt. Das vorgegebene

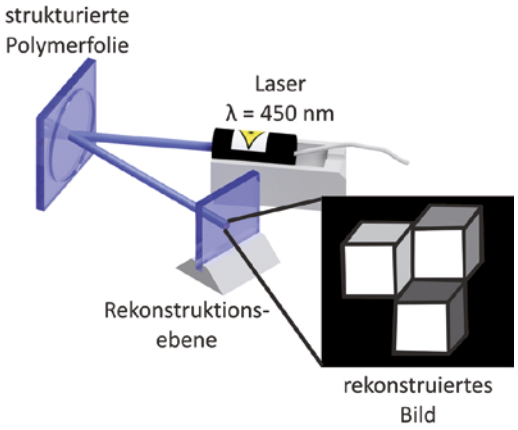


Abb. 2: Optisches Funktionsprinzip von Hologrammen

Bild erscheint dabei nur in einem definierten Abstand zur Optik auf der Rekonstruktionsebene (*Abb. 2*) [2].

2 Anwendung diffraktiv strukturierter Oberflächen als Formeinsatz in einem Heißprägeprozess

Die bisherigen Untersuchungen beschränkten sich allerdings vorrangig auf die Strukturierung von metallischen Oberflächen mit einer reflektiv wirkenden optischen Funktion. Hierbei wurden vor allem eine spezielle Neusilber-Legierung (CuZn39Pb3) und ultra-feinkörniges Aluminium als geeignete Materialien identifiziert [2]. Durch den Einsatz eines Replikationsprozesses kann jedoch die optische Funktionalität zusätzlich auf transmissive Optiken erweitert werden, was das Spektrum der Anwendungsgebiete erheblich steigert.

Darüber hinaus bieten Replikationsprozesse, wie Spritzgießen, Spritzprägen, Thermoformen oder Heißprägen eine kosteneffiziente Vervielfältigung der optischen Komponenten in unterschiedlichste, meist polymere Materialien und ermöglich somit die Ausweitung auf den Massenmarkt. In einem kürzlich, durch die (am Karlsruher Institut für Technologie ansässige) KNMF geförderten Projekt (KNMF = Karlsruhe Nano and Micro Facility [4]), wurde als Replikationsprozess das Heißprägen derartiger Strukturen in ein Polymer erprobt [5]. Durch die Abstimmung von verwendetem Polymer, Foliendicke und

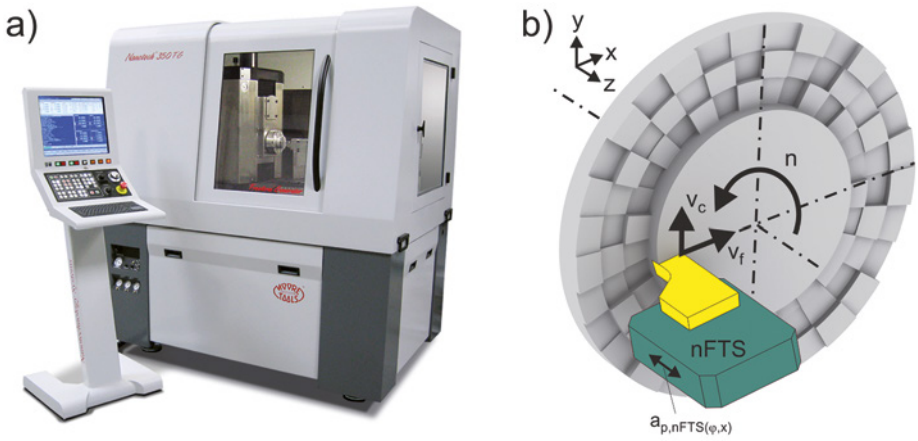


Abb. 1: Ultra-Präzisions-Werkzeugmaschine Nanotech 350 FG (a) und Prozesskinematik (b)

[1] Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien, Badgasteiner Str. 3, D-28359 Bremen; Kontakt: boinski@iwt.uni-bremen.de

[2] Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Mikrostrukturtechnik, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344 Eggenstein Leopoldshafen

Anpressdruck war es hierbei möglich, die diffraktiven Strukturen in hoher Qualität vom strukturierten metallischen Werkzeug auf das Polymersubstrat zu übertragen und im Anschluss die optische Funktion der strukturierten Fläche in einem optischen Aufbau nachzuweisen.

3 Replikation diffraktiv strukturierter Oberflächen in ein Polymer

Für die Untersuchung des Abformungsverhaltens wurden zunächst Teststrukturen bestehend aus Nuten unterschiedlicher Tiefe untersucht. *Abbildung 3* zeigt einen strukturierten Formeinsatz mit Teststruktur. Im oberen Teil von *Abbildung 4* ist das Ergebnis einer weißlicht-interferometrische Messung der Teststruktur auf dem Formeinsatz aus Neusilber wiedergegeben. Die Tiefe der Nut wurde hierbei von etwa 500 nm bis hin zu 1000 nm Tiefe auf einer Fläche von 10 mm Durchmesser variiert. Ziel dieser gemeinsamen Untersuchungen war es, die Abformungsqualität anhand definierter Strukturen zu charakterisieren. Die einzelnen Nuten simulieren in diesem Fall einzelne Pixel mit definierter Höhe, die getrennt voneinander untersucht werden können. Von besonderem Interesse war hierbei, wie genau die Nuten, die sich im polymeren Bauteil als erhobene Stege darstellen, repliziert beziehungsweise vom Metall in den Kunststoff übertragen werden können und ob sich hierbei ein Verzug in horizontaler Richtung ergibt. Abweichungen in diesen Merkmalen würden später zu Störungen der optischen Funktionalität bei den Hologrammen führen und müssen somit minimiert werden.

Die ersten Abformungsversuche wurden dabei mit einer 500 µm dicken PMMA-Folie

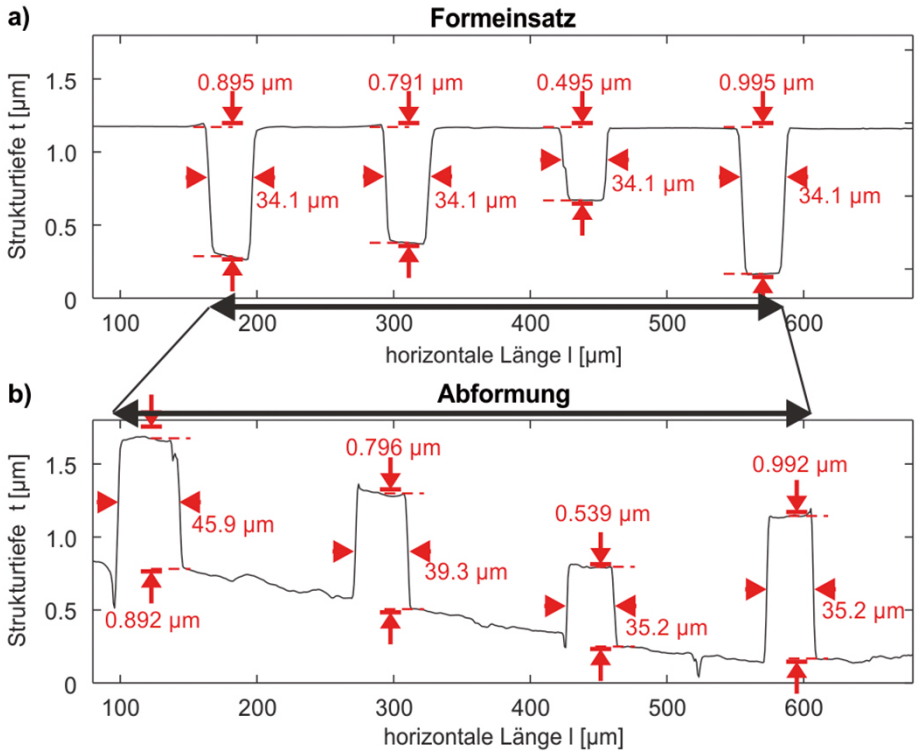


Abb. 4: Weißlicht-interferometrische Messung des Formeinsatzes aus Neusilber mit Teststruktur sowie der abgeformten Folie in PMMA

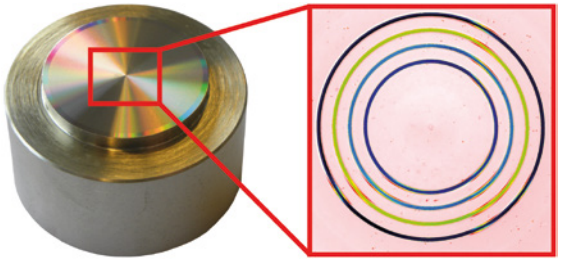


Abb. 3: Strukturierter Formeinsatz aus Neusilber (CuZn39Pb3) mit Teststruktur

durchgeführt. Nach der Erwärmung auf eine Prägetemperatur von über 165 °C wurden 8 kN Prägekraft aufgebracht und der Formeinsatz und die Folie anschließend auf unter 60 °C heruntergekühlt. Im unteren Teil der *Abbildung 4* ist eine weißlicht-interferometrische Messung einer abgeformten Oberfläche zu sehen. Hierbei fällt sofort die starke Deformation der Oberfläche auf. Auch die Breite der Stege stimmt nicht mit den Nutbreiten des Formeinsatzes überein und variiert überdies stark. Einzig die Höhe des Steges stimmt mit den Tiefen der Nut des Formeinsatzes gut überein. Hieraus lässt sich ableiten, dass der Prägeprozess prinzipiell für die Abformung diffraktiver Strukturen geeignet ist. Die Deformationen sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf die wirkenden Adhäsionskräfte der größtenteils planen Oberfläche in Kombination mit ungünstigen Prozessparametern im Heißprägeprozess zurückzuführen.

Aus diesem Grund wurden in weiteren Abformungsversuchen die Prozessparameter variiert. Die besten Abformungsergebnisse wurden mit dem Polymer COC Topas 8007 und einer Foliendicke von 200 µm erreicht. Hierzu wurden Formeinsatz und Folie auf etwa 100 °C erwärmt und anschließend eine Anpresskraft von 4 kN aufgewendet. Nach Abkühlen auf unter 50 °C wurden Formeinsatz und Folie voneinander getrennt. *Abbildung 5* zeigt eine weißlicht-interferometrische Messung einer diffraktiv strukturierten Folie. Hierbei fällt auf, dass die plastische Defor-

AIRTEC MUEKU GMBH
ENERGIE EFFIZIENZ
Wir schließen Ihren Energiekreislauf
Lufttechnische Anlagen
Abluftreinigung
Ventilatoren
Wärmerückgewinnungssysteme
Prozesskühlung
Modernisierung bestehender Anlagen
AIRTEC MUEKU GmbH
Im Ganzacker 1
56479 Elsoff / Germany
+49 (0) 2664 / 997386-0
info@airtec-mueku.de
www.airtec-mueku.de

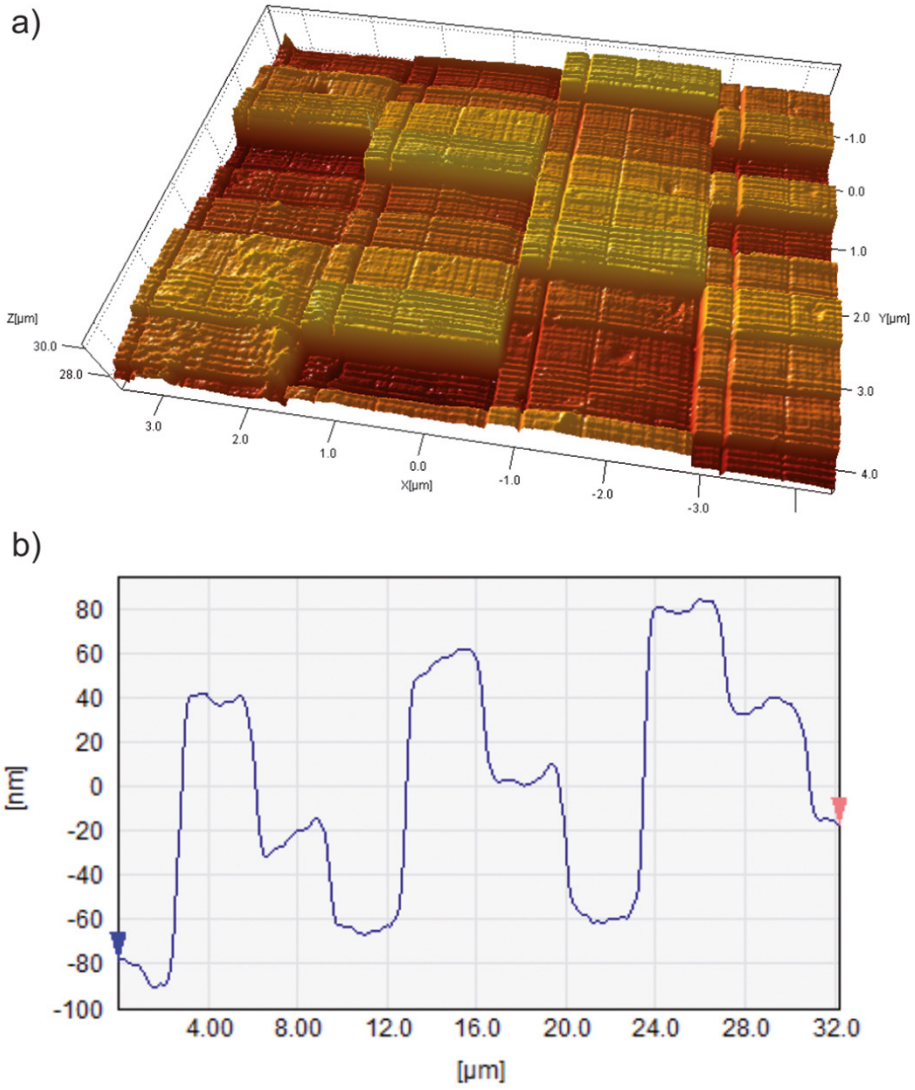


Abb. 5: Weißlicht-interferometrische Messung einer diffraktiv strukturierten Oberfläche in COC (a) sowie ein Profilschnitt dieser Oberfläche (b)

mation weitestgehend vermieden werden konnte. Die einzelnen Pixel sind deutlich zu erkennen und lassen sich voneinander unterscheiden. Ebenfalls erkennbar ist ein Defekt der Diamant-Werkzeugschneide, die sich als Riefe am linken Rand aller Strukturen abgebildet hat. Dass eine derart feine Struktur ebenfalls durch den Abformungsprozess abgebildet werden kann, spricht für die hohe Abformungsqualität des Prozesses.

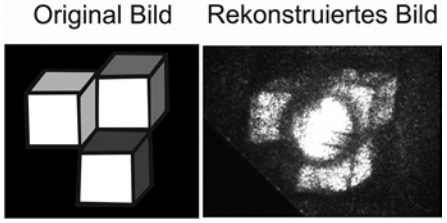


Abb. 6: Nachweis der optischen Funktionalität durch Vergleich von originalem Bild und Rekonstruktion bei Beleuchtung mit einem Laser

4 Optischer Funktionsnachweis geprägter Polymerstrukturen mittels Laserbeleuchtung

Die optische Funktionalität der abgeformten strukturierten Fläche konnte nachgewiesen werden. Hierzu wurde auf die Oberfläche zunächst eine dünne Goldschicht aufgebracht, um die Reflektivität der transparenten Folie herzustellen. Im Anschluss wurde die Folie im optischen Aufbau mit einem blauen Laser (Wellenlänge λ = 450 nm) beleuchtet (*Abb. 2*) und die reflektierte Strahlung in der Rekonstruktionsebene mit einer Kamera aufgenommen. Ein Ergebnis dieses optischen Tests ist in *Abbildung 6* dargestellt. Zu erkennen ist, dass das originale Bild und die Rekonstruktion eine große Ähnlichkeit aufweisen. Der weiße Punkt in der Mitte des rekonstruierten Bildes ist dabei nicht auf einen Fehler in der Abformung, sondern auf einen Fehler in der Berechnung des optischen Designs zurückzuführen.

5 Fazit und Ausblick

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass die Abformung von diffraktiv strukturierten Metalloberflächen in einem Heißprägeprozess sehr erfolgreich umgesetzt werden konnte. In zukünftigen gemeinsamen Kooperationen sollen Werkzeugherstellung und -replikation weiter optimiert werden. Hierbei ist unter anderem die Strukturierung von Walzen durch den Diamantdrehprozess geplant, die durch die KNMF im Anschluss ebenfalls durch einen R2R-Heißprägeprozess abgeformt werden sollen. Hierdurch soll die großflächige Strukturierung von Folien ermöglicht werden. Gegenstand dieser zukünftigen Untersuchungen sollen sowohl die Erprobung von verschiedenen Materialien für die Walzenherstellung und deren Verschleißverhalten im Prägeprozess als auch die Untersuchung unterschiedlicher Abformmaterialien mit Blick auf verschiedene industrielle Anwendungen sein.

Literatur

[1] A. Holthusen, O. Riemer, J. Schmütz, A. Meier: Mold machining and injection molding of diffractive microstructures; Journal of Manufacturing Processes 26 (2017), pp. 290-294, doi: 10.1016/j.jmapro.2017.02.014

[2] A. Holthusen, O. Riemer, E. Brinksmeier: Material Aspects for the Diamond Machining of Submicron Optical Structures for UV-Application; J. Manuf. Mater. Process. 2 (2018) 15, doi: 10.3390/jmmp2010015

[3] F. Thiemicke, C. Falldorf, R. Bergmann, A. Holthusen, O. Riemer, E. Brinksmeier: Multiple plane holographic projection using diamond turned holograms; Workshop on Information Optics (WIO) (2018), doi: 10.1109/WIO.2018.8643454

[4] Informationen hierzu unter www.knmf.kit.edu

[5] M. Worgull: Hot Embossing – Theory and Technology of Microreplication; William Andrew (2009), ISBN: 9780815515791

Danksagung

Diese Arbeit wurde durchgeführt mit finanzieller und personeller Unterstützung der Karlsruhe Nano and Micro Facility (KNMF), einer Forschungsinfrastruktur der Helmholtz-Gemeinschaft am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Die Autoren bedanken sich für die hilfreiche Unterstützung durch die beteiligten Kollegen am Institut für Mikrostrukturtechnik am KIT, insbesondere bei Markus Wissmann für die Untersuchung der Proben mittels Rasterelektronenmikroskopie

DOI: 10.7395/2020/Guttmann2

DÖRKEN MKS®
THE CORROSION EXPERTS

Unsere coolste Innovation: die Zinklamelle, die bei Raumtemperatur härtet.

Sparen Sie Zeit, Aufwand und Energie: DELTA-PROTEKT® KL 170 RT ist unsere flüssige Zinklamelleninnovation, die sogar schon bei Raumtemperatur härtet. Die smarte Lösung für alle Komponenten, die zu groß oder zu sensibel für einen Ofen sind oder nur eine Reparatur benötigen. Einfach zu handhaben, perfekt im Ergebnis und bereits serienmäßig in der Automobilindustrie im Einsatz. Das ist Hochleistungs-Korrosionsschutz von Dörken MKS – The Corrosion Experts. Mehr Infos unter **www.doerken-mks.de**

Substitution – ein Beitrag zur Zukunftssicherung

Von Dr. Uwe König, VECCO e.V.

Aufgrund der aktuellen europäischen Rechtsprechung zur REACh-Verordnung zählen die Bewertung von möglichen Alternativen und die daraus folgende Erstellung eines Substitutionplans zu den wesentlichen Inhalten der Autorisierung zur Nutzung von SVHC-Stoffen. Die Vorgaben des Gesetzgebers lassen der Gestaltung und dem Inhalt einen gewissen Spielraum, der aber zugleich zu zahlreichen offenen Fragen bei den betroffenen Unternehmen führt. Hilfreich ist die Berücksichtigung der Tatsache, dass als Alternativen nur solche Verfahren gelten, die technisch und wirtschaftlich in vertretbaren Zeiträumen umsetzbar sind. EU-Kommission, ECHA und nationale Behörden geben hierfür Hilfestellungen. Der Berücksichtigung des Standes der Technik kommt dabei eine wichtige Rolle zu. Denn die Umsetzbarkeit wird unter anderem auch dadurch ausgedrückt, wenn sie von einem nennenswerten Anteil der betroffenen Unternehmen bereits genutzt wird.

1 Einführung

Substitution hat es schon immer gegeben. Sie steht für unter anderem Verbesserung, Innovation, Produktentwicklung. Mit der Diskussion um die Realisierung der REACh-Verordnung wird als wesentliches Ziel der Austausch von gefährlichen Chemikalien diskutiert. Dies ist aber zu kurz gesprungen. In Deutschland wird eine erfolgreiche Substitution in den Vordergrund gestellt, die alle Aspekte einer Umstellung abdeckt. Dabei steht natürlich eine Erhöhung der Sicherheit im Vordergrund. So fordern die Gefahrstoffverordnung, das Chemikaliengesetz und die Arbeitsschutzverordnungen in Deutschland bereits seit langem die Überprüfung von Substitutionsmöglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit der Arbeitnehmer.

Eine wichtige Hilfestellung zur Bewertung liefern die speziell zur Unterstützung der Betriebe entwickeln Handlungsvorschläge in der TRGS 600 (*Substitution*). In der Anlage 3 zur TRGS 600 werden Kriterien für die Realisierung der Substitution zusammengestellt. Neben Sicherheitskriterien werden Vorschläge zur Bewertung von technischen und wirtschaftlichen Kriterien gemacht, die zur Beurteilung einer Realisierung herangezogen werden sollten. Eine weitere Unterstützung zur Bewertung der technischen Machbarkeit liefert die TRGS 460 (*Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik*) von 2018. Damit wurde versucht, die technische Machbarkeit für die Betriebe bewertbar zu machen. Beide Dokumente erlauben den Betrieben nun eine grundsätzliche Einschätzung von allgemein diskutierten Alternativen, die auch für die eigene Gefährdungsbeurteilung verwendet werden kann.

Seit Veröffentlichung des Urteils des EUG zu den Chrompigmenten [1] werden die Möglichkeiten zur Substitution von SVHC-Stoffen allerdings verstärkt kontrovers diskutiert. Nach Artikel 60.4 der REACh-Verordnung ist für eine Zulassung nachzuweisen, dass der sozioökonomische Nutzen das Risiko für die menschliche Gesundheit überwiegt und es keine geeignete Alternative gibt, wobei eine Alternative ein chemischer Stoff oder eine Technologie sein kann. Entbrannt ist die Diskussion an der durch das Urteil aufgeworfenen Frage, ob es *generell geeignete Alternativen* gibt und wie diese angewendet werden können.

Eine Position ist die, dass die technische Verfügbarkeit die umgehende und kompromisslose Nutzung bedingt. Hierzu sagt das Urteil aber, dass diese auch technisch und wirtschaftlich durchführbar sein muss. Darzustellen ist also, wie die *generell geeignete Alternative* so weiterentwickelt werden kann, dass sie genutzt werden kann. Die Art und Weise des Vorgehens müssen neben dem Nachweis des sozioökonomischen Vorteils in einem Substitutionsplan dargestellt werden. Dies bestätigt auch die Sichtweise der in Deutschland entwickelten Handlungsempfehlungen.

Praktisch bedeutet das, dass sobald auf dem Markt ein Produkt angeboten wird, welches für vergleichbare Anwendungen mit einer Alternative zu dem kritischen SVHC-Stoff hergestellt wurde, eine weitere Verwendung des SVHC-Stoffes an das Ziel einer Substitution geknüpft ist. Damit wird der Betrieb, der dies als erster durchführt, die Maßstäbe für eine weitere Nutzung setzen. Maßstab hierfür ist der Stand der Technik.

Nun ist gerade bei der Nutzung von Chromsäure keine Anwendung *1 zu 1* mit einer anderen vergleichbar. Ausführliche Analysen in den verschiedenen Anträgen auf Autorisierung haben das gezeigt. Die Frage richtet sich daher darauf, wie die Anwendungen verglichen werden können. Unstrittig ist, dass der Vergleich auf Produktebene nicht möglich ist; zum einen aufgrund der unübersehbaren Anzahl an Produkten selbst und zum anderen aufgrund des unterschiedlichen Einsatzes in der Endanwendung.

Unstrittig ist aber auch, dass gewachsene Prozessketten und Produktionsbedingungen nicht zwingend substituiert werden müssen. Allerdings haben sich die Anforderungen an die notwendigen Begründungen verstärkt. In der Dokumentation der Begründungen liegt nun die Herausforderung für die weiteren Diskussionen.

Als weitere Hilfestellungen wurde eine Vielzahl von Werkzeugen entwickelt, die genutzt werden können. So hat das TURI Institut der Universität von Massachusetts Lowell geeigneter Werkzeuge zusammengestellt [3].

Unstrittig ist allerdings zudem, dass eine abschließende Bewertung der Anwendbarkeit durchaus unterschiedlich interpretiert wird. Aus diesem Grund hat die EU-Kommission die Anforderungen an eine Substitution durch die Beschreibung der Handlungen im Rahmen eines Substitutionsplans konkretisiert.

2 Wann besteht die Notwendigkeit eines Substitutionsplans?

Auch wenn die Schwierigkeit oder Unmöglichkeit eines Vergleichs der Anwendungen auf Produktebenen besteht, hat der Europäische Gerichtshof sowohl dem Antragsteller als auch dem staatlichen Entscheidungsträger diese Aufgabe mit auf den Weg gegeben. Er hat gleichzeitig einige Punkte als Randbedingungen definiert, welche für die Entscheidungsfindung herangezogen werden müssen:

1. Risikominderung:
   die Alternative soll sicherer sein
2. Eignung in der EU:
   die Alternative muss im europäischen Wirtschaftsraum verfügbar und anwendbar sein, wobei für die Alternative gilt:
   (i) keine Alternative ist, wenn diese nur abstrakt oder im Labor oder unter außergewöhnlichen Bedingungen geeignet ist
   (ii) sie muss in der EU technisch und wirtschaftlich durchführbar sein
   (iii) sie muss unter dem Gesichtspunkt der Produktionskapazitäten für alternative Stoffe oder der Durchführbarkeit der alternativen Technologie und unter Berücksichtigung der rechtlichen und faktischen Voraussetzungen für das Inverkehrbringen verfügbar sein
3. Durchführbarkeit für den Antragsteller:
   Im Rahmen des sozioökonomischen Verfahrens muss auch [...] festgestellt werden, ob die im Rahmen des Zulassungsverfahrens festgelegten Alternativen für den Antragsteller technisch und wirtschaftlich durchführbar sind

Dabei stellt sich aber die grundsätzliche Frage, was nun unter ***Eignung*** zu verstehen ist. Hierzu hat die ECHA in Absprache mit der EU-Kommission folgende vorläufige Definition veröffentlicht [2]:

Eignung in der Europäischen Union bedeutet, dass die Alternative bereits entwickelt sein muss und bis zum Sunset Date oder, falls der Zulassungsantrag nach dem spätesten Antragsdatum gestellt wird, bis zum Datum der Entscheidung der Kommission in der EU für die beantragte Verwendung verwendet werden kann.

Daraus folgen einige Punkte, die für eine Entscheidung herangezogen werden können:

1. Eine Alternative ist nicht zu berücksichtigen, wenn sie noch nicht konkret umgesetzt werden kann oder dies bis zur Entscheidung der Kommission über den Zulassungsantrag nicht zu erwarten ist.
2. Ebenso sind Technologien oder Substanzen nicht zu berücksichtigen, die sich noch in Forschung und Entwicklung befinden.
3. Technologien und Substanzen, die allerdings bereits für vergleichbare Anwendungen genutzt werden, sind zu identifizieren und müssen hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit vom Antragsteller geprüft werden.

Der Antragsteller muss also prüfen, ob solche Alternativen für ihn und seine nachgeschalteten Anwender technisch und wirtschaftlich machbar sind. Die Notwendigkeit für die Erstellung des Substitutionsplans ergibt sich damit zwangsläufig bei Gültigkeit des dritten Punktes.

Die Verfügbarkeit einer geeigneten Alternative im Allgemeinen (wie oben definiert), die für den Antragsteller oder seine nachgeschalteten Anwender aktuell nicht durchführbar ist, ist de facto ein Auslöser für die Erstellung eines Substitutionsplans. Ein Substitutionsplan ist nicht erforderlich, wenn es im Allgemeinen keine geeigneten Alternativen gibt. Dies folgt aus den oben genannten Punkten 1 und 2.

Damit steht am Anfang der Arbeiten im Rahmen dieses von der EU-Kommission empfohlenen zweistufigen Konzepts stets das sogenannte SAGA-Konzept: *Suitable Alternative General Available*. Wird dies positiv bewertet, so muss ein Substitutionsplan vorgelegt werden. Ansonsten kann keine Autorisierung erteilt werden.

Wie entwickelt man nun aber einen adäquaten Substitutionsplan? Das ist die zweite Stufe der Konzepts.

3 Wie kann ein Substitutionsplan aussehen?

Nach Definition der EU-Kommission ist ein Substitutionsplan *eine Verpflichtung, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um den Stoff in Anhang XIV innerhalb eines festgelegten Zeitplans durch einen geeigneten alternativen Stoff oder eine geeignete Technologie zu ersetzen.*

Schlüsselelement des Substitutionsplans ist damit eine Liste von Maßnahmen, die zur Anwendung der alternativen Substanz oder Technologie erforderlich sind. Und zwingend ein Zeitplan für diese Maßnahmen.

Zweckmäßig ist die Beschreibung von Zwischenzielen in Form von Meilensteinen, in denen Unsicherheiten und mögliche Misserfolge berücksichtigt werden. Marktstudien, Investitions- oder Innovationspläne können hier ebenso einbezogen werden wie Forschungs- und Entwicklungsprogramme. Allerdings schafft der Substitutionsplan eine Verpflichtung, die Maßnahmen und den Zeitplan zur Substitution des gefährlichen Stoffes festzulegen und umzusetzen.

4 Realisierung eines Substitutionsplans als Upstream-Ansatz

Eine wesentliche Herausforderung ist die Vielzahl der Betriebe und Produkte. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die EU-Kommission für eine Anwendung spezifische Substitutionspläne erwartet. Gleichzeitig wird nicht erwartet,

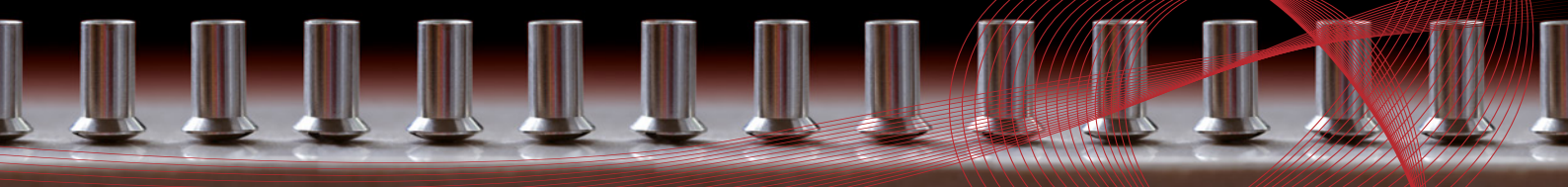
Customized Solutions
Oberflächenveredelung – Perfektion für Ihren Erfolg!

B + T
Unternehmensgruppe

Wir sind eine hochinnovative Unternehmensgruppe mit viel Erfahrung: Wir sind Mit- und Vorausdenker, Präzisionsexperte, Prozessoptimierer, Prüfspezialist, Problemlöser, Qualitätsmaximierer, Rundum-Dienstleister und Mehrwert-Erbringer.

Gern auch für Sie.

B+T Unternehmensgruppe



B+T Unternehmensgruppe | Telefon: +49 (0) 6441 7806-0 | info@bt-unternehmensgruppe.de | www.bt-unternehmensgruppe.de

dass jedes einzelne Unternehmen einen eigenen Substitutionsplan entwickeln muss.
Die Breite der aktuellen Anträge muss aber verringert und spezifiziert werden. Hierin unterscheidet sich der Substitutionsplan eines Upstream-Ansatzes deutlich von dem eines einzelnen und spezifischen Ansatzes beziehungsweise Antrags.
Aktuelles Vorgehen ist es damit, die einzelnen Anwendungen zu gruppieren. Hierzu entwickelt der VECCO e. V. eine Matrix zu Verwendungen und/oder Stofffunktionen.
Zunächst werden die Anwendungen gruppiert und es wird gemäß des SAGA-Konzepts bewertet, ob überhaupt ein Subsitutionsplan erstellt werden muss.
Zu betonen ist noch einmal, dass *kein* Substitutionsplan entwickelt werden muss, wenn es innerhalb der jeweils gewählten Gruppe *keine* durchführbaren Alternativen gibt.
Da es bei dem Substitutionsplan sowohl um eine technische als auch um eine marktwirtschaftliche Darstellung geht, ist es von Vorteil, auf bekannte Vorgehensweisen zurückzugreifen. Hier bieten sich die Erfahrungen *normaler* Forschungs- und Entwicklungsprojekte an, die immer auch eine Markteinführung zum Ziel haben. Weiterhin bieten sich Erfahrungen aus der Innovationstheorie und der Ressourcen- und Nachhaltigkeitsdiskussion an.
Gemeinsam haben alle Ansätze, dass man selbst aktiv wird. Nicht geeignet für einen Substitutionsplan sind pauschale Aussagen wie ***Der Markt wird es richten***. Allerdings können Kriterien wie *Treiber* und *Hemmnisse* adaptiert werden (*Tab. 1*).

Tab. 1: Treiber und Hemmnisse als Initiatoren für einen Substitutionsplan

Treiber	*Hemmnisse*
REACh	Technologien nicht verfügbar
Autorisierung	Fehlende Erfahrung
Kundenforderungen	Fehlende Ressourcen
Neue Marktchancen	Hohe Investitionskosten
Zukunftssicherung	Genehmigung
Einsparmöglichkeiten	Fehlender Einfluss Lieferkette
Andere Vorschriften National / EU	Kundenforderungen

5 Erfolg nur gemeinsam

Als Upstream-Ansatz ist die Mitarbeit möglichst vieler betroffener Unternehmen und Einrichtungen notwendig. Diesen Ansatz verfolgt der VECCO wie bereits verschiedentlich dargestellt:

1. *Gemeinsame Evaluierung aller verfügbaren Stoffe und Technologien*
   Es besteht nach wie vor ein großer Bedarf an Informationen über Beschichtungstechnologien, deren Vorteile, Risikosituation und Nachteile. Diese können gemeinsam mit den Anbietern dargestellt und bewertet werden.
2. *Sammlung von Erfahrungen zur Bewertung der Anwendbarkeit*
   Da immer wieder der Grad der Konkretisierung in der Diskussion angesprochen wird, sollen insbesondere die Erfahrungen von Anwendern mit den Potenzialen der Verfahrenslieferanten verknüpft werden. Die Ergebnisse werden dann den Anwendern zur Verfügung gestellt, um realistische Entscheidungen für mögliche Planungen zu haben.
3. *Benennung von konkreten Beispielen zur Anwendbarkeit und Erfahrungsaustausch*
   Ziel ist die Darstellung konkreter Beispiele, die klar zeigen sollen, was wodurch substituiert wurde, welche Anforderungen erfüllt werden müssen, wie lange es gedauert hat, und die Kosten und Nutzen dieser Substitution.
4. *Bewertung und Konkretisierung von Bedingungen zur Umstellung*
   Anhand der Beispiele werden die Bedingungen herausgearbeitet, die für eine Umstellung notwendig sind und die das Verfahren einhalten muss.
5. *Gemeinsame Projekte zur Forschung und Entwicklung*
   In einem Maßnahmenpaket (Maßnahme 5) hat die EU-Kommission entsprechende Unterstützung angekündigt:
   Die Kommission, die ECHA und die Mitgliedstaaten werden verstärkt Fördermaßnahmen treffen, um die Substitution von SVHC-Stoffen zu erleichtern. Dies kann auch die Förderung des Aufbaus von Kapazitäten und von Kooperationsnetzen sowie von F&E-Investitionen (der EU und der Mitgliedstaaten) in nachhaltige Chemikalien und technologische Innovationen umfassen.

Schlussendlich wird eine Risikoabwägung nur bei Vorlage von aussagefähigen Informationen erfolgen, da das Zulassungsverfahren sowohl eine Risikobewertung als auch eine Folgenabschätzung beinhaltet. Es soll daher nicht in erste Linie entweder eine gefahren- oder risikobasierte Substitution diskutiert werden, sondern es soll eine erfolgreiche und sinnvolle Substitution erfolgen.

6 Der Weg des VECCO

Der kooperative Ansatz hat den VECCO e. V. stark gemacht. Der VECCO e. V. will die Gemeinschaft und ihr spezifisches Know-how in der Oberflächentechnik nutzen, um der Herausforderung der Substitution zu begegnen:

- Aufbau eines Innovationsnetzwerks für die Oberflächentechnikindustrie
- Bewertung potenzieller Technologien für alle relevanten Anwendungen
- Gruppenspezifische (Cluster) Bewertung und individuelle Substitutionspläne, Entwicklung einer individuellen F&E-Roadmap für eine mittelfristige Perspektive
- Fortlaufende Definition und Überprüfung von Parameter für potenzielle Substitutionsszenarien

Da die Diskussion um die Substitution sich als wesentlicher Faktor entwickelt hat, wird der VECCO e. V. durch Konkretisierung, Initiierung von gemeinsamen FuE-Projekten und Erfassung von Daten zur verlässlichen Beschreibung der Situation der Betriebe den Diskussionsprozess aktiv begleiten. Die Ergebnisse werden allen Mitgliedern für die eigenen Diskussionen zur Verfügung gestellt werden. Sie sollen auch genutzt werden, um die Leistungen der Betriebe in der Laufzeit der Autorisierung darzustellen. Chancen und Risiken werden dabei gleichberechtigt behandelt.

➲ **www.vecco.info**

Literatur

[1] Urteil des EU-Gerichtshofs vom 7. März 2019 in der Rechtssache T-837/16, Schweden gegen Kommission

[2] Opinion on an Application for Authorisation (draft) Version 3; Consolidated version of the Opinion of the Committee for Risk Assessment and Committee for Socio-economic Analysis; ECHA September 2019 (format_rac_seac_opinions_en.pdf) on an Application for Authorisation

[3] https://www.turi.org/Our_Work/Alternatives_Assessment/Alternatives_Assessment/Alternatives_Assessment_Guidance

Grenzen der Alternativtechnologien zur Hartverchromung aus sechswertigen Elektrolyten

Von Michael Hekli und Martin Mader, Steinach/Schweiz

Zum online-Artikel

Eine 1:1-Substitution der Hartverchromung aus sechswertigen Elektrolyten ist unmöglich. Grund ist die Vielfalt positiver Eigenschaften und Charakteristiken dieser Technologie. Alternativtechnologien haben sich teilweise bereits seit Jahrzehnten etabliert, konnten aber die Hartverchromung nicht verdrängen. Dreiwertige Hartchromelektrolyte liefern Chrom-Legierungsschichten statt Chromschichten und erfordern eine thermische Nachbehandlung, die die Festigkeitswerte der meisten Konstruktionswerkstoffe nicht zulassen. Gegenüber herkömmlicher Hartverchromung ist nur geringere Qualität erreichbar und dies zu massiv höheren Kosten. Das thermische Spritzen erlaubt die Beschichtung mit einer Vielfalt an Materialien und Legierungen. Die Schichthaftung ist gegenüber der herkömmlichen Hartverchromung um Klassen tiefer. Die Spritzschichten sind durch Porosität und Oxidsäume gekennzeichnet. Energieaufwand und Spritzpulver sind Kostentreiber. Die Spritzpulver sind oft kobalt- oder nickelhaltig, die im Verdacht stehen, kanzerogen zu sein. Das mit dem HVOF verwandte Laserauftragsschweißen arbeitet mit Anlagen und Pulverförderern entsprechend dem thermischen Spritzen – die Energiequelle macht den Unterschied. Gegenüber dem thermischen Spritzen ist die Schichthaftung deutlich höher, kommt aber im High-End-Bereich nicht an eine gut ausgeführte Hartverchromung heran. Eine weitere Alternativtechnologie ist das Plasmanitrieren, das zur teilweisen Abdeckung von Hartchromeigenschaften einer Kombination mit der Dünnschichttechnologie bedarf. Diese kostenintensive Alternative kann aber nur spezielle Anwendungen abdecken, sofern die Kosten vom Markt akzeptiert werden. Verschiedene Verfahren der Galvanotechnik scheinen auf den ersten Blick interessant für Nischenanwendungen, arbeiten aber mit Komponenten, die zum Teil bereits eine Autorisierung erfordern, beziehungsweise Gefahr laufen, in Zukunft autorisiert werden zu müssen. Für Anwendungen im Bereich absoluter Großbauteile sowie für die Innenverchromung von Waffenrohren ist eine Substitution aus aktueller Sicht undenkbar. Im Rahmen der REACh-Autorisierung von Anwendungen sechswertiger Chromverbindungen sind die Anwender und damit vorwiegend die Verchromer unter anderem mit der Forderung der AoA (Analysis of Alternatives) sowie der Erstellung von Substitutionsplänen konfrontiert.

1 Chromschichten und Alternativen - Verfügbarkeit von Basisdaten

Der Zugang zu den Daten, die eine objektive Entscheidung zur Sinnhaftigkeit einer Substitution ermöglichen, ist oft nicht einfach. Nicht immer liegen gesicherte Ergebnisse von anwendungsspezifischen Vergleichstests vor. Und wenn sie vorliegen, gehören sie meist den Kunden. Anwendungsspezifische Vergleichstests sind mit hohem Aufwand und Kosten verbunden. Die Mehrzahl der Kunden will solch wertvolle Daten in der Regel vertraulich behandeln und keiner externen Stelle zugänglich machen. Verständlicherweise sind die Kunden des Beschichters oft nicht bereit, dieses über lange Zeit aufwändig erarbeitete Know-how offenzulegen, da die richtigen Schichtkombinationen einen wesentlichen Beitrag zur Performance der Komponenten leisten und somit potenzielle Alleinstellungsmerkmale für die Maschinen und Anlagen darstellen. Die Zusammenführung der Kenntnis von Lebensdauer bei verschiedenen Anwendungen gekoppelt mit der Kenntnis des Belastungskollektivs, sowie der jeweiligen Ausführung der Beschichtung (Verchromung und/oder Alternative) gelingt deshalb oft nur mit großer Mühe.

Um eine Alternativtechnologie für eine Anwendung bewerten zu können, muss zuallererst die spezifische Anwendung betrachtet werden. Folgende Ausführung geht auf die Anforderungen und spezifischen Rahmenbedingungen ein, erhebt allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

– Welche Art von Belastungskollektiv tritt auf?
  - Liegt ein tribologisches beöltes System vor oder muss das System gegen freie Bewitterung oder gar aggressive Gase oder Chemikalien beständig sein?
  - Gibt es einen tribologischen Partner? Falls ja aus welchem Werkstoff?
  - Wie hoch sind die Einsatztemperaturen und deren Extremwerte sowie Anstiegsraten?
  - Gibt es Punkt-, Linien- oder Flächenbelastung, sowie schlagende oder statische Zustände?
  - Ist das zu beschichtende Bauteil überwiegend erosivem oder abrasivem Verschleiß ausgesetzt?
– Welches Grundmaterial liegt vor?
– Wie ist die Konstruktion ausgeführt?
  - Wo muss, wo kann und wo darf nicht beschichtet werden?
  - Wie sind Übergänge zu gestalten?
  - Muss über scharfe Kanten beschichtet werden oder liegt eine Einbettung vor?
– Wie ist die Fertigungsvorgeschichte?
  - Wie wurde vorbearbeitet und was für ein Oberflächenzustand liegt vor?
  - Welcher Wärmebehandlungszustand (welche Festigkeit) liegt vor?
– Sonstige Anforderungen oder Funktionalisierungen durch die Beschichtung:
  - Welche Reibwerte sind erforderlich?
  - Muss die Oberfläche antiadhäsiv oder im Gegenteil benetzbar sein oder gar Flüssigkeiten fördern?
  - Soll die Oberfläche glatt oder strukturiert sein beziehungsweise muss gar eine spezifische Struktur übertragen werden?
  - Muss die Schicht dicht sein?
  - Muss das Grundmaterial vor Hitzeeinwirkung geschützt werden?
  - Müssen Materialübertragungen verhindert werden?
  - Soll und kann mechanisch nachbearbeitet werden?
  - Weitere Anforderungen je nach Anwendungsfall

Darüber hinaus hilft natürlich auch die Kenntnis und Erfahrung hinsichtlich der al-

ternativen Technologien, um sich im Einzelfall kostspielige Tests ersparen zu können, sofern die betrachtete Alternative eine erforderliche Eigenschaft systembedingt nicht liefern kann. Eine Hartchromschicht ermöglicht beispielsweise eine um Größenordnungen höhere Schichthaftung als zum Beispiel eine thermische Spritzschicht. Liegt unter Umständen eine thermische Belastung bis zu 1600 °C vor, kommt eine chemisch abgeschiedene Nickelschicht an ihr Limit. Aufgrund ihrer Zusammensetzung ist ab etwa 900 °C mit Anschmelzungen zu rechnen, während die konventionelle Chromschicht mit bis 1900 °C einer um fast 1000 °C höheren Temperatur standhält.

Hartchromschichten können über Prozess und Parameter in unterschiedlichster Ausführung abgeschieden werden und auf die eingangs beschriebenen Belastungskollektive optimiert werden. Beispiele der Variationsmöglichkeiten der Schichtausführungen und -eigenschaften sind vor allem (um die wichtigsten zu nennen):

- Abscheidezustand glatt oder definiert strukturiert
- System gleitend oder Steigerung des Reibbeiwerts bis hin zum Formschluss
- Schicht dicht bis porös
- Variation der Härte von unter 600 HV bis über 1200 HV möglich
- Fokus Korrosionsschutz
- Fokus Tribologie (Dünnschichtlösung z. B. Duralloy®, Dickschichtlösung Chrom-Diamant oder spezielle Beschichtung Umformwerkzeuge Hartchrom Teikuro®)
- Oberfläche antiadhäsiv und leicht abzulösen oder besonders adhäsiv
- Fokus maximale thermische und mechanische Belastbarkeit

Auf eine genaue Erklärung des breit gefächerten Eigenschaftsprofils von Hartverchromungen wird mit Verweis auf eine frühere Veröffentlichung [1] verzichtet.

Ein einfacher Ansatz zur Bewertung der Substitutionsfähigkeit ist die Aufstellung der Grenzen der Alternativtechnologien insbesondere vor dem Hintergrund der Stärken der Hartverchromung. Die Alternative zur Verchromung mit dem geringsten Arbeitsaufwand wäre der Verzicht auf die Verchromung: einfach nicht beschichten. Dies erfordert die Umstellung und Nutzung von höherwertigem Grundmaterial. Zum Beispiel die Umstellung auf martensitischen Edelstahl anstelle einer hartverchromten Gusswalze. Bei Kleinteilen ist dies gegebenenfalls praktikabel. Im großen Maßstab und großer Stückzahl wäre dies wirtschaftlich undenkbar, da Material und Bearbeitung zu extremen Kostensteigerungen führen würden. Eine Betrachtung weiterer Eigenschaften erübrigt sich dann bereits. Allgemein stellt die Summe an Eigenschaften der Chromschichten eine sehr hohe Hürde bei der Substitution dar. Also führt der Weg schnell wieder auf die Prüfung der Alternativtechnologien zurück.

2 Hartchrom aus dreiwertigen Chromelektrolyten

Bei einer Diskussion der Substitution von sechswertigem Chrom bei der Hartverchromung scheint ein Ersatz des Elektrolyten mit den enthaltenen SVHC-Stoffen durch einen Verchromungselektrolyt, der auf dreiwertigem Chrom aufbaut, erst einmal naheliegend (SVHC – Substance of Very High Concern – kritischer Stoff gemäß Einstufung durch ECHA). Leider ist es nicht so einfach.

Aus diesen Elektrolyten wird kein reines Chrom wie bei der Verchromung aus sechswertigen Chromsäureelektrolyten abgeschieden, sondern abhängig von den verwendeten Komplexmitteln und sonstigen neu erforderlichen Hilfsstoffen eine Chromlegierung mit anderen Schichteigenschaften. Diese Chromlegierungsschichten (Chrom-Kohlenstoff, Chrom-Phosphor und weitere) haben alle einen um mehrere Hundert Grad tieferen Schmelzpunkt als eine Hartchromschicht, die nahezu zu 100 % aus Chrom besteht. Eine Temperaturbelastung oder Wärmebehandlung nach der Beschichtung führt zu einem Aufhärten und massiver Steigerung innerer Spannungen. Dies klingt erst mal vorteilhaft, führt aber oft zu Haftungsproblemen und insbesondere zu starker Rissbildung, die die Barriere-Wirkung der Schicht zerstört.

Darüber hinaus kann es über die Co-Abscheidung von Hydroxiden zu massiven Haftungsproblemen und Störung der Elektrokristallisation bei der Schichtbildung kommen. Die Gründe hierfür sind Verarmung im Kathodenraum, unzureichende Pufferung sowie den Prozess störende instabile Chromverbindungen. Deswegen muss für eine bessere Qualität oft eine Membranelektrolyse verwendet werden, die die möglichen Anwendungen massiv einschränkt.

Wie bereits beschrieben, haben Schichten aus dreiwertigen Hartverchromungselektrolyten lange durchgehende Risse (*Abb. 1*); sie sind deshalb nicht dicht und der Korrosionsschutz ist durch die Verchromung allein nicht gegeben. Als Folge hiervon muss zusätzlich unternickelt werden. Dies schränkt die möglichen Anwendungen neben einem massiven Kostennachteil erneut erheblich ein. Außerdem entfällt die reinigende Wirkung sechswertiger Chromsäure. Die Vorbehandlung wird aufwändiger und es sind gegenüber der Hartverchromung oft sehr viel mehr Abscheidungsschritte in der Prozesskette erforderlich. Neben der kostenintensiveren Infrastruktur mit größerem Platzbedarf ist nach den Erfahrungen der Autoren auch eine teurere Chemie notwendig, die wiederum instabiler und weniger robust im Vergleich zu herkömmlichen Chromelektrolyten ist. Die Elektrolytführung wird sehr viel aufwändiger. Echte Langzeitstabilität ist nur durch Membranelektrolyse erreichbar.

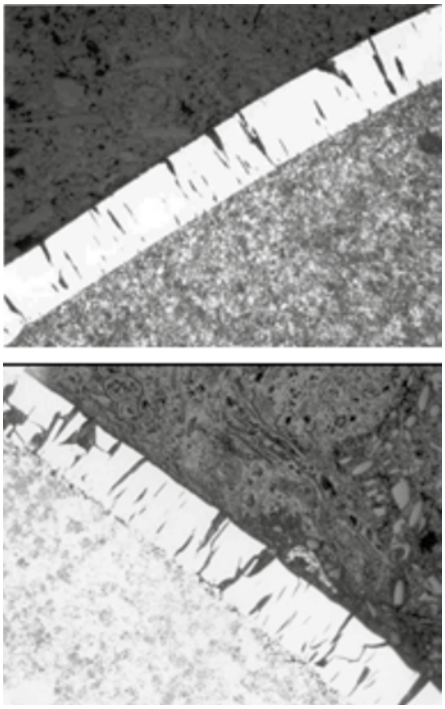


Abb. 1: Schichten aus einem von der Hartchrom AG entwickelten Elektrolyten auf Basis von Chrom(III) weisen durchgehende Risse auf

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

Unter WOMag-online.de steht der gesamte Beitrag zur Nutzung zur Verfügung. Im Weiteren werden die bisher erreichbaren Leistungen von Elektrolyten auf Basis von Chrom(III) zur Abscheidung von Hartchrom dargelegt. Zudem werden die Möglichkeiten der Verfahren des thermischen Spritzens, der Plasma- und PVD-Technologien sowie der galvanischen Beschichtungen auf Basis von Nickel und Kobalt erläutert.

Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 8 Seiten mit 12 Abbildungen.

DIA PRODUCTS – PREMIUM PLATING CHEMICALS

IPT International Plating Technologies bietet ein komplettes Sortiment an Verfahrenstechnologie für moderne Schichtsysteme.

Moderne Vorbehandlung für alle Substrate. Biologisch abbaubare Reiniger für die umweltbewußte Oberflächenbehandlung mit optimalen Kosteneffekten in der Entsorgung.

Innovative Kupfer-, Nickel-, Chrom- und Dispersionsverfahren ergeben ein extrem breites Spektrum für die Herstellung funktionaler Schichten für
> Reibwerterhöhung,
> Reibwertreduzierung,
> Verschleißschutz &
> Korrosionsschutz.

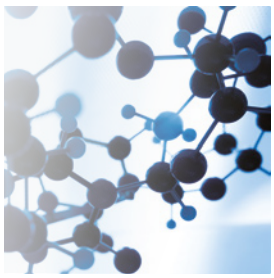
IPT CHEMICAL INTELLIGENCE

Tel. +49 (0)711 - 914 02 50-0
E-Mail sales@ipt-gmbh.com
www.ipt-gmbh.com

Funktionelle Präzisionsbeschichtungen für Komponenten aus Motoren- und Antriebstechnik, Textil-, Druck- sowie Werkzeugmaschinen und Maschinenbau

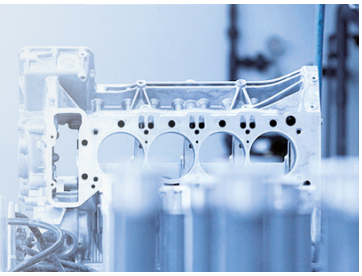
ENTWICKLUNG

> Beschichtungsverfahren
> Vorbehandlung für spezielle Werkstoffe (Sonderwerkstoffe)
> Verschleiß-/Korrosionsschutz-Beschichtungen



PRÄZISIONSSCHICHTEN
NACH MASS – DIAPLATE

> als integrierte Dienstleistung für alle Bauteile vom Einzelteil bis zur Serie.
Nutzen Sie unseren Service!
> Präzisionsbeschichtungen mit den eigenen Verfahren
> Prototypenbeschichtungen



LABOR

> Werkstoffanalyse
> Nasschemische Analyse
> Schadensanalyse
> Verfahrensentwicklung

VERFAHREN

> Chemisch/Galvanisch Nickel
> Hartchrom
> Kupfer
> Nickel Dispersionsschichten & Ternäre Legierungen für:
> Reibwerterhöhung (Diamant)
> Verschleißschutz (SiC, B_4C)
> Reibwertreduzierung (hBN)
> Antiadhäsiv (PTFE, PFA, PEEK)

PRODUKTE – DIAPRODUCTS

DIASHIELD
DIAPROTECT®
DIAGLIDE®
DIAGRIP®
ENDIS®
ENDIA®

CCT CERAMIC COATING TECHNOLOGIES

T +49 (0)711 - 907 346 - 0
info@cct-plating.com
www.cct-plating.com

CCT COMPOSITE COATING SERVICES

www.cscom.de

Nachhaltige Produktion: Kreislaufwirtschaftssystem in Produktionsprozessen ermöglichen

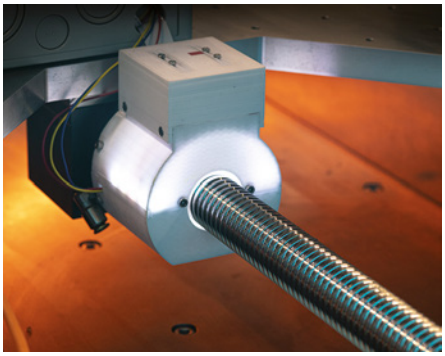
Neuer Forschungsschwerpunkt am KIT in Karlsruhe

Die Bevölkerung nimmt weltweit zu, zentrale Rohstoffe werden knapper. Auch produzierende Unternehmen müssen die Weichen für eine nachhaltige Zukunft stellen: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) untersuchen für diese Unternehmen, wie sie etwa mit autonomer Produktionssteuerung, der Reduktion von Verschleißteilen oder den Prinzipien einer ressourcenschonenden Fertigung den Produktionsprozess verbessern können. Ihr Know-how bündeln sie nun im neuen Forschungsschwerpunkt *Nachhaltige Produktion*.

Mit dem neuen Forschungsschwerpunkt *Nachhaltige Produktion* am wbk Institut für Produktionstechnik des KIT sollen Unternehmen künftig dabei unterstützt werden, ihre Produktionsprozesse vom linearen Wirtschaftsansatz zu zirkulären Ansätzen einer Kreislaufwirtschaft zu entwickeln. Diese beinhalten das Remanufacturing, also die Wiederaufbereitung gebrauchter Produkte, mit modularen Anlagen zur De- und Remontage, autonomer Produktionssteuerung und integrierter Qualitätssicherung sowie Produktionsnetzwerke und Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft.

DigiPrime: Informationsfluss in der Kreislaufwirtschaft

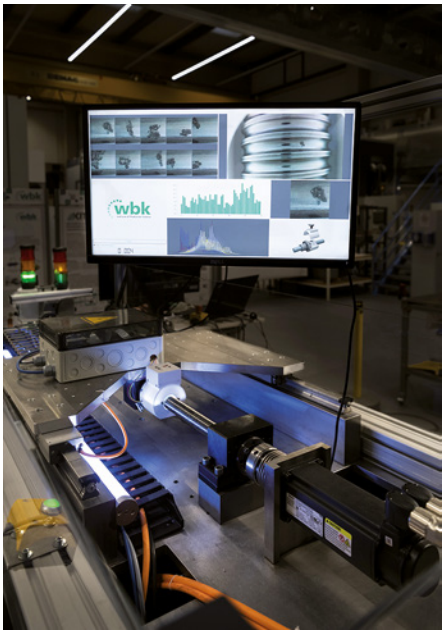
Eines von derzeit 15 Forschungsprojekten zu diesem Thema ist *DigiPrime – Digital Platform for Data-enhanced Circular Economy Business Models*. Im Rahmen von DigiPrime soll eine digitale Plattform entwickelt werden, um den wechselseitigen Informationsfluss zwischen verschiedenen Akteuren in der Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen und so sicherzustellen, dass keine Informationen im Verlauf der Wertschöpfungskette verloren gehen. Insbesondere Lebenszyklusdaten wie Nutzungsstatistiken und häufige Fehlerursachen können beispielsweise dazu dienen, interne Planungsprozesse der Wiederaufbereitung auch in diesem komplexen und dynamischen Umfeld zu verbessern. Das Projektteam möchte zudem Barrieren reduzieren, die bei der Bearbeitung, dem Verkauf und der Nutzung von Produkten im zweiten Lebenszyklus bestehen, indem es industrielle und gesellschaftliche Cluster integriert. In Pilotprojekten werden neue Konzepte entwickelt, erprobt sowie für eine marktreife Umsetzung vorbereitet. Die Europäische Kommission fördert das Projekt über eine Laufzeit von vier Jahren mit einem Projektvolumen von rund 15 Millionen Euro.



Ein am KIT entwickeltes System überprüft vollautomatisch den Verschleiß an Werkzeugmaschinen – und reduziert so Stillstandszeiten (Foto: Markus Breig, KIT)

Forschungsschwerpunkt zu Herausforderungen und Zielen der Industrie

Ein neuer Forschungsschwerpunkt entsteht am wbk nicht nur aufgrund theoretischer Überlegungen, sondern in sehr engem Austausch mit Partnern aus der Industrie. *Gemeinsam eruieren wir künftige Herausforderungen und Ziele und stellen so sicher, dass die erarbeiteten Lösungen direkt in der Wirtschaft umgesetzt werden*, so Professorin Gisela Lanza, Institutsleiterin am wbk Institut für Produktionstechnik des KIT. Ein Thema wird zum Forschungsschwerpunkt, wenn es wirtschaftlich, gesellschaftlich und technologisch von großer Relevanz ist und mehrere Forschungsvorhaben in dem Themenfeld bestehen. Darüber hinaus muss es am wbk übergreifend über die Forschungsbereiche aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet werden. Ein Forschungsschwerpunkt bleibt mitunter 15 Jahre lang bestehen – und damit weit über die Dauer der meisten Forschungsprojekte hinaus. Mit dem neuen Forschungsschwerpunkt wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Prozesse, Anlagen, Systeme und Netzwerke in Industrieunternehmen nachhaltiger gestalten und so die Ressourceneffizienz steigern.



Prüfstand für die Untersuchung von Laufbahnschäden am Kugelgewindetrieb (Foto: Markus Breig, KIT)

Die politische Relevanz des Themas zeigt sich – auch mit Blick auf die in Deutschland bis 2050 angestrebte Klimaneutralität – etwa auch in der Kreislaufwirtschaftsstrategie der Europäischen Union. Ziel ist unter anderem die Entwicklung nachhaltiger Prozesse und Produkte, die langlebig sind oder sich wiederverwerten, reparieren oder wiederaufbereiten lassen. Zudem soll der Bedarf nach neuen Ressourcen gesenkt werden.

Erste Schritte zur nachhaltigen Produktion

Auch Unternehmen, die zunächst weiter in linearen Produktionsketten arbeiten, werden von den Forscherinnen und Forschern da-

bei unterstützt, künftig effizienter mit Ressourcen umzugehen, indem sie einerseits ressourceneffiziente Komponenten entwickeln und entsprechende Anlagen gestalten und andererseits die Material- und Energieeffizienz von Fertigungsprozessen steigern. Ein Forschungsprojekt aus der vorausschauenden Instandhaltung zielt daher darauf ab, bereits bei Schrauben, Muttern und zugehörigen Komponenten möglichst ressourcenschonend zu arbeiten. So liegt der Fokus des Projekts *Acoustic Emission Sensorik* auf den Kugelgewindetrieben und der Frage, wie sie sich risikofrei möglichst lange im Betrieb halten lassen. Denn sie werden bislang meist sehr früh vorbeugend ausgetauscht, da sie das Risiko bergen, auszufallen und eine Werkzeugmaschine – und im schlimmsten Fall sogar die gesamte Produktion – vorübergehend stillzulegen.
Mit Acoustic Emission Sensorik, also Sensoren, die Ereignisse im niederfrequenten Ultraschallbereich zwischen 20 Kilohertz und 2 Megahertz wahrnehmen, lassen sich frühe Signale für einen nahenden Ausfall des Kugelgewindetriebs erkennen. Dies erlaubt es, den Kugelgewindetrieb zu überwachen und zum idealen Zeitpunkt auszutauschen, um weniger Kugelgewindetriebe zu verbrauchen. Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in Höhe von rund 266 000 Euro gefördert.

Ressourceneffizienz dank optimierter Prozesse

Als andere Methode, um die Fertigung ressourceneffizienter zu gestalten und auf Störgrößen im Prozess zu reagieren, kann die Oberflächenkonditionierung in der Zerspanung eingesetzt werden. Die DFG fördert das Schwerpunktprogramm mit einer Laufzeit von sechs Jahren mit zwölf Millionen Euro. Hierbei werden Prozesse erforscht, mit denen sich Bauteilrandschichten optimieren lassen. Ziel ist es, basierend auf der Kombination geeigneter Sensorik mit Simulationsrechnungen und mittels Künstlicher Intelligenz dynamische Vorsteuerungen beziehungsweise -regelungen aufzubauen. Somit erreichen die gefertigten Bauteile trotz vorliegender Störgrößen im Prozess den gewünschten Zustand. Dadurch werden Produkte langlebiger, der Materialeinsatz wird reduziert und die Energieeffizienz von Baugruppen entscheidend verbessert.

➲ **www.wbk.kit.edu**

Zum KIT

Als *Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft* schafft und vermittelt das KIT Wissen für Gesellschaft und Umwelt. Ziel ist es, zu den globalen Herausforderungen maßgebliche Beiträge in den Feldern Energie, Mobilität und Information zu leisten. Dazu arbeiten rund 9300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf einer breiten disziplinären Basis in Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- sowie Geistes- und Sozialwissenschaften zusammen. Seine 24 400 Studierenden bereitet das KIT durch ein forschungsorientiertes universitäres Studium auf verantwortungsvolle Aufgaben in Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft vor. Die Innovationstätigkeit am KIT schlägt die Brücke zwischen Erkenntnis und Anwendung zum gesellschaftlichen Nutzen, wirtschaftlichen Wohlstand und Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen. Das KIT ist eine der deutschen Exzellenzuniversitäten.

Nockenwellenmodul aus Kunststoff senkt CO_2-Emissionen

Kunststoff im Auto reduziert das Gewicht. Doch Nockenwellenmodule als ein wichtiger Bestandteil des Antriebstrangs werden bis dato noch immer aus Aluminium gefertigt. Einem Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT ist es jetzt gemeinsam mit Partnern gelungen, ein Nockenwellenmodul aus faserverstärkten Duromeren herzustellen. Das Leichtbauelement trägt zur Reduktion des Motorgewichts bei und senkt die Montagekosten. Es liegt derzeit als funktionsfähiger Demonstrator vor.

Nockenwellen sorgen im Verbrennungsmotor dafür, dass die Ladungswechselventile zuverlässig und präzise geöffnet und geschlossen werden. Sie sind im Nockenwellenmodul gelagert, das standardmäßig noch aus dem Metall Aluminium gefertigt wird. Doch Automobilhersteller und Zulieferer unternehmen große Anstrengungen, den Antriebsstrang und seine Bestandteile in Leichtbauweise zu produzieren. Die Gewichtsreduktion ist eine der effektivsten Methoden, den CO_2-Ausstoß zu senken. Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer ICT in Pfinztal unterstützen die Industrie mit einem neu entwickelten Nockenwellenmodul aus Kunststoff in ihrem Anliegen. Das Leichtbaumodul wurde gemeinsam mit dem MAHLE-Konzern und den assoziierten Partnern Daimler AG, SBHPP/Vyncolit N. V. und Georges Pernoud realisiert. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi fördert das Projekt.

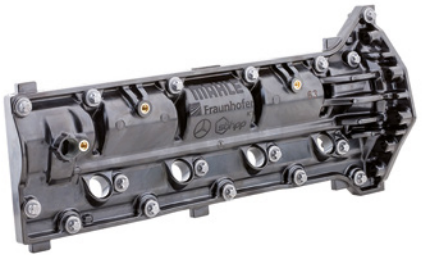
Das Nockenwellenmodul ist durch eine monolithische Bauweise mit integrierten Lagern gekennzeichnet (© Fraunhofer ICT)

Bei der Wahl des Kunststoffs setzen die Projektpartner auf hochfeste, faserverstärkte Duromere, da sie hohen Temperaturen, mechanischen und chemischen Belastungen, wie sie etwa durch synthetische Motoröle und Kühlmittel verursacht werden, sehr gut standhalten. *Wir steuern das Know-how bei, wie man die Geometrien des Bauteils material- und prozessgerecht gestalten muss, damit sie alle Anforderungen erfüllen*, sagt Thomas Sorg, Wissenschaftler am Fraunhofer ICT. Das Nockenwellenmodul befinde sich im Zylinderkopf, also in der Regel im oberen Bauraum des Antriebstrangs. Hier sei es besonders sinnvoll, Gewicht zu reduzieren, da es eine Absenkung des Fahrzeugschwerpunkts ermöglicht.

Klimaschutz im Fokus

Gussteile aus Aluminium müssen nach dem Vergießen aufwändig nachbearbeitet werden, dadurch entstehen hohe Kosten. Der Nachbearbeitungsaufwand von faserverstärkten Duroplasten ist vergleichsweise gering, sie lassen sich endkonturnah herstellen, was mit niedrigeren Kosten bei der Produktion einhergeht. Auch die Lebensdauer von Duroplast-Spritzgusswerkzeugen ist – bei bis zu 500 000 Stück – wesentlich höher im Vergleich zu Aluminium-Hochdruck-Gusswerkzeugen. Darüber hinaus weisen mit hohem Faseranteil verstärkte Kunststoffe gegenüber Aluminium einen deutlich geringeren CO_2-Fußabdruck auf, da das Leichtmetall in der Herstellung sehr energieintensiv ist. Ein weiterer Vorteil: Automobilhersteller sind bestrebt, Geräuschemissionen zu minimieren. Denn wenn ein Auto klappert, ist dies nicht nur lästig, sondern ein klarer Wettbewerbsnachteil. NVH-Eigenschaften (Noise, Vibration, Harshness) – eine Kombination von Geräusch, Vibration und Rauheit – stehen daher weit oben auf der Liste der Faktoren, die zur Beurteilung der Fahrzeugqualität herangezogen werden. Kunststoffe weisen ein gutes Dämpfungsverhalten auf. Insofern lässt sich das akustische Verhalten des Nockenwellenmoduls nach Aussage von Sorg sehr gut optimieren.

Das Nockenwellenmodul ist durch eine monolithische Bauweise mit integrierten Lagern gekennzeichnet, das heißt, es wird aus einem Guss gefertigt. Dadurch verringert sich der Montageaufwand im Motorenwerk. Der Fahrzeughersteller bekommt das Modul vorkonfektioniert vom Zulieferer und kann es mit wenigen Handgriffen auf den Motor montieren. Die eigenständige zeitaufwändige Installation des Bauteils entfällt. Ein zusätzliches Plus der innovativen Lösung: Inserts aus Aluminium an den hochbelasteten Stellen der Nockenwellenlager nehmen die direkten Kräfte auf.



Das Bauteil aus faserverstärkten Duromeren senkt das Gewicht des Motors (© Fraunhofer ICT)

600 Teststunden am Motorenprüfstand

Während erster Tests am Motorenprüfstand konnten der Wissenschaftler und seine Kollegen ein positives Laufverhalten beobachten. Auch eine Gewichtseinsparung gegenüber dem Referenzbauteil aus Aluminium ließ sich nachweisen. *Wir können das Nockenwellenmodul aus duroplastischem Werkstoff deutlich leichter fertigen als das Pendant aus Leichtmetall und dabei sogar wirtschaftlich im Spritzgießverfahren produzieren*, betont der Ingenieur. Simulationsrechnungen unterstützen die Auslegung und Absicherung des Prototyps bevor der Herstellungsprozess startet. Obwohl die Steifigkeit des Duromers nach den Worten von Sorg nur ein Viertel des Aluminiums beträgt, ist es den Forschern durch konstruktive Maßnahmen gelungen, die maximal zulässigen Verformungen einzuhalten. Die Funktionalität des Leichtbauelements erwies sich nach 600 Stunden sogenannter geschleppter Versuche am Motorenprüfstand in einem hochmodernen Otto-Verbrennungsmotor als einwandfrei. Mithilfe der anstehenden sogenannten befeuerten Versuche wollen die Projektpartner die Funktionalität und das NVH-Verhalten unter Berücksichtigung der Gaskräfte des Verbrennungsprozesses belegen. Katrin Schindele, Projektleiterin bei MAHLE, zeigt sich sehr zufrieden mit den Funktionsprototypen und den Versuchsergebnissen. Alle Projektbeteiligten hätten vollen Einsatz für das Nockenwellenmodul geleistet.

➲ www.ict.fraunhofer.de

Wir kennen keine Grenzen: individuelle Anlagentechnik für jeden Anspruch!

Surface technology made in Germany

- Galvanoanlagen
- Leiterplattenanlagen
- Rissprüfanlagen
- Reinigungsanlagen
- Luftfahrttechnik

25 Jahre MKV

MKV GmbH . Neumarkter Straße 40 . 90584 Allersberg
Telefon: 09176 9811-0 . E-Mail: info@mkv-gmbh.de
www.mkv-anlagen.de

Mit neuen Verfahren zu bakterienfreien Werkstoffen und keimfreien Lebensmitteln

Bakterien tummeln sich gern auf Bauteilen aus Kunststoff wie zum Beispiel Lichtschaltern, in Wasserrohren oder auch auf medizinischen Geräten. Abhilfe schaffen keimtötende Werkstoffe etwa Kupfer, die in die Kunststoffe eingearbeitet werden, oder spezielle antibakterielle Beschichtungen. Das Fraunhofer UMSICHT hat neue Wege entwickelt, das Wachstum von Bakterien auf Oberflächen zu reduzieren: Hierzu werden entweder antimikrobielle Wirkstoffe in oberflächennahe Schichten von Polymeren imprägniert, oder die Entstehung eines Biofilms wird durch die Unterbindung der Kommunikation zwischen den Bakterien verhindert. Die Verfahren werden kontinuierlich weiterentwickelt und in der Anwendung getestet – für den Consumerbereich, die Medizintechnik, für technische Applikationen und die Lebensmittelbranche.

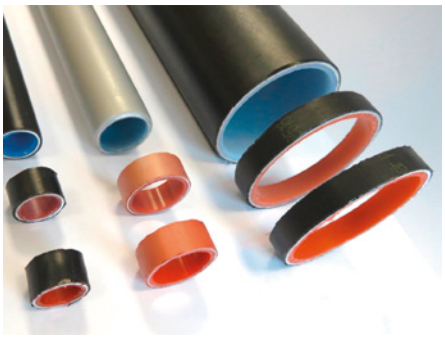
Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT forscht seit zehn Jahren an der antibakteriellen Imprägnierung von Werkstoffen, insbesondere Kunststoffen. Durch Kooperationen mit der Industrie entstand ein breites Know-how, das die Forschenden nun in neuen Anwendungsbereichen testen und zu vielversprechenden Lösungen kommen. Ziel ist es unter anderem, umweltfreundliche Alternativen zu antibakteriell wirkenden, aber toxischen Wirkstoffen oder zu sehr kostenintensiven Werkstoffen wie beipsielsweise Kupfer zu entwickeln. Vorteilhaft beim Imprägnierverfahren ist, dass nur geringste Mengen des antimikrobiellen Wirkstoffs eingebracht werden müssen und auch eine nachträgliche Ausstattung des fertigen Bauteils möglich ist. Ein weiteres Verfahren adressiert Oberflächen, auf denen sich Biofilme bilden können, wie zum Beispiel medizinische Geräte oder Wasserrohre. Hier kann die Kommunikation zwischen den Bakterien gezielt gestört werden, was die Bildung der Biofilme wirksam verhindert.

Kunststoffe mittels Hochdrucktechnik imprägnieren

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, um Kunststoffe mit speziellen Funktionen zu versehen: Entweder werden die gewünschten Additive durch Compoundierung in das Produkt eingebracht, oder die Wirkstoffe gelangen mittels nachträglicher Beschichtung der Oberfläche auf das Produkt. Die nachträgliche Beschichtung ermöglicht es, dass sich beispielsweise eine antibakterielle Wirkung genau dort entfaltet, wo sie wirken soll: an der Oberfläche. Das Fraunhofer UMSICHT entwickelte dazu ein Verfahren, das polymere Oberflächen mithilfe von überkritischem Kohlendioxid imprägniert. Überkritisches Kohlendioxid ist zur Imprägnierung ideal, weil es einerseits ähnlich leicht wie Gas in eine Oberfläche eindringen kann und gleichzeitig die Dichte einer Flüssigkeit aufweist. Zudem ist Kohlendioxid weder brennbar, noch toxisch, gut verfügbar und kostengünstig.
Für Anwendungen im Consumerbereich, wie zum Beispiel für Lichtschalter, werden während der Imprägnierung mit überkritischem Kohlendioxid nano- und mikroskalige Silberpartikel eingebracht. Hierdurch wird die Vermehrung von Bakterien gestoppt. Das überkritische Kohlendioxid öffnet die polymere Struktur und ermöglicht den Stofftransport an die Oberfläche. Nach Aussage von Nils Mölders, Abteilungsleiter Materialsysteme und Hochdrucktechnik am Fraunhofer UMSICHT, zeigten Tests, dass bereits nach einer Stunde alle Bakterien von der Oberfläche eines zuvor mikrobakteriell kontaminierten Lichtschalters entfernt worden sind. So genannte Auslaugtests waren ebenso positiv, da die Silberpartikel sich gemäß gängiger Normen (DIN-EN 71-3) nicht auswaschen. [1]

Kommunikation zwischen den Bakterien stören

Für sensible Anwendungsbereiche wie die Medizintechnik oder Trinkwasserinstallationen setzen die Fraunhofer-Forschenden auf *Quorum-Quenching-Naturstoffe*, um Nanopartikel und Silbersalze zu vermeiden. Hierbei geht es nicht darum, bereits entstandene Bakterien abzutöten, sondern die Kommunikation zwischen den Bakterien im Voraus so zu verhindern, dass sich erst gar kein Bakterienbiofilm bildet. *Wir verwenden verschiedene Naturstoffe, die die Eigenschaft besitzen, die Rezeptoren der Bakterien zu belegen und dadurch die Kommunikation zu verhindern und somit ihre schädliche Wirkung*, erklärt Karen Fuchs vom Fraunhofer UMSICHT. Die Stoffe sind umweltverträglich und nicht gefährlich für Mensch oder Tier. Daher eignen sie sich auch für den Schiffsbau, wo derzeit noch biozide Lacke gegen das Antifouling zum Einsatz kommen. Die Naturstoffe



Für sensible Anwendungen wie Trinkwasserrohre setzen die Fraunhofer-Forschenden auf Imprägnierung mit Naturstoffen, die die Entstehung eines Bakterienbiofilms verhindern (© Fraunhofer UMSICHT)

werden zur Immobilisierung mikroverkapselt oder mithilfe der Hochdruckimprägnierung in die gewünschten Materialoberflächen eingebracht, zum Beispiel in Lackformulierungen oder Trinkwasserrohre. Erste erfolgreiche Tests sind im Labormaßstab beim Fraunhofer UMSICHT durchgeführt worden; Feldversuche für Bootslacke sind in der Vorbereitung. Die Identifizierung und Validierung der Quorum-Quenching-aktiven Substanzen wird in Zusammenarbeit mit der Goethe-Universität Frankfurt, der Gutenberg-Universität Mainz und den Industriepartnern Brill & Partner sowie KEBOS durchgeführt

Gegen pathogene Keime auf Lebensmitteln

Einige Lebensmittel sind anfällig für Keime, sodass sich im Verarbeitungsprozess auf ihnen schädliche Mikroorganismen wie zum Beispiel Salmonellen ansiedeln können. In den vergangenen Jahren waren insbesondere Lebensmittel mit geringer Wasseraktivität vermehrt von Rückrufen aufgrund einer Kontamination betroffen. Zu diesen Nahrungsmitteln gehören Mandeln, Erdnüsse, Nusspasteten, Trockenfrüchte und -gemüse,

Karen Fuchs im Hochdrucktechnikum bei Vorversuchen an einer 60-mL-Hochdrucksichtzelle zur Imprägnierung von Mandeln (© Fraunhofer UMSICHT)

Trockenfleisch, Milchprodukte (z. B. Milchpulver) sowie getrocknete Tees, Kräuter und Gewürze. Für die Lebensmittelindustrie ergibt sich aus dieser globalen Entwicklung der dringende Bedarf an Dekontaminationstechnologien, die international einsetzbar sind und neben der Lebensmittelsicherheit eine hohe Lebensmittelqualität garantieren. Das Fraunhofer UMSICHT entwickelt zusammen mit Partnern der Universität in Alberta, Kanada, ein Verfahren, um pathogene Mikroorganismen auf Lebensmitteln durch den Einsatz von komprimiertem Kohlendioxid abzutöten. Den Forschenden ist es bereits gelungen, mithilfe von antimikrobiellen Ölen und unter Einsatz von überkritischem Kohlendioxid Mandeln im Labormaßstab zu dekontaminieren. Gleichzeitig sind die Mandeln durch die Imprägnierung keimresistent und ihre Qualität ist nicht beeinträchtigt. Die verwendeten Öle sind nach Aussage von Karen Fuchs ausschließlich pflanzliche Extrakte und CO_2 extrahiert, sodass sich das Öl beim Imprägnierprozess wieder in das komprimierte CO_2 einlöst und in die zu imprägnierende Oberfläche eindringt und seine Wirkung erzielt. Die Verwendung von CO_2 hat den weiteren Vorteil, dass es rückstandsfrei von den Mandeln abgetrennt und nach dem Prozess recycelt werden kann. Nächstes Ziel ist es, das Verfahren auf andere Lebensmittel zu übertragen.

Literatur

[1] N. Mölders, M. Renner, C. Errenst, E. Weidner: Incorporation of antibacterial active additives inside polycarbonate surfaces by using compressed carbon dioxide as transport aid; in: The Journal of Supercritical Fluids, Volume 132, February 2018, p. 83-90

➲ **www.umsicht.fraunhofer.de**

Verständnis von Materialien verbessert Hüftimplantate

Forschungsteam am Max-Planck-Institut für Eisenforschung MPIE veröffentlicht neueste Erkenntnisse zur Materialabnutzung in Hüftimplantaten

Zum online-Artikel

2015 wurden in den Industrieländern 1,8 Millionen Hüftoperationen durchgeführt. Aufgrund der höheren Lebenserwartung wird die Zahl der Hüftendoprothesen schätzungsweise auf 2,8 Millionen bis 2050 ansteigen. Am Ende des letzten Jahrtausends hielten künstliche Hüftprothesen nur etwa zehn Jahre. Seitdem haben sich Ärzte verstärkt mit Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern zusammengetan, um länger haltbare Implantate zu bauen, mit dem Ziel, Revisionsoperationen nach der Implantation zu vermeiden. Die Forscher befassen sich unter anderem mit der Freisetzung von winzig kleinen Metallpartikeln und Ionen aus dem Implantat in das umgebende Gewebe, ein Prozess, der durch kombinierte Mikrobewegungen und Korrosion zwischen den modularen Teilen der künstlichen Hüfte beschleunigt wird. Um die zugrundeliegenden Mechanismen auf atomarer Ebene zu identifizieren, analysierten Dr. Michael Herbig, Leiter der Gruppe *Materialwissenschaft der mechanischen Kontakte* am Max-Planck-Institut für Eisenforschung (MPIE), und sein Team, Kobalt- und Titanlegierungen, die in Hüftimplantaten verwendet werden. .....

Internationales Kooperationsprojekt zur Berufsbildung in der Galvanotechnik

Von Dominique-Navina Pantke und Klaus Schmid, Fraunhofer IPA

Galvanotechnik spielt national und international eine bedeutende Rolle. Wie in WOMag 4/2020 berichtet, arbeiten das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, und das Metallurgy and Materials Science Research Institute (MMRI) der Chulalongkorn Universität Bangkok zusammen, damit auch die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Galvanotechnik künftig ihrer weltweiten Bedeutung besser Rechnung trägt. Bei einer Untersuchung der thailändischen Galvanikbranche in den Jahren 2016 und 2017 wurde deutlich, dass die thailändische Industrie nicht über genügend und ausreichend ausgebildete Fachkräfte verfügt. Das Projekt SCHOOLPLATE soll das nun ändern.

Das Fraunhofer IPA und das MMRI verbindet mittlerweile eine langjährige Zusammenarbeit. Gemeinsam mit dem neu gegründeten Industrieverband TEPNET, dem Thailand Electroplating Professional Network, wurden im Rahmen des Projekts *ECOPLATE* eine Umfrage sowie verschiedene Workshops und Diskussionen durchgeführt, um die Anforderungen und Probleme der Galvanotechnik-Branche zu ermitteln. Neben den Themen Energieeffizienz und Schadensfallanalyse wurde auch die berufliche (Aus-)Bildung lebhaft diskutiert. Die thailändischen Kollegen berichteten dabei von fehlenden Fachkenntnissen ihrer Belegschaft und von zu wenigen und zu schlecht ausgestatteten Ausbildungseinrichtungen, die junge Menschen an die Oberflächentechnik heranführen sollen.

Auftakttreffen im Januar 2020 und gemeinsame Unterzeichnung des Kooperationsvertrages durch das BIBB und das Fraunhofer IPA (Quelle: BIBB)

In Thailand sind Berufsschulen, sogenannte Technical und Vocational Colleges, fest im Bildungssystem verankert; es besteht die Möglichkeit, einen Abschluss über einen rein schulischen Weg, einen dualen Zweig oder mittels verschiedener Kurzprogramme zu erlangen. Gerade im dualen Bereich jedoch sind Kooperationen mit Betrieben nicht so etabliert wie beispielsweise in Deutschland, was auf den ersten Blick auch die fehlenden Fachkenntnisse erklärt. Zudem genießen Hochschulabschlüsse in Thailand generell ein höheres Ansehen als eine berufliche Ausbildung, weshalb viele Menschen diesen Weg erst gar nicht einschlagen.[1]

Nach Gesprächen mit deutschen sowie thailändischen Einrichtungen wurde das Projekt *Berufliche Bildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für Galvanotechnik in Thailand* (SCHOOLPLATE) ins Leben gerufen. Unter Federführung des Fraunhofer IPA arbeitet das Team, das auch aus KollegInnen des MMRI und des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) besteht, an einem zukunftsfähigen Konzept, um als übergeordnetes Ziel den Fachkräftebedarf der thailändischen Galvanikindustrie zu decken. Mithilfe der Expertise aller beteiligten Projektpartner kann dies sowohl auf fachlicher als auch auf pädagogischer Ebene gelingen.

Das Projekt ist in mehrere Phasen unterteilt; im ersten Jahr werden zunächst die wesentlichen Eckpunkte bezüglich der örtlichen und beruflichen Bedarfe der thailändischen Betriebe ermittelt. Aufgrund der aktuellen Reisebeschränkungen muss dies leider hauptsächlich per Online-Fragebogen erfolgen. Die notwendige Validierung durch Besuche vor Ort wird zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden.

Ziel dieser Sondierungsphase ist es, bis zum Jahresende den Status quo festzustellen: zu wissen, wie viele Betriebe in welcher Region wie viele Mitarbeitende benötigen, welchen Wissensstand diese im Idealfall mitbringen sollten oder bei einer Tätigkeitsaufnahme in einem einschlägigen Betrieb gegebenenfalls erweitern müssen. In einer angestrebten zweiten Phase sollen dann auf Basis der erlangten Daten konkrete Möglichkeiten für eine Ausbildungsgestaltung erarbeitet und erprobt werden.

➲ **www.ecoplate.fraunhofer.de**

Projekt-Steckbrief

Titel	Berufliche Bildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für Galvanotechnik in Thailand (SCHOOLPLATE) – Sondierungsphase
Laufzeit	1. Januar 2020 bis 31. Dezember 2020
Partner	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart; Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), Bonn; Materials Science Research Institute (MMRI), Chulalongkorn Universität, Bangkok
Förderung	189 905 Euro, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung Förderkennzeichen 01BE19001A

Fraunhofer IPA

DIE OBERFLÄCHE

Das Fraunhofer IPA verleiht den Preis *DIE OBERFLÄCHE 2020* für die innovativsten Anwendungen und Technologien aller Disziplinen der Oberflächentechnik. Bewerbungen werden noch bis zum **14. August** entgegengenommen. Weitere Informationen zum Wettbewerb sind zu finden unter:

www.ipa.fraunhofer.de/die_oberflaeche

Schlötter
Galvanotechnik

So glänzend wie die Natur...

Chrombad SLOTOCHROM DR 1140

Das auf Sulfatbasis aufgebaute dreiwertige Chrombad besticht durch konstante Abscheidebedingungen und durch seine optisch besonders hellen Schichten.

Die Vorteile sind:

- ansprechender Farbton nahe am Chrom (VI)
- konstante Schichtdicken bis 0,3 µm möglich
- praxiserprobt, bereits 40.000 ltr. im Einsatz
- volle Analysierbarkeit der Zusätze
- keine PFOS-haltigen Zusätze
- hohe Wirtschaftlichkeit

DIN EN ISO 9001: 2015 /
14001: 2015 / 50001: 2011

Verfahren · Forschung
Service · Anlagentechnik

Dr.-Ing. Max Schlötter GmbH & Co. KG

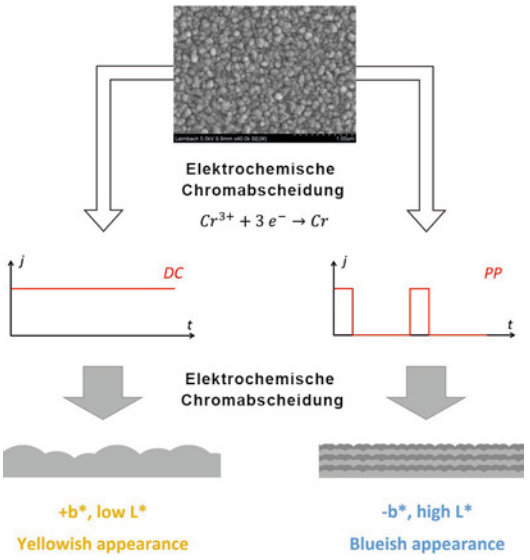
T +49 (0) 7331 205-0 · www.schloetter.de

Abscheidung von dekorativen Chromschichten mittels niederfrequenter Pulsabscheidung zur Anpassung des optischen Erscheinungsbilds

Von Martin Leimbach[1)], Christoph Tschaar[1,2)], Udo Schmidt[1)] und Andreas Bund[1)]

Zum online-Artikel

Das optische Erscheinungsbild von galvanisch abgeschiedenen Chromschichten ist eines der wichtigsten Kriterien für deren dekorative Anwendung. Für die dekorative Verchromung werden zunehmend Elektrolyte auf Basis von dreiwertigem Chrom als Ersatz für die bisher verwendeten Elektrolyte auf Basis von sechswertigem Chrom eingesetzt. Chrom aus Elektrolyten mit dreiwertigen Chromverbindungen neigt jedoch dazu, bei Dicken über 100 nm einen gelblichen Farbton zu haben, was für die meisten Anwendungen unerwünscht ist. Die Farbverschiebung hängt mit einer Änderung der Oberflächenmorphologie aufgrund des Wachstums der Chromkeime zusammen. Durch die Verwendung von gepulstem Strom mit Einschaltzeiten im Bereich von Sekunden wird das unerwünschte Kornwachstum unterdrückt und die Bildung frischer Kerne begünstigt. Dadurch bilden sich kompakte Chromschichten mit feinerem Gefüge und verbesserten Farbwerten. Ein bläuliches Aussehen und ein hoher Glanz werden bis zu einer Dicke von mehr als 200 nm beibehalten. Basierend auf den Ergebnissen wird eine Kombination aus konstantem und gepulstem Strom vorgeschlagen, die ein ähnliches visuelles Erscheinungsbild ergibt wie nur bei gepulstem Strom, jedoch die angestrebte Schichtdicke in deutlich kürzerer Zeit erreicht.



Hinweis

Der vorliegende Artikel wurde in der Erstfassung im Journal of Applied Electrochemistry in englischer Sprache veröffentlicht unter der folgenden Bezeichnung:

M. Leimbach, Chr. Tschaar, U. Schmidt, A. Bund: Low-frequency pulse plating for tailoring the optical appearance of chromium layers for decorative applications; Journal of Applied Electrochemistry, 50 (2020), p. 489–499, http://doi.org/10.1007/s10800-020-01406-3

1 Einleitung

Die galvanische Abscheidung von Chrom für dekorative Anwendungen spielt in der Oberflächenveredelungsindustrie eine herausragende Rolle, insbesondere in den Industriebereichen Sanitär, Automobil, Ladenbau, Haushaltswaren oder Beschichtung von Kunststoffen (um nur die wichtigsten zu nennen) [1]. Bei diesen Anwendungen sind Chromschichten in der Regel mehrere hundert Nanometer dick und zeigen in Kombination mit darunter liegenden Schichten aus Glanz- oder Halbglanznickel einen sehr guten Glanz und eine hohe Korrosionsbeständigkeit [2]. Verfahren mit auf diese Anwendung hin optimierten Chromsäureelektrolyten sind seit vielen Jahrzehnten Stand der Technik bei der dekorativen Verchromung [3]. Die Verwendung von sechswertigen Chromverbindungen wird jedoch aufgrund ihrer Toxizität und Karzinogenität immer mehr eingeschränkt [4, 5]. So wurden in den 1970-er Jahren Abscheideverfahren auf Basis von dreiwertigen Chromsalzen als weniger schädliche Alternative zu Chromsäureelektrolyten mit Chrom(VI) in die Industrie eingeführt [6]. Die Reduktion von dreiwertigem Chrom in den Elektrolyten erfolgt in zwei Schritten:

$$Cr^{3+} + e^- \rightarrow Cr^{2+} \qquad \text{<Gl. 1>}$$

$$Cr^{2+} + 2e^- \rightarrow Cr0 \qquad \text{<Gl. 2>}$$

Üblicherweise werden dem Elektrolyten organische Substanzen zugesetzt, um die Effizienz der Reaktion gemäß *Gleichung <2>* zu erhöhen [7, 8]. Heute sind in Europa, Nordamerika und Ostasien zwar eine Vielzahl kommerziell erhältlicher Elektrolyte auf Basis von dreiwertigen Chromverbindungen verfügbar [9]. Allerdings erfüllen die technisch einsetzbaren Prozesse auf Basis der dreiwertigen Chromverbindungen die Anforderungen in Bezug auf die Optik nicht vollständig. Während Chrom aus einem Chrom(VI)elektrolyten ein bläuliches Aussehen besitzt, ist für die Schichten aus den meisten Chrom(III)-elektrolyten ein leicht gelber oder dunkler Farbton charakteristisch [10]. Außerdem ist die Reproduzierbarkeit einer bestimmten Farbe nur bedingt möglich. Dies ist eindeutig auf ein mangelndes grundlegendes Verständnis der Einflussfaktoren auf das optische Erscheinungsbild zurückzuführen. Neben ästhetischen Überlegungen sind diese Aspekte von entscheidender Bedeutung, wenn galvanisch verchromte Teile verschiedener Lieferanten gemeinsam verbaut werden. Ziel ist es, einen prozessstabilen Farbton im blauen Bereich des Farbspektrums zu erhalten, der dem Erscheinungsbild von Teilen aus Chrom(VI)elektrolyten möglichst nahekommt. Letztere gelten nach wie vor als Benchmark für die dekorative Verchromung [11].

In einer vorhergehenden Publikation der Autoren [12] wurde gezeigt, dass die Farbe der

[1)] Fachgebiet Elektrochemie und Galvanotechnik, Technische Universität Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Straße 6, D-98693 Ilmenau

[2)] Hansgrohe SE, Auestraße 5-9, D-77761 Schiltach

Chromschicht von der Morphologie der Oberfläche abhängt und durch geringe Mengen an Verunreinigungen beeinflusst wird. Bei der Abscheidung aus einem dreiwertigen Chromelektrolyten nehmen die Korngröße und die Rauheit während des Schichtwachstums zu. Dies führt zu einer Farbverschiebung von bläulich bei sehr geringer Dicke zu gelblich bei Dicken über 100 nm. Im Gegensatz dazu bleiben die Oberflächenmorphologie und das visuelle Erscheinungsbild bei Chromschichten aus sechswertigen Elektrolyten nahezu konstant.

Um ein bläuliches Aussehen für ein dreiwertiges System und gleichzeitig eine gute Beständigkeit der Beschichtung zu erzielen, muss eine feinkörnige Oberflächenstruktur für Schichtdicken von mehreren hundert Nanometern realisiert werden. Durch die Anwendung von gepulstem statt des sonst gebräuchlichen konstanten kathodischen Stroms kann das Kornwachstum aufgrund der periodischen Unterbrechung des Abscheidungsprozesses unterdrückt werden [13]. Mit dem Beginn jedes Stromimpulses erfolgt die Bildung von frischen Keimen, so dass in der Summe eine insgesamt feinkörnige Kristallstruktur vorliegt.

Puls- und Pulsumkehrbeschichtung wurden sowohl für die Abscheidung aus sechswertigen [14-16] als auch dreiwertigen [17-19] Systemen angewendet, meist bei Frequenzen zwischen 10 Hz und 10 kHz. Bei diesen Bedingungen wurde für die Chromabscheidung eine erhöhte Stromausbeute beobachtet. Dies wurde dadurch erklärt, dass während der Strompausen adsorbierter Wasserstoff von der Oberfläche entfernt wird und Chromionen an die Elektrodenoberfläche nachgeliefert werden können [20]. Dieser Effekt beeinflusst die Kornstruktur und Texturbildung der Chromschichten, was zu verbesserten mechanischen Eigenschaften [21] und einer höheren Korrosionsbeständigkeit führt [22]. Entsprechende Ansätze waren bisher vor allem darauf ausgerichtet, dickere Chromschichten für funktionelle Anwendungen herzustellen. Sie legten weniger Wert auf das optische Erscheinungsbild. Für die Anpassung der Farbe einer Chromoberfläche durch Verfeinern der Oberflächenmorphologie im Nanometerbereich, scheinen allerdings Pulsdauern und Ausschaltzeiten im Bereich von Sekunden günstig zu sein [23]. Ein neuerer Ansatz diskutiert die Anwendung der Niederfrequenz-Pulsbeschichtung mit Frequenzen von unter 1 Hz zur Verringerung der inneren Spannung von Chromschichten [24, 25].

Die Pulsabscheidung ist eine leistungsstarke Technik, bei der der Strom über verschiedene Parameter über einen weiten Bereich geändert werden kann. Für die vorliegende Arbeit wurden zwei verschiedene Pulsvarianten für die galvanische Abscheidung von Chrom aus einem dreiwertigen Elektrolyten ausgewählt. Die Ergebnisse werden mit Proben verglichen, die bei konstantem Strom aus der selben Lösung beschichtet wurden. Farbwerte wurden gemessen und REM-Bilder der Chromoberflächen aufgenommen, um das optische Erscheinungsbild und die morphologischen Eigenschaften der Schichten zu bewerten. Für das Niederfrequenz-Pulsregime wurden verschiedene Stadien des Schichtwachstums beobachtet, so dass Rückschlüsse auf die Keimbildung und das Wachstum von Chrom gezogen werden können. Die Ergebnisse der vorhergehenden Arbeit der Autoren über die Beziehungen von Farbe und Morphologie von galvanisch abgeschiedenen Chromschichten [12] wurden als Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse herangezogen.

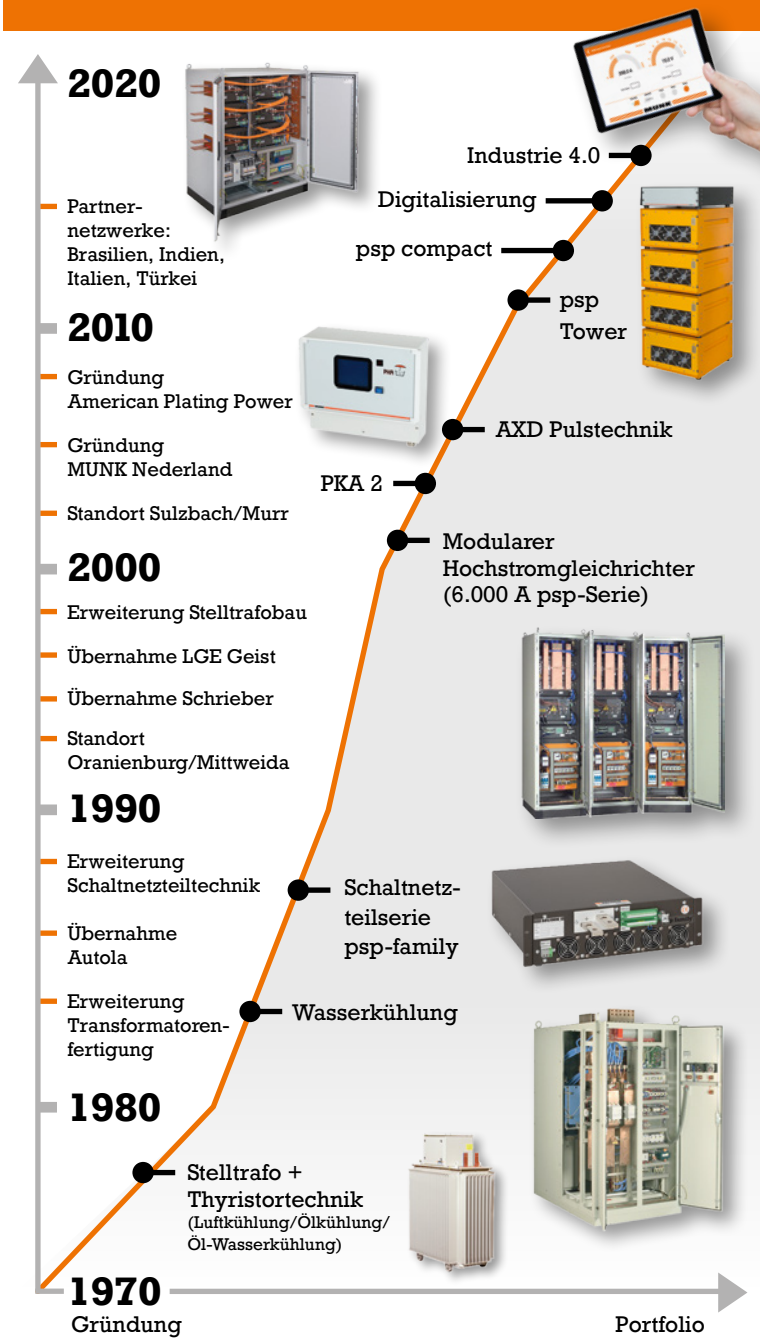
2 Experimentelles

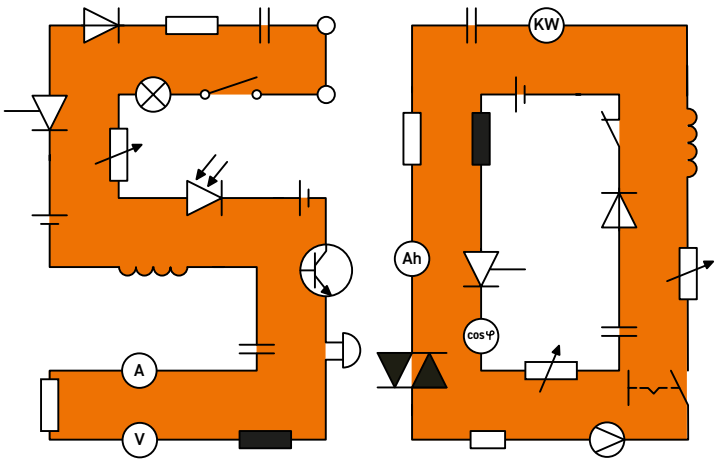
2.1 Probenvorbereitung

Als Substrate wurden polierte Messingbleche (Größe 5 x 7,5 cm²) verwendet. Die Bleche wurden mit einem handelsüblichen alkali-

Gleichrichtergeräte
für die Oberflächentechnik

Unser Portfolio ≙ Ihr Nutzen!





Internationale Fachmesse
für Oberflächentechnik
NEUER TERMIN!
27. – 29. Oktober 2020
Surface Technology GERMANY

MUNK
WE HAVE THE POWER!
Gewerbepark 8 + 10 ■ 59069 Hamm/Germany
www.munk.de ■ www.rectifier.com

Tab. 1: Zusammensetzung des verwendeten Elektrolyten zur Abscheidung von Glanznickel (ORION 4000, Kiesow Dr. Brinkmann GmbH & Co. KG) [26]

Parameter	*Zahlenwert*
Nickel (Ni^{2+})	75 g/l (1,3 mol/l)
Chlorid (Cl^-)	40 g/l (0,6 mol/l)
Borsäure (H_3BO_3)	18 g/l (0,5 mol/l)
Nickelzusatz 520	15 ml/l
Nickelzusatz TR A	3 ml/l
pH-Wert	4,4
Temperatur	55 °C

schen Elektrolytreiniger (HSO Uni 1, Herbert Schmidt GmbH, Solingen) entfettet. Dazu wurde über einen Zeitraum von 4 min eine kathodische Stromdichte von 2 A/dm² angelegt. Als Anodenmaterial diente Edelstahl. Nach dem Entfetten wurden die Proben zur Aktivierung in 10-Vol.-%ige Schwefelsäure getaucht und mit 10 µm Nickel aus einem handelsüblichen hellen Nickelelektrolyten [26] beschichtet. In *Tabelle 1* sind die Kenndaten des Nickelelektrolyten aufgeführt. Als Anodenkörper wurde schwefeldepolarisiertes Nickel verwendet.

Die Abscheidung von Chrom erfolgte aus einem handelsüblichen Elektrolyten auf Basis von Chrom(III)sulfat (SAPHIR 2000, Kiesow Dr. Brinkmann GmbH & Co. KG) bei pH 3,2 und einer Temperatur von 55 °C [27]. Die Abscheidung erfolgte in einem Becherglas mit zwei parallel angeordneten Metalloxidanoden (De Nora GreenChrome®). Während der Abscheidung wurden die Probenbleche parallel zu den Anoden mit einer Geschwindigkeit von 6 cm/s bewegt, um die Entfernung von anhaftenden Wasserstoffblasen von der Oberfläche zu unterstützen und den Massentransport zu erleichtern. Der gleiche Aufbau wurde sowohl für Abscheideversuche mit konstantem als auch mit gepulstem Strom verwendet. Für die Abscheidung mit Pulsstrom wurde ein BioLogic SP-150-Potentiostat mit VMP3B-20-Booster (20 A / 20 V) verwendet.

Die Chromabscheidung mittels Gleichstrom (DC) wurde bei 5 A/dm² durchgeführt. Entsprechend dem praktisch anwendbaren Dickenspektrum von dekorativen Chromschichten [2] wurden etwa 500 nm als maximale Chromschichtdicke mit äquidistanten Zwischenschritten gewählt. Die Abscheidedauer wurde von 1 min bis 14 min variiert, entsprechend Schichtdicken von 40 nm bis 550 nm. Die Pulsabscheidungen wurden mit einer Pulsstromdichte von 5 A/dm² durchgeführt. Bei höheren Stromdichten nimmt die Effizienz der Chromabscheidung aufgrund der Bildung von Chromhydroxiden in der Nähe der Elektrodenoberfläche schnell ab, so dass eine weitere Erhöhung der Pulsstromdichte nachteilig ist [28]. Es wurden zwei verschiedene Pulsvarianten verwendet. Für das Frequenzregime von 1 Hz wurde mit einer Einschaltzeit von 0,5 s und einer Ausschaltzeit von 0,5 s gearbeitet. Die Dauer der Beschichtung betrug 14 min. Die zweite, niederfrequente Pulsbeschichtung wurde mit einer Einschaltzeit von 15 s und einer Ausschaltzeit von 22,5 s durchgeführt. Die Abscheidungszeit wurde von 37,5 s (ein Puls) bis 15 min und 37,5 s (25 Pulse) variiert. Mit jeder gewählten Abscheidebedingung wurde eine Probe hergestellt.

2.2 Charakterisierung der Schichten

Die Farbmessungen wurden nach den Empfehlungen der International Commission on Illumination (CIE) [29] vorgenommen. Die Proben wurden mit sichtbarem Licht mit einem standardisierten D65-Spektrum bestrahlt. Das Spektrum des reflektierten Lichts wurde unter einem Winkel von 8° zur Senkrechten erfasst. Sowohl das gerichtete als auch das diffus reflektierte Licht wurden für die Analyse berücksichtigt. Es wurde ein Spektralphotometer CM-700d (Konica Minolta) mit einem Messfleck von 6 mm verwendet. Aus den gesammelten Spektraldaten wurden die Farbwerte im L*a*b*-System gemäß den ASTM-Richtlinien abgeleitet [30]. Pro Probe wurden zwölf Positionen unter gleichen Bedingungen vermessen und die Durchschnittswerte für jede Probe berechnet. Die Dicke der Chromschichten wurde mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF) (Gerät: Fischerskop XDV) bei einer Spannung von 50 kV, einem Messfleck von 3 mm und einer Messzeit von 30 s pro Position bestimmt. Es wurden die selben Proben wie für die Farbmessungen untersucht. Die Dickenwerte wurden für jede Probe aus neun, gleichmäßig über die Oberfläche verteilten Positionen ermittelt und daraus ein Durchschnittswert berechnet.

Rasterelektronenmikroskopie (SEM) und elektronendispersive Röntgenspektroskopie (EDX) wurden mit einem SEM Hitachi S4800 mit Sekundärelektronendetektor bei einer Beschleunigungsspannung von 5 kV beziehungsweise 10 kV durchgeführt. Aus jeder Probe wurde ein Ausschnitt mit einer Fläche von etwa einem Quadratzentimeter für die Untersuchung mittels REM entnommen.

Tab. 2: Parameter der linearen Regression von L*a*b* über der Schichtdicke (Regessionsgleichung y = ax + b) für die bei Gleichstrom (5 A/dm²) abgeschiedenen Schichten

Kurve	*a*	*b*	R^2
L*	-0,0030 ± 0,0005	83,5 ± 0,2	0,73
a*	0,00014 ± 0,00011	-0,71 ± 0,004	0,05
b*	0,0032 ± 0,0002	-0,51 ± 0,007	0,96

Korngröße und Porendurchmesser wurden aus den mikroskopischen Aufnahmen gewonnen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Abscheidung mit Gleichstrom (DC)

Die Farbwerte L*, a* und b* der mit Gleichstrom verchromten Proben sind in *Abbildung 1* gegen die Dicke der Chromschicht aufgetragen. Der Parameter L* gibt die Helligkeit in einem Bereich von 0 (schwarz) bis 100 (weiß) an. a* und b* repräsentieren die Richtungen des Farbtons, wobei ein positiver Wert für a* als rot, ein negativer Wert für a* als grün, ein positiver Wert für b* als gelb und ein negativer Wert für b* als blaue Richtung des Farbtons zu sehen sind. Farblosigkeit entspricht a* = b* = 0. Für jeden Parameter wurde eine lineare Regression vorgenommen, um Tendenzen bei den Daten erkennen zu können (*Tab. 2*).

Das Verhältnis zwischen Farbe und Dicke entspricht qualitativ dem der früheren Arbeit der Autoren [12], das heißt mit abnehmender Dicke nimmt L* ab und b* zu. a* hängt nur gering von der Dicke der Chromschicht ab, wie aus dem niedrigen Korrelationskoeffizienten (R^2 = 0,05) hervorgeht. Standardabweichungen liegen im erwarteten Bereich für die Farbmessung galvanisch abgeschiedener Chromschichten [10, 12].

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Die Inhalte der weiteren Abschnitte sind:
– Abscheidung mit 1 Hz Pulsfrequenz
– Wachstum der Chromschicht
– Pulsabscheidung mit niedriger Frequenz
– Kombination aus Gleischstrom- und Pulsstromabscheidung

Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 7 Seiten mit 9 Abbildungen, 3 Tabellen und 30 Literaturhinweisen.

Einflüsse auf die Oberflächentopographie in der Galvanisierung von Polyamiden

Von Dr.-Ing. Felix A. Heinzler[1)], M. Sc. Marvin Wagner[1)] und Dipl.-Ing. Almedina Fetahovic[2)]

Zum online-Artikel

Die Verchromung von Kunststoffen bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten zur dekorativen Aufwertung von Oberflächen. Zu den Einsatzgebieten zählen vor allem die Automobil- und Sanitärindustrie, aber auch Möbel und Konsumgüter. Als Grundwerkstoff kommen in der Regel Acrylnitril-Butadien-Styrolpolymere (ABS) zum Einsatz. Für hochbeanspruchte Bauteile in der Automobilindustrie wird alternativ mineralgefülltes Polyamid (PA) eingesetzt. Es zeichnet sich durch exzellente mechanische und thermische Eigenschaften aus und wird daher oft in galvanisierten Türhebeln im Automobilinnenraum verwendet. Die Verarbeitung von mineralgefülltem Polyamid in der Galvanotechnik ist in besonderem Maße anspruchsvoll, da die Mineralfüllung die dekorative Oberfläche maßgeblich beeinflusst. Die Solinger BIA Gruppe als Produzent solcher Türgriffe hat umfangreiche Analysen zur Beeinflussung der Oberflächenqualität von galvanisierten Polyamiden durch Prozessparameter angestellt.

1 Galvanisierung von Polyamid im Vergleich zu ABS

In der Galvanisierung von ABS- und ABS/PC-Kunststoffen kommen in einem ersten Prozessschritt Chromschwefelsäure oder ähnliche oxidative Medien zum Einsatz. Diese bewirken die Oxidation der Butadienkomponente des ABS, wodurch im Kunststoff sogenannte Kavernen ausgebildet werden. Zusätzlich hierzu wird die Oberflächenenergie des Kunststoffs durch die Ausbildung von funktionellen Gruppen erhöht. Diese beiden Effekte bilden die Grundlage der Haftung der später aufgebrachten Metallschichten auf dem Grundwerkstoff. Im Anschluss an die Beize wird eine Aktivierung der Oberfläche durch kolloidales Palladium erzielt und Nickel als leitfähige Schicht autokatalytisch abgeschieden. Die darauf folgende Beschichtung mit Kupfer, Nickel und Chrom ist aus der Metallbeschichtung bekannt und generiert das erwünschte Schichtsystem.

Der Vorbehandlungsprozess, also die Erzeugung der ersten leitfähigen Metallschicht auf der Oberfläche, unterscheidet sich bei Polyamiden in einigen Prozessschritten von der ABS-Galvanisierung. Die aus der ABS-Beschichtung bekannte Chromschwefelsäurebeize wird ebenfalls bei der Beschichtung von Polyamid verwendet [1]. Nach dem Spritzgießprozess liegt der Füllstoff nicht an der Oberfläche vor, sondern wird in jedem Fall von einem Polymerfilm bedeckt. In der Beize wird das Polyamid durch Trennung der Amidbindung aus der Kunststoffoberfläche herausgelöst und der mineralische Füllstoff freigelegt. An der Oberfläche liegt nun ein loser Film aus angelöstem Polyamid und Füllstoff vor. Dieser Film wird in der folgenden Neutralisierung durch Ultraschalleinwirkung entfernt. Ebenso wird hier anhaftendes sechswertiges Chrom (Cr^{6+}, Chrom in ionischer Form) durch ein Reduktionsmittel zu Chrom(III) (Cr^{3+}, ebenfalls Chrom in ionischer Form) reduziert.

Im Anschluss daran wird im sogenannten Conditioner an der Oberfläche freigelegtes, silikathaltiges Mineral durch Fluoride aufgelöst. Dieser Schritt ist entscheidend für eine gute Haftung zwischen Substrat und Metallschicht und generiert analog zur galvani-

1) BIA Kunststoff- und Galvanotechnik GmbH & Co. KG, D-42655 Solingen
2) HSO Herbert Schmidt GmbH & Co. KG, D-42699 Solingen

schen Beschichtung von ABS-Kunststoff Kavernen im Grundmaterial.
Die Aktivierung erfolgt durch ionogenes Palladium, welches in einem Reduzierungsschritt anschließend als elementares Palladium an der Oberfläche angelagert wird. Die nun vorliegenden Palladiumkeime verhalten sich im chemisch abscheidenden Nickelelektrolyten analog zur ABS-Galvanisierung, wodurch die Oberfläche ebenfalls mit einer dünnen Nickelschicht belegt und damit leitfähig wird. Eine Übersicht über alle Prozessschritte zeigt *Abbildung 1*.
Generell liegt die Haftung von Metallschichten auf Polyamiden bei der Messung der Schälkraft unter jener von ABS-Kunststoff.

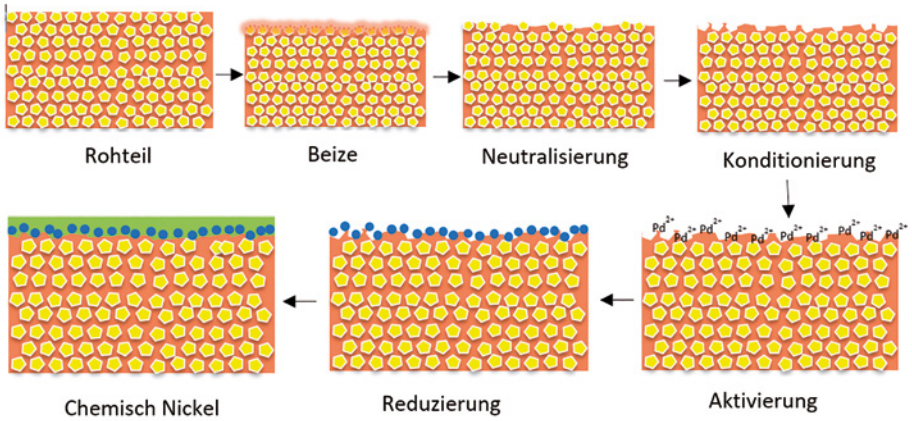


Abb. 1: Schematische Darstellung des Vorbehandlungsprozesses für die Galvanisierung von Polyamiden; die Polyamidphase ist orange dargestellt, die Mineralfüllstoffe gelb, elementares Palladium wird durch blaue Kugeln symbolisiert und die chemische Nickelschicht ist grün

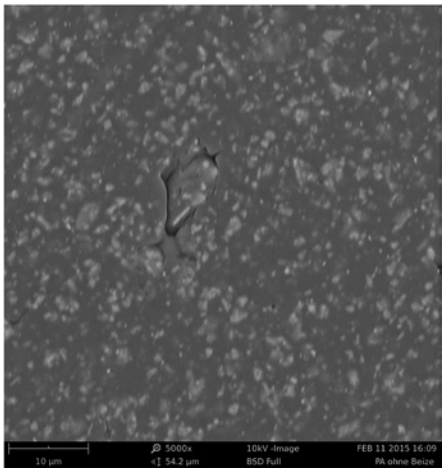


Abb. 2: Die unbehandelte Polyamidoberfläche als REM-Aufnahme

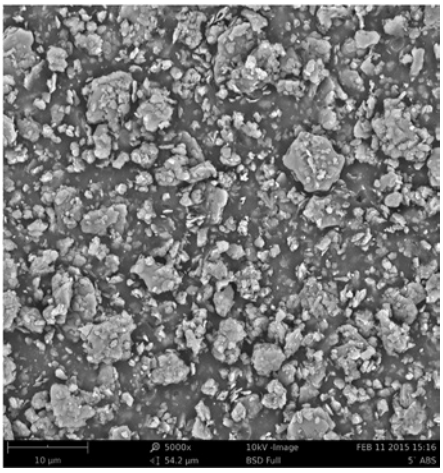


Abb. 3: Polyamidoberfläche nach der Beizbehandlung mit Chromschwefelsäure

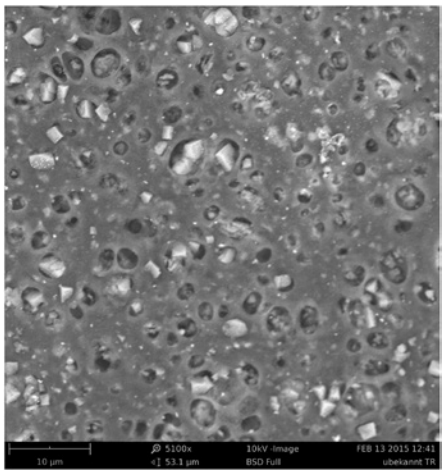


Abb. 4: Polyamidoberfläche nach der Konditionierung

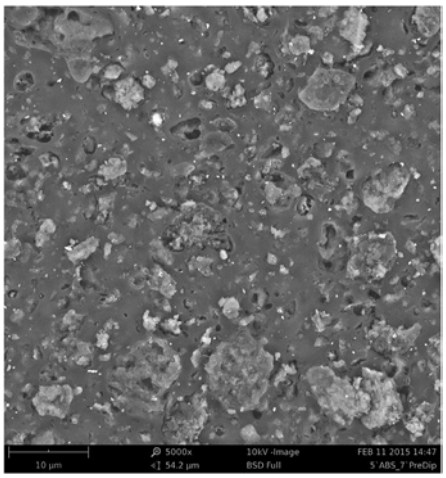


Abb. 5: Polyamidoberfläche nach der Beizbehandlung und anschließender Konditionierung

Allerdings bedingen die deutlich höheren mechanischen und thermischen Eigenschaften, dass Bauteile aus Polyamid mit einer galvanisch abgeschiedenen Metallisierung höheren Belastungen im Feld (Praxisbedingungen entsprechend einem für das jeweilige Bauteil vorgesehenen Einsatz) und in Klimawechseltests standhalten [2]. Bei ABS-Bauteilen kann durch die Materialauswahl sowie die Parameter im Spritgießen und der Galvanisierung massiv Einfluss auf die Belastbarkeit der Bauteile genommen werden. Eine gezielte Prozessführung ist daher entscheidend. Auch bei Polyamid-Bauteilen sind Einflüsse auf den Haftungsmechanismus zur Steigerung der Prozessqualität wichtig, um Prozessfenster und die Korrelation aus Grundmaterial, Spritzgießprozess und den jeweiligen Wirkungen der Prozessschritte in der Galvanik einzuordnen.

2 Wirkung von Beize und Konditionierung im Vergleich

Mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) können die Wirkung der Beize und der Konditionierung sowie die Kombinationswirkung beider Elektrolyte nacheinander visualisiert werden. In *Abbildung 2* ist die unbehandelte Polyamidoberfläche als REM-Aufnahme zu sehen. Das Polyamid erscheint dunkelgrau, wohingegen die Mineralfüllstoffe hellgrau hervortreten. Wird die Oberfläche ausschließlich in der Beize behandelt, so wird hierdurch das Polyamid oxidativ entfernt. Es verbleibt oberflächlich der silikathaltige Füllstoff (*Abb. 3*).
Wird dagegen ausschließlich konditioniert, werden selektiv die Mineralanteile aus der Polyamidoberfläche herausgelöst. Es entstehen Kavernen, ähnlich wie nach der Behandlung von ABS-Kunststoff in Chromschwefelsäure (*Abb. 4*). Damit kann die Wirkung der einzelnen Schritte nachvollzogen werden.
Die Haftung der später aufgebrachten Metallschichten ist jedoch nur gewährleistet, wenn beide Schritte nacheinander durchgeführt werden. So wird die Polyamidoberfläche zunächst oxidativ von der Beize angegriffen, die Oberflächenenergie erhöht sich durch die Ausbildung von funktionellen Gruppen und die Mineralfüllstoffe werden freigelegt. Im Anschluss werden die Füllstoffe dann selektiv durch die Konditionierungsbehandlung von der Oberfläche gelöst und zusätzlich Kavernen ausgebildet (*Abb. 5*).
Eine Strukturierung der Oberfläche durch die Konditionierung allein führt nicht zu einer galvanischen Beschichtung des Polya-

mids, da die Oberflächenenergie durch diesen Schritt nicht signifikant erhöht werden kann. Es fehlt die Ausbildung von funktionellen Gruppen an der Oberfläche. Folglich kann ionogenes Palladium (Pd^{2+}) im Aktivierungsschritt nicht angelagert werden und die chemische Abscheidung von Nickel ist somit nicht mehr möglich. Das Zusammenspiel aus Strukturierung und Funktionalisierung der Oberfläche ist also ähnlich wie bei der galvanischen Beschichtung von ABS-Kunststoff entscheidend für gute Haftungseigenschaften.

3 Einflüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit von Polyamiden

Im Folgenden soll ein Fokus auf die Expositionszeit in der Beize und ihren Einfluss auf die Oberflächentopographie der Polyamide gelegt werden. Ein gängiger Materialtyp zur galvanischen Beschichtung von Polyamiden ist Minlon 73M40 NC010 von DuPont. Dieses Polyamid wurde in einem Prüfkörper abgeformt und im Anschluss 1 min, 3 min sowie 5 min in einer Chromschwefelsäurebeize bei 70 °C behandelt. Nach ausreichender Neutralisierung wurde die Oberfläche daraufhin im REM bewertet (*Abb. 6*).

Am unbehandelten Bauteil erscheint die Topographie zunächst ähnlich wie in *Abbildung 2*. Die mineralischen Füllstoffe sind unter einer dünnen Schicht Polyamid erkennbar. Bereits bei einer Expositionszeit von einer Minute im Beizelektrolyten werden diese freigelegt und die Rauheit der Oberfläche nimmt zu. Nach einer Beizdauer von drei Minuten wird die Einbettung der Füllstoffe weiter reduziert und nach fünf Minuten Expositionszeit werden diese nahezu vollständig aus der Polyamid-Matrix exponiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Zusammensetzung des Rohmaterials, das heißt die Mineralverteilung im Polyamid, bei weiterem Abtrag nicht mehr signifikant schwankt. Damit ist eine Behandlungszeit zwischen drei und fünf Minuten bereits ausreichend, um einen gleichmäßigen Beizangriff auf die Oberfläche zu gewährleisten.

Die Tiefe des Beizangriffs kann mit den oben genannten Erkenntnissen übereingebracht werden. Hierzu wurde der Prüfkörper mit einem selektiven Lack bedruckt. Anschließend wurde die galvanische Beschichtung des Prüfkörpers bis zur Verkupferung durchgeführt. In einem Querschliff lässt sich nun die durch Beizen, Neutralisieren und Konditionieren angegriffene Polyamidoberfläche mit jener unter dem Selektivlack vergleichen, die als Referenzlinie gesetzt werden kann. Der Höhenunterschied der beiden Ebenen kann als Beiztiefe d angenommen werden (*Abb. 7*). Wird diese Auswertung für die oben bereits erwähnten Expositionszeiten von 0 min, 1 min, 3 min und 5 min durchgeführt, so kann die Beiztiefe d über der Expositionszeit grafisch aufgetragen werden (*Abb. 8*). Aus dieser Darstellung ist ein Abtrag der Oberfläche mit zunehmender Beizzeit zu erkennen.

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Im Weiteren werden die Oberflächenrauheit und Oberflächenenergie der Kunststoffe und Bearbeitungsverfahren ermittelt und bewertet sowie eine Bewertung unter Anwendung des Testverfahrens PV1200 vorgenommen.
Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 5 Seiten mit 11 Abbildungen, 1 Tabelle und 3 Literaturhinweisen.

TIBCHEMICALS

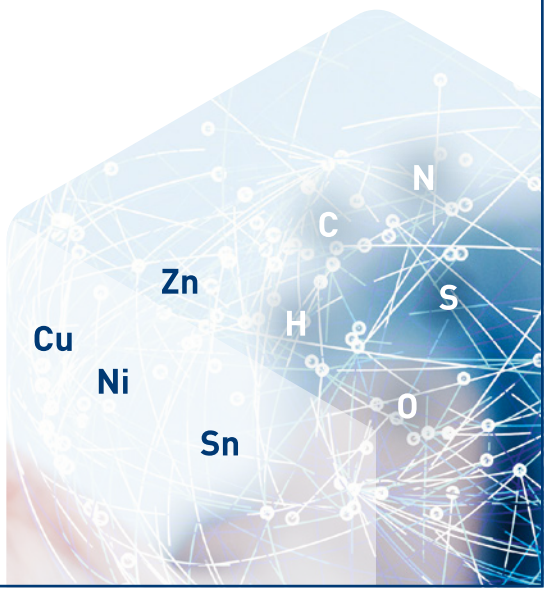
Sicherheit
in unruhigen Zeiten

Wie zuverlässig funktioniert Ihre Beschaffung in Zeiten von REACh und Brexit?

Werden auch in Zukunft alle erforderlichen Grundstoffe und Dienstleistungen zur Verfügung stehen, die für Ihre Prozesse unentbehrlich sind?

TIB Chemicals gewährleistet eine stabile Versorgung entlang der galvanotechnischen Wertschöpfungskette. Wir bieten unseren Kunden auch in Zeiten volatiler werdender Rechtsbedingungen jederzeit einen sicheren Zugriff auf unsere Produkte und Dienstleistungen. Mit unserer Hilfe begegnen Sie den neuen Herausforderungen in angemessener Weise.

Fordern Sie uns!



TIB Chemicals AG
BU Metall- & Oberflächenchemie
Mülheimer Straße 16–22
68219 Mannheim
Deutschland

Tel.: +49 621 8901-800
Fax: +49 621 8901-1800
E-Mail: moc@tib-chemicals.com

www.tib-chemicals.com

KTB baut bei Chrom(III)verfahren auf SurTec

Seit September 2019 stellt die Kunststofftechnik Bernt GmbH (KTB) stufenweise die bisherigen Chrom(VI)prozesse auf das umweltschonendere Chrom(III)verfahren des Oberflächenspezialisten SurTec um. Das neue Verfahren von SurTec überzeugt nicht nur in Farbe und Qualität, auch die Kosten für die Chemikalien sind annähernd vergleichbar und es kann mit wenig Aufwand in bestehende Anlagen integriert werden.

Wenn im Auto verchromte Schalter, Knöpfe und Zierleisten glänzen, steckt womöglich die Kunststofftechnik Bernt GmbH (KTB) in Kaufbeuren dahinter. Denn in dem Unternehmen im bayerischen Ostallgäu tragen 300 Mitarbeiter dazu bei, dass Autofahrer einen hochwertigen Eindruck von ihrem Fahrzeuginneren erhalten: KTB fertigt Spritzgussteile aus Kunststoff und veredelt auf Wunsch deren Oberfläche in den unternehmenseigenen Galvanikanlagen mit verschiedenen Oberflächenbeschichtungen für Innen- und Außenanwendungen. Unterschiedliche Arten an Mattoberflächen gehören dabei genauso zum Produktionsspektrum wie komplexe Mehrkomponententeile. Abnehmer sind außer den Automobilherstellern auch Unternehmen aus dem Haushaltsgeräte- sowie Sanitärbereich. KTB nennt eine hochmoderne Produktion im Gewerbepark Kaufbeuren ihr Eigen. Zwei vollautomatisierte Galvanikanlagen, Spritzguss, Montage und Werkzeugbau, alles auf modernstem Standard, garantieren die sichere Belieferung mit qualitativ hochwertigen Bauteilen.

Hohe Ansprüche an Arbeits- und Umweltschutz

KTB hat den Anspruch, auch im Hinblick auf Arbeits- und Umweltschutz, eine Spitzenposition einzunehmen und, wo immer es möglich ist, zukunftsfähige Prozesse einzusetzen. Dazu gehört die Substitution von SVHC-Stoffen, sofern das technisch möglich ist. Chromtrioxid ist ein solcher SVHC-Stoff, der bei den bis jetzt üblichen Chrom(VI)verfahren zum Einsatz kommt und der gemäß REACh-Verordnung seit September 2017 nur noch mit einer entsprechenden Autorisierung verwendet werden darf. KTB hat einen solchen Autorisierungsantrag gestellt und erwartet eine Autorisierung bis mindestens 2024. Trotzdem begann das Unternehmen bereits 2018, den Markt für Beschichtungen auf Basis von dreiwertigen Chromverbindungen intensiv zu analysieren und abschließend ein Benchmark zwischen den erfolgversprechendsten Ansätzen durchzuführen. Daraus ging der Spezialist für Oberflächentechnik SurTec mit den überzeugendsten Ergebnissen hervor. Für KTB und SurTec ist dies der Beginn einer neuen Kooperation, denn die beiden Unternehmen hatten in der Vergangenheit nicht zusammengearbeitet. Überzeugend war dabei auch die Erfahrung von SurTec im Bereich der Produktion großer Serien im Chrom(III)verfahren. Diese umfasst die galvanische Beschichtung von metallischen Bauteilen sowie von Kunststoffbauteilen.

Überzeugend in Farbe und Qualität

Eine wesentliche Anforderung, die das neue Verfahren unbedingt erfüllen musste, sind die Spezifikationen der Automobilindustrie, welche in den einschlägigen Normen der Hersteller definiert sind. Dazu gehört vor allem das optische Erscheinungsbild, insbesondere der b*-Wert – ein Indikator für die blauen Farbtöne – in der L*a*b*-Skala, mit der Farbwerte vorzugsweise in der industriellen Produktion festgelegt und kontrolliert werden. Die im Automobilbereich präferierte, attraktive weißblaue Farbe konnte bislang nur mit Chrom(VI)verfahren erreicht werden. Der Entscheidung für SurTec gingen ausgiebige Voruntersuchungen mit allen bei KTB eingesetzten Verfahrenslieferanten voraus.

Das Verfahren SurTec 883 XT ist ein innovatives Chrom(III)verfahren für dekorative Anwendungen auf Sulfatbasis, das nach den Erfahrungen der SurTec einen hundertprozentigen Chrom(VI)ersatz in Farbe und Funktion darstellt. So sind der Korrosionsschutz und die Farbeigenschaften identisch zu Glanzchrom aus Chrom(VI)elektrolyten.

Zu den speziellen Anforderungen, die der neue Chrom(III)prozess erfüllen muss, gehören die Folgenden:

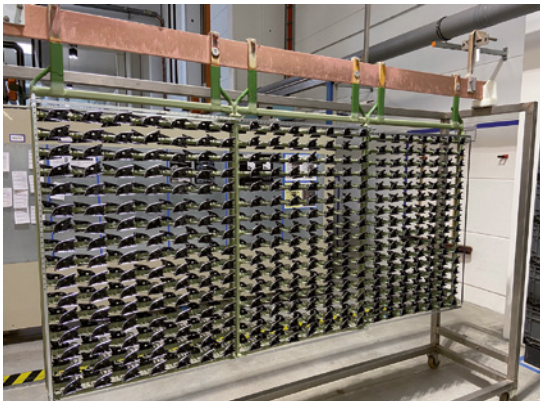
- abgeschiedene Schichtdicke von 0,2 µm bis 0,3 µm bei maximal sechs Minuten Expositionszeit
- Korrosionsanforderung gemäß CASS-Test 120 Stunden beziehungsweise gemäß NSS-Test 1200 Stunden
- Farbstabilität über einen definierten Stromdichtebereich (4 A/dm² bis 6 A/dm²)
- Farbwerte (gemessen mit Konica Minolta CM-700d):
  L*-Wert = 83 bis 85,
  a*-Wert = -0,5 bis -0,8,
  b*-Wert = -0,5 bis -1,5

Umstellung in kürzester Zeit

Die Beschichtung von Bauteilen mit dreiwertigen Chromelektrolyten war für KTB ein komplett neues Verfahren, das in den bestehenden Prozess integriert werden musste. Dabei ergänzte sich das Know-how der Spezialisten von KTB und SurTec optimal, so dass die Verfahrenseinführung innerhalb kürzester Zeit erfolgen konnte. Berücksichtigt werden musste dabei die bestehende Infrastruktur sowie die richtige Platzierung im Beschichtungsablauf. KTB hatte bereits beim Bau der Galvanikanlage [1] Platz für die dreiwertige Verchromung vorgesehen, was die Umsetzung vereinfachte. Zu den notwendigen Änderungen gehörte insbesondere die Installation einer neuen Peripherie inklusive einer

SurTec 883 XT liefert einen identischen Farbton zu klassischen Chromschichten, sowohl visuell als auch mittels Farbmessung gemäß L*a*b*-Skala

In der seit wenigen Jahren in Betrieb befindlichen neuen Galvanoanlage der KTB waren bereits Positionen zum Einsatz der neuen Abscheideverfahren auf Basis von Chrom(III) vorgesehen, so dass die Umstellung von Chrom(VI) auf Chrom(III) ohne große Zeitverzögerung durchführbar war



Chrom(III)systeme erlauben eine höhere Teiledichte pro Warenträgergestell

neuen Elektrolytwanne, Ionenaustauscher, spezieller Anoden, Dosierstationen, Vorlagebehälter sowie die Überarbeitung der Anlagensteuerung.

Weitere Serien mit Chrom(III)verfahren in Planung

Nach Projektbeginn im September 2019 wurden bereits im Oktober die ersten Bauteile gefertigt und im November erste kleinere Serien produziert. Der bisherige Durchsatz mit dem neuen Verfahren bei KTB beträgt knapp 27 000 m² bei 500 000 Ah. Verschiedene Komponenten insbesondere aus dem Bereich Non-Automotive werden bereits in Serie gefertigt. Weitere Aufträge für Neuprojekte liegen vor und bei mehreren OEMs stehen die Prozessfreigaben kurz vor dem Abschluss. Dazu gehört auch die Freigabe von Automobilherstellern.

Im Ergebnis erzielt KTB nach der Umstellung neben der angestrebten Chrom(VI)freiheit im Beschichtungsprozess auch einen höheren Wirkungsgrad bei der Abscheidung sowie kürzere Expositionszeiten. Die Warenträger lassen sich außerdem mit einer höheren Anzahl an Bauteilen bestücken, was einen höheren Produktionsdurchsatz ermöglicht. Allerdings ist die Prozessüberwachung etwas aufwendiger und das System ist empfindlicher als das vorher eingesetzte chrom(VI)haltige Verfahren. Da die Temperatur des Elektrolyten dauerhaft nicht unter 40 °C abfallen darf, ist darüber hinaus ein höherer Energieaufwand nötig. Hinzu kommen die Anschaffungskosten für die spezielle Anodentechnik. Diese ermöglicht jedoch eine hohe Standzeit und in der Praxis eine bis zu 50 % geringere Stromdichte, wodurch wiederum Energieeinsparungen an anderer Stelle realisierbar sind.

SurTec-Chrom(III)verfahren in allen dekorativen Bereichen überzeugend

Chrom(III)verfahren von SurTec ersetzen bereits heute in allen dekorativen Bereichen weltweit die zuvor verwendeten Anwendungen mit Chrom(VI)elektrolyten. Zu den Kunden der SurTec GmbH zählen Kunststoff- (POP) und Metallbeschichter sowie die Sanitärindustrie. Insgesamt sind mehr als eine halbe Million Liter an Chrom(III)elektrolyten in der Anwendung. Zu den neuesten Entwicklungen von SurTec in diesem Bereich gehören insbesondere Chrom(III)elektrolyte in allen Farbvarianten von Hell (L*-Wert 85) bis Dunkel (L*-Wert unter 40) [2]. Darüber hinaus arbeitet SurTec aktuell an einem Prozess, um die Vorbehandlung von Kunststoffbauteilen komplett chrom(VI)frei zu realisieren und damit die REACh-Anforderungen zu erfüllen.

➲ www.surtec.com

Bildquelle: Kunststofftechnik Bernt GmbH

Literatur

[1] N.N.: Qualität durch überzeugende Strömung - Filtration der neuen Generation; WOMag 11/2016; https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2016/11/30_sagerMack_ktb_metzka_11j2016/30_sagerMack_ktb_metzka_11j2016.php

[2] N.N.: Ist Deutschland reif für Chrom(III)verfahren? WOMag 12/2019; https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2019/12/29_surtec_cr_12j2019/29_surtec_cr_12j2019.php

aqua plus
...wasser und mehr

Wasser- und Recyclingsysteme
für den effizienten und umweltgerechten Umgang mit einer wertvollen Ressource
water and recycling systems
for an efficient and environmentally compliant dealing with a valuable ressource
zertifizierter Fachbetrieb nach § 19 I WHG

aqua plus
Wasser- und Recyclingsysteme GmbH
Am Barnberg 14
D-73560 Böbingen an der Rems
Tel.: +49 71 73 / 71 44 18 - 0
www.aqua-plus.de

3D-Oberflächenmessung in Hochgeschwindigkeit durch konfokale Rastermikroskopie

Optische Oberflächenmessverfahren zur Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen eignen sich sehr gut für die Beurteilung von Oberflächen. Diese Messverfahren werden daher bevorzugt eingesetzt bei berührungslosen optischen Messungen in automatisierten Testverfahren oder im Bereich der Qualitätssicherung.

Am Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme des Karlsruher Instituts für Technologie KIT wurde nun ein neues Verfahren entwickelt, das bei Messungen mit der konfokalen Rastermikroskopie ein dreidimensionales Bild liefert. Dadurch können Messungen erheblich beschleunigt werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Messsystemen wird die Scangeschwindigkeit bei nur geringfügig reduzierter Auflösung um den Faktor hundert erhöht.
Herkömmliche konfokale Mikroskope erhalten 3D-Bilder, indem einzelne Punkte der Probe nacheinander abgetastet und die detektierten Signale dann zusammengesetzt werden. Eine Aufspaltung des Lichts in unterschiedliche Farben liefert einen z-Stapel, das heißt, Tiefendaten für das 3D-Bild.
Die beiden derzeit vorherrschenden Methoden zur Erhöhung der Abtastraten sind die Schlitzrastermikroskopie und die programmierbare Array-Mikroskopie. Beide Methoden reduzieren die Abtastrate, indem der Strahl nur in einer Richtung über die Fokusebene geführt wird. Schlitzrastermikroskope verwenden eine Schlitzbeleuchtungsquelle, um die Probe wiederholt in einem Balken oder einer Linie abzutasten und die Signale durch eine Schlitzblende zu erfassen. Programmierbare Array-Mikroskope hingegen verwenden die MEMS-Technologie (mikroelektromechanische Systeme), um das Objekt durch eine Anordnung von Nadellöchern zu beleuchten, die beleuchtete Punkte auf der Probenoberfläche erzeugen. Das Objekt wird mit diesem Array abgetastet, um die für die Abbildung erforderlichen Daten zu sammeln. Anstelle des zusätzlichen Scannens in z-Richtung (axiale Richtung) können beide Technologien durch chromatische konfokale Mikroskopie ergänzt werden, die die Tatsache ausnutzt, dass Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Fokusebenen entlang der z-Achse hat, um die Höhe des Objekts zu bestimmen. Leider beeinflusst die nur eindimensionale mechanische Abtastung die Geschwindigkeit des 3D-Abbildungsprozesses in beiden Fällen negativ.
Die von Dr. Ding Luo am KIT entwickelte Erfindung kombiniert die Vorteile der chromatischen konfokalen Mikroskopie und ein neues Verfahren für einen 2D-Oberflächenscan, um ein Flächenscannen zu ermöglichen. Dabei ist die Flächenabtastung mit einem modifizierten konfokalen Mikroskopaufbau möglich, wobei die Scangeschwindigkeit um den Faktor von mehreren hundert steigt. Die laterale Unsicherheit wird dabei nur um einen Faktor von etwa 2,5 erhöht und die Auflösung damit nur geringfügig reduziert. Die Eignung

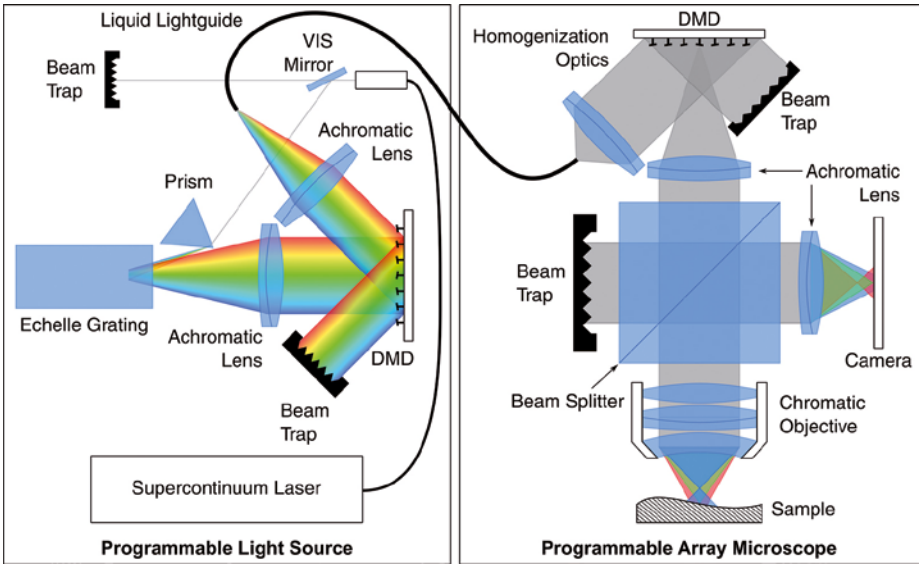


Abb. 2: Schema eines adaptiven chromatischen Konfokalmikroskops (Quelle: Luo, KIT)

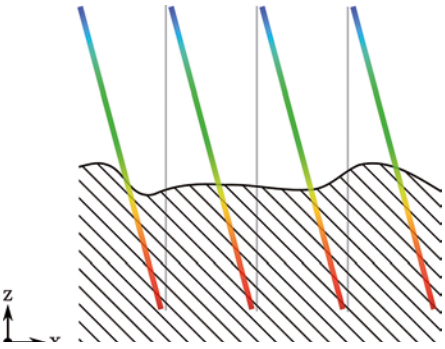


Abb. 1: Die Brennweiten für die jeweils unterschiedlichen Lichtwellenlängen – im Bild sind sie mit der jeweiligen Farbe dargestellt – werden bei der Erfindung schräg auf die Objektoberfläche gelenkt (Quelle: Luo, KIT)

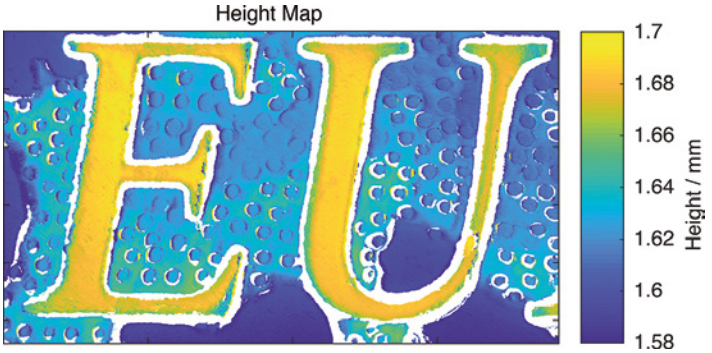


Abb. 3: Beispielhafte 3D-Messung einer 2-Euro-Münze mit dem erfindungsgemäßen Aufbau (Quelle: Luo, KIT)

des Verfahrens sowie die Vorteile gegenüber dem Stand der Technik können mit einem Prototyp und numerischen Berechnungen demonstriert werden. Da der Effekt simuliert werden kann, lassen sich die Vorteile für beliebige Mikroskopiesysteme im Vorhinein berechnen. Die Erfindung wurde in Europa und den USA zum Patent angemeldet. Die Technologie-Lizenz-Büro (TLB) GmbH unterstützt das KIT im Auftrag der Baden-Württemberg Stiftung bei der Patentierung und Vermarktung der Innovation. TLB ist mit der weltweiten wirtschaftlichen Umsetzung dieser zukunftsweisenden Technologie beauftragt und bietet Unternehmen Möglichkeiten der Zusammenarbeit und Lizenzierung der Schutzrechte. Weitere Informationen sind erhältlich über den Innovationsmanager Dr.-Ing. Florian Schwabe (E-Mail: schwabe@tlb.de).

➲ **www.tlb.de**

Präzise Schichtdickenbestimmung von Eloxalschichten

Beschichtungen von Materialien haben viele Funktionen. Häufig ist eine Messung ihrer Dicke oder Gleichmäßigkeit – vor allem an kritischen Stellen – bei der Qualitätskontrolle unerlässlich. Systeme, die auf dem fotothermischen Messverfahren basieren, erschließen hier praxisgerechte Möglichkeiten, da sie sich für fast alle in- oder halbtransparenten Schichten auf allen gängigen Substraten eignen. Besonders einfach lassen sich jetzt eloxierte Oberflächen prüfen. Die HAKO-Messstationen von Enovasense, die Polytec jetzt im Programm hat, werden ab Werk mit der entsprechenden Kalibrierung geliefert. Der Anwender kann sofort messen und muss selbst bei einem Produktwechsel kein unbeschichtetes Teil referenzieren. Sowohl in industriellen Anwendungen als auch im Laborbereich spart das Arbeitszeit.
Die fotothermischen Messsysteme arbeiten ohne jeglichen Kontakt zum Objekt. Mittels Laser und Infrarotsensoren wird die Beschichtung von beliebig geformten Objekten mit Krümmungsradien ab 1 mm aus Arbeitsabständen von 20 mm bis 40 mm mit einer Wiederholgenauigkeit von typischerweise +/-1 µm beziehungsweise +/- 3% vom Messwert vermessen. Angeboten wird das Messverfahren entweder als By-the-Line- oder Labor-Kontrollstation in zwei Baugrößen (HAKO-L und HAKO-S), kann bei Bedarf aber auch direkt in die Produktionslinie integriert werden. Das größere HAKO-L System ist mit einem Drei-Achs-System ausgerüstet. Damit lassen sich komplexe Teile auf ihrer gesamten Oberfläche zur erweiterten Analyse scannen. Das ermöglicht eine schnelle und eindeutige Rückmeldung über die Aufteilung und Homogenität der Eloxal-Schicht zur Qualitätskontrolle oder für Prozessoptimierung.
Seit über 50 Jahren und mit fast 500 Mitarbeitern weltweit entwickelt, produziert und vertreibt das Hochtechnologieunternehmen Polytec optische Messtechnik für Forschung und Industrie. Dies umfasst Systeme für die Schwingungsmessung, Oberflächencharakterisierung, Längen- und Geschwindigkeitsmessung und Prozessanalytik. Darüber hinaus bietet das Unternehmen als Distributor eine breite Palette an Geräten und Komponenten zur industriellen Bildverarbeitung, optischen Systemen und optischen Quellen. Das Unternehmen betreibt Niederlassungen in Europa, Nordamerika und Asien und verfügt über ein weltweites Servicenetz.

➲ **www.polytec.com**

DE MARTIN
HIGHTECH+ SURFACES

Korrosion.
Reibung.
Verschleiss.
Hybrid.

De Martin AG
Froheggstrasse 34
CH-9545 Wängi

De Martin GmbH
Robert-Bosch-Strasse 23
DE-91413 Neustadt a. d. Aisch

www.demartin.com

Moderne Beschichtungsverfahren

Bericht über eine Veranstaltung der DGM am 24. und 25. März – erstmals ausgeführt als Webinar infolge der Corona-Krise

Teil 2

Zum online-Artikel

Die Technologie des thermischen Spritzens wurde im Rahmen des Workshops *Moderne Beschichtungsverfahren* ausführlich behandelt. Mit den Verfahren des thermischen Spritzens werden primär funktionelle Beschichtungen hergestellt, also solche, die mechanischen Belastungen oder starker Korrosion widerstehen müssen. Ein Vorteil der Technologie ist die Möglichkeit, aus einem großen Spektrum an stark belastbaren Werkstoffen auswählen zu können. Allerdings handelt es sich um ein Verfahren, bei dem pro Prozessdurchgang nur jeweils ein Werkstoff mit einer sehr begrenzten Auftragsfläche bearbeitet werden kann, also bei hohen Stückzahlen lange Gesamtbeschichtungsdauern notwendig sind. Deutlich schneller, bei ebenfalls hohen Schichtdicken sind die Tauchschmelzverfahren, primär als Feuerverzinkung in der Anwendung. Umfangreich ist die Auswahl an Verfahren zur Prozesskontrolle bei den thermischen Spritzschichten, die eine hohe Schichtqualität gewährleisten. Alle aufgeführten Verfahren lassen deutlich erkennen, dass jede Technologie ihre Daseinsberechtigung hat und Ausdehnungen der Verfahren zur Substitution bisher verwendeter Verfahren nur sehr begrenzt möglich sind, sowohl aus technischer, aber vor allem auch aus wirtschaftlicher Perspektive.

Fortsetzung aus WOMag 5/2020

Verschleißschutzschichten

Die Herstellung von Verschleißschutzschichten durch Auftragslöten ist das Thema von Dr. Harald Krappitz. Einsatz findet diese Verfahrenstechnologie beispielsweise im Bereich der Automobilherstellung in Form des Ofenlötens oder für die Reparatur von Triebwerkschaufeln in der Luftfahrt. Prinzipiell wird Löten in zwei Bereiche unterteilt: Weichlöten bei Temperaturen bis 450 °C und Hartlöten bei Temperaturen von mehr als 450 °C. Ein weiteres Charakteristikum ist, dass - im Gegensatz zum Schweißen - der Grundwerkstoff nicht aufschmilzt.

Für das Hartlöten werden zum Beispiel Werkstoffe auf Basis von Aluminium als spezielles Lot verwendet; üblich sind darüber hinaus Lote auf Basis von Silber, Kupfer/Kupferlegierungen, Nickel, Eisen und für besonders hohe Temperaturen Platin/Palladium-Lote. Wichtige Kenngrößen für das Löten sind die Ausbreitungsdistanz des Lots aufgrund von Benetzung sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lots.

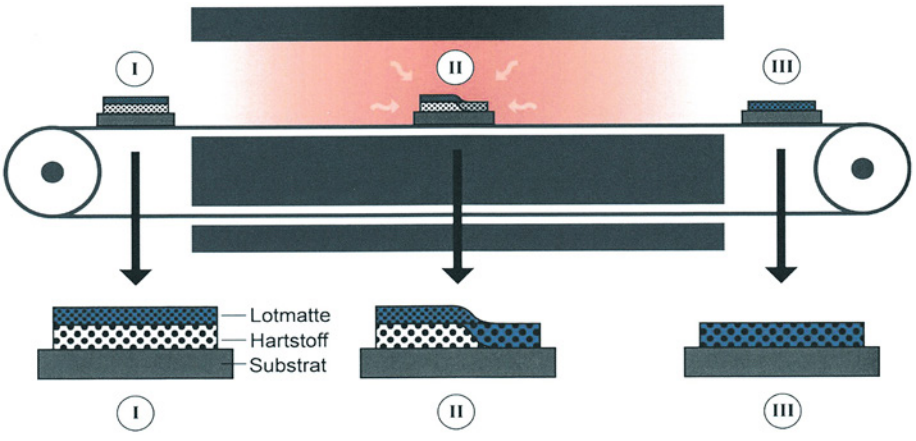
Im Bereich der Beschichtungen spielt das Löten für die Reparatur von Bauteilen eine wichtige Rolle, beispielsweise bei Turbinenschaufeln. Hierzu werden Folien als Sinterbleche oder flexible Bänder als Mischung aus Werkstoff der Turbinenschaufel und einem Lot verwendet. Durch das Erhitzen im Ofen entsteht dadurch eine relativ glatte fehlerfreie Oberfläche, die mechanisch durch Schleifen in die Endform gebracht werden kann. In ähnlicher Art und Weise lassen sich die Außenkanten von Turbinenschaufeln am Ende der Nutzungsdauer wieder aufbauen. Für diesen Einsatzfall werden Lote mit kubischem Bornitrid in MCrAlY aufgebracht.

Ein weiterer Anwendungsbereich ist das Löten von Sinterhartmetallen, wie sie für Schneidwerkzeuge eingesetzt werden. Hierfür werden Hartmetallplatten in einen metallischen Trägerkörper eingelötet. Eine Herausforderung ist dabei das unterschiedliche Ausdehnungsverhalten von Trägerstahl und Hartmetall, vor allem aufgrund der Änderung der Ausdehnung am Umwandlungspunkt zwischen Austenit und Martensit. Das Lot verhält sich hier wie das Hartmetall, so dass sich zwangsläufig Spannungen zwischen den Werkstoffen aufbauen. Abhilfe schafft eine Erhöhung der Lotschicht oder der Einbau einer Zwischenschicht; damit wird eine Verformung im Lotbereich erreicht und die auftretenden Spannungen werden abgebaut.

Tab. 1: Kennwerte für Schichten, hergestellt mit dem BrazeCoat-Verfahren

BrazeCoat	*Makrohärte (HV10 / HRA)*	*Dichte (g/cm^3)*	*α-thermisch ($10^{-6}/K$)*
W/1002	1240 / 88	13,0	8,1
C/1002	1150 / 86	7,0	11,4
CW/1002	1180 / 87	9,9	9,5
W/21-80	- / 64	13,1	9,6
TN660/WWC/Ni	810 / 64 HRC	11,43	10,0
TN745/CrCr3C2/Ni	650 / 58 HRC	7,3	12,7

Ein weiteres Einsatzfeld ist das Verlöten von Diamant mit Stahl. Dabei wird dem Lot Titan oder Bornitrid zugesetzt, wodurch eine Bindung zwischen Diamant und Lot, zum Beispiel durch Bildung von Titancarbid, entsteht. Das BrazeCoat-Verfahren bietet die Möglichkeit des Verlötens von komplexen



Schematische Darstellung des BrazeCoat-Verfahrens **(Quelle: H. Krappitz)**

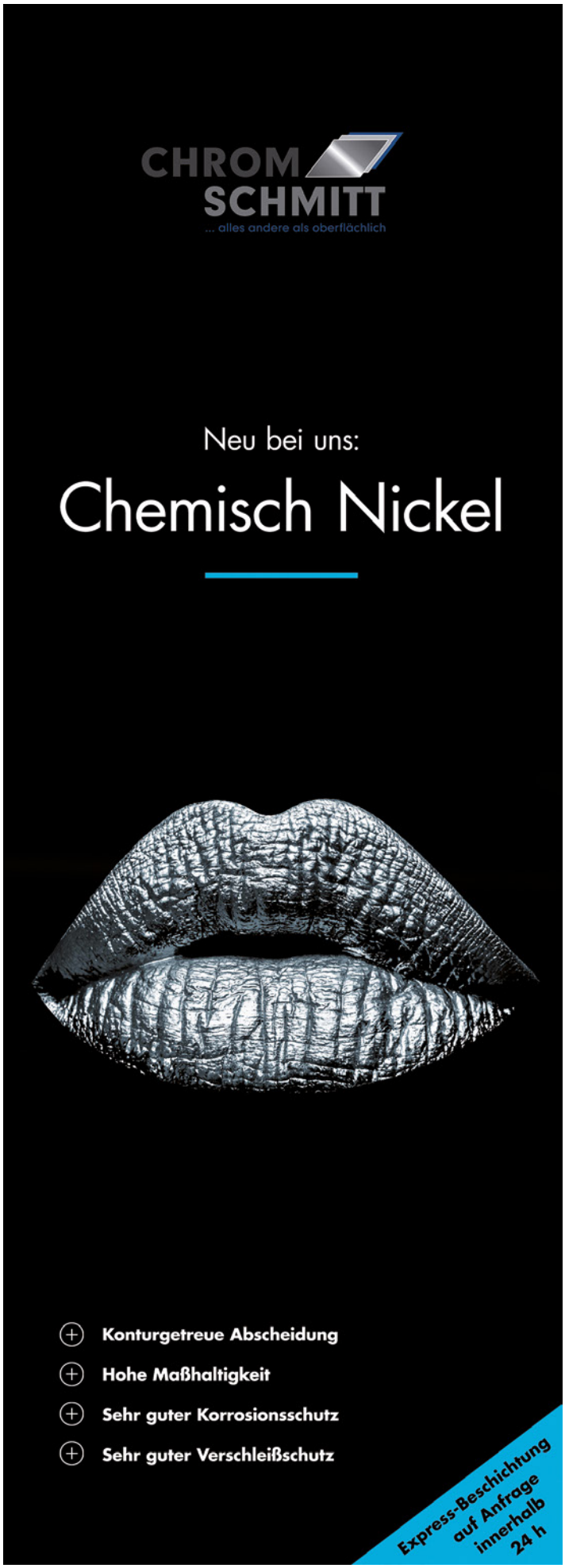
Oberflächen durch den Einsatz von Lotmatten zur Verbindung zwischen Hartstoffen und einem glatten Substrat. Dies erlaubt es, körnige Werkstoffe mit hoher Anbindung an einen Grundwerkstoff zu erzeugen. Die gute Anbindung basiert auf der vollständigen Infiltration des Lots in den Hartstoff. Solche Schichten besitzen Härten von bis zu 1200 HV. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass nahezu jede makroskopische Geometrie beschichtbar ist. Selbstschmierende Schichten aus CuSn12 mit eingelagertem Graphit werden in Gleitlagern eingesetzt.
Weitere Anwendungsmöglichkeiten für den Einsatz des Lötauftrags sind beispielsweise komplexe Geometrien oder Innenflächen von Rohren. Ein Vorzug ist die umfangreiche Möglichkeit der Werkstoffkombination bei gleichzeitig sehr guter Anbindung an einen Grundwerkstoff.

Lichtbogen- und Plasmaspritzen

Dr. Alexander Barth, oerlikon metco, gab in seinem Vortrag einen Einblick in das Lichtbogen- und Plasmapritzen sowie die damit herstellbaren Oberflächen. Die Oerlikon metco ist einer der wichtigsten Vertreter für das thermische Spritzen; das Unternehmen bietet Anlagen und Materialien ebenso an wie das thermische Spritzen als Dienstleistung. Dr. Barth wies darauf hin, dass unter dem Oberbegriff des thermischen Spritzens zahlreiche Unterverfahren aufgeführt sind, die meist nach der Art des zu verspritzenden Mediums sowie der Art der Strahlerzeugung benannt sind.
Beim Lichtbogendrahtspritzen wird zwischen zwei Kontaktspritzen mit Drahtzuführung ein Lichtbogen gezündet und mit diesem der zugeführte Draht aufgeschmolzen. Durch die ebenfalls eingebrachte Druckluft werden die aufgeschmolzenen Metalltropfen auf die Oberfläche eines zu beschichtenden Werkstücks geschleudert, wo sie erstarren und die Schicht bilden. Die herstellbare Schicht kann relativ hohe Dicken von mehreren Millimetern annehmen. Die Größe der abgelösten Partikel ist sehr inhomogen und die Geschwindigkeit der Partikel sehr unterschiedlich. Die Lichtbogentemperatur liegt im Bereich von 4000 °C bei Partikelgeschwindigkeiten von etwa 150 m/s.
Von Vorteil sind bei diesem Verfahren die hohe Menge an Material, die aufgebracht werden kann sowie die geringen Kosten und die hohe Mobilität des Verfahrens, aber auch die hohe Energieeffizienz. Nachteilig ist, dass nur elektrisch leitende Werkstoffe verarbeitbar sind. Eingesetzt werden die Beschichtungen für Reparaturzwecke sowie zur Herstellung von Korrosions- und Verschleißschutz. Als Werkstoffe kommen in großem Umfang Aluminium und Zink in Dicken von 100 µm bis 300 µm zum Einsatz. Als Schutz gegen heiße Verbrennungsgase, zum Beispiel für Teile von Turbinen, werden als Ausgangsmaterial für die Schichten Drähte beziehungsweise Werkstoffe aus NiCr 50 50 oder FeCrAl 25 5 verwendet.

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

Unter WOMag-online.de steht der gesamte Beitrag für alle Nutzer der Plattform zur Verfügung. Die weiteren vorgestellten Verfahren sind das Kaltgasspritzen, Flamm- und Hochgeschwindigkeitsspritzen, Laserpulverauftragschweißen sowie die Tauchschmelz- und Sinterbadbeschichtung. Darüber hinaus werden die für das thermische Spritzen verfügbaren Werkstoffe und Verfahren zur Prozessüberwachung behandelt.
Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 7,5 Seiten mit 11 Abbildungen und 2 Tabellen.



Mensch und Maschine – Eine Betrachtung des Zusammenspiels der Systeme am Beispiel des thermischen Spritzens

Von Franziska Bocklisch[1], Rico Drehmann[2] und Thomas Lampke[2]

Teil 2

Zum online-Artikel

Am Anwendungsbeispiel des thermischen Spritzens zeigt die Eye-Tracking-Methode, welche Elemente einer Beschichtungsanlage in der Regel eine höhere Aufmerksamkeit des Bedienungspersonals erfordern und welche Abläufe durch die laufende Benutzung und den Übergang zu einem Routineablauf sehr schnell geprüft werden können. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die weitere Formalisierung von Expertenwissen und zur Modellbildung. Daraus wiederum lässt sich ableiten, in welchem Umfang die Unterstützung von Fertigungsabläufen durch weitergehende Automatisierung notwendig und sinnvoll ist.

Fortsetzung aus WOMag 5/2020

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Systemanalyse

Durch die Verfahrenstechnologie des thermischen Spritzens wird ein Werkstück beschichtet. Dafür wird in Abhängigkeit von den gewünschten Eigenschaften der Beschichtung (z. B. chemische Zusammensetzung => Korrosionsbeständigkeit, Härte => Verschleißbeständigkeit, Porosität => thermische Isolationseigenschaften) ein geeignetes Beschichtungsverfahren ausgewählt. Nachfolgend werden Ergebnisse berichtet, die beim Beschichten von Proben mit yttriumoxidstabilisiertem Zirkoniumoxid (Wärmedämmschicht) durch Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) entstanden sind. *Abbildung 5* zeigt das Gesamtsystem mit den relevanten Teilsystemen:

– Mensch: BedienerIn
– Technisches System: APS-Spritzanlage
– Schnittstelle(n): Bedienpanels

Die Bedienung der Spritzanlage erfolgt durch qualifiziertes Fachpersonal, aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen in der Regel durch zwei Personen. Die detaillierte Beschreibung der Aufgaben und Tätigkeiten findet sich unter *Abschnitt 4.2* dieses Beitrags (*Psychologische Aufgaben- und Tätigkeitsanalyse*). Die Spritzanlage besteht aus mehreren technischen Komponenten. In der Spritzkabine befindet sich der Roboterarm, der die Spritzpistole führt. Für die hier dargestellten Versuche wurde der APS-Spritzbrenner F6 der GTV Verschleißschutz GmbH (Luckenbach, Deutschland) verwendet. In der Spritzpistole wird während des Spritzprozesses ein Plasma erzeugt, indem eingeleitete, mit Druck beaufschlagte Gase (z. B. Argon oder Wasserstoff) durch einen Lichtbogen ionisiert beziehungsweise dissoziiert werden. Am Düsenaustritt kommt es zur Rekombination der dissoziierten Moleküle beziehungsweise zur Neutralisation der Ionen durch die freien Elektronen. Hierbei wird eine hohe Energiemenge freigesetzt, so dass im Kern des Plasmas Temperaturen von bis zu 20 000 °C erreicht werden [39, 40]. Die Pulverpartikel werden über einen separaten Trägergasstrom in diesen Bereich injiziert, (an)geschmolzen und durch das expandierende Plasmagas auf die Werkstückoberfläche beschleunigt. Beim Aufprall auf dem Substrat flachen die Partikel ab und erstarren als pfannkuchenartige Splats, so dass schließlich eine geschlossene Schicht entsteht, die im Querschliff eine lamellare Struktur aufweist. Partikel, die nicht an der Schichtbildung teilnehmen – der sogenannte Overspray – werden durch die Absaugung entfernt. Außerhalb der Spritzkabine befindet sich der Pulverförderer, durch den das Pulver über Schläuche in die Spritzpistole geleitet wird

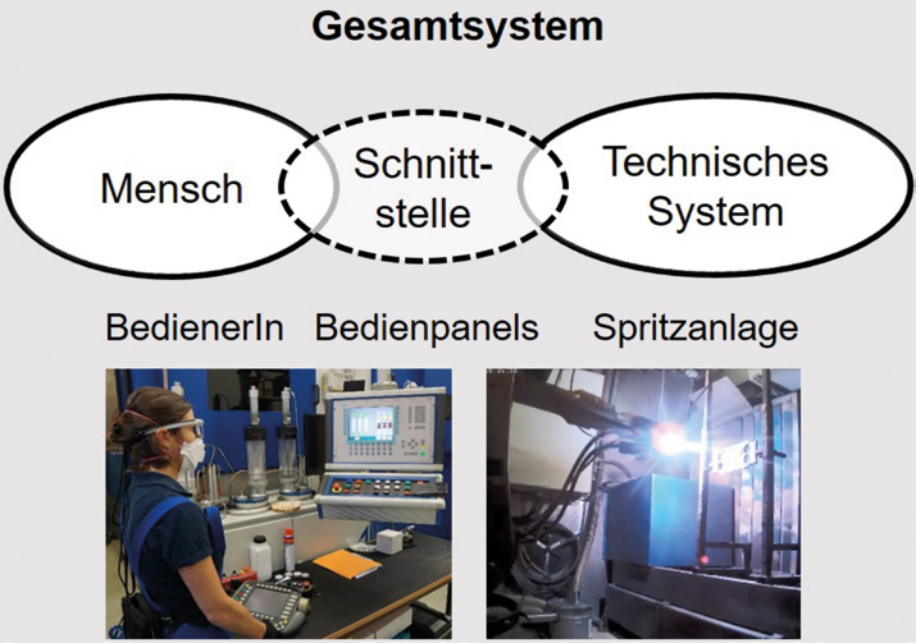


Abb. 5: Gesamtsystem mit Teilsystemen (oben: Mensch, technisches System und verbindende Interaktionsschnittstelle) sowie Zuordnungen zum Applikationsbeispiel thermisches Spritzen (unten: BedienerIn, Spritzanlage und Bedienpanels)

[1] Institut für Psychologie
[2] Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik, Technische Universität Chemnitz

sowie Flüssiggastanks oder Gasflaschen, die über ein Leitungssystem mit dem Spritzbrenner verbunden sind und die notwendigen Prozessgase zur Verfügung stellen.

Diejenigen Systemelemente des technischen Systems, die hier als besonders relevant zur Beschreibung des Prozesses angesehen werden, sind in *Tabelle 1* zusammengestellt und in *Abbildung 9* als *Areas of Interest* abgebildet. Hierzu gehören auch die Schnittstellen, die zur Bedienung und Prozesskontrolle genutzt werden: zwei Bedienpanel zur Steuerung der Anlage beziehungsweise des Roboters und ein Anzeige- und Steuerungsdisplay mit zwei relevanten Modi (Modus *Pulver* mit Anzeigen zur Pulverförderung und Modus *Strom/Gase* mit Strom- und Spannungsverläufen und Gasdrücken). *Tabelle 1* gibt einen Überblick über ausgewählte relevante Informationen, die dem menschlichen Operator durch die Teilsysteme *Spritzanlage* und *Schnittstellen* derzeit zur Verfügung gestellt werden.

Tab. 1: Informationsquellen und ausgewählte Informationen

Informationsquellen	*Ausgewählte Informationen*
Spritzanlage (Roboter, Plasma)	Plasmahelligkeit
	Geräusche
	Bewegungen des Roboters
Display der Spritzanlage	Gasdrücke
	Strom-/Spannungsverläufe
	Pulverfördermenge
Pulverförderer	Drehbewegung
	Pulververteilung
Bedienpanel 1 (Spritzanlage)	Zündungsvorgang
Bedienpanel 2 (Roboter)	Ablauf des Programms der Roboterbewegungen

Abb. 6: Phasen des APS-Prozesses

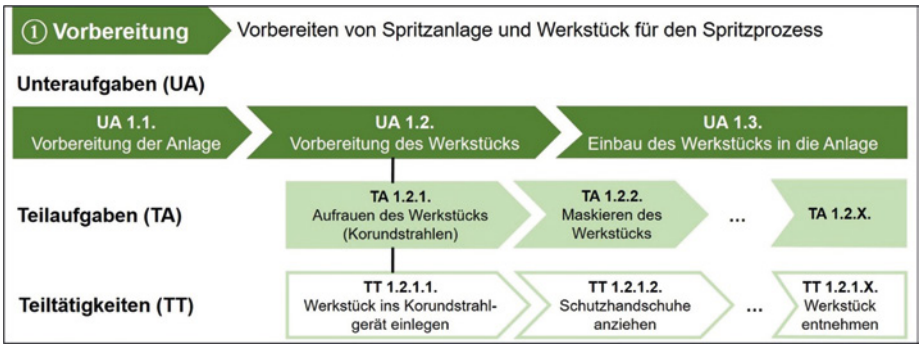


Abb. 7: Vorbereitungsphase mit exemplarischer Unterteilung in Unter- und Teilaufgaben sowie Teiltätigkeiten

4.2 Psychologische Aufgaben- und Tätigkeitsanalyse

Der APS-Prozessablauf ist hinsichtlich der Arbeitsaufgaben und Tätigkeiten in mehrere Phasen unterteilbar (*Abb. 6*):

- Nach Eingang eines Arbeitsauftrags beginnt die Vorbereitungsphase (1) (zur Vorbereitung der Spritzanlage und des Werkstücks für den APS-Prozess).
- Danach folgt der Beschichtungsprozess (2) (Aufbringen einer Schicht auf das Werkstück).
- In der Kontrollphase (3) werden Parameter, die Aussagen über die Qualität des Beschichtungsergebnisses erlauben (z. B. Schichtdicke), gemessen. Falls das Ergebnis nicht den Vorgaben entspricht (z. B. Schicht nicht dick genug), wird der Beschichtungsprozess gegebenenfalls wiederholt.
- Sonst folgen die Übergabe des Ergebnisses, das heißt des beschichteten Werkstücks, und die Nachbereitungsphase (4) (z. B. Reinigen der Spritzanlage und des Pulverförderers).

Eine detailliertere Beschreibung der Phasen mit Unteraufgaben und (Teil-)Tätigkeiten ist möglich und unter arbeitspsychologischen und -wissenschaftlichen Aspekten auch sinnvoll (z. B. wenn zeitlich effektive Arbeitsabläufe definiert werden sollen). In der vorliegenden Untersuchung wird dies allerdings nur exemplarisch für Vorbereitungs- und Beschichtungsphase gezeigt (*Abb. 7* und *8*).

4.3 Analyse kognitiver Prozesse

Zur Auswertung der Eye-Tracking-Daten werden Orte (Areas of interest, AOI) definiert, die relevante Informationen enthalten. Für das hier dargestellte Applikationsbeispiel sind die AOI in *Abbildung 9* dargestellt. Sie entsprechen den in der Systemanalyse identifizierten Informationsquellen (*Tab. 1*).

Mit TROCKENREINIGUNG
zur perfekten OBERFLÄCHE !
advanced clean production acp
Reinigen mit CO_2-Schneestrahl
www.acp-systems.com
Tel.: +49 7156 48014-0

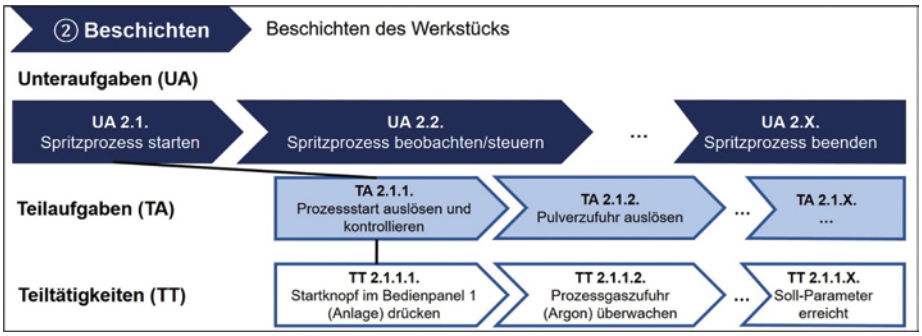


Abb. 8: Beschichtungsphase mit exemplarischer Unterteilung in Unter- und Teilaufgaben sowie Teiltätigkeiten

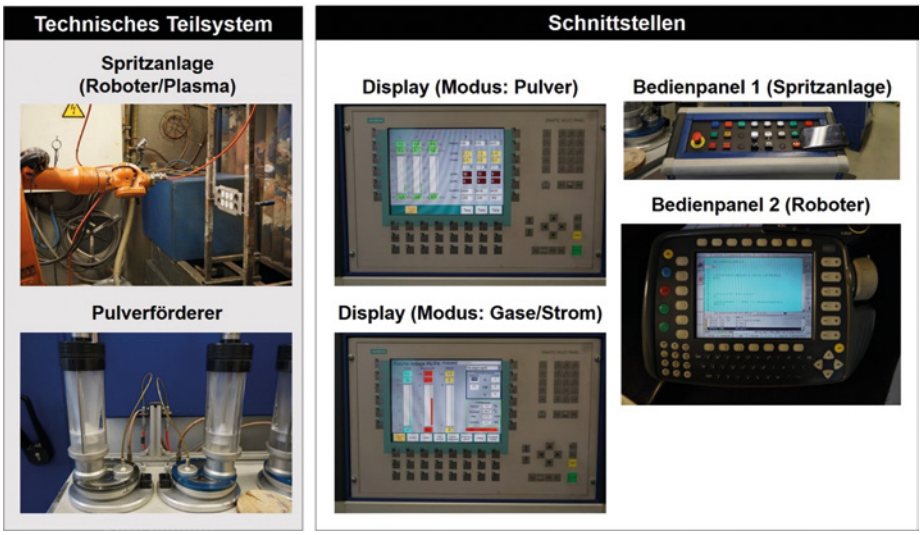


Abb. 9: Sieben Areas of interest, gegliedert nach Zugehörigkeit zum technischen Teilsystem beziehungsweise zu den Interaktionsschnittstellen

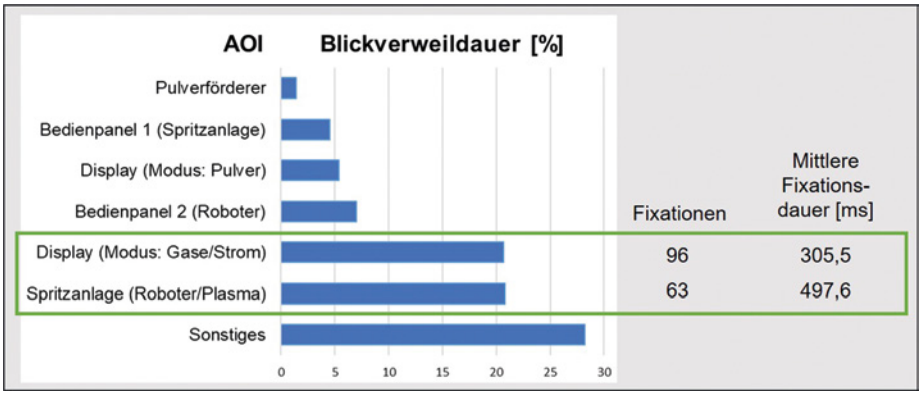


Abb. 10: Blickverweildauer in AOI sowie Fixationsanzahl und mittlere Fixationsdauer für besonders relevante AOI

Die Blickverweildauer in die zur Auswertung der Eye-Tracking-Daten definierten AOI gibt Aufschluss darüber, wie lange im aufgezeichneten Prozess insgesamt in die einzelnen Orte geblickt wurde (*Abb. 10*). Die längste Blickverweildauer entfällt auf die Kategorie *Sonstiges*. Hierzu zählen vor allem Wartezeiten, die im hohen Automatisierungsgrad des Prozesses begründet liegen (z. B. automatische Zündung des Plasmas). Weiterhin wird deutlich, dass mit je etwa 20 % der Gesamtblickdauer am längsten in die Orte *Display (Modus: Gase/Strom)* sowie *Spritzanlage (Roboter/Plasma)* geschaut wurde. Dies war zu erwarten, weil:

– die Prozessparameter, die überwacht werden müssen und die die Güte des Beschichtungsprozesses am besten vorhersagen, im AOI Display (Modus: Gase/Strom) zu finden sind
– im AOI Spritzanlage (Roboter/Plasma) wesentliche Informationen über die Roboterbewegungen und die damit verbundenen Beschichtungszyklen (Mäander) erkennbar sind und die Helligkeit des Plasmas sowie die Form des Spritzstrahls Aussagen über den Prozessverlauf und damit auch des Beschichtungsergebnisses ermöglichen.

Weiterhin wird durch die Anzahl von Fixationen in die beiden Orte und durch die jeweiligen mittleren Fixationsdauern deutlich, dass ins AOI *Display (Modus: Gase/Strom)* häufiger, aber kürzer geschaut wird, als ins AOI *Spritzanlage (Roboter/Plasma)* (*Abb. 10*). Das liegt daran, dass die Informationsaufnahme zur Kontrolle der Prozessparameter (Displayanzeige mit Balkendiagrammen und Zahlen) leichter und schneller für die BedienerIn möglich ist, als die Kontrolle des Spritzstrahls/Spritzflecks und der Roboterbewegungen (*Abb. 11*).

Diskussion erwünscht – Kontaktdaten

Die Autoren freuen sich über eine konstruktive Diskussion zum Thema und Anregungen aus Entwicklung und Praxis.

– Dr. rer. nat. habil. Franziska Bocklisch, Institut für Psychologie, Technische Universität Chemnitz, Wilhelm-Raabe-Straße 43, D-09120 Chemnitz; E-Mail: franziska.bocklisch@psychologie.tu-chemnitz.de
– Dr.-Ing. Rico Drehmann, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik, Technische Universität Chemnitz, Erfenschlager Straße 73, D-09125 Chemnitz; E-Mail: rico.drehmann@mb.tu-chemnitz.de
– Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lampke, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik, Technische Universität Chemnitz, Erfenschlager Straße 73, D-09125 Chemnitz; E-Mail: thomas.lampke@mb.tu-chemnitz.de

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Im Weiteren werden die Ergebnisse der Untersuchungen kognitiver Prozesse beim thermischen Spritzen detailliert diskutiert.

Der Gesamtumfang des Beitrags (Teil 2) beträgt etwa 4,5 Seiten mit 9 Abbildungen, 1 Tabelle und 5 Literaturhinweisen.

We surface your visions worldwide

STI Group – Surface solutions worldwide

STI Group
Hartchrom AG
CH-9323 Steinach
www.sti-surface.com

STI Group Switzerland [HQ] STI Surface Technologies International Holding AG, Hartchrom AG, Hartchrom Defense Technology AG [Steinach]

China STI Precision Machining (Changshu) Co., Ltd. [Changshu]

France STI France SAS [Arudy, Oloron-Escout, Saint Martin de Seignanx], Prodec Métal [Bordeaux]

Germany STI Deutschland GmbH, Hartchrom Teikuro Automotive GmbH [Sternenfels-Diefenbach]

USA Hartchrom Inc. [Watervliet NY], STI Fabrics Inc. [Earth City MO]

Größte hartverchromte Gießwalze

Von Walter Studerus, Technical Sales, STI Group Hartchrom AG, Steinach/Schweiz

Die Hartchrom AG hat sich seit der Gründung 1958 an den Grenzen des *Machbaren* orientiert. In den 60er-Jahren wurden mit der Verchromung des ersten Papier-Trockenzylinders in Europa Maßstäbe gesetzt. Bereits in den 70er-Jahren wurde weitsichtig, sowohl die Beschichtungs- als auch die Schleifkapazität auf die noch heute geltenden Dimensionen ausgebaut.

Lange Zeit war die Verchromung des weltweit größten Cast-Coaters mit einem Durchmesser von 4,5 Meter das Limit. Im Jahr 2020 wurde mit der Beschichtung der weltweit größten, spiegelhochglanzpolierten Gießwalze ein weiterer Meilenstein gesetzt. Die Oberfläche erfüllt die strengsten Anforderungen für die Herstellung von optischen Folien. Auf diesen großen Walzen wird Kunststoff für die Herstellung von hochwertigen, optischen Folien abgegossen. Optische Folien werden zum Beispiel eingesetzt in Verbundglas für Hubschrauberkanzeln, für Verspiegelungen, für hochtransparente Verpackungen, für Polaroid-Gläser, für Bildschirme oder für Armaturenanzeigen in Fahrzeugen.

Der Begriff *optisch* beinhaltet die Anforderung an eine fehlerfreie Oberfläche. Jede kleinste Abweichung wäre als Fehler im Produkt zu sehen. Nur wenige Betriebe beherrschen diese hohe Politurqualität. Und nur die Hartchrom AG kann sie auf diesen Dimensionen applizieren.

Ablauf einer Beschichtung

Der Auftrag startet mit dem Vorschleifen der Außenfläche auf eine exakt zylindrische Form. Die Abweichungen liegen hierbei unter 0,02 Millimeter und die Oberfläche muss bestimmte Eigenschaften haben, damit sich die Chromschicht fehlerfrei abscheidet. Die galvanische Beschichtung erfolgt vertikal im

Aufrichten der Walze für die Beschichtung und Prüfung der Oberflächenqualität

Chromelektrolytbehälter. Das Bauteil wiegt circa 40 Tonnen und es benötigt viel Feingefühl, um es ohne Beschädigung aufzurichten. Fachwissen und jahrelange Erfahrung der Mitarbeiter sind Voraussetzung für diese anspruchsvolle Hartverchromung. Bei etwa vier Meter Durchmesser und sechs Meter Länge sind sowohl die Anlagendimensionen als auch die elektrische Kapazität an der Grenze. Die hartverchromte Außenfläche wird nach der galvanischen Beschichtung maschinell wieder in die geometrische Form geschliffen. Die anschließende Politur auf Spiegelhochglanz dauert mehrere Wochen und ist erst beendet, wenn absolut keine Unregelmäßigkeiten mehr sichtbar sind.

Damit die Walze mit der hochsensiblen Oberfläche unbeschädigt in Asien ankommt, ist eine mehrlagige Verpackung mit Überseeschutz nötig. Mit Traggestell und Holzkiste erhöht sich das Transportgewicht auf 55 t.

Mit der Ablieferung dieser speziellen Gießwalze mit Spiegelhochglanzoberfläche endet ein anspruchsvolles Projekt. Hartchrom AG hat damit gezeigt, dass auch auf größten Dimensionen eine fehlerlose Oberfläche in geometrischer Präzision möglich ist. Die Kombination von erfahrenen Mitarbeitern, Fachwissen, akribischer Planung und höchsten Reinheitsbedingungen hat das Resultat ermöglicht. Das Unternehmen ist stolz auf das Ergebnis und es hat bereits zu weiteren,

Fertigpolierte Walze (oben) und aufwendige Verpackung für den sicheren Transport

außergewöhnlichen Folgeaufträgen geführt. Seit 1958 hat Hartchrom AG immer wieder Grenzen der Beschichtungstechnologie überschritten, sei es in der Dimension nach oben oder unten, der geometrischen Präzi-

sion oder in der Gestaltung von spezifischen Oberflächenstrukturen.

Zum Unternehmen STI

Die STI Group mit Hauptsitz in der Schweiz besitzt Produktionsstandorte in Deutschland, Frankreich, USA, China und am Hauptsitz in der Schweiz. Der Hauptsitz in der Schweiz wurde als Hartchrom AG 1957 gegründet, das Traditionsunternehmen Hartchrom Gebrüder Schoch (gegründet 1925) wurde 2004 in die STI Group integriert. In Kürze kann das Unternehmen also auf 100 Jahre Erfahrung in der Metallveredelung, insbesondere der Hartverchromung, zurückblicken. Im Technologieportfolio der STI Group finden sich neben der Funktionellen Hartverchromung auch Vernickelung (Galvanisch und chemisch abgeschiedenes Nickel), thermisches Spritzen (mit Fokus auf HVOF), Plasmadiffusionsschichten und PVD sowie weitere Technologien (Broschüre Coating Finder, Homepage). Die STI Group besitzt eine eigene F+E-Abteilung und arbeitet mit ihren Kunden in der Entwicklung eng zusammen. Neben ständigen Vergleichstests sowie Entwicklungen in

Konkurrenz zu Alternativtechnologien und den Erfahrungen aus dem Wettbewerb besitzt die STI Group einen über Jahrzehnte aufgebauten Erfahrungsschatz über die Eigenschaften der Hartverchromung und der Alternativtechnologien. Die STI Group beziehungsweise die Hartchrom AG ist Mitglied in Konsortien in der EU sowie der Schweiz zur Autorisierung von Anwendungen sechswertiger Chromverbindungen (VECCO e.V., HAPOC, SSO).

➲ **www.sti-surface.com**

STZ Tribologie
Steinbeis Transfer Zentrum

STEINBEIS-ZENTRUM FÜR
OBERFLÄCHEN- UND MATERIALANALYSEN

OBERFLÄCHENANALYSE
BESCHICHTUNGSANALYTIK
MATERIAL-/BESCHAFFENHEITSANALYSE
TRIBOLOGIE KNOW-HOW

Mobil: +49 172 9057349
www.steinbeis-analysezentrum.com

DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg
Karlsruhe

Steinbeis-Transferzentrum
Tribologie in Anwendung
und Praxis

Unsere App erstellt
Ihre Lieferscheine
und Ladelisten.

IHR WARENAUSGANG WIRD
SCHNELLER UND EINFACHER.

SOFTEC
www.softec.de

Platz 2 beim Deutscher Innovationspreis 2020 für Weiss Umwelttechnik

Weiss Umwelttechnik freut sich über Platz 2 beim Deutschen Innovationspreis 2020 für sein Kältemittel WT69. Neun Innovationen hatten es auf die Liste der Nominierten geschafft. Das Besondere an WT69: Es kühlt bis -70 °C herunter und erfüllt gleichzeitig Vorgaben der EU. Denn es setzt gegenüber Alternativen 90 % weniger Treibhausgase frei.

Den Sieg beim Deutschen Innovationspreis 2020 haben wir anderen Innovationen überlassen. Wir freuen uns aber, neben Weltmarktführern wie Dürr, Varta, BMW und Covestro/Bayer zu den Nominierten zu gehören, betont Janko Förster, Leiter des Produktmanagements. Für seine Klimaschränke zur Umweltsimulation braucht Weiss Umwelttechnik sehr tiefe Temperaturen. Diese erreichten Anlagen bislang mithilfe des umweltschädlichen R-23 und energieaufwendig hergestelltem Flüssigstickstoff. Das Verwenden von R-23 hat die EU jedoch seit 2014 stark eingeschränkt.

Der Markt blieb alternativlos, und so stellte sich Weiss Umwelttechnik selbst der Herausforderung. Als die Maschinenbauingenieure dem Aufgeben nahe waren, fanden sie in der TU Dresden einen Kooperationspartner und eine passende Gasmischung. Die Hälfte des Portfolios hat das Unternehmen nach Auskunft von Janko Förster bereits auf das neue Mittel umgestellt. Die offizielle Bezeichnung R-469A hat die ASHRAE vergangenes Jahr für das Kältemittel vergeben. Das Kältemittel ist auch unabhängig von den Klimaschränken von Weiss Umwelttechnik erhältlich.

WT69 lässt sich leicht komprimieren und hat einen sehr tiefen Siedepunkt. Das chemisch stabile, farblose sowie geruchlose Gasgemisch ist ungiftig und nicht brennbar, sodass es der Sicherheitsgruppe A1 eingestuft wurde. Aufgrund des geringen Treibhauspotentials von 1357 erfüllt es die Anforderungen der EU-Verordnung 517/2014 an Kältemittel für Neuanlagen. Eine Ausnahmegenehmigung erübrigt sich. Leckageprüfungen benötigen Anlagen mit WT69 erst über 3,6 Kilogramm Füllmenge.

Die Weiss Technik Unternehmen bieten Lösungen, die rund um den Globus in Forschung und Entwicklung sowie bei Fertigung und Qualitätssicherung zahlreicher Produkte eingesetzt werden. Eine starke Vertriebs- und Serviceorganisation sorgt mit 22 Gesellschaften in 15 Ländern an 40 Standorten für eine optimale Betreuung der Kunden und für eine hohe Betriebssicherheit der Systeme. Zur Marke weisstechnik® zählen individuelle Lösungen für Umweltsimulationen, Reinräume, Klimatisierung, Luftentfeuchtung sowie Containmentlösungen.

Mit den Prüfsystemen aus dem Bereich Umweltsimulation können verschiedene Umwelteinflüsse im Zeitraffer simuliert werden. Das zu prüfende Produkt wird unter realer Belastung auf seine Funktionalität, Qualität, Zuverlässigkeit, Materialbeständigkeit und Lebensdauer untersucht. Die Abmessungen der Prüfeinrichtungen reichen von Laborprüfschränken bis hin zu Testkammern für Flugzeugkomponenten mit einem Volumen von mehreren hundert Kubikmetern. Die Weiss Technik Unternehmen sind Teil der in Heuchelheim bei Gießen ansässigen Schunk Group.

Die Schunk Group ist ein global agierender Technologiekonzern – mittelständisch handelnd mit einer weltweiten Business Unit-Struktur. Das Unternehmen ist Anbieter von Produkten aus Hightech-Werkstoffen – wie Kohlenstoff, technischer Keramik und Sintermetall – sowie von Maschinen und Anlagen – von der Umweltsimulation über die Klimatechnik und Ultraschallschweißen bis hin zu Optikmaschinen. Mit über 8500 Beschäftigte in 29 Ländern wurde 2018 ein Umsatz von 1,28 Mrd. Euro erwirtschaftet.

➲ **www.weiss-technik.com**

IFO Labor hat Akkreditierungsumfang deutlich erweitert

Im April diesen Jahres wurde die IFO Institut für Oberflächentechnik GmbH nach der neuen DIN EN ISO/IEC 17025:2018 reakkreditiert. Am Standort in Schwäbisch Gmünd wurde das Laborkompetenzzentrum dafür erfolgreich durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) begutachtet.

Der Akkreditierungsumfang wurde mit der Umstellung auf die aktualisierte Norm deutlich erweitert und durch eine Flexibilisierung der Kategorie I ergänzt, die die freie Anwendung von genormten oder ihnen gleichzusetzenden Verfahren in einem definierten Prüfbereich ermöglicht. Somit fallen zum Beispiel viele, der für OEMs diverser Automobilhersteller vorgeschriebenen Klima-, Bewitterungs- und Korrosionsprüfungen, in Zukunft in diesen Akkreditierungsumfang. Im Labor des neutralen und akkreditierten IFO-Instituts können technische Sauberkeitsanalysen auf Bauteilen, Prüfungen von Beschichtungssystemen, Materialprüfungen sowie Korrosion- und Klimaprüfungen erfolgen. Darüber hinaus werden auch Großteile bis zu zwei Meter Länge geprüft.

Das IFO Institut für Oberflächentechnik GmbH ist ein neutrales akkreditiertes Institut für die Prüfung und Untersuchung von Schichten und Schichtsystemen, Labordienstleistungen, Schadensgutachten, Industrieforschung, NACE- und FROSIO-Inspektion, Güteprüfungen und Zertifizierungen. In den Laboren in Deutschland, den Niederlanden, den Vereinigten Arabischen Emiraten und China, stehen allen Branchen qualifizierte Mitarbeiter, moderne Einrichtungen und Geräte für oberflächentechnische Fragestellungen und Prüfungen zur Verfügung.

➲ **www.ifo-gmbh.de**

Inserentenverzeichnis

acp systems	35	G. & S. Philipp	25	Sager + Mack GmbH	U4
Airtec Mueku GmbH	5	Harter GmbH	Titel	Dr.-Ing. Max Schlötter	21
aqua plus GmbH	29	IPT GmbH	13	Softec AG	39
B+T Unternehmensgruppe	9	Walter Lemmen GmbH	15	STI Group	37
CCT GmbH	13	Gebr. Liebisch GmbH & Co. KG	U3	STZ Oberflächentechnik	19
Chrom Schmitt	33	MKV GmbH	17	STZ Tribologie	39
DeMartin AG	31	Munk GmbH	23	TIB Chemicals AG	27
Dörken MKS	7	Sager + Mack GmbH	1	VECCO e.V.	U2

PV-1210 climate change tests

DIN EN ISO 9227

VDA 621-415

humidity storage

55 Jahre 1963 2018

D17 2028/C ECC 1

SAE J2334

Umweltsimulation

PV-1210

D17 2028/C ECC 1

ASTM B-117

VCS 1027, 1449

VCS 1027, 1449

salt spray tests

SAE J2334

CETP 00.00-L-467

VDA 621-415

MO158

STD 423-0014

STD 1027, 14

Normalklima

environmental simulation

VDA 621-415

ASTM B-117

modulare Freiheit

KKT Kesternichtests

Feuchtelagerung

STD 423-0014

CETP 00.00-L-467

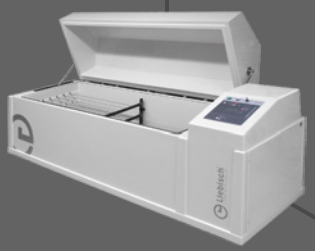
Konstantklimatests

Klimawechseltests

Salznebelprüfung

constant climate tests

BITTE BLEIBEN SIE GESUND



KORROSIONSPRÜFGERÄTE

nasschemische Qualitätsprüfung

Je nach Prüfanordnung können die Betriebssysteme Salznebel [S], Kondenswasser [K], Raum [B], Warmluft [W] und Schadgas [G] sowie geregelte relative Luftfeuchte [F] einzeln oder kombiniert (Wechseltestprüfungen) in über 70 Varianten kombiniert werden. Optional sind Prüfklimate bis **20°C** (niedrigere Temperaturen auf Anfrage). und Beregnungsphasen z.B. Volvo STD 423, Ford CETP 00.00L467 möglich. Die Geräte sind intuitiv bedienbar, wahlweise als praktische manuelle bzw. komfortable automatische Lösung.

Gebr. Liebisch GmbH & Co. KG

Eisenstraße 34
33649 Bielefeld | Germany

Tel: +49 521 94647 -0
Fax: +49 521 94647 -90

sales@liebisch.com
www.liebisch.de

Liebisch® LABORTECHNIK

Abgesagt

Control

05.-08.05.2020
Ort: Stuttgart
Halle 6
Stand 6413

Verschoben

Surface Technology GERMANY

27.-29.10.2020
Ort: Stuttgart
Halle 1
Stand H15

MAGNETIC DRIVEN PUMPS
IMMERSION PUMPS
FILTER SYSTEMS

STRONG | CLEAN | DURABLE

Sager + Mack®

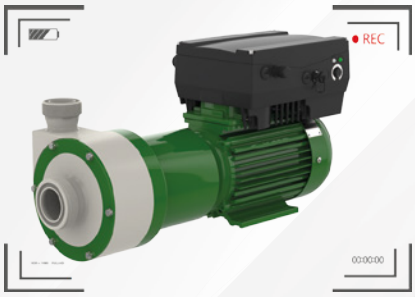
Leading the way in pumps and filters

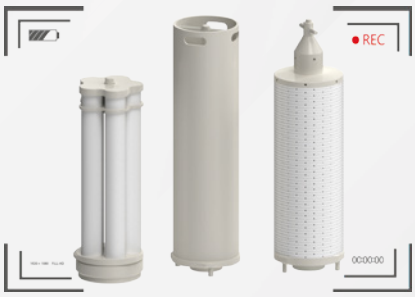
PUMPEN
PUMPS | 泵

FILTER
FILTERS | 过滤器

FILTERMEDIEN
FILTERMEDIA | 过滤耗材

DAS PLUS
THE PLUS | 服务





Sager + Mack GmbH | Max-Eyth-Str. 13/17 | 74532 Ilshofen-Eckartshausen | info@sager-mack.com

www.sager-mack.com